

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

“Caracterización de aceite no comestible de *Jatropha Curcas*
para la obtención de Biocarburante”

Previo a la obtención del título de
INGENIERO QUÍMICO

Autores

ANDRÉS JAVIER PLÚAS NACIPUCHA
JOHANNA LISBETH PORTÉS ROJAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2017

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la caracterización experimental del aceite de la semilla *Jatropha Curcas* el cual se emplea como materia prima para la producción de biodiesel. Se realizó la caracterización física que comprende los siguientes parámetros: densidad, viscosidad dinámica, humedad y materia volátil, poder calorífico, punto de inflamación, contenido de yodo, punto de fluidez, calidad de ignición, índice de peróxido y acidez. Además, de la caracterización química que comprende la estabilidad a la oxidación, contaminación total, incluyendo el contenido de cenizas, fosforo, calcio y magnesio. Adicionalmente, se realizó la comparación de los parámetros obtenidos con las especificaciones técnicas estipuladas en la Norma Técnica Alemana DIN 51605:2010 para aceites vegetales. Posteriormente se analizó los parámetros determinados con el fin de establecer el pre tratamiento más adecuado para que el aceite sea empleado como materia prima para la obtención de biodiesel. Debido a esto, se realizó el refinado del aceite con el objetivo de ajustar los parámetros que no se encontraron dentro del rango establecido por la norma guía.

Palabras Claves: *Jatropha Curcas*, aceite, caracterización, biodiesel.

ABSTRACT

In this paper we describe the experimental characterization of *Jatropha Curcas* seed oil which is used as raw material to produce biodiesel. The physical characterization was carried out, which included the following parameters: density, dynamic viscosity, humidity and volatile matter, calorific value, flash point, iodine content, pour point, ignition quality, peroxide index and acidity. In addition, from the chemical characterization which includes oxidation stability, total contamination, including ash content, phosphorus, calcium and magnesium. In addition, the parameters obtained were compared with the technical specifications stipulated in German Technical Standard DIN 51605: 2010 for vegetable oils. Subsequently, the parameters determined were analyzed in order to establish the most appropriate pretreatment for the oil to be used as raw material for the production of biodiesel. Due to this, the refining of the oil was carried out to adjust the parameters that were not within the range established by the guide standard.

Key Words: *Jatropha Curcas*, oil, characterization, biodiesel.

DEDICATORIA

Agradezco a mi madre Lucia Nacipucha por el apoyo brindado, y por motivarme día a día en alcanzar mis metas propuestas.

A mis hermanos, Kevin y Melissa por ser los pilares fundamentales en todo momento.

A mis amigos, compañeros por su apoyo y comprensión brindada durante mi etapa universitaria.

A los docentes de la FCNM por instruirnos de la mejor manera posible y por sus consejos muy acertados.

Andrés Plúas

De manera muy especial a mis padres Fanny Rojas y Pedro Portés por su apoyo incondicional e inmenso cariño, por ser motivación fundamental de mis logros.

A mis hermanos Pedro y Julliana por ser mi inspiración.

A los docentes de la FCNM por compartir sus conocimientos y por su paciencia.

A mis amigos por su apoyo y compañía durante el trayecto de la etapa universitaria.

A mi jefa Ing. Diana Seminario por su comprensión y ayuda para la realización de este proyecto.

Johanna Portés

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, a nuestros padres que con su cariño y dedicación nos brindaron el mejor regalo la educación.

A nuestros maestros por su paciencia comprensión y aprendizajes compartidos durante nuestros estudios especialmente a nuestro tutor PhD. Juan Peralta junto con el Ing. Raúl Serrano, la Dra. Olga González, Dr. Michael Rendón, PhD. Franklin Ortiz, a la Ing. Layla y la Ing. Inés.

A nuestros amigos por su apoyo y motivación.

Al Ing. Tyron Alcívar por disponer las instalaciones del laboratorio de hidrocarburos y al personal de la refinería la libertad por su colaboración y realización de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Andrés Javier Plúas Nacipucha

Johanna Lisbeth Portés Rojas

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Andrés Javier Plúas Nacipucha

Johanna Lisbeth Portés Rojas

SIGLAS

| | |
|------|---|
| ASTM | Asociación Americana de Ensayo de Materiales |
| CCI | Índice de Cetano Calculado |
| DIN | Instituto Alemán de Normalización |
| INEN | Instituto Ecuatoriano de Normalización |
| ISO | Organización Internacional de Estandarización |
| NTE | Norma Tecnológica de la Edificación |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| RESUMEN | II |
| ABSTRACT | III |
| SIGLAS | IV |
| TABLA DE CONTENIDO | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | IX |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 5 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.1. JATROPHA CURCAS | 5 |
| 1.2. SEMILLA DE JATROPHA CURCAS | 5 |
| 1.3. CULTIVO DE JATROPHA CURCAS..... | 6 |
| 1.3.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CULTIVO JATROPHA CURCAS | 7 |
| 1.3.1.1. Ventajas | 8 |
| 1.3.1.2. Desventajas | 9 |
| 1.4. ACEITE DE JATROPHA CURCAS | 10 |
| 1.5. NORMA DIN 51605:2010 “COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN COMPATIBLES CON ACEITE VEGETAL” | 16 |
| 1.6. REFINACIÓN DEL ACEITE DE JATROPHA CURCAS | 18 |
| 1.6.1. Desgomado | 19 |
| 1.6.2. Neutralización..... | 19 |
| 1.6.3. Lavado..... | 19 |
| 1.6.4. Secado | 19 |
| 1.6.5. Blanqueado | 20 |
| 1.7. BIODIESEL | 20 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 23 |
| 2.1 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE..... | 23 |

| | | |
|---------------------------------|---|----|
| 2.2 | CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE CRUDO | 24 |
| 2.2.1 | Determinación de densidad | 24 |
| 2.2.2 | Determinación de viscosidad cinemática..... | 25 |
| 2.2.3 | Determinación de contenido de humedad | 25 |
| 2.2.4 | Determinación del poder calorífico | 26 |
| 2.2.5 | Determinación del punto de inflamación copa abierta..... | 26 |
| 2.2.6 | Determinación del índice acidez..... | 27 |
| 2.2.7 | Determinación del índice de refracción | 28 |
| 2.2.8 | Determinación del contenido de yodo | 28 |
| 2.2.9 | Determinación del punto de fluidez | 29 |
| 2.2.10 | Determinación de índice de cetano | 30 |
| 2.2.11 | Determinación de contaminación total..... | 31 |
| 2.2.12 | Determinación de contenido de cenizas..... | 31 |
| 2.2.13 | Determinación de contenido de calcio, magnesio y fosforo..... | 32 |
| 2.2.14 | Índice de Peróxido..... | 32 |
| 2.2.15 | Color ASTM..... | 33 |
| 2.3 | DESARROLLO DEL REFINADO QUÍMICO DEL ACEITE CRUDO..... | 33 |
| 2.3.1 | Filtrado | 34 |
| 2.3.2 | Desgomado | 34 |
| 2.3.3 | Neutralización..... | 35 |
| 2.3.4 | Lavado..... | 36 |
| 2.3.5 | Blanqueado | 36 |
| CAPÍTULO 3 | | 40 |
| 3. RESULTADOS | | 40 |
| CAPÍTULO 4 | | 44 |
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS | | 44 |
| 4.1.1 | Refinación química del aceite..... | 44 |
| 4.1.2 | Contenido de agua | 45 |
| 4.1.3 | Índice de acidez..... | 46 |
| 4.1.4 | Contenido de Ca, Mg, P y estabilidad a la oxidación..... | 46 |
| 4.1.5 | Punto de inflamación | 47 |
| 4.1.6 | Contenido de yodo | 47 |

| | | |
|------------------|-------------------------------------|----|
| 4.1.7 | Contaminación total..... | 47 |
| 4.1.8 | Número de cetano..... | 48 |
| 4.1.9 | Contenido de cenizas..... | 48 |
| 4.1.10 | Índice de peróxidos..... | 48 |
| 4.1.11 | Poder calorífico Inferior..... | 48 |
| 4.1.12 | Índice de refracción..... | 49 |
| 4.1.13 | Cromatografía del aceite..... | 49 |
| CAPÍTULO 5..... | | 51 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 51 |
| 5.1. | CONCLUSIONES..... | 51 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES..... | 52 |
| REFERENCIAS..... | | 54 |
| ABREVIATURA..... | | 56 |
| SIMBOLOGÍA..... | | 57 |
| GLOSARIO..... | | 58 |
| ANEXOS..... | | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Planta de Jatropha Curcas..... | 5 |
| Figura 1.2 Semilla de Jatropha Curcas | 6 |
| Figura 1.3.3 Extractora Expeller empleada en la extracción mecánica | 10 |
| Figura 1.4 Aceite de Jatropha Curcas | 11 |
| Figura 2.1.1 Determinación de la densidad..... | 24 |
| Figura 2.1.2 Viscosímetro Kochler | 25 |
| Figura 2.1.3 Determinación de humedad | 25 |
| Figura 2.1.4 Determinación de poder calorífico..... | 26 |
| Figura 2.1.5 Determinación de punto de inflamación | 27 |
| Figura 2.1.6 Determinación de acidez..... | 28 |
| Figura 2.1.7 Refractómetro Baush Lomb Rango (1.3330-1.5041) | 28 |
| Figura 2.1.8 Determinación de contenido de yodo..... | 29 |
| Figura 2.1.9 Determinación del punto de fluidez | 30 |
| Figura 2.2.1 Filtrado de aceite crudo con lana de vidrio y papel filtro | 34 |
| Figura 2.2.2 Etapa del desgomado | 35 |
| Figura 2.2.3 Etapa del neutralizado | 35 |
| Figura 2.2.4 Etapa del lavado con agua caliente | 36 |
| Figura 2.2.5 Etapa del Blanqueado..... | 37 |
| Figura 2.2.6 Aceite crudo y refinado | 37 |
| Figura 2.2 Esquema de etapas del refinado químico del aceite de Jatropha Curcas | 38 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.4.1 comparación entre Jatropha Curcas (%) con aceite comestible (Girasol), etc..... | 11 |
| Tabla 1.5 Requisitos de aceite de colza para ser empleado como combustible ... | 17 |
| Tabla 1.7 Requisitos del biodiesel..... | 21 |
| Tabla 2.1 Normas aplicadas en la metodología | 23 |
| Tabla 3.1.1 Caracterización de aceite crudo | 40 |
| Tabla 3.1.2 Caracterización del aceite refinado | 41 |
| Tabla 3.1.3 Resultados de aceite crudo y refinado en comparación con la norma DIN 51605..... | 42 |
| Tabla 3.1.4 Corridas de refinación del aceite crudo | 42 |

Introducción

A nivel mundial el consumo de energía ha ido en aumento debido al crecimiento tecnológico que ha sufrido la humanidad en las últimas décadas y con ello el aumento en la demanda de energía para funcionar. Ahora bien, gran parte de esta energía se basa en la utilización de combustibles fósiles como los derivados del petróleo; sin embargo, el agotamiento de los combustibles fósiles y los impactos ambientales derivados de su uso, han incentivado la necesidad de obtener un biocombustible alternativo que sea amigable con el ambiente. Dentro de este marco, una posible alternativa sostenible es el empleo del aceite vegetal como materia prima para la obtención de biodiésel. Un caso de especial interés son los aceites no comestibles de las semillas, un ejemplo de ellos son los obtenidos a partir de la *Jatropha Curcas*. Es importante acotar, que el aceite no comestible se puede considerar como una alternativa para la producción del biodiésel y ayuda a reducir la contaminación y el nivel de CO₂ del planeta, reduciendo así también el efecto invernadero además se reducirían las costosas importaciones de diésel.

Por otra parte, un reto para el país consiste en la implementación de procesos de producción basados en materias primas con disponibilidad local, en el caso el cultivo de la *Jatropha Curcas* se puede cultivar en cualquier tipo de terreno incluso puede resistir sequías además la planta ha demostrado adaptabilidad a las condiciones agroecológicas. Un ejemplo de su capacidad de adaptación se localiza en la provincia de Manabí donde es actualmente cultivada.

Siendo un país agrícola es importante fomentar el desarrollo de la industria no solo a nivel de materia prima, sino también fortalecer a la producción local de producto de valor agregado. Visto de esta forma, queda claro que el gobierno local debe continuar fomentando iniciativas para la producción de combustible localmente, con lo cual se dinamizaría la economía regional y el crecimiento de nuevas plazas de empleo, logrando así, disminuir la importación y dependencia de derivados del petróleo, reduciendo el subsidio a la gasolina.

Por otro lado, se contribuirá al cambio de matriz energética, por medio del empleo de energía renovable con impacto menor al ambiente que los combustibles fósiles.

El desarrollo de biocarburante se fomenta a partir del aumento de los precios del petróleo y la necesidad de reducir las emisiones de contaminantes al ambiente. Por ende, los gobiernos de muchos países han establecido regulaciones que incentivan el desarrollo de la industria de biocombustibles, por ejemplo, la meta del gobierno nacional es la producción de dos biocombustibles, principalmente con alcohol carburante a partir de caña de azúcar, yuca, maíz, y remolacha y biodiesel a partir de palma africana, *Jatropha*, e higuera. El reto para cualquier país o región es la implementación de procesos de producción basados en materias primas con disponibilidad local.

La utilización de aceites vegetales en motores de combustión no es una idea nueva. Desde hace más de un siglo se han producido diversos intentos para usarlos como combustible alternativo en actividades industriales y de locomoción.

Actualmente, el aceite de semillas de soya, girasol, colza y algodón, así como de jojoba, karanja, kokum, mahua, neem, simarouba, rábano, tumba, alcachofa, higuera y *Camelina*, los cuales, están siendo usados para la producción de biodiésel.

Cabe resaltar, que la *Jatropha Curcas* y *pongamia pinnata* son las plantas con más potencial como materia prima en los países tropicales y sobre todo no compiten con los cultivos alimenticios.

La mayoría de las necesidades energéticas en el mundo se satisfacen por medio de fuentes hidrocarburíficas. La alta demanda de energía en los países industrializados, así como en el sector doméstico, y los problemas de contaminación causados por el uso generalizado de combustibles fósiles hacen cada vez más necesario el desarrollo de las fuentes de energía renovables como energía sostenible y de menor impacto ambiental.

Una de las posibles alternativas energéticas son los aceites vegetales, al ser transformados en biodiesel mediante un proceso de transesterificación, pueden ser empleados directamente o en mezclas con diésel en motores de combustión.

Los resultados obtenidos contribuirán al uso de aceite no comestible con fines de bioenergía ya sea por uso directo en motores de combustión adaptados en el proceso de ignición o como materia prima para la obtención de biodiesel que se emplea en mezclas de biocarburantes en un rango del 5% al 15% a nivel nacional.

La hipótesis de este proyecto es: Es posible la obtención del biocarburante a partir del aceite de las semillas de la *Jatropha curcas* sin pre tratamiento.

El objetivo general de este proyecto es caracterizar las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo extraído de la semilla de la *Jatropha Curcas* para su refinación previo a su uso como materia para la obtención biocarburante, siendo los objetivos específicos: 1) Determinar las principales características fisicoquímicas del aceite de *Jatropha Curcas* que se emplea para la obtención de biodiesel, tales como la densidad, viscosidad cinemática, humedad, índice de acidez, índice de refracción, contenido de yodo, punto de inflamación, punto de fluidez, poder calorífico, calidad de ignición, contaminación total, contenido de cenizas, contenido de fosforo, calcio y magnesio; 2) Evaluar el aceite crudo como materia prima para biocarburantes a partir de sus propiedades; 3) Establecer pretratamientos necesarios en función de los parámetros físico químico que presente el aceite extraído y 4) Determinar el rendimiento volumétrico experimental de la refinación del aceite crudo.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Jatropha Curcas

El árbol de Jatropha Curcas pertenece a la familia Euphorbiaceae, la cual es conocida por su producción de fitotoxinas, contiene más de 3500 especies asociadas en 210 géneros.

Proviene de América Central y México, sin embargo, crece en áreas tropicales del mundo. El árbol puede alcanzar alturas entre 4 a 8 metros. El tallo es macizo, liso de color gris. Las ramas del árbol contienen una sustancia pegajosa y de color blanco que se la obtiene al realizar un corte en estas. (Díaz, 2015)



Figura 1.1 Planta de Jatropha Curcas

Fuente: Reinhard K. Henning, 2007

1.2. Semilla de Jatropha Curcas

La semilla de Jatropha Curcas madura en aproximadamente 55 a 61 días desde su floración, la semilla se considera como la parte más tóxica de la planta por el contenido de esteres de forbol. (Devappa, 2010)

El fruto posee una forma casi circular, cuando esta inmadura es de color verde cambiando a amarillo cuando alcanza su maduración y café oscuro cuando está seca. El fruto maduro posee un peso que varía entre 9 a 30 gramos. Cuando el fruto se encuentra totalmente maduro, este se abre expulsando las semillas. En un fruto se puede encontrar entre 2 a 4 semillas, son alargadas, ovoides de color negro. Estas semillas miden aproximadamente 2 centímetros de largo. Cada grano tiene un peso aproximado de 1 gramo. Una semilla puede llegar a contener un 40% de aceite, aunque existen otras variedades del *Jatropha Curcas* que llegan a contener un 60% de aceite. (Díaz, 2015)



Figura 1.2 Semilla de *Jatropha Curcas*

1.3. Cultivo de *Jatropha Curcas*

El cultivo del *Jatropha Curcas* se lo puede realizar por 2 métodos: por semillas o estacas. Sin embargo, la plantación por semilla posee una desventaja con respecto al método por estacas, debido a que las plantas en etapa adulta pueden presentar diferencias en el crecimiento, la forma y el rendimiento. De esta manera la producción por estacas es el método más efectivo para mantener las características de rendimiento y contenido de aceite uniforme. (Díaz, 2015)

La recolección de las semillas se realiza manualmente, una vez que el fruto este madurado y empieza la expulsión de la semilla. Después de haber cosechado todas las semillas se las deja bajo el sol por 3 o 4 días

aproximadamente. Una persona puede llegar a extraer en promedio de semillas unos 30 kg por jornada laboral. La siembra de estas semillas se la realiza directamente en el área de plantación, ya sea en bolsas o por medio de los semilleros. Luego se realiza la siembra a la cual se le debe aplicar un riego de auxilio, ya que se debe mantener un nivel constante de humedad. La plántula germina entre 5 a 7 días. Una vez que unas 2 hojas se han extendido se las trasplanta en una bolsa o en un contenedor plástico. Luego del proceso de germinación se deja una sola plántula en cada bolsa o contenedor hasta que estas alcancen una altura entre 30 a 40 centímetros que dura aproximadamente 2 a 3 meses, luego se las coloca en un lugar definitivo. Unos 20 días previos al ser llevadas a su lugar definitivo, las plantas deben ser sacadas del vivero y colocarlas en condiciones de semisombra natural para endurecer el tallo y favorecer su adaptación a la luz solar. (Díaz, 2015)

La plantación por estacas consiste en obtener las estacas por medio de las ramas de las plantas adultas. Las ramas deben tener un diámetro mayor a 3 centímetros y que estén completamente sano. Las estacas se cortan de las ramas y estas deben tener una longitud entre 30 a 40 centímetros. Luego se las envuelven en papel periódico húmedo para evitar que se sequen, a continuación, se procede a espolvorearlas en la base, que consiste en humedecer unos 3 a 5 cm la parte inferior de la estaca, luego estas se las introduce en el enraizado hasta que quede sumergida la parte humedecida. Posteriormente se las entierra entre unos 10 a 15 cm en una bolsa. En unos 60 a 70 días posterior a su plantación, las estacas tendrás entre 1 a 3 brotes con muchas raíces lo que significa que están listas para ser ubicadas en un área definitiva. (Díaz, 2015)

1.3.1. Ventajas y desventajas del cultivo *Jatropha Curcas*

La utilización del aceite de *Jatropha Curcas* en la producción de biocombustibles son muchas a continuación se detallan algunas ventajas y desventajas:

1.3.1.1. Ventajas

- En la actualidad la *Jatropha Curcas* posee ventajas naturales y prácticas con respecto a otros cultivos agro-energéticos producidos. Sirve para la obtención de biocombustible, que puede ser empleado como sustituto del diésel y contribuye a la reducción de contaminantes. Además, de generar trabajo en países agrícolas debido a las grandes extensiones de tierra que se utilizará para su cultivo.
- La planta se utiliza para la conservación y la recuperación de tierras, así como valla viva para proteger los cultivos en los jardines y las áreas de riego de los daños del ganado.
- A nivel industrial durante la producción y elaboración se ha determinado que el aceite es menos contaminante en comparación a los combustibles fósiles empleados, debido a que este no contiene azufre disminuyendo así las emisiones tóxicas provenientes de este elemento.
- Contribuye a la reducción de las importaciones de derivados de petróleo y por ende a la disminución de recursos para el pago de subsidios.
- La obtención de biodiésel a partir de cultivos energéticos locales servirá como impulso económico para zonas agrícolas.
- Posee una gran resistencia a condiciones inapropiadas para el cultivo, haciendo ideal a esta planta para la producción de biodiésel en zonas en donde no existe productividad industrial debido a la dificultad de conseguir la materia prima, esto es un enorme beneficio al país y a los pobladores de esas zonas.
- La planta posee cualidades como: resistencia a condiciones climáticas, baja demanda de agua, resistencia a la sequía, alto contenido de aceite y proteínas, bajo costo de semilla, fácil propagación, corto período de gestación, crecimiento rápido, Adaptación a condiciones climáticas duras (resistencia), así como a condiciones agroclimáticas amplias, capacidad de

crecimiento en suelos erosionados, diferentes usos de las partes de las plantas y su potencial como fuente de energía. (Castro, 2016)

1.3.1.2. Desventajas

- Falta de asesoramiento de parte de los inversionistas o la parte investigativa hacia los agricultores, provocando que el cultivo vaya disminuyendo cada año, obteniendo gastos altos en mantenimiento, entre otros.
- La rentabilidad y productividad del cultivo no es segura debido a la falta de experiencia sobre el cultivo a escala comercial en el país.
- No existe un control ni manejo fitosanitario contra las enfermedades y plagas que afectan al cultivo de *Jatropha Curcas*.
- No es viable para países industrializados donde no depende de la agricultura su economía.
- Falta de información técnica específica, así como ningún otro estudio para producir biodiesel a gran escala o información pobre sobre el cultivo de *Jatropha Curcas* para producir biodiesel. Así como la falta de conocimientos sobre los costos de producción específicos.
- Duración de proyectos a corto plazo, obteniendo resultados incompletos y dudosos. (Castro, 2016)

1.3.2. Extracción del aceite

Investigaciones realizadas presentan dos procesos de extracción del aceite, tanto por solventes como mecánica siendo la extracción por solventes la óptima por su rendimiento.

En la literatura se reporta que la extracción por solventes con hexano produce mayor rendimiento que usando etanol o extracción mecánica. (C Brossard, 2010)

Se han realizado estudios técnicos con el objetivo de analizar tipos de prensas mecánicas que produzcan un mejor rendimiento, entre las cuales se concluye que las prensas de tipo expeller son las apropiadas para extraer este tipo de semilla, existen dos tipos de extractoras expeller de cilindro o filtro, el estudio realizado reporta que la extracción mediante los dos tipos de prensas tiene una eficiencia máxima de 89%. A pesar de ello un estudio elaborado por Fuels Agricultural in Communal Tecnology, señalo que el rendimiento es mayor para prensas tipo cilindro. (Karaj, 2009)

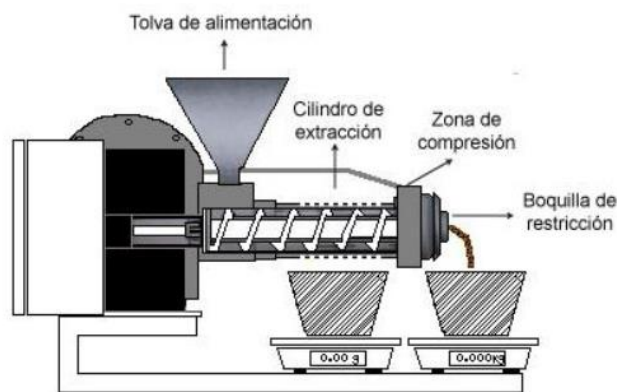


Figura 1.3.3 Extractora Expeller empleada en la extracción mecánica

Fuente: Karaj, 2009

1.4. Aceite de Jatropha Curcas

El aceite de esta semilla es una gran fuente de energía renovable con un bajo costo de procesamiento y de alta rendimiento. Sin embargo, este aceite contiene toxinas venenosas haciéndolas no aptas para el consumo humano y provoca irritación en la epidermis. Debido a su toxicidad la semilla molida se la mezcla con otros aceites como el aceite de palma para eliminar plagas de ratas. Las cascacas de Jatropha Curcas y las semillas se las utiliza como combustible. (Hernandez, 2013)



Figura 1.4 Aceite de Jatropha Curcas

1.4.1. Composición del aceite

La composición del aceite en primer lugar se basa en ácidos grasos saturados e insaturados, los cuales, tienen uno de los efectos más importantes en la producción de biodiesel. La composición de los aceites tanto comestibles como no comestibles se compara en la Tabla 1.4.1, en donde, los ácidos grasos saturados tales como palmítico y esteárico y ácidos grasos insaturados como linolénico, olénico, oleico y linoleico están presentes en los aceites comestibles y no comestibles. Los principales ácidos grasos tales como los ácidos linoleico, oleico, esteárico y palmítico se encuentran en el aceite de Jatropha Curcas.

Tabla 1.4.1 comparación entre Jatropha Curcas (%) con aceite comestible (Girasol), etc.

| Ácidos grasos | Aceite de Jatropha Curcas (%) | Aceite de girasol (%) | Aceite de neem (%) | Aceite de semilla de palma (%) |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|
| Palmítico | 14.2-15.2 | 4.8-6.4 | 14.9 | 7.0-11 |
| Esteárico | 6.3-6.9 | 2.9-5.7 | 20.6 | 2.0-6.0 |
| Oleico | 41.5-48.8 | 17.7-20.6 | 43.9 | 19.0-34.0 |
| Linoleico | 34.3-44.4 | 66.2-72.8 | 17.9 | 0.5-2.0 |
| Palmitoleico | 1.2-1.4 | 0.1-0.8 | 0.1 | - |
| Araquídico | <0.2 | 0.4-1 | 1.6 | - |
| Linolénico | <0.8 | 0.3-0.8 | 0.4 | 11.0-19.0 |
| cítrico y mirístico | <1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.26 | 14-18 |
| Láurico | - | <0.5 | - | 40-52 |

Fuente: <http://sci-hub.io/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000241>

El biodiesel producido a partir de ácidos linolénicos y oleico proporciona un bajo índice de cetano. Los ésteres alquílicos de ácidos grasos saturados afectan a algunos parámetros críticos, como el aumento del número de cetano, la estabilidad térmica, lenta velocidad de deterioro entre otros. Se ha encontrado que los ésteres alquílicos de ácidos grasos saturados aumentan los puntos de nube y los puntos de fluidez. Los ésteres alquílicos de ácidos grasos insaturados aumentan el rendimiento térmico, el punto de fusión y las emisiones de NOx.

Los ácidos grasos insaturados están relacionados con el bajo índice de cetano, lubricidad y en la estabilidad a la oxidación. De esta manera, la mejor calidad del biodiesel se produce a partir del aceite que contiene menor cantidad de ácidos grasos libres, poliinsaturados (principalmente linoleico), saturados, contenido de agua y una mayor cantidad de ácidos grasos monoinsaturados como palmitoleico o ácido oleico.

Así mismo, los aceites de girasol, soja y semillas de uva contienen mayores niveles de componentes insaturados. La producción de biodiesel también se ve afectada por el contenido de agua y los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Los ácidos grasos libres reducen el rendimiento y la calidad del biodiesel producido. Una mayor cantidad de ácidos grasos libres (41% p/p) en el aceite provoca la formación de jabón y disminuye la producción de biodiesel en presencia del catalizador alcalino. La calidad del aceite de semilla de *Jatropha Curcas* depende de la concentración de ácidos grasos, su longitud de cadena y enlaces.

El aceite de *Jatropha Curcas* contiene una cantidad mayor de ácidos grasos insaturados como el ácido linoleico que es menos favorable para la buena calidad de la producción de biodiesel. (Kumar, 2015)

1.4.2. Parámetros fisicoquímicos del aceite vegetal

1.4.2.1. Densidad y Viscosidad

La densidad junto con la viscosidad tiene gran importancia en el sistema de inyección en donde se realiza la atomización del carburante. Este determina si se produce una correcta combustión completa o no del carburante en el motor diésel. Esto influye en el incremento o disminución de emisiones de las partículas y en el comportamiento del motor como en su eficiencia. Es importante mencionar, que la viscosidad cinemática es alta, el aceite no podrá fluir a través del circuito. Para evitar este problema, el aceite debe ser calentado, esto permite un buen funcionamiento del motor con aceites vegetales. (Riba, 2010)

1.4.2.2. Índice de yodo

El índice de yodo influye en la estabilidad de las propiedades físicas a largo plazo, también se lo referencia con el almacenamiento e indica una medida del grado de insaturación del aceite. A mayores valores de índice de yodo, menor punto de fusión y menor resistencia a reacciones de oxidación. (Boatella, 2004)

1.4.2.3. Contaminación total

Este parámetro está influenciado con el proceso de filtración que fue sometido el aceite y con el método de prensado de las semillas. Por lo que este análisis posee un papel muy importante en la calidad del aceite. (Ruiz, 2010)

1.4.2.4. Índice de acidez

Se expresa como la cantidad en miligramos de KOH necesarios para neutralizar un gramo de aceite. (Herrera, 2003)

1.4.2.5. Estabilidad a la oxidación

La estabilidad a la oxidación determina el envejecimiento del aceite. Es una reacción química entre el aceite y el oxígeno acelerando el tiempo de vida útil del aceite, reduciéndose a la mitad por cada 10°C de incremento. (Trujillo, 2003)

1.4.2.6. Contenido de cenizas

El contenido de cenizas determina la cantidad de elementos inorgánicos como Ca, Na, K, entre otros presentes en el aceite. (Company, 2000).

1.4.2.7. Contenido de agua

El contenido de agua estimula la oxidación del aceite, generando una variación en su viscosidad y promueve la formación de espuma. El agua por hidrólisis provoca la formación de ácidos, como consecuencia aumenta el índice de acidez de este. El agua genera la herrumbre y provoca corrosión en superficies metálicas. (Ruiz, 2010)

1.4.2.8. Punto de fluidez

El punto de fluidez nos indica hasta que temperatura un líquido puede fluir. Dando un aproximado relativo del contenido de parafinas y aromáticos del aceite. A mayor punto de fluidez

mayor contenido de parafinas y menor contenido de aromáticos. (Gary, 1980)

1.4.2.9. Contenido de Fósforo

El fósforo presente en el aceite se encuentra como fosfolípidos. Y estos fosfolípidos reducen de manera significativa la estabilidad a la oxidación. Mediante procesos óptimos de prensado y filtrado el contenido de fósforo puede ser controlado. (Ruiz, 2010)

1.4.2.10. Contenido de calcio y magnesio

El calcio o magnesio en el aceite actúan como agente dispersante/detergente. Estos metales combaten el hollín, neutralizan la formación de ácidos debido a la humedad durante la combustión. El contenido de calcio y magnesio está relacionado con el contenido de cenizas. (Ruiz, 2010)

1.4.2.11. Índice de peróxido

El índice de peróxido expresado en miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, indica el grado de oxidación inicial del aceite, debido a las inapropiadas condiciones de almacenamiento y exposición a la luz. Los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite reaccionan con el oxígeno formando peróxidos e hidroperóxidos. A mayor valor de índice de peróxido indica que el aceite tiene menor capacidad como antioxidante. (Herrera, 2003)

1.4.2.12. Índice de refracción

El índice de refracción indica la pureza del aceite, este análisis se ve relacionado con el grado de saturación, con la razón de las posiciones Cis/Trans de los dobles enlaces y por la oxidación del aceite. (Herrera, Índice de refracción, 2003)

1.4.2.13. Poder Calorífico Inferior

Es la energía desprendida que proporciona 1 kg de combustible al reaccionar con una cantidad de oxígeno necesaria para producir CO₂ y vapor de agua. (Kates, 2003)

1.4.2.14. Índice de cetano

Una excelente calidad de ignición se da cuando los combustibles se auto encienden a bajas temperaturas y a ciertos parámetros en función al tipo de motor. A mayor índice de cetano, menor punto de auto ignición, o viceversa. (Kates, 2003)

1.5. Norma DIN 51605:2010 “Combustibles para motores de combustión compatibles con aceite vegetal”

Para la caracterización del aceite de la *Jatropha Curcas* se ha tomado como guía para realización de los métodos y o ensayos la norma alemana DIN 51605:2010 que es aplicable para combustibles de motores de combustión con aceite vegetal. Los métodos o ensayos detallados en la norma los debe cumplir cualquier aceite vegetal que sea compatible con el diésel.

Esta norma alemana no restringe el uso de aditivos para mejorar o adecuar la calidad del aceite sin afectar el rendimiento operativo o la

eficiencia en la eliminación de los gases de escape. De modo que la norma certifica que el arranque se lo debe realizar en frío.

Con relación a la calidad de ignición, no existen métodos adecuados para definir el número de cetano a nivel de laboratorio en motores de combustión interna. Actualmente, se utiliza el método de número de cetano derivado obteniéndose resultados óptimos en la capacidad de encendido del carburante, a pesar del resultado no ha sido adaptado para el carburante, por lo que no hay existencia de resultados precisos que valide este método. Por lo que es necesario desarrollar una metodología para aceites vegetales. Cabe recalcar, que nuestro trabajo se basa en empleo de aceite como materia prima para la elaboración de biodiesel, la determinación del número de cetano es considerada como referencial para futuros trabajos. (Norma-DIN-51605, 2010)

Tabla 1.5 Requisitos de aceite de colza para ser empleado como combustible

| Requisitos | Unidad | Mínimo | Máximo | Métodos de ensayo |
|-------------------------------|--------------------|--------|--------|--------------------------------------|
| Densidad a 15° C | kg/m ³ | 910 | 925,0 | DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185 |
| Punto de Inflamación | °C | 101 | -- | DIN EN ISO 2719 |
| Contenido de Agua | mg/kg | --- | 750 | DIN EN ISO 12937 |
| Viscosidad Cinemática a 40° C | mm ² /s | --- | 36,0 | DIN EN ISO 3104 |
| Contenido de Azufre | mg/kg | --- | 10 | DIN EN ISO 20884 DIN EN ISO 20846 |
| Índice de yodo | g yodo/100 g | --- | 125 | DIN EN 14111 |
| Poder Calorífico | MJ/kg | 36,0 | --- | DIN 51900-1,2 DIN 51900-1,3 |
| Suma de contenido de Ca y Mg | mg/kg | --- | 20 | DIN EN 14538 DIN 51627-6 |
| Estabilidad a la oxidación | h | 6 | --- | DIN EN 14112 |
| Calidad de ignición | --- | 40 | | DIN EN 15195 |
| Contenido de fósforo | mg/kg | --- | 3 | DIN 51627-6 |
| Contenido de Calcio | mg/kg | --- | 1 | DIN 51627-6 |
| Contenido de Magnesio | mg/kg | -- | 1 | DIN 51627-6 |
| Número de acidez | mg KOH/g | --- | 2 | DIN EN 14104 |

- 1.- El aspecto visual que ya ha sido descrito en su informe se ha convertido en un parámetro oficial de la norma
- 2.- El rango de densidad se ajustó más cerca de los valores de colza
- 3.- La unidad de valor calorífico se cambió de kJ/kg a MJ/kg
- 4.- Se canceló un límite inferior para el número de yodo
- 5.- El límite para el punto de inflamación se redujo de 220 a 101°C. Esto abre la posibilidad de añadir aditivos permitidos, por ejemplo, para la ignición
- 6.- El límite de inflamabilidad se aumentó de 39 a 40. El ensayo de ignición se realiza ahora como el procedimiento de volumen constante de acuerdo con la norma DIN EN 15195
- 7.- La precisión de la determinación de la contaminación total es insuficiente. Por lo que se fijó en una nota a pie de página que este parámetro no es aplicable en caso de litigio. Un grupo de trabajo del CEN está tratando de desarrollar un procedimiento más adecuado.
- 8.- A partir del 01.01.2012 habrá límites más bajos para el contenido de fósforo, calcio y magnesio

Fuente: Norma DIN 51605,2010

1.6. Refinación del aceite de *Jatropha Curcas*

El aceite crudo extraído de forma mecánica, de acuerdo con su almacenamiento y extracción, así como también de la recolección y secado de las semillas conlleva a un aceite crudo no adecuado, por ende, generalmente se realiza el refinado químico del aceite que consiste básicamente en los siguientes procesos: filtrado, desgomado y el neutralizado.

Generalmente los aceites extraídos a partir de semillas contienen fosfátidos, la presencia de estos provoca inconvenientes en el aceite entre los cuales está la dificultad de conservación, creación de espumas al calentar el aceite y precipitaciones en tanques de almacenamiento.

El refinado químico conlleva al desplazamiento de fosfolípidos y ácidos grasos libres del aceite crudo. Sin este refinamiento, los aceites se alteran con mayor facilidad y adquieren sabores y olores desagradables.

1.6.1. Desgomado

La etapa del desgomado consiste en el calentamiento del aceite seguido de la adición de ácido fosfórico, separando las gomas a través de una centrifugación. El objetivo de este proceso es la eliminación de los fosfolípidos y glicolípidos que se extraen de las semillas disueltas con el aceite. En los tanques de almacenamiento existe una mayor susceptibilidad a la oxidación y formación de espumas durante el calentamiento del aceite. De este proceso se obtiene como subproductos fosfolípidos hidratables y no hidratables que formaban parte del aceite crudo.

1.6.2. Neutralización

La etapa del neutralizado de los aceites consiste en saponificar los ácidos grasos libres mediante una solución de hidróxido de sodio o potasio con temperatura y a través del proceso de centrifugación se precipitan los jabones. Posteriormente se separan los jabones mediante la decantación obteniendo el aceite neutralizado.

1.6.3. Lavado

Para conseguir un aceite libre de jabones de manera general se realiza un lavado con agua caliente, debido a que los jabones son ligeramente solubles en los aceites neutros, previamente el aceite se somete a calentamiento.

1.6.4. Secado

El proceso de secado se realiza para eliminar el contenido de humedad en el aceite refinado. (Lafargue, 2012)

1.6.5. Blanqueado

La etapa de blanqueo con tierras minerales naturales se realiza para adsorción o eliminación de los pigmentos y para aislar los hidroperóxidos contenidos en el aceite. (Arroyo, 2000)

1.7. Biodiesel

El biodiesel se ha vuelto en una fuente significativa de biocombustible porque posee propiedades fisicoquímicas y de combustibles similares a las del diésel fósil convencional. El biodiesel se lo puede obtener a partir de diversas fuentes naturales, especialmente de los aceites vegetales y animales. En general, los aceites o grasas, se los conoce también como triglicéridos, se los utilizan para producir biodiesel haciendo reaccionar los triglicéridos con metanol o etanol se conoce el proceso como transesterificación a través de un catalizador adecuado. El biodiesel está compuesto esencialmente de éster metílico.

La utilización de *Jatropha Curcas* como materia prima de segunda generación para la obtención de combustible, comenzó en la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad el cultivo de la semilla para la producción de biocombustible es una alternativa apropiada gracias a su resistencia a las sequías, crecimiento acelerado, propagación factible y su elevado contenido de aceite presente en la semilla. (Akbar, 2009)

La transesterificación abarca un proceso utilizando catalizadores homogéneos o heterogéneos. Entre los catalizadores homogéneos se conoce el ácido trifluoroacético, el ácido sulfúrico, el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio. Sin embargo, la eliminación de estos catalizadores es difícil, lo que requiere una larga separación de fases y la producción de una gran cantidad de aguas residuales. Este problema difiere en los catalizadores base heterogénea, donde la separación del catalizador puede ser filtrada y reutilizada para varios ciclos de

producción. Además, las ventajas del uso de catalizadores de base sólida incluyen menos formación de jabón que conduce a una fácil purificación del producto, sin corrosividad, posibilidad de ser utilizado a bajas temperaturas y presiones elevadas, y capacidad para diseñar una mayor actividad, mayor selectividad y mayor vida útil del catalizador. (Sudsakorn, 2017)

A continuación, como información referencial se muestra la norma que detalla los requisitos de biodiesel para motores de ciclo diésel.

Tabla 1.7 Requisitos del biodiesel

| Requisitos | Unidad | Mínimo | Máximo | Métodos de |
|--|--------------------|-----------------------------|--------|-------------|
| Densidad a 15° C | kg/m ³ | 860 | 900 | ASTM D 1298 |
| Punto de Inflamación | °C | 120 | -- | ASTM D 93 |
| Punto de Turbidez | °C | Reportar¹ | | |
| Agua y sedimento | % | --- | 0,05 | ASTM D 1796 |
| Contenido de Agua | mg/kg | --- | 500 | ASTM D 95 |
| Viscosidad Cinemática a 40° C | mm ² /S | 3,5 | 5 | ASTM D 445 |
| Cenizas Sulfatadas | % (m/m) | --- | 0,02 | ASTM D 874 |
| Contenido de Azufre | mg/kg | --- | 10 | ASTM D 1552 |
| W Carbón Residual 2 | % | --- | 0,05 | ASTM D 4530 |
| Corrosión lámina de cobre | Clasificación | --- | 3 | ASTM D 130 |
| Número de cetano | - | 49 | --- | ASTM D 613 |
| Temperatura de destilación al 90% Recuperado | °C | --- | 360 | ASTM D 1160 |
| W Glicerina libre | % | -- | 0,02 | ASTM D 6584 |
| W Glicerina total | % | -- | 0,25 | ASTM D 6584 |
| W contenido de ésteres | % | 96,5 | -- | EN 14103 |
| Índice de yodo | g yodo/100 g | --- | 120 | EN 14111 |
| W Contenido de metanol | % | -- | 0,20 | ASTM D 4815 |
| Contenido de fósforo | mg/kg | --- | 10 | ASTM D 4951 |
| Contenido de metales alcalinos (Na + K) | mg/kg | --- | 5 | EN 14108 |
| Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg) | mg/kg | -- | 5 | EN 14538 |
| Número de acidez | mg KOH/g | --- | 0,5 | ASTM D 664 |
| ¹ El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diésel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla ² Debe ser determinado en el 100% de la muestra | | | | |

Fuente: NTE INEN 2482:2009

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de caracterización del aceite

Nuestro trabajo se centra en determinar las características del aceite crudo extraído antes del proceso de obtención del biocombustible, para identificar los pretratamientos requeridos. Se presenta la metodología empleada con la norma aplicada y los resultados de la caracterización del aceite de *Jatropha Curcas* obtenido mediante el proceso de extracción mecánica, a su vez la caracterización del aceite refinado.

A continuación, se presenta la tabla de las propiedades determinadas del aceite de *Jatropha Curcas* con la respectiva norma empleada para su determinación.

Tabla 2.1 Normas aplicadas en la metodología

| Propiedades | Norma empleada |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Densidad | NTE INEN 2903:2015 |
| Viscosidad | ASTM D445 |
| Contenido de humedad | ISO 662:2013 |
| Poder calorífico | DIN 51900 |
| Punto de inflamación | ASTM D92 |
| Índice y contenido de acidez | NTE INEN-ISO 660:2013 |
| Índice de refracción | NTE INEN-ISO 6320:2013 |
| Índice de Peróxido | NTE INEN-ISO 3960:2013 |
| Contenido de yodo | NTE INEN-ISO 3961:2013 |
| Punto de fluidez | ASTM D97 |
| Calidad de ignición | ASTM D86 (calculado T ₅₀) |
| Contaminación total | ISO 663 |
| Contenido de cenizas | NTE INEN 1492:1986 |
| Contenido de fósforo | ASTM D6481 |
| Contenido de calcio | ASTM D6481 |
| Contenido de magnesio | ASTM D6481 |
| Color | ASTM 1500 |
| Estabilidad a la oxidación | ASTM 2274 |

2.2 Caracterización del aceite crudo

A continuación, se detalla brevemente el método aplicado para la determinación de cada parámetro, la mayoría de las pruebas fueron desarrolladas en el laboratorio de hidrocarburos de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas ubicado en el departamento de Ingeniería Química.

2.2.1 Determinación de densidad

Se realizó la medición de la densidad mediante el método del hidrómetro descrito en la norma NTE INEN 2903:2015 o también la norma ASTM D 891. Los pasos empleados se detallan a continuación:

- Llenar una probeta con la muestra a una profundidad mayor que la longitud del hidrómetro.
- Ajustar la temperatura de la muestra (25°C)
- Colocar el hidrómetro en el líquido, girando con cuidado.
- Leer la densidad en el punto donde el menisco cruza el tallo del hidrómetro.



Figura 2.1.1 Determinación de la densidad

2.2.2 Determinación de viscosidad cinemática

La determinación de la viscosidad se realiza mediante la medición del tiempo en que un volumen de aceite fluye bajo efecto de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio, en este caso se llevó a cabo el procedimiento a 40°C.



Figura 2.1.2 Viscosímetro Kochler

2.2.3 Determinación de contenido de humedad

Para determinar la humedad se utilizó 50 ml de aceite y 50 ml de tolueno en un tubo para centrifuga, repetir ese paso para un segundo tubo; luego se procede a centrifugar a 140 °F y 500 a 800 rpm, se registra el valor del volumen de agua y se vuelve a centrifugar hasta que el volumen de agua no varíe, por último, se suman los dos volúmenes de agua de cada tubo y se expresa en %.



Figura 2.1.3 Determinación de humedad

2.2.4 Determinación del poder calorífico

Se empleó la bomba calorimétrica C-200, con oxígeno extra seco a 30 bar como gas de combustión. Para la determinación del poder calorífico se empleó 1,0 g muestra aproximadamente como se describe en la norma ASTM 240.



Figura 2.1.4 Determinación de poder calorífico

2.2.5 Determinación del punto de inflamación copa abierta

Se procede a limpiar previamente la copa antes de utilizar el equipo Cleveland, se introduce la muestra de aceite en la copa hasta la línea marcada se coloca la copa con la muestra sobre la placa de calentamiento y se ubica el termómetro a la altura adecuada luego se procede a encender el mechero, finalmente se ajusta el tamaño de la llama a un diámetro aproximado de 3,2 a 4,8 mm, mientras se calienta la copa, flameando la llama de ensayo por encima de ésta con un movimiento uniforme y continuo. Registrar como punto de inflamación la temperatura que se lee en el termómetro en el momento en que se observa una llamarada fugaz en cualquier punto de la superficie de la muestra.

Adicionalmente se determinó el punto de inflamación mediante copa cerrada como método de comprobación de resultados.



Figura 2.1.5 Determinación de punto de inflamación

2.2.6 Determinación del índice acidez

Dependiendo del valor esperado de índice de acidez, se pesa la cantidad de aceite. En este caso se empleó 10 g de aceite crudo en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Añadir entre 50 ml y 100 ml de etanol, tras la adición de un indicador, se tituló con una solución de KOH. El punto de equivalencia de la titulación se alcanza cuando la adición de una gota produce un cambio de color ligero que permanece durante 15 segundos.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{56,1 * N_{KOH} * V_{consumido}}{\text{peso de muestra}} \quad (2.1)$$

$$\text{Acidez} = \frac{100 * N_{KOH} * V_{consumido} * M}{\text{peso de muestra} * 1000} \quad (2.2)$$

M: masa molar del ácido escogido de acuerdo con la composición del aceite.

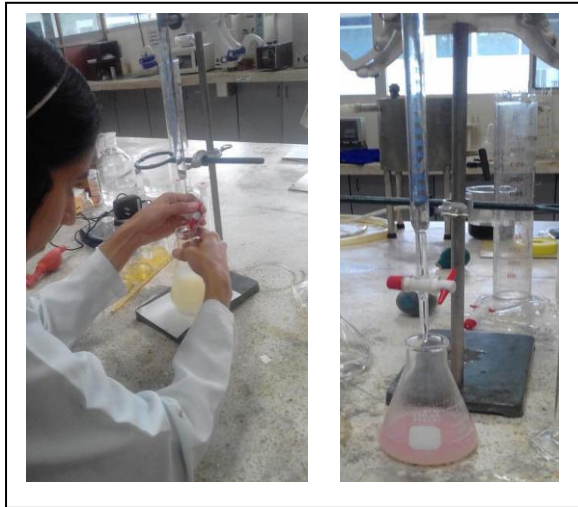


Figura 2.1.6 Determinación de acidez

2.2.7 Determinación del índice de refracción

Se determinó el índice de refracción mediante un refractómetro, previo a medición se debe limpiar el prisma del refractómetro con éter de petróleo, tolueno o acetona.



Figura 2.1.7 Refractómetro Baush Lomb Rango (1.3330-1.5041)

2.2.8 Determinación del contenido de yodo

Se empleó una muestra de 0,15 g de aceite (solo para muestras con contenido de yodo de 80-130), a la cual, se le agrega 15 ml de

cloroformo y 25 ml de solución de wijs, adicionalmente la mezcla se coloca en un lugar oscuro por 30 min, luego se agrega 20 ml de ioduro de potasio al 10% y por último se añaden 150 ml de agua destilada, agitándola por 1 min. Seguidamente se agrega indicador de almidón al 1%, finalmente se procede a titular con tiosulfato de sodio 0.1 N.

$$\text{Contenido de yodo} = \frac{12.69 * N_{\text{Tiosulfato}} * (V_{\text{consumido blanco}} - V_{\text{consumido muestra}})}{\text{peso de muestra}} \quad (2.3)$$



Figura 2.1.8 Determinación de contenido de yodo

2.2.9 Determinación del punto de fluidez

Se introduce la muestra en un tubo de ensayo hasta una altura aproximada de 5 cm; colocar el termómetro insertado en el tapón considerando que ingrese en la parte media de la muestra, el tubo con muestra debe permanecer dentro en un vaso de 250 ml que contiene acetona que llegue al nivel de la muestra. Luego se añade trocitos de hielo seco a la acetona para que la temperatura de la muestra descienda. Por último, se observa cada 3 grados de descenso de temperatura, la fluidez de la muestra y se registra la temperatura a la cual, deja de “moverse” el líquido; es decir, al inclinarlo no se observa movimiento en su superficie.



Figura 2.1.9 Determinación del punto de fluidez

2.2.10 Determinación de índice de cetano

La calidad de ignición o número de cetano se determinó mediante la fórmula que se muestra, en la cual interviene la temperatura al 50% de la destilación ASTM y la gravedad específica.

$$CCI = 454,74 - 1641,416(SG) + 774,74(SG)^2 - 0,554 T_{50} + 97,083(Log_{10}T_{50})^2 \quad (2.4)$$



Figura 2.1.10 Determinación de calidad de ignición

2.2.11 Determinación de contaminación total

Se colocó 20 g de muestra de aceite en un matraz de 250ml agregando 200 ml de éter de petróleo o hexano, previamente se secó a 103°C el papel filtro (para partículas de tamaño superior a 2.5 μm). Posterior a una hora se pesó el papel filtro seco y se filtró la mezcla, empleado la bomba al vacío, por último, se deja evaporar completamente el papel filtro y se lo somete a 103 °C mediante 1 hora luego se lo coloca en el desecador y se lo pesa.

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_0} * 100 \quad (2.5)$$

m_0 : masa del aceite

m_1 : masa del papel seco antes del filtrado

m_2 : masa del papel seco despues del filtrado



Figura 2.1.11 Determinación de contaminación total

2.2.12 Determinación de contenido de cenizas

En primer lugar, se somete al crisol de porcelana a una temperatura de 775°C por 10 min o más; dejarlo enfriar en el desecador y pesarlo con la aproximación al 0,1 mg.

Seguidamente se procede a colocar 3/4 de muestra en el crisol, se somete a un mechero hasta que se inflame y se consuma la muestra luego se ubica el crisol en la mufla durante 3 horas a 775°C.

Finalmente se retira el crisol y se dejar enfriar en el desecador para su posterior medición.

$$\%cenizas = \frac{m_2 - m_1}{m_{muestra}} * 100 \quad (2.6)$$

m_1 : Peso del crisol seco

m_2 : Peso del crisol con muestra luego de calcinación.



Figura 2.1.11 Determinación de contenido de cenizas

2.2.13 Determinación de contenido de calcio, magnesio y fosforo

Para la determinación de contenido de metales se empleó un espectrómetro (Spectroil M), con las especificaciones mencionadas en la norma ASTM D6595.

2.2.14 Índice de Peróxido

Se pesó la cantidad de aceite de acuerdo al valor esperado de peróxido (2-5 g), a la cual se agrega 10 ml de cloroformo, 15 ml de ácido acético glacial y 1 ml de yoduro de potasio (0,6 g en 1 ml), luego se agita por un minuto, adicionalmente se coloca la mezcla en reposo por cinco minutos en la oscuridad, por último se añaden 75 ml de agua destilada, seguidamente se agrega indicador de almidón al 1%, finalmente se procede a titular con tiosulfato de sodio 0.1 N.

$$Indice\ de\ peroxido = \frac{1000 * N_{Tiosulfato} * V_{consumido}}{peso\ de\ muestra} \quad (2.7)$$



Figura 2.1.11 Determinación de Peróxido

2.2.15 Color ASTM

Se empleó un colorímetro para la determinación del color del aceite, mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM D1500.



Figura 2.1.15 Determinación del Colorímetro

2.3 Desarrollo del refinado químico del aceite crudo

Se llevó a cabo el refinado químico del aceite crudo de acuerdo con la metodología seleccionada en el marco teórico, esencialmente para reducir los ácidos grasos libres y contenido de metales presente en el aceite crudo.

2.3.1 Filtrado

El proceso de filtrado del aceite crudo se lleva a cabo mediante lana de vidrio en un embudo para eliminar los residuos en suspensión de la semilla o partículas extrañas, adicionalmente se filtró el aceite con papel filtro para asegurar un aceite más limpio.



Figura 2.2.1 Filtrado de aceite crudo con lana de vidrio y papel filtro

2.3.2 Desgomado

En la etapa de desgomado se utilizó ácido cítrico al 50% para eliminar los fosfolípidos fácilmente hidratables como la lecitina; y para hidratar los fosfolípidos no hidratables (ciertas sales de calcio y magnesio). Se lo realizó en una centrifugación a una temperatura entre 70 a 75 °C por 30 minutos a 1500 rpm, obteniéndose unas gomas que son separadas al filtrar el aceite.



Figura 2.2.2 Etapa del desgomado

2.3.3 Neutralización

El aceite luego de ser desgomado se lo neutralizó con una solución de NaOH. Este proceso neutraliza los ácidos grasos libres y el exceso de ácido utilizado en la etapa de desgomado, lo que produce la conversión de los ácidos en jabones, que se eliminan fácilmente mediante un proceso de decantación o por la fuerza centrífuga. Este proceso se lo realizó agregando al aceite una solución de NaOH 2.38 M a una temperatura entre 70 a 70°C y se lo sometió a centrifugación por 30 minutos a 1500 rpm. Finalmente, el jabón obtenido se lo separa mediante una decantación.



Figura 2.2.3 Etapa del neutralizado

2.3.4 Lavado

Es recomendable un lavado del aceite neutralizado con agua destilada a 95°C mediante la centrifugación para eliminar los jabones ligeramente solubles al aceite y finalmente se realiza un calentamiento del aceite neutralizado a 100°C para asegurarse del eliminar el agua presente en el aceite, el proceso de lavado se realizó en 2 etapas para asegurar la eliminación completa de jabones.

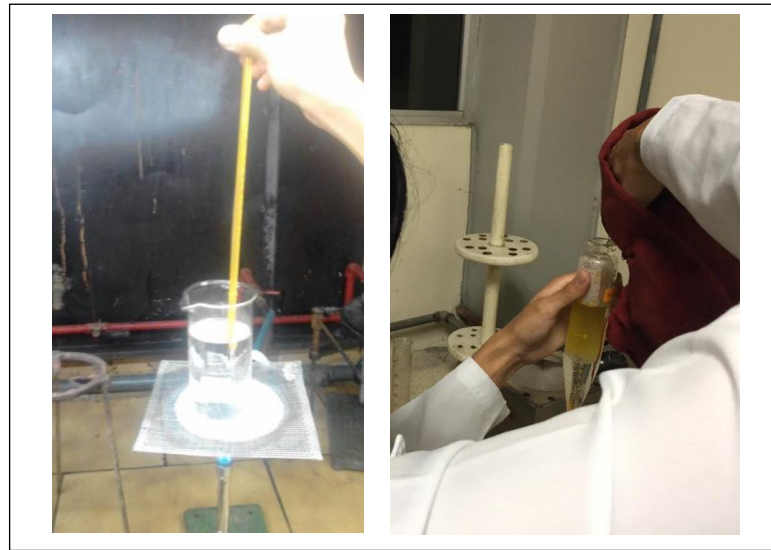


Figura 2.2.4 Etapa del lavado con agua caliente

2.3.5 Blanqueado

El aceite neutralizado se blanqueó utilizando diatomea al 2% (tierra filtrante). El aceite y la tierra se agitan, a temperaturas máximas de 70°C. Este proceso consiste en un contacto fisicoquímico entre la tierra y el aceite con el objetivo de mejorar su calidad, además de reducir el contenido de algunos contaminantes presentes en el aceite, tales como fosfátidos residuales, partículas metálicas, jabones, fosfolípidos, clorofilas, carotenos, productos de oxidación, pro-oxidantes y pigmentos responsables del color original del aceite.



Figura 2.2.5 Etapa del Blanqueado



Figura 2.2.6 Aceite crudo y refinado

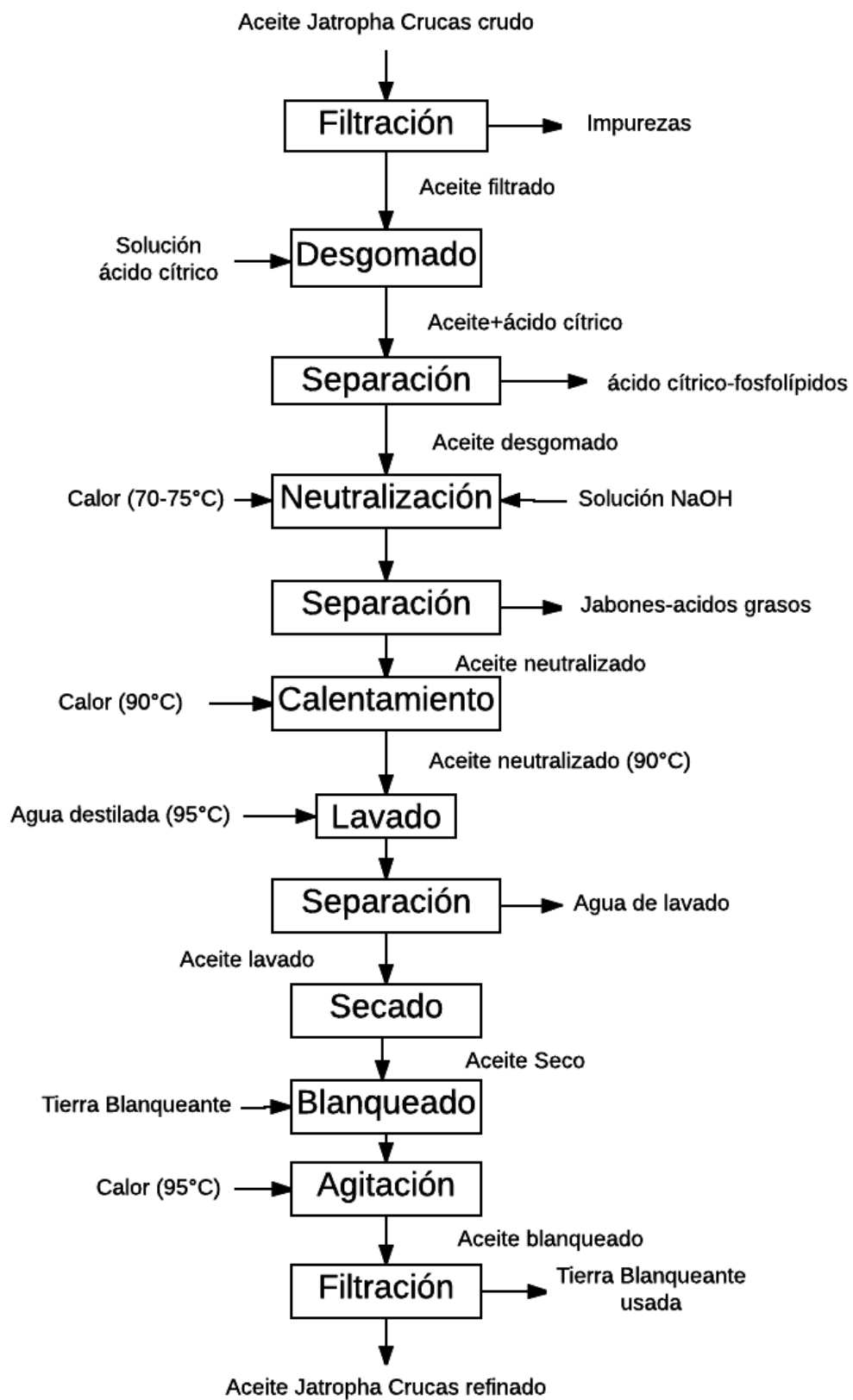


Figura 2.2 Esquema de etapas del refinado químico del aceite de Jatropha Curcas

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3

3. Resultados

3.1 Resultados

Todas las pruebas fueron realizadas por triplicado en la tabla 4.1 se muestran los parámetros determinados que tuvieron variación en cada ensayo.

Tabla 3.1.1 Caracterización de aceite crudo

| Propiedades | Resultado | Promedio | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|---|-----------|----------|---------------------|-------------------------------|
| Viscosidad cinemática [40°C] (mm ² /s) | 33,65 | 33,65 | 0,05 | 0,15 |
| | 33,70 | | | |
| | 33,60 | | | |
| Poder calorífico (kJ/kg) | 38213 | 38258 | 70,63 | 0,18 |
| | 38221 | | | |
| | 38339 | | | |
| Índice de acidez (mg KOH/g aceite) | 6,632 | 6,635 | 0,004 | 0,066 |
| | 6,641 | | | |
| | 6,633 | | | |
| Índice de Peróxido (meq O ₂ /kg aceite) | 7,953 | 7,957 | 0,004 | 0,050 |
| | 7,961 | | | |
| | 7,957 | | | |
| Índice de refracción | 1,4695 | 1,4697 | 0,0003 | 0,019 |
| | 1,4700 | | | |
| | 1,4695 | | | |
| Acidez (%) | 3,334 | 3,335 | 0,002 | 0,052 |
| | 3,337 | | | |
| | 3,334 | | | |
| Contenido de yodo (mg yodo/100 g aceite) | 97,42 | 97,4 | 0,08 | 0,08 |
| | 97,31 | | | |
| | 97,47 | | | |
| Calidad de ignición | 22,44 | 22,41 | 0,03 | 0,12 |
| | 22,39 | | | |

| | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 22,40 | | | |
| | 3,7802 | | | |
| Contaminación total (%) | 3,7791 | 3,7802 | 0,0011 | 0,0278 |
| | 3,7812 | | | |
| | 0,0179 | | | |
| Contenido de cenizas (%) | 0,0175 | 0,0178 | 0,0003 | 1,6879 |
| | 0,0181 | | | |

Tabla 3.1.2 Caracterización del aceite refinado

| Propiedades | Resultado | Promedio | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|---|-----------|----------|---------------------|-------------------------------|
| Viscosidad cinemática [40°C] (mm ² /s) | 33,10 | | | |
| | 33,30 | 33,2 | 0,1 | 0,3 |
| | 33,21 | | | |
| Poder calorífico (kJ/kg) | 38087 | | | |
| | 38097 | 38097 | 10,00 | 0,02 |
| | 38107 | | | |
| Punto de inflamación (°C) | 275 | | | |
| | 278 | 277 | 1,53 | 0,55 |
| | 277 | | | |
| Índice de acidez (mg KOH/g aceite) | 0,605 | | | |
| | 0,607 | 0,606 | 0,001 | 0,165 |
| | 0,606 | | | |
| Índice de Peróxido (meq O ₂ /kg aceite) | 6,864 | | | |
| | 6,863 | 6,863 | 0,001 | 0,008 |
| | 6,863 | | | |
| Acidez (%) | 0,304 | | | |
| | 0,305 | 0,305 | 0,001 | 0,189 |
| | 0,305 | | | |
| Calidad de Ignición | 32,36 | | | |
| | 32,33 | 32,36 | 0,04 | 0,11 |
| | 32,40 | | | |
| Contaminación total (%) | 0,5300 | | | |
| | 0,5290 | 0,5295 | 0,0005 | 0,0944 |
| | 0,5295 | | | |
| Contenido de cenizas (%) | 0,0170 | | | |
| | 0,0175 | 0,0174 | 0,0003 | 1,8264 |
| | 0,0176 | | | |

Los principales parámetros de la calidad del aceite crudo y refinado determinados se muestran en la tabla 4.1 junto a los requisitos definidos en la norma alemana DIN 51605 como referencia.

Tabla 3.1.3 Resultados de aceite crudo y refinado en comparación con la norma DIN 51605

| Propiedades | Aceite crudo | Aceite Refinado | DIN 51605 |
|--|-------------------------|----------------------------|------------------|
| Densidad (g/cm ³) (25°C) | 0,911 | 0,909 | 0,925 |
| Viscosidad cinemática [40°C] (mm ² /s) | 33,65 | 33,20 | 36,00 |
| Contenido de agua (%) | <0,05 | <0,05 | 0,075 max* |
| Poder calorífico (kJ/kg) | 38258 | 38097 | 36000 |
| Punto de inflamación (°C) | 265 | 277 | 101 min* |
| Índice de acidez (mg KOH/g aceite) | 6,635 | 0,606 | 2 max* |
| Índice de Peróxido (meq O ₂ /kg aceite) | 7,957 | 6,863 | - |
| Índice de refracción | 1,4696 | 1,4690 | 1.4695 |
| Acidez (%) | 3,335 | 0,305 | - |
| Contenido de yodo (mg yodo/100 g aceite) | 97,40 | - | 125 max* |
| Punto de fluidez (°C) | -6 | -7 | - |
| Calidad de ignición | 22,41 | 32,36 | 40 min* |
| Contaminación total (%) | 3,7802 | 0,5295 | 24 max* |
| Estabilidad a la oxidación (110°C) | 3min-25°C | - | 6h |
| Contenido de cenizas (%) | 0,0178 | 0,0174 | - |
| Contenido de fosforo (mg/kg) | 42 | - | 3 |
| Contenido de calcio (mg/kg) | 13 | - | 1 |
| Contenido de magnesio (mg/kg) | 14 | - | 1 |

Tabla 3.1.4 Corridas de refinación del aceite crudo

| Refinación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| Volumen aceite crudo (ml) | 150 | 100 | 150 | 100 | 150 | 150 | 150 | Promedio |
| Volumen aceite refinado (ml) | 90 | 60 | 92 | 61 | 92 | 90 | 91,5 | |
| Rendimiento (%) | 60 | 60 | 61,3 | 61 | 61,3 | 60 | 61 | 60,66 |

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Los principales parámetros de calidad evaluados del aceite crudo se encuentran dentro de las especificaciones de la norma Alemana DIN V51605 que deben cumplir los aceites para su uso como materia prima para obtención de biodiesel, tales como la densidad, viscosidad cinemática, poder calorífico, contenido de agua, punto de inflamación, índice de refracción, contaminación total y contenido de yodo, sin embargo el índice de acidez y el contenido de metales se encuentran elevados como se muestra en la tabla 4.1.3

A través de los coeficientes de variación determinados para los respectivos parámetros del aceite crudo y refinado y sus respectivas variaciones estándar, se puede evidenciar que la distribución de la variable medida es análoga y que la dispersión entre los datos y el valor promedio es baja por lo que se puede decir que la metodología empleada es adecuada para la caracterización del aceite.

4.1.1 Refinación química del aceite

Una vez realizada la determinación de los parámetros del aceite crudo se observó que los parámetros como el índice de acidez y contenido de metales sobrepasan los límites que especifican la norma DIN V51605 por lo que se llevó a cabo la refinación del aceite crudo, obteniendo una disminución importante de ácidos grasos libres y peróxidos, lo conlleva afirmar que el proceso seleccionado para el refinado químico es adecuado para este tipo de aceite.

La etapa de desgomado, neutralización y lavado se realizó a 1500rpm sin embargo según la referencia se recomienda a 4000 rpm, en este caso se realizó la centrifugación por más de 30 minutos para lograr un buen refinado. A pesar de esta dificultad se observan gomas residuales en el proceso de desgomado de la misma manera se logra saponificar los ácidos grasos libres contenidos en el aceite en la etapa de la neutralización mediante la adición de hidróxido de sodio.

Así mismo, en la etapa de lavado en el proceso de refinación es necesario realizar 2 etapas, ya que en el primer lavado se sigue observando presencia de jabones en mínima cantidad.

El aceite crudo presenta una pigmentación no tan alta, sin embargo, se realizó el proceso de blanqueado para eliminar agentes oxidantes, gomas residuales e impurezas que presenta el aceite lavado.

El proceso de refinación química a nivel de laboratorio presenta un rendimiento medio de 60,66%. Este resultado se deriva por las diferentes pérdidas de aceite que se dan en cada una de las etapas, principalmente en las etapas donde se realiza filtración tales como el desgomado y blanqueado del aceite. Por lo que se recomienda adecuar un sistema de filtración para minimizar pérdidas en dichas etapas.

4.1.2 Contenido de agua

El contenido de humedad obtenido fue menor al 0,05% estando dentro de las especificaciones de la norma como se observa en la tabla 4.1, sin embargo, el porcentaje del contenido agua puede influenciar en la determinación de algunos de los parámetros como el punto de inflamación y número de cetano. Es importante mencionar, que la selección de semillas no es la apropiada para la caracterización de la extracción del aceite crudo por su alto grado de dispersión

morfológica. Finalmente, otro factor es la falta de operaciones que requiere la semilla antes de la extracción como el secado y almacenamiento adecuado.

4.1.3 Índice de acidez

El aceite crudo presenta un índice de acidez de 6,63 mg KOH/g aceite como se observa en la tabla 4.1.3 este parámetro no cumple con la norma pues presenta un contenido elevado de ácidos grasos libres lo que podría reducir el rendimiento de del biodiesel, ya que la presencia de sodio o potasio en la transesterificación proporcionaría la creación de jabones. Una de las posibles causas del elevado índice de acidez es la recolección y secado de las semillas previo a su extracción, así como también a la extracción o almacenamiento del aceite. Por consiguiente, se procedió a determinar el índice de acidez para el aceite refinado obteniendo 0,6064 mg KOH/g, el cual es un valor de ácidos grasos adecuado para la obtención de biodiesel.

Por otro lado, se realizó análisis del índice de acidez del crudo en función del tiempo de extracción donde se evidencia el aumento del contenido de ácidos grasos debido a la oxidación de los compuestos de fosforo y esto se pudo apreciar en el proceso de desgomado apreciando un mínimo contenido de gomas conforme pasa el tiempo.

4.1.4 Contenido de Ca, Mg, P y estabilidad a la oxidación

Como se observa en la tabla 4.1 el contenido de fosforo, calcio y magnesio es elevado en comparación a las especificaciones de la norma siendo el fósforo de 42 mg/kg de aceite el de mayor por ciento y eso está reflejado en el alto contenido de acidez que posee el aceite. Una de las posibles razones es que el terreno donde se cultiva la semilla posea gran contenido de nutrientes. Durante el análisis de estabilidad a la oxidación, el aceite no alcanzo los parámetros de

presión y temperatura establecidos por el equipo, que son 700 kPa y 240°C, volviéndose inestable al alcanzar 211 kPa a 25 °C, este resultado lo puede corroborar el alto índice de peróxido, obteniéndose un aceite oxidado, rancio al poco tiempo de ser extraído.

4.1.5 Punto de inflamación

El aceite crudo presenta un punto de inflamación de 265°C y el aceite refinado 277°C por lo que indica que el aceite es poco volátil lo cual es favorable para su almacenamiento y seguridad.

4.1.6 Contenido de yodo

El contenido de yodo presente en el aceite crudo fue de 97,40 mg yodo/ g aceite siendo este valor de yodo inferior al máximo valor que especifica la norma por lo que no se vio necesaria la determinación de dicho parámetro en el aceite refinado ya que no se tenían los recursos necesarios.

4.1.7 Contaminación total

El aceite presenta una contaminación total de 3,7802% mientras que el aceite refinado 0,5295% a pesar de obtener una contaminación mínima se observa una diferencia significativa entre el aceite crudo y refinado por lo que el proceso de refinado empleado es el adecuado, cabe mencionar que se realizó una filtración del aceite crudo previo a analizar por la cantidad de sedimentos presentes en el mismo, es recomendable filtrar el aceite y así evitar posibles taponamientos en el motor.

4.1.8 Número de cetano

El número de cetano representa el tiempo de respuesta de ignición del aceite, se observa que para el aceite crudo presenta una calidad de ignición baja (22,41), por otro lado, en el refinado incremento (32,36), sin embargo, para que exista una buena calidad de combustión en el motor el número de cetano debe ser mínimo 40.

4.1.9 Contenido de cenizas

Con el resultado del contenido de cenizas ya se para el crudo o refinado se obtiene valores mínimos de 1,77% y 0,02% respectivamente.

4.1.10 Índice de peróxidos

Como se puede observar en la tabla 4.1.3, el aceite crudo y refinado presenta valores de índice de peróxidos de 7,9592 y 6,8636 respectivamente. El aceite crudo presenta un valor de índice de peróxido 7,9592 debido a las malas condiciones de almacenamiento, al poco tiempo de estar expuesto a la luz este se oxida, de tal manera que, aumenta su índice de acidez drásticamente. Por otro lado, la presencia de alto contenido de metales en el aceite ayuda a la oxidación. Esto nos indica que el aceite recientemente extraído debe ser refinado para controlar estos parámetros de calidad. A tal punto que el aceite refinado obtenga una mayor capacidad como antioxidante.

4.1.11 Poder calorífico Inferior

Como se muestra en la tabla 4.1.3, tanto el poder calorífico del aceite crudo 38257,4 kJ/kg como del refinado 38097 kJ/kg presentan valores

mayores a la de la norma guía. Lo cual indica que desprende una gran cantidad de energía durante la combustión.

4.1.12 Índice de refracción

La tabla 4.1.3 nos indica que el aceite refinado posee un valor de índice de refracción 1,4690 menor en comparación con el aceite crudo 1,4696, indicando que el aceite refinado posee mayor pureza.

4.1.13 Cromatografía del aceite

Se realizó un análisis cromatográfico al aceite de *Jatropha Curcas* indicando la presencia de 4 ácidos representativos con su respectiva concentración másica en el aceite que son: Ácido Linoleico 43.64%, Ácido Oleico 38.87%, Ácido Palmítico 16.99%, Ácido Esteárico 0.49%.

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El refinado químico del aceite es un proceso que asegura significativamente una mejor calidad del mismo, para su posterior proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel. El rendimiento obtenido en el proceso de refinación del aceite fue de 60,66.

El aceite crudo obtenido por extracción mecánica y el refinado de la semilla de *Jatropha Curcas* cumple con la mayoría de los parámetros que establece la norma alemana DIN 51605, tales como contenido de agua (<0,05 %), densidad (0,911 y 0909 g/cm³), poder calorífico (38258 y 38097 J/g), Punto de inflamación (265 y 277 °C), índice de refracción (1,4696 y 1,4690), Contenido de yodo (97,40 mg yodo/100 g aceite).

El contenido de calcio (13 mg/kg), magnesio (14 mg/kg) y fósforo (42 mg/kg) presentes en el aceite crudo sobrepasan significativamente los límites establecidos en la norma, permitiendo la oxidación temprana del aceite afectando indirectamente el índice de peróxido el cual no se especifica en la norma, pero se lo verifica por inspección visual del aceite crudo puesto que este presenta una apariencia distinta al paso del tiempo.

El aceite crudo de *Jatropha Curcas* presentó un alto índice de acidez (6,63 mg KOH/g), lo cual es una desventaja ya que ocasiona mayor corrosión en el sistema, y reduce el rendimiento en la transesterificación.

Una vez realizada la caracterización del aceite crudo se observa que el aceite se muestra rancio con el paso del tiempo porque lo que se

recomienda darle su adecuado almacenamiento como recipientes ámbar y en un ambiente fresco.

Los valores de índice de acidez e índice de peróxido se redujeron notablemente después del proceso de refinado químico, a pesar de que el índice de peróxido se redujo en mínima cantidad este factor se debe al mal almacenamiento y extracción del aceite crudo por lo que no es un factor limitante para el aceite ser una alternativa importante para la obtención de biodiesel.

El aceite refinado puede ser utilizado como materia prima para la producción de biodiesel.

5.2. RECOMENDACIONES

- Difundir los resultados obtenidos en el presente trabajo en la comunidad científica universitaria del país.
- Para elevar el rendimiento del proceso de refinación del aceite se debe mejorar el proceso de extracción del aceite crudo.
- Realizar un estudio de la estabilidad de oxidación del aceite crudo y refinado.
- Realizar una evaluación de la variación de los parámetros de índice de acidez e índice de peróxido con respecto al tiempo. Por lo que se consigue determinar el tiempo óptimo de almacenamiento y para realizar el refinamiento del aceite.
- Se recomienda el estudio y puesta en marcha de la transesterificación del aceite de *Jatropha Curcas* a biodiesel, y su empleo en motores de combustión.

- Evaluar el proceso de Refinación del aceite a escala piloto.

REFERENCIAS

- Akbar. (2009). Characteristic and composition of Jatropha Curcas oil Seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. *European Journal of Scientific Research*, 2, 75-89.
- Arroyo, J. (2000). *Planta de refino de Aceites Vegetales-Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla*. Retrieved from file:///C:/Users/Portes/Downloads/Proyecto.-Memoria2c-Pliego-y-Presupuesto.pdf
- Boatella, J. (2004). Química y Bioquímica de los Alimentos II. España.
- C Brossard. (2010). Evaluación preliminar del etanol anhidro como solvente en la extracción de semillas de Jatropha. *Grasas y Aceites*, 295-302.
- Castro, N. (2016). International experiences with the cultivation of Jatropha Curcas for biodiesel production. *ELSEVIER*, 1246-1248.
- Castro, N. (2016). International experiences with the cultivation of Jatropha Curcas for biodiesel production. *ELSEVIER*, 1248-1252.
- Company, E. (2000). *TOTAL*. Retrieved from <http://www.total.es/total-medio-ambiente/desarrollo-sostenible/lubricantes-bajo-contenido-cenizas.html>
- Devappa, R. (2010). Quality of Biodiesel Prepared from Phorbol Ester Extracted Jatropha Curcas Oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 697-704.
- Díaz, V. (2015). El cultivo de Jatropha Curcas para la producción de biocombustibles. *Centro de Investigación Regional Pacífico Sur(34)*, 6-13. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4325/EI%20cultivo%20de%20pi%C3%B1on.pdf;sequence=1>
- Díaz, V. (2015). El cultivo de Jatropha Curcas para la producción de biocombustibles. *Centro de investigación regional Pacífico del Sur(34)*, 2-3. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4325/EI%20cultivo%20de%20pi%C3%B1on.pdf;sequence=1>
- Gary, J. (1980). Refino del Petróleo. New York: Reverté.
- HANNA *Instruments*. (n.d.). Retrieved from <http://www.hannainst.es/blog/determinacion-del-indice-de-peroxidos/>

- Hernandez, A. (2013). *Jatropha Curcas*-*Jatropha Curcas*. *P&C Maderas*, 2.
- Herrera, C. (2003). *Química de Alimentos*. Costa Rica.
- Herrera, C. (2003). *Química de Alimentos*. Costa Rica.
- Karaj, S. (2009). Optimization of chemical extraction of *Jatropha Curcas* seeds. Focus cropping and machinery. 164-167.
- Kates, E. (2003). *Moteres Diesel y de Gas de alta compresión* (Segunda ed.). Chicago: Reverté.
- Kumar, P. (2015, Diciembre 31). Fitotomía y aplicaciones de *Jatropha Curcas*: El desarrollo como. *Energía Renovable y Sostenible*, 822-823.
- Lafargue, F. (2012). Caracterización Fisico-química del aceite vegetal de *Jatropha Curcas*. *Facultad de Ingeniería Mecánica*, 192-193.
- Norma-DIN-51605. (2010). Retrieved from <http://lifeseedcapital.eu/condiciones/doc/LifeSC-AVP%20como%20combustible-119.htm>
- Riba, R. (2010, Septiembre 6). Caracterización de las propiedades físicas de aceites vegetales para ser utilizados como carburantes en motores diesel. 102.
- Ruiz, R. (2010, junio). Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. 27.
- Sudsakorn, K. (2017). Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Oil Using. 4.
- Trujillo, G. (2003). *Noria estrategias en lubricación*. Retrieved from <http://noria.mx/lublearn/la-importancia-de-la-estabilidad-a-la-oxidacion/>

ABREVIATURA

| | |
|-----------------|----------------------|
| Ca | Calcio |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| °C | Grados Celsius |
| °F | Grados Fahrenheit |
| KOH | hidróxido de Potasio |
| NaOH | Hidróxido de Sodio |
| h | Hora (s) |
| J | Joule (s) |
| kg | Kilogramo (s) |
| kPa | Kilo Pascal (s) |
| Mg | Magnesio |
| m | Metro |
| m ³ | Metro cúbico (s) |
| meq | Mili equivalente (s) |
| mg | miligramo (s) |
| ml | Mililitro (s) |
| O ₂ | Oxígeno |
| NO _x | Óxidos de nitrógeno |
| %p/p | Porcentaje masa/masa |
| K | Potasio |
| Na | Sodio |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----------------|---|
| W | Contaminación total |
| SG | Gravedad específica |
| N | Normalidad |
| M | Molaridad |
| m | Masa |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| rpm | Revoluciones Por Minuto |
| T ₅₀ | Temperatura en °C a la que destila el 50% de la muestra |
| v | Volumen |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------------|---|
| Jatropha Curcas | Género a la que pertenece la planta. |
| Agroecología | Es una disciplina de la agronomía convencional en la que se basa en la aplicación de los conceptos y principios de la ecología. |
| Matriz energética | Es la simbología de la energía cuantitativa que posee una determinada región para emplearla en procesos productivos. |
| Biocarburante | Es la mezcla de compuestos orgánicos empleada como combustible en motores. |
| Transesterificación | Es el cambio en una molécula de un grupo alcoxi por un grupo alcohol, esta reacción emplea una base para catalizar la reacción. |
| Ácidos grasos | son largas cadenas de carbono de origen lipídica en la que poseen un grupo funcional que es el grupo carboxilo. Los carbonos están unidos por enlaces simples, covalentes o dobles enlaces. |
| Fitotoxinas | Son moléculas proteicas gruesas presentes en las plantas. |
| Forbol | Fórmula química del $C_{20}H_{28}O_6$ perteneciente a la familia de los diterpenos. |
| Enraizador | Son suplementos que se les agrega a las plantas para aumentar su fuerza y firmeza. |
| Ac. Grasos saturados | Son cadenas largas de ácidos carboxílicos en los cuales, los carbonos están unidos por enlaces simples y saturados con hidrogeno. No existen dobles enlaces ni covalentes. |
| Ac. Grasos insaturados | Son cadenas largas de ácidos carboxílicos, en los cuales la cadena presenta uno o varios dobles enlaces. |
| Parafinas | Es una mezcla de hidrocarburos. Comúnmente, se lo obtiene como subproducto de la producción de aceites lubricantes. |
| Aromáticos | Son hidrocarburos provenientes del benceno. |

| | |
|-------------------------|---|
| Fosfolípido | Es una clase de lípidos anfipáticos en lo que 2 cadenas de ácidos grasos están unidos a un grupo alcohol. El grupo alcohol está unido a un grupo fosfato y este a su vez mediante un enlace fosfodiéster contiene otros átomos. |
| Desgomado | Primer paso de la refinación del aceite y consiste en la eliminación de los fosfáticos y glicolípidos presentes en su estructura. |
| Triglicéridos | Son 3 cadenas distintas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina. |
| Solución de Wijs | Es la mezcla de cloruro de yodo y ácido acético. |

ANEXOS

ANEXO A. Extracción del aceite



Figura A1. Prensa

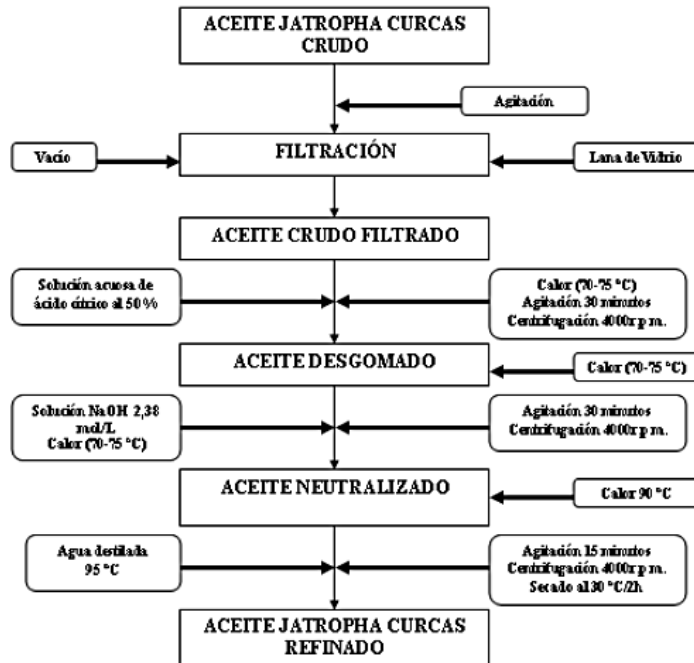


Figura A2. Extracción



Figura A3. Semillas después de la extracción

ANEXO B. Proceso de refinación del aceite
Figura B1. Diagrama guía de etapas de refinado



Fuente: Lafargue, 2012



Figura B2. Preparación de soluciones de Hidróxido de sodio y ácido cítrico



Figura B3. Adición de aceite y soluciones en tubos de centrifugas



Figura B4. Separación por decantación



Figura B5. Neutralización del aceite

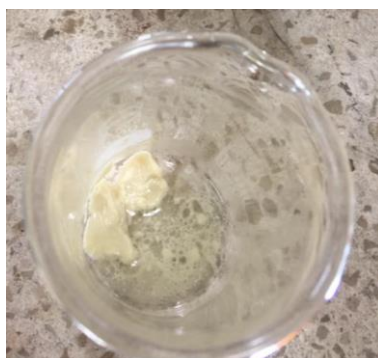


Figura B6. Jabones precipitados



Figura B7. Proceso de lavado



Figura B8. Proceso de blanqueado



Figura B9. Filtración

ANEXO C. Cromatografía del aceite crudo

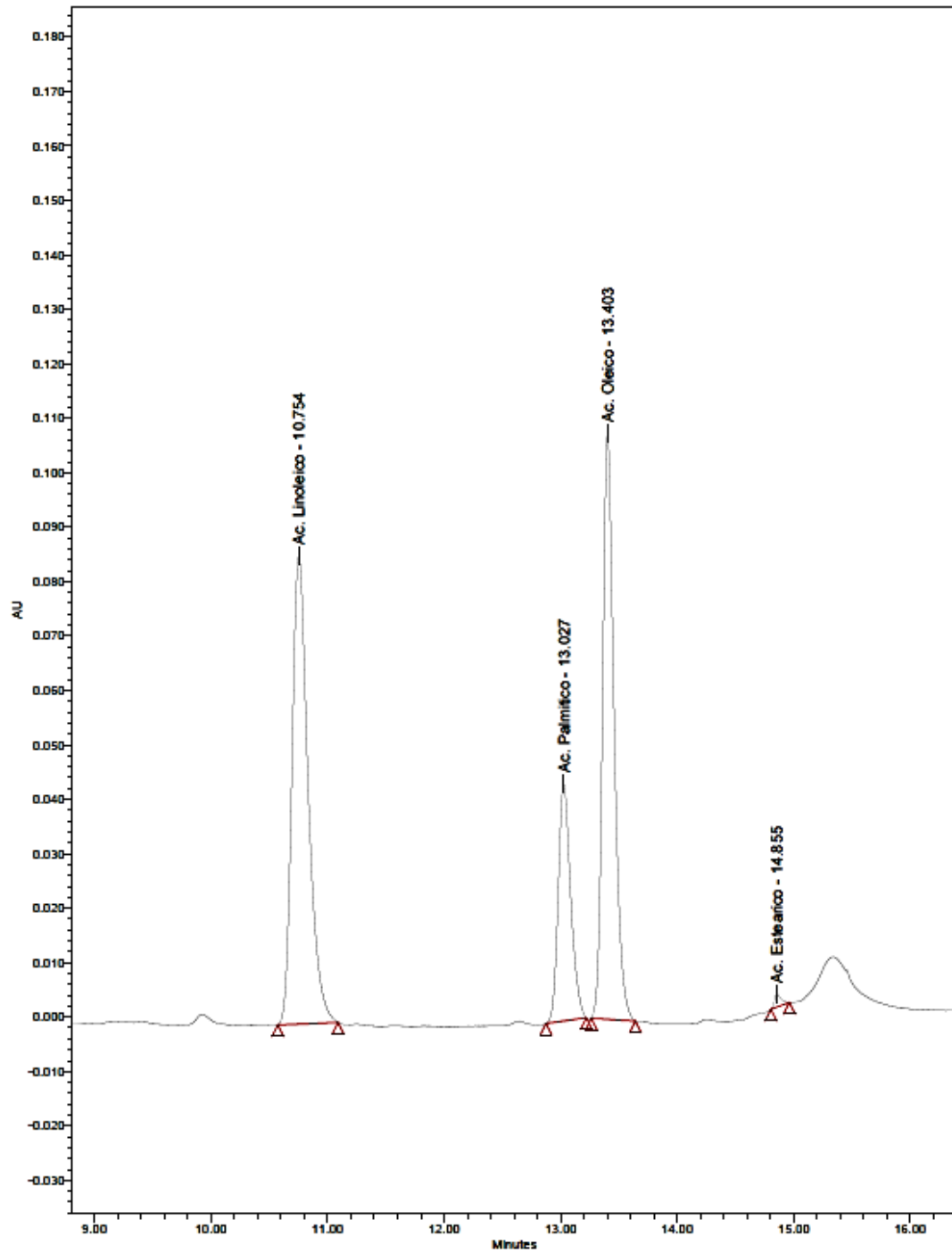


Figura C1. Cromatografía de masa.

Tabla C1. Datos de cromatografía.

| | Name | Retention Time (min) | Area ($\mu\text{V}\cdot\text{sec}$) | % Area | Height (μV) | Int Type | Amount | Units | Peak Type | Peak Codes | ppm |
|----|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|--------|--------------------------|----------|--------|-------|-----------|------------|-----|
| 1 | Ac. Laurico | 5.635 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 2 | Ac Miristoleico | 6.383 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 3 | EPA Ac. Eicosapentaenoico | 6.884 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 4 | Ac. Linolenico | 7.676 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 5 | DHA Ac Docosahexaenoico | 8.606 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 6 | Ac. Miristico | 8.846 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 7 | Ac. Palmitoleico | 9.337 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 8 | Ac. Araquidonico | 9.832 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 9 | Ac. C15:0 | 10.746 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 10 | Ac. Linoleico | 10.754 | 828686 | 43.64 | 86065 | bb | | | Found | Q20 C02 | |
| 11 | Ac. C17:1 | 11.169 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 12 | Ac. C20:3 | 11.395 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 13 | Ac. Palmitico | 13.027 | 322731 | 16.99 | 43543 | bb | | | Found | Q20 C02 | |
| 14 | Ac. Oleico | 13.403 | 738222 | 38.87 | 107642 | bb | | | Found | Q20 C02 | |
| 15 | Ac. Elaidico Trans | 13.760 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 16 | Ac. Margarico | 13.893 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 17 | Ac. Estearico | 14.855 | 9380 | 0.49 | 2425 | bb | | | Found | Q20 C02 | |
| 18 | Ac. C20:1 | 15.337 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 19 | Ac. Araquidico | 17.803 | | | | Missing | | | Missing | | |
| 20 | Ac. Lignocerico | 18.597 | | | | Missing | | | Missing | | |

Fuente: universidad de Guayaquil.

ANEXO D. Tablas de peso para determinación de yodo e índice de acidez

Tabla D1. Índice de yodo

| Iodine value | Weight (g) of sample | Accuracy of weighing (mg) |
|--------------|----------------------|---------------------------|
| 0-5 | 3.0 | 10 |
| 5-20 | 1.0 | 1 |
| 20-60 | 0.34 | 0.1 |
| 60-80 | 0.25 | 0.1 |
| 80-130 | 0.15 | 0.1 |
| > 130 | 0.10 | 0.1 |

Fuente: norma DIN EN 14111

Tabla D2. Índice de acidez

| Valor de ácido esperado mg KOH | Peso de la muestra / g | Precisión / g | Volumen de solvente / ml | Concentración del titulante |
|--------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------|
| 200 – 500 | 0.15 | 0.0002 | 25 | 0.1 |
| 75 - 200 | 0.25 | 0.0002 | 25 | 0.1 |
| 15 – 75 | 0.5 | 0.0002 | 25 | 0.1 |
| 4 – 15 | 2 | 0.001 | 25 | 0.1 |
| 1 – 5 | 10 | 0.001 | 50 | 0.1 |
| 1.0 | 15 | 0.001 | 50 | 0.01 |
| <1.0 | 20 | 0.01 | 100 | 0.01 |

Fuente: norma NTE INEN-ISO 660:2013

ANEXO E. manual de viscosímetros para determinación de viscosidades

| Catalog No. | Size | Approximate Constant, cSt/s | Kinematic Viscosity Range, cSt |
|-------------|------|-----------------------------|--------------------------------|
| 378-025-C01 | 25 | 0.002 | 0.5 to 2 |
| 378-050-C01 | 50 | 0.004 | 0.8 to 4 |
| 378-075-C01 | 75 | 0.008 | 1.6 to 8 |
| 378-100-C01 | 100 | 0.015 | 3 to 15 |
| 378-150-C01 | 150 | 0.035 | 7 to 35 |
| 378-200-C01 | 200 | 0.1 | 20 to 100 |
| 378-300-C01 | 300 | 0.25 | 50 to 250 |
| 378-350-C01 | 350 | 0.5 | 100 to 500 |
| 378-400-C01 | 400 | 1.2 | 240 to 1,200 |
| 378-450-C01 | 450 | 2.5 | 500 to 2,500 |
| 378-500-C01 | 500 | 8.0 | 1,600 to 8,000 |
| 378-600-C01 | 600 | 20.0 | 4,000 to 20,000 |
| 378-650-C01 | 650 | 45.0 | 9,000 to 45,000 |
| 378-700-C01 | 700 | 100.0 | 20,000 to 100,000 |

Figura E1. Determinación de la viscosidad cinemática.