

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

Facultad de Ingeniería Agroindustrial

Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial



TESIS:

"DEPURACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS SATURADOS DEL ACEITE DE PALMA (*Elaeis guineensis*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL COMO ALTERNATIVA DE MEJORA EN SUS PROPIEDADES DE FLUJO A BAJAS TEMPERATURAS"

PRESENTADO POR

Bach. JORGE ABELARDO LEIVA PIEDRA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

TARAPOTO - PERU

2011



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN – TARAPOTO

Facultad de Ingeniería Agroindustrial

Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial



TESIS

**“DEPURACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS SATURADOS DEL ACEITE DE
PALMA (*Elaeis guineensis*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL
COMO ALTERNATIVA DE MEJORA EN SUS PROPIEDADES DE FLUJO A
BAJAS TEMPERATURAS”**

PRESENTADO POR

Bach. JORGE ABELARDO LEIVA PIEDRA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

TARAPOTO – PERU

2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN – TARAPOTO

Facultad de Ingeniería Agroindustrial

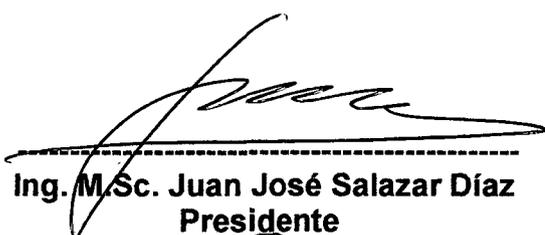
Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial

TESIS

“DEPURACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS SATURADOS DEL ACEITE DE PALMA (*Elaeis guineensis*) PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL COMO ALTERNATIVA DE MEJORA EN SUS PROPIEDADES DE FLUJO A BAJAS TEMPERATURAS”

PRESENTADO POR

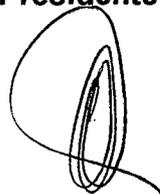
Bach. JORGE ABELARDO LEIVA PIEDRA



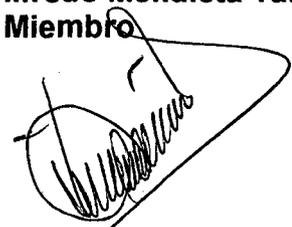
Ing. M.Sc. Juan José Salazar Díaz
Presidente



Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
Miembro



Ing. M.Sc. Thony Arce Saavedra
Secretario



Ing. M.Sc. Jaime Guillermo Guerrero Marina
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres: **CARLOS ORLANDO**
Y CARLOTA MAGDALENA, por su
sacrificio e incondicional apoyo que
me dieron para culminar con éxito
este trabajo de tesis

A mis hermanos **JORGE LUIS**,
JOSE y CESAR, quienes gracias a
su comprensión que me dieron
pude lograr mis metas.

A todos mis **AMIGOS** en especial a
VANE, CAROLINA, ISIS y MOISES
por su ayuda que me brindaron
durante el desarrollo de este
trabajo de tesis e hicieron que
cumpla con éxito mi objetivo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la fuerza y sabiduría que me dio cuando más la necesitaba, a mis Padres por todo su apoyo, comprensión, paciencia y ayuda; que tuvieron conmigo durante el desarrollo de la tesis.

A mis hermanos quienes me apoyaron y me dieron motivos para seguir adelante, a la Universidad Nacional de San Martín por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas y poder culminar mi carrera con éxito.

A mi Asesor por sus enseñanzas, ayuda y apoyo que me dio durante el desarrollo de mi tesis.

A los miembros del jurado por las sugerencias y recomendaciones en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|-------------|
| INDICE DE CUADROS | <i>viii</i> |
| INDICE DE FIGURAS | <i>x</i> |
| INDICE DE ANEXOS | <i>xiii</i> |
| LISTADO DE ABREVIATURAS | <i>xiv</i> |
| I. INTRODUCCIÓN | 01 |
| II. OBJETIVOS | 04 |
| III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | |
| 3.1 Cambio climatológico, efecto invernadero. | 05 |
| 3.2 Consumo y fuentes de energía | 06 |
| 3.3 Los Biocombustibles | 07 |
| 3.4 Biocombustibles en el Perú | 08 |
| 3.5 Proyección de la demanda de diesel y biodiesel | 09 |
| 3.6 La palma aceitera | 11 |
| 3.7 El racimo de palma | 12 |
| 3.8 El fruto de palma | 13 |
| 3.9 Proceso agroindustrial del aceite de palma y palmiste | 14 |
| 3.10 El aceite de palma | 15 |
| 3.11 Perfiles de los ácidos grasos | 15 |
| 3.12 Composición del aceite de palma | 16 |
| 3.13 Proceso de hibernización de aceites y grasas | 16 |
| 3.14 Descripción del proceso de transesterificación | 20 |
| ➤ Proceso discontinuo | 21 |

| | | |
|---------|--|----|
| ➤ | Proceso continuo | 22 |
| 3.15 | Flujograma de los diferentes procesos de elaboración de biodiesel. | 25 |
| 3.16 | Composición química del biodiesel de palma | 26 |
| 3.17 | Características del biodiesel | 26 |
| 3.18 | Propiedades del biodiesel | 28 |
| 3.19 | Especificaciones del biodiesel | 35 |
| 3.20 | Estudios realizados para mejorar la calidad del biodiesel a bajas temperaturas | 39 |
| | | |
| IV. | MATERIAL Y MÉTODOS | |
| 4.1 | Material y Equipos | 43 |
| 4.2 | Ubicación del campo experimental | 44 |
| 4.3 | Metodología | 45 |
| 4.3.1 | Diseño del experimento | 45 |
| 4.3.2 | Componentes en estudio | 45 |
| 4.3.3 | Tratamientos en estudio | 45 |
| 4.3.4 | Fase de hibernización | 47 |
| 4.3.4.1 | Distribución del aceite en unidades medibles | 47 |
| 4.3.4.2 | Hibernización del aceite de palma | 47 |
| 4.3.5 | Fase de laboratorio | 50 |
| 4.3.5.1 | Medición del índice de acidez de las fracciones líquidas obtenidas | 50 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.3.5.2 | Medición del índice de yodo de las fracciones líquidas obtenidas | 50 |
| 4.3.5.3 | Elaboración de biodiesel a partir de las fracciones líquidas obtenidas | 51 |
| 4.3.6 | Parámetros a evaluar | 56 |
| 4.3.6.1 | Rendimiento de las fracciones líquidas obtenidas y del biodiesel elaborado con las mismas | 56 |
| 4.3.6.2 | Punto nube de las fracciones líquidas obtenidas y del biodiesel elaborado con las mismas | 57 |
| V. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 59 |
| 5.1 | Fracciones líquidas obtenidas | 59 |
| 5.2 | Evaluación de las fracciones líquidas obtenidas | 62 |
| 5.2.1 | Rendimiento | 62 |
| 5.2.2 | Punto nube | 64 |
| 5.3 | Índice de acidez | 68 |
| 5.4 | Índice de yodo | 69 |
| 5.5 | Evaluación del biodiesel elaborado con las fracciones líquidas obtenidas | 70 |
| 5.5.1 | Rendimiento | 71 |
| 5.5.2 | Punto nube | 74 |
| 5.6 | Inflamación y viscosidad del biodiesel elaborado con las fracciones líquidas obtenidas | 77 |
| 5.6.1 | Inflamación | 77 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6.2 Viscosidad | 78 |
| 5.6.2.1 Cálculo de viscosidad | 78 |
| VI. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES | 81 |
| 6.1 Conclusiones | 81 |
| 6.2 Recomendaciones | 82 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 83 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|-----------|
| Cuadro N° 01: Demanda nacional proyectada de biodiesel hasta el año 2016 | 11 |
| Cuadro N° 02: Características de la palma aceitera | 11 |
| Cuadro N° 03: Composición del racimo de palma | 12 |
| Cuadro N° 04: Estructura del fruto de palma | 13 |
| Cuadro N° 05: Composición proximal del fruto | 14 |
| Cuadro N° 06: Composición química del biodiesel de palma | 26 |
| Cuadro N° 07: Características del biodiesel y el diesel | 28 |
| Cuadro N° 08: Especificaciones de la 14214 | 37 |
| Cuadro N°09: Especificaciones de la 6751 – 034 | 38 |
| Cuadro N° 10: Análisis de varianza de los rendimientos de las Fracciones liquidas obtenidas | 62 |
| Cuadro N° 11: Análisis de varianza para punto nube de las Fracciones liquidas obtenidas | 64 |
| Cuadro N° 12: Punto nube de la muestra testigo | 64 |
| Cuadro N° 13: Gastos en la titulación de acidez | 68 |
| Cuadro N° 14: Índice de acidez de las fracciones liquidas obtenidas | 68 |
| Cuadro N° 15: Gastos en la titulación del índice de yodo de las Fracciones liquidas obtenidas y de la muestra testigo | 69 |
| Cuadro N° 16: Índice de yodo de las fracciones liquidas obtenidas y de la muestra testigo | 69 |
| Cuadro N° 17: Análisis de varianza para rendimientos del biodiesel elaborado con las fracciones liquidas | 71 |
| Cuadro N° 18: Rendimientos obtenidos del biodiesel elaborado con la muestra testigo | 71 |
| Cuadro N° 19: Análisis de varianza para el punto nube del biodiesel elaborado con las fracciones liquidas | 74 |
| Cuadro N° 20: Punto nube del biodiesel elaborado con las muestra testigo | 74 |

| | |
|---|-----------|
| Cuadro N° 21: Propiedades físicas del agua a 1 atm | 78 |
| Cuadro N° 22: Tiempos del agua en el viscosímetro | 78 |
| Cuadro N° 23: Tiempos del biodiesel elaborado en el viscosímetro | 79 |
| Cuadro N° 24: Viscosidad dinámica del biodiesel elaborado | 79 |
| Cuadro N° 25: Viscosidad cinemática del biodiesel elaborado | 79 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-----------|
| Figura N° 01: Demanda de energía en el mundo | 06 |
| Figura N° 02: Producción de biocombustible | 07 |
| Figura N° 03: Proyección de la demanda de diesel hasta 2016 | 10 |
| Figura N° 04: Racimo de palma aceitera | 12 |
| Figura N° 05: Fruto de palma aceitera | 13 |
| Figura N° 06: Composición de los ácidos grasos en el aceite de palma | 16 |
| Figura N° 07: Proceso de transesterificación | 21 |
| Figura N° 08: Transesterificación discontinua | 25 |
| Figura N° 09: Transesterificación continúa | 25 |
| Figura N° 10: Aceite refinado de palma | 47 |
| Figura N° 11: Aceite en la cámara de frio | 48 |
| Figura N° 12: Aceites con los termómetros de control | 49 |
| Figura N° 13: Formación de las fases | 53 |
| Figura N° 14: Separación final | 53 |
| Figura N° 15: Primer lavado del biodiesel | 54 |
| Figura N° 16: Segundo lavado del biodiesel | 55 |
| Figura N° 17: Eliminación de jabones formados en el biodiesel | 55 |
| Figura N° 18: Medición de rendimientos del biodiesel elaborado | 56 |
| Figura N° 19: Colocación de la muestra en tubos de ensayo | 57 |
| Figura N° 20: Introducción del tubo de ensayo en medio frio | 58 |
| Figura N° 21: Determinación de la temperatura de punto nube | 58 |
| Figura N° 22: T1 10 °C x 04 horas | 59 |
| Figura N° 23: T2 13 °C x 04 horas | 59 |
| Figura N° 24: T3 16 °C x 04 horas | 59 |
| Figura N° 25: T1 10 °C x 06 horas | 60 |
| Figura N° 26: T2 13 °C x 06 horas | 60 |
| Figura N° 27: T3 16 °C x 06 horas | 60 |
| Figura N° 28: T1 10 °C x 08 horas | 61 |
| Figura N° 29: T2 13 °C x 08 horas | 61 |

| | |
|---|-----------|
| Figura N° 30: T3 16 °C x 08 horas | 61 |
| Figura N° 31: Prueba DUNCAN para rendimiento de las fracciones Líquidas | 62 |
| Figura N° 32: Prueba DUNCAN para punto nube de las fracciones Líquidas | 65 |
| Figura N° 33: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 04 horas | 70 |
| Figura N° 34: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 06 horas | 70 |
| Figura N° 35: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 08 horas | 70 |
| Figura N° 36: Prueba DUNCAN para rendimiento del biodiesel Elaborado con las fracciones líquidas | 81 |
| Figura N° 37: Prueba DUNCAN para punto nube del biodiesel Elaborado con las fracciones líquidas | 74 |
| Figura N° 38: Muestras para prueba de inflamación | 77 |
| Figura N° 39: Análisis de inflamación del biodiesel elaborado | 77 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 01: Cuadro de recopilación de datos para las fracciones líquidas**
- Anexo 02: Cuadro de recopilación de datos para el biodiesel elaborado**
- Anexo 03: Cultivo de palma aceitera en la amazonia peruana**
- Anexo 04: Cultivo a gran escala de palma aceitera en la amazonia peruana**
- Anexo 05: Cultivo a pequeña escala de palma aceitera en la amazonia peruana**
- Anexo 06: Área necesaria de palma para cumplir con la demanda de B2, B2 Y B100**
- Anexo 07: Diagrama de flujo del proceso de extracción y beneficio del aceite de palma**
- Anexo 08: Balance de materia en la elaboración de biodiesel en laboratorio con las fracciones líquidas obtenidas de aceite de palma hibernizado**
- Anexo 09: Balance de energía en la elaboración de biodiesel**
- Anexo 10: Costo estimado de materia prima y mano de obra para la elaboración de biodiesel con oleína de palma**
- Anexo 11: Costo estimado de equipos y planta para la elaboración de biodiesel con oleína de palma**
- Anexo 12: Costo estimado de producción de biodiesel a partir de oleína de palma por bache y por galón**
- Anexo 13: Producción mundial de bioetanol y biodiesel hasta el 2007**
- Anexo 14: Norma técnica peruana para el biodiesel**

| | |
|---|-----------|
| Figura N° 30: T3 16 °C x 08 horas | 61 |
| Figura N° 31: Prueba DUNCAN para rendimiento de las fracciones Líquidas | 62 |
| Figura N° 32: Prueba DUNCAN para punto nube de las fracciones Líquidas | 65 |
| Figura N° 33: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 04 horas | 70 |
| Figura N° 34: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 06 horas | 70 |
| Figura N° 35: Biodiesel elaborado con el T1, T2 Y T3 a 08 horas | 70 |
| Figura N° 36: Prueba DUNCAN para rendimiento del biodiesel Elaborado con las fracciones líquidas | 81 |
| Figura N° 37: Prueba DUNCAN para punto nube del biodiesel Elaborado con las fracciones líquidas | 74 |
| Figura N° 38: Muestras para prueba de inflamación | 77 |
| Figura N° 39: Análisis de inflamación del biodiesel elaborado | 77 |

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01: Cuadro de recopilación de datos para las fracciones líquidas

Anexo 02: Cuadro de recopilación de datos para el biodiesel elaborado

Anexo 03: Cultivo de palma aceitera en la amazonia peruana

Anexo 04: Cultivo a gran escala de palma aceitera en la amazonia peruana

Anexo 05: Cultivo a pequeña escala de palma aceitera en la amazonia peruana

Anexo 06: Área necesaria de palma para cumplir con la demanda de B2, B2 Y B100

Anexo 07: Diagrama de flujo del proceso de extracción y beneficio del aceite de palma

Anexo 08: Balance de materia en la elaboración de biodiesel en laboratorio con las fracciones líquidas obtenidas de aceite de palma hibernizado

Anexo 09: Balance de energía en la elaboración de biodiesel

Anexo 10: Costo estimado de materia prima y mano de obra para la elaboración de biodiesel con oleína de palma

Anexo 11: Costo estimado de equipos y planta para la elaboración de biodiesel con oleína de palma

Anexo 12: Costo estimado de producción de biodiesel a partir de oleína de palma por bache y por galón

Anexo 13: Producción mundial de bioetanol y biodiesel hasta el 2007

Anexo 14: Norma técnica peruana para el biodiesel

LISTADO DE ABREVIATURAS

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

PFBT: Punto de fluidez a bajas temperaturas.

FAO: Food and Agriculture Organización.

ITDG: Practical Action Tecnology Challenging Poverty.

RBD PALMA: Aceite Refinado de palma.

CSTR: Continuous Stirred Tank Reactor.

PFR: Plug Flow Reactor.

FFA: Ácidos Grasos Libres.

NC: Número de Cetanos.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

B2: Diesel mezclado con un 2% de biodiesel.

B5: Diesel mezclado con un 5% de biodiesel.

B100: 100% biodiesel.

IEA: The international energy agency

RESUMEN

El biodiesel de aceite de palma posee excelentes propiedades como combustible para motores, sin embargo asociado como su composición química altamente saturada, este biocombustible presenta un deficiente desempeño a temperaturas cercanas a las temperaturas ambientes de algunas ciudades del Perú. A 16 °C el biocombustible de aceite de palma empieza a formar pequeños cristales, los cuales a medida que la temperatura sigue disminuyendo, aceleran su crecimiento y se aglomeran, de tal modo, que a una temperatura entre 12 y 9 °C puede llegar a impedir completamente el flujo del combustible. En este trabajo se evaluó la técnica de hibernización al aceite de palma aceitera mediante cristalización inducida por enfriamiento para mejorar sus propiedades de flujo a baja temperaturas. Las variables tenidas en cuenta para dicho proceso fueron la temperatura de enfriamiento o hibernización y el tiempo de estabilización. De acuerdo con los puntos nube y rendimiento del biocombustible de aceite de palma. El proceso permitió obtener una fracción líquida a la temperatura de hibernización con mejor punto nube a bajas temperaturas que el biodiesel de palma original. En las condiciones probadas ($t_p = 08$ horas y $T = 10^\circ\text{C}$) se obtuvo una fracción líquida con un punto nube 8°C menor que el aceite de palma sin fraccionar, además se obtuvo un punto nube 8°C menor que el biodiesel elaborado con el aceite de palma sin hibernizar. Dicho cambio en el punto nube del aceite de palma y el biocombustible elaborado por el aceite mencionado es debido al aumento en el contenido de ácidos grasos insaturados en su estructura. Finalmente se puede concluir que se logró mejorar la calidad del biodiesel elaborado a partir de aceites hibernizados, en cuanto a su punto nube ya que la muestra testigo presentó un valor de 13°C de punto nube comparado esto con el tratamiento realizado por 08 horas a 10°C donde se redujo esto a 5°C .

ABSTRACT

Palm oil biodiesel has excellent properties as fuel for engines, however associated as their chemical composition highly saturated, this biofuel presents a poor performance at temperatures close to ambient temperatures of some cities of the Peru. 16 °C biofuel of palm oil begins to form small crystals, which as the temperature continue to decline, accelerate their growth and will agglomerate, in such a way that at a temperature between 12 and 9 ° C can completely stop the flow of the fuel. In this work was assessed the technique of winterization oil of palm oil through crystallization induced by cooling to improve their properties of flow at low temperatures. The variables taken into account in this process were the temperature of cooling or winterization and the time of stabilization. According to the points cloud and performance of the palm oil biofuel. The process allowed to obtain a fraction liquid temperature of winterization with best point cloud at a lower temperature than the original Palm biodiesel. At tested conditions (tp = 08 hours and T = 10 °c) obtained a fraction liquid with a point cloud 8 ° C lower than Palm oil without fractionated, also won a point cloud 8 ° C lower than biodiesel made from the oil palm without winterize. Such a change in the point cloud of palm oil and biofuel produced by the above-mentioned oil is due to the increase in the content of unsaturated fatty acids in its structure. Finally we can conclude that it was possible to improve the quality of biodiesel made from oils winterize, in terms of point cloud and the control sample had a value of 13 ° C point cloud compared this with the treatment by 08 hours at 10 ° C where it was reduced to 5 ° C.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el interés en los biocombustibles ha aumentado considerablemente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las políticas nacionales e internacionales para promover los biocombustibles provocan una demanda más alta de biocombustibles líquidos como el biodiésel.

Uno de los cultivos con gran potencial para la producción de biodiésel es la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), también llamado palma africana, la que se cultiva principalmente para obtener el aceite vegetal para el consumo humano. En nuestro país la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), representa una alternativa de excelente perspectivas para el futuro, por producir 10 veces más del rendimiento de aceite proporcionado por la mayoría de los cultivos oleaginosos.

En los últimos años la palma aceitera se cultiva a gran escala para la producción de biodiésel, que técnicamente, es un "metil éster" o "etil éster" (de acuerdo al alcohol utilizado) de aceite vegetal, formado mediante la remoción de la glicerina del triglicérido (aceite), en un proceso similar a la saponificación, donde las moléculas restantes (cadenas simples de hidrocarburos) forman el biodiésel, no contienen azufre, anillos o compuestos aromáticos; además al contener cerca del 10% de oxígeno, es un combustible que no requiere aditivos para cumplir las normas ambientales.

El biodiésel es el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diesel, sin ser necesaria casi ninguna

modificación, por tener propiedades similares al combustible diesel de petróleo, pudiéndose mezclar ambos en cualquier proporción sin ningún problema.

Es importante mencionar que un combustible para motores diesel además de cumplir con las especificaciones que explícitamente aparecen estipuladas en los estándares de calidad como: viscosidad, volatilidad, número de cetano, contenido de azufre, etc., debe tener un desempeño adecuado a bajas temperaturas.

Es por ello que desde los inicios de la industria del biodiésel en la década de los 80, las asociaciones mundiales de fabricante de vehículos y motores han manifestado su preocupación por las deficientes propiedades de flujo a baja temperatura de los diferentes tipos de biodiésel que han logrado nivel comercial. Aún los tipos de biodiésel más insaturados (metilésteres de los aceites de colza, soya y girasol) presentan un desempeño a bajas temperaturas inferior al del combustible diesel convencional.

Es por ello que dado su alto contenido de alquilésteres saturados (alrededor del 50% por peso), las propiedades de flujo a bajas temperaturas del biodiésel de aceite de palma son mucho más críticas que para los otros tipos de biodiésel comerciales, constituyéndose en su mayor deficiencia de calidad y limitante para propiciar su uso puro o mezclado en diferentes proporciones con el combustible diesel convencional derivado del petróleo.

A medida que la temperatura ambiente disminuye, las moléculas más saturadas del combustible empiezan a formar cristales, los cuales inicialmente son

de tamaño muy fino, prácticamente invisibles al ojo humano, si la temperatura continua disminuyendo, tales cristales van creciendo hasta hacerse visibles y pueden llegar a formar aglomerados de un tamaño suficiente para restringir o taponar el flujo a través de los conductos y filtros por los que se conduce el combustible, desde el tanque de almacenamiento hasta el sistema de inyección.

Como consecuencia de dicho taponamiento, el combustible no alcanza a llegar a los inyectores y a la cámara de combustión al momento del arranque, y por lo tanto el motor no enciende.

Frente a esta realidad se propuso realizar el presente estudio con la finalidad de generar una alternativa para mejorar la calidad del biodiésel a partir del aceite de palma para temperaturas bajas, ya que es el principal problema cuando es utilizado en climas fríos.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar y determinar el efecto del proceso de hibernización en el aceite de palma para la depuración de los ácidos grasos saturados, con el fin de elaborar biodiesel, como alternativa de mejora en sus propiedades de flujo a bajas temperaturas.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar las condiciones de hibernización más adecuadas para la depuración de los ácidos grasos evitando así la formación de cristales en el biodiesel del aceite de palma.
- Cuantificar rendimientos, comparando los porcentajes de ácidos grasos eliminados después de los tratamientos al aceite palma.
- Evaluar la calidad del Biodiesel producido a partir del aceite de palma hibernizado en base al punto nube.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 CAMBIO CLIMATOLÓGICO, EFECTO INVERNADERO.

La concentración de gases de efecto invernadero (*GEI*) en la atmósfera ha aumentado en las últimas décadas, debido a la combustión de combustibles y la deforestación. La concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) aumentó de 280 *ppm* (partes por millón) en 1750 hasta 387 *ppm* en el 2009.

Por el mundo entero se ha formulado acuerdos para combatir el cambio climatológico. En 1992 se aprobó el convenio marco del cambio climatológico de las Naciones Unidas. El objetivo de este convenio fue reducir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para evitar el cambio climatológico.

En 1997 se formuló el "Protocolo de Kyoto" donde los países industrializados acordaron reducir la emisión de los gases de efecto invernadero dentro de los años 2008 y 2012 con un promedio de 5 % en comparación con el nivel de 1990.

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (*GEI*) es una de las razones por las que en las últimas décadas el interés al uso de biocombustibles ha crecido considerablemente.

Las otras razones son disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y un aumento en la seguridad energética. Se calcula que la demanda mundial de energía aumentaría en un 60% en los siguientes 25 años siguientes (ITDG,

2007). De modo que el agotamiento de los combustibles fósiles es una realidad inminente.

3.2 CONSUMO Y FUENTES DE ENERGÍA.

La demanda mundial de energía en el año 2006 fue 11.900 Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (*Mtoe*) (IEA, 2008). La mayor parte proviene de combustibles fósiles. Solo el 13% de la demanda mundial de energía, proviene de fuentes de energía renovables. La energía de biomasa representa el 10%, la mayor parte de los fuentes de energía renovables (FAO, 2008). Ver grafico N° 01.

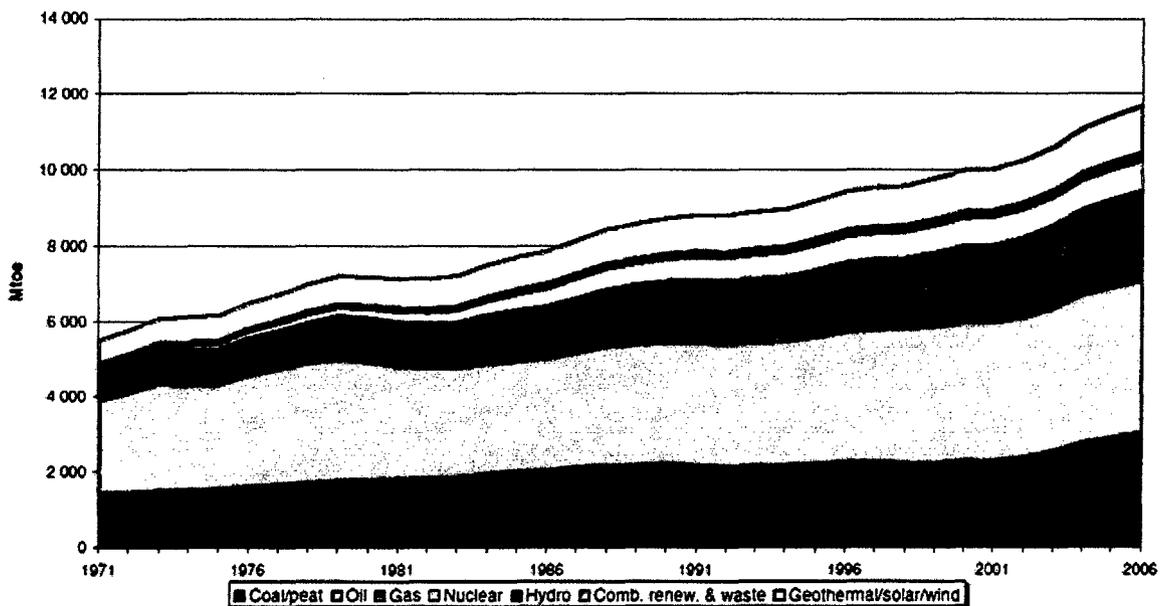


Figura N° 01: *Demanda de energía en el mundo.* (FAO 2008)

3.3 LOS BIOCOMBUSTIBLES.

El 15% de los biocombustibles líquidos está representada por el biodiésel, y el 60% de su producción se encuentra en Europa sobre todo en Francia y Alemania (FAO, 2008).

La producción de biodiésel tuvo un crecimiento espectacular en los últimos años. Entre los años 2000 y el 2005, su producción se cuadruplicó, mientras que la producción de bioetanol creció al doble y en el mismo periodo la producción del petróleo en 7% del total. Sin embargo, aún está lejos de los niveles de producción mundial de bioetanol, que ya superó los 35 mil millones de litros por año como se puede ver en el gráfico N° 02 (ITDG, 2007).

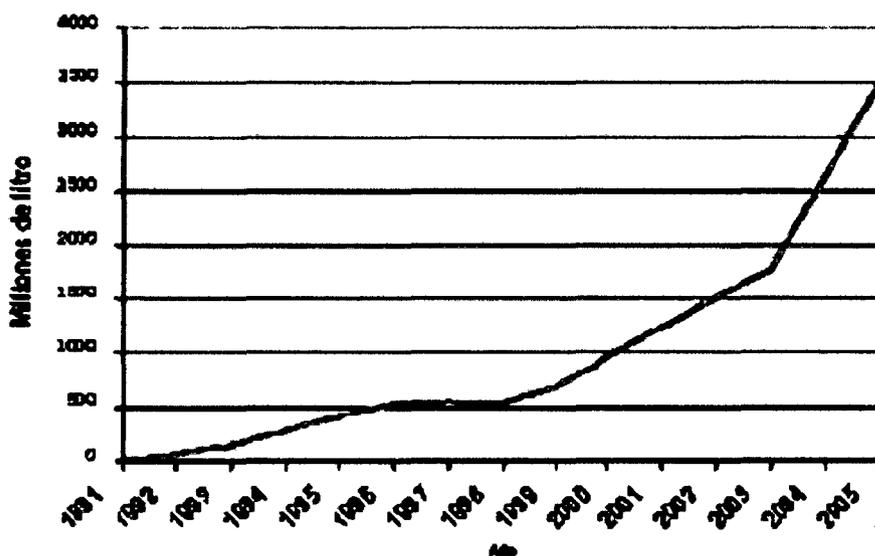


Figura N° 02: Producción de biocombustibles. (ITDG 2007)

La primera generación de biocombustibles está basada esencialmente en el aprovechamiento de una parte del cultivo agrícola (frutas, semillas, tallo) con tecnologías conocidas. Estos biocombustibles pueden disminuir la dependencia de los combustibles fósiles importados.

Sin embargo, existe aún discusión sobre el efecto neto de los biocombustibles sobre el medio ambiente, considerando los impactos a lo largo de toda la cadena productiva, incluyendo sus posibles efectos contaminantes sobre los recursos naturales (suelos, agua) o el grado de responsabilidad sobre la deforestación o la reducción de la biodiversidad (Reijnders, 2008). Los biocombustibles de la segunda generación se sustentan en el aprovechamiento de toda la biomasa del cultivo, usando tecnologías que están en investigación.

3.4 BIOCMBUSTIBLES EN EL PERU.

Con respecto a los biocombustibles, se cuenta con “ventajas comparativas”, porque existen aproximadamente, unas 64 especies de oleaginosas conocidas que podrían ser utilizadas como insumos para la producción de biodiesel, “ventaja comparativa” que se explica por la diversidad de pisos ecológicos y gran variedad de zonas climáticas

En los últimos 30 años el Perú ha registrado cambios en la oferta de hidrocarburos líquidos, como la reducción de las reservas y producción de petróleo. Bajos en la calidad promedio del crudo nacional y el rápido incremento de la participación del diésel en el transporte. Este panorama se complementa

con el descubrimiento y puesta en explotación de grandes reservas de gas y condensados. En el 2005 en el Perú, la energía primaria provenía en un 56% aproximadamente del petróleo, el 27% de energías renovables y un 17% del gas. (Ocrospoma, 2008).

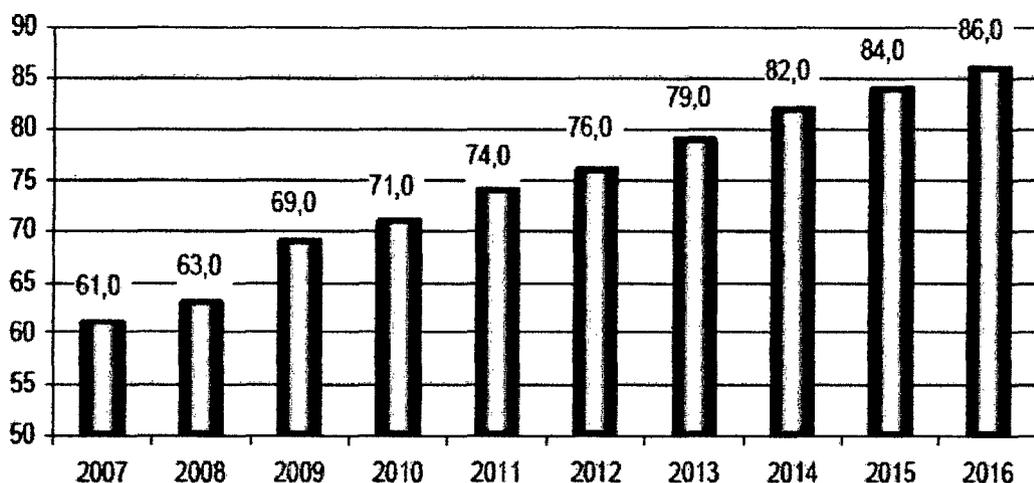
La producción de biocombustibles es promovido por el gobierno peruano mediante la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, que obliga que a partir del 2010, en el caso del biodiésel, las gasolinas deben contener en el 2009 el 2 % y después de 2010 el 5% (Ocrospoma, 2008)

Cultivos con potencial para la producción de biodiésel en el Perú son la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), soya (*Glycine max*), girasol (*Helianthus annus*), aguaje (*Mauritia flexuosa*), la higuera (*Ricinus comunis*), piñón (*Jatropha curcas*) y sancha inchi (*Plukenetia volubilis*) (Ocrospoma, 2008). La producción de biodiésel se presenta principalmente en la Amazonia en los departamentos de Loreto, San Martín, Huánuco y Ucayali.

3.5 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE DIESEL Y BIODIESEL.

La demanda de diesel a nivel nacional es tres veces más alto que la de gasolina. Se proyecta un incremento promedio anual del 2,1 %, lo que implicará que su demanda se elevaría de unos 61 miles de barriles equivalentes de petróleo por día (*MBPD*) en el año 2007 y a unos 74 *MBPD* hasta 2016, crecimiento que se debería básicamente al fuerte incremento que existe en el transporte. Al mismo tiempo se espera que la demanda de gasolina vaya

disminuyendo a un promedio por año de 3,5 %. La proyección de la demanda de diesel hasta el año 2016 en miles de barriles equivalentes de petróleo por día se puede ver en el gráfico N° 03 (Sánchez & Orrega, 2007).



**Figura N° 03: Proyección de la demanda de diesel hasta 2016 (en MDBP).
(Sánchez & Orrega, 2007)**

El cuadro N° 01 refleja la demanda nacional de biodiesel hasta el año 2016, en base a la demanda nacional de diesel y la mezcla obligatoria de B2 en el 2009 y B5 en el 2011. La demanda nacional de biodiesel será de 80 millones de litros en el 2009 y 215 millones de litros en el 2011.

Cuadro N° 01: Demanda Nacional de Biodiésel proyectada (en millones de litros) hasta el año 2016

| Combustible (millones de litros) | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Diesel | 3482,10 | 3540,14 | 3656,21 | 4004,42 | 4120,49 | 4294,59 | 4410,66 | 4584,77 | 4758,87 | 4874,94 | 4991,01 |
| Biodiésel 2% | | | | 80,09 | 82,41 | | | | | | |
| Biodiésel 5% | | | | | | 214,73 | 220,53 | 229,24 | 237,94 | 243,75 | 249,55 |

Fuente: Sánchez & Orrega, 2007

3.6 LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*).

En el Perú, en la región amazónica, la palma aceitera es el principal cultivo oleaginoso que tiene un amplio potencial de crecimiento. Es una especie perenne de cuyo fruto se extrae el aceite vegetal, con un rendimiento de 5 a 7 veces aproximadamente mayor que el de otras especies oleaginosas (Ocrospoma, 2008). En el cuadro N° 02 se presentan las siguientes características de la palma aceitera.

Cuadro N° 02: Características de la palma aceitera

| DESCRIPCIÓN | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------|---|
| Nombre científico | <i>Elaeis guineensis</i> |
| Familia | Palmácea |
| Vida útil | 20 – 30 años. |
| Altura | Se adapta bien hasta alturas de 500 m. s. n. m. y la zona ecuatorial, entre los 150 de latitud norte y 150 latitud sur. |
| Usos | Aceite comestible, esmalte, pintura, jabones, etc. |

Fuente: Ocrospoma, 2008

3.7 EL RACIMO DE PALMA.

El racimo de palma cuando llega a su madurez tiene un peso que sobrepasa los 25 kilos, llegando a contener en su estructura gran cantidad de frutos de buena conformación, además presenta en su estructura impurezas y fibras que representa el escobajo, en la figura N° 01 y cuadro N° 03 se presenta al racimo de palma y se describen las proporciones que lo conforman.



Figura N° 04: Racimo de palma aceitera (Fuente: AGRINOVA)

Cuadro N° 03: Composición del racimo de palma

| | |
|-----------------------------|------------|
| ESCOBAJO Y PEDUNCULO | 19% |
| FIBRA | 3% |
| FRUTO | 66% |
| HUMEDAD | 11% |
| IMPUREZAS | 1% |

Fuente: Palma del Espino (2008)

3.8 EL FRUTO DE PALMA.

El fruto de palma ya desarrollado adopta varias formas según su posición en el racimo y su coloración exterior varía de rojo a negro; consta de un exocarpio o cascara, del mesocarpio o pulpa que es de donde se obtiene el aceite e interiormente de un endocarpio, que juntamente con la almendra constituye la semilla, en la figura N° 02 y el cuadro N° 04 se presenta al fruto de palma y las proporciones de su estructura.



Figura N° 05: Fruto de palma aceitera (Fuente: AGRINOVA)

Cuadro N° 04: Estructura del fruto de palma.

| <i>PROPORCION DE SUS PARTES</i> | |
|---------------------------------|---------------|
| ENDOCARPIO | 33,09% |
| EPICARPIO | 28,45% |
| MESOCARPIO | 20,67% |
| SEMILLA | 17,79% |

Fuente: Industria del Espino (2008)

El fruto de palma presenta en su composición más de un 50% aceite aprovechable en la industria, además de otras características las cuales se detallan en el cuadro N° 05.

Cuadro N° 05: Composición proximal del fruto.

| | |
|----------------------|---------------|
| HUMEDAD | 13,08% |
| ACEITE | 69,21% |
| CENIZA | 0,26% |
| FIBRA | 4,56% |
| CARBOHIDRATOS | 11,03% |

Fuente: Palma del Espino (2008)

3.9 PROCESO AGROINDUSTRIAL DEL ACEITE DE PALMA Y PALMISTE.

La palma de aceite es un cultivo perenne, de tardío y largo rendimiento ya que la vida productiva puede durar más de 50 años, pero desde los 25 se dificulta su cosecha por la altura del tallo.

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora. Ahí se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o del palmiste. Este es un proceso simple que consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos de racimo, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante.

De la almendra se obtienen dos productos: el aceite de palmiste y la torta de palmiste que sirve para alimentos concentrados de animales.

Al fraccionar el aceite de palma se obtienen también dos productos: la oleína, que es líquida y sirve para mezclar con aceites de semillas oleaginosas, y la estearina que es más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones.

3.10 EL ACEITE DE PALMA.

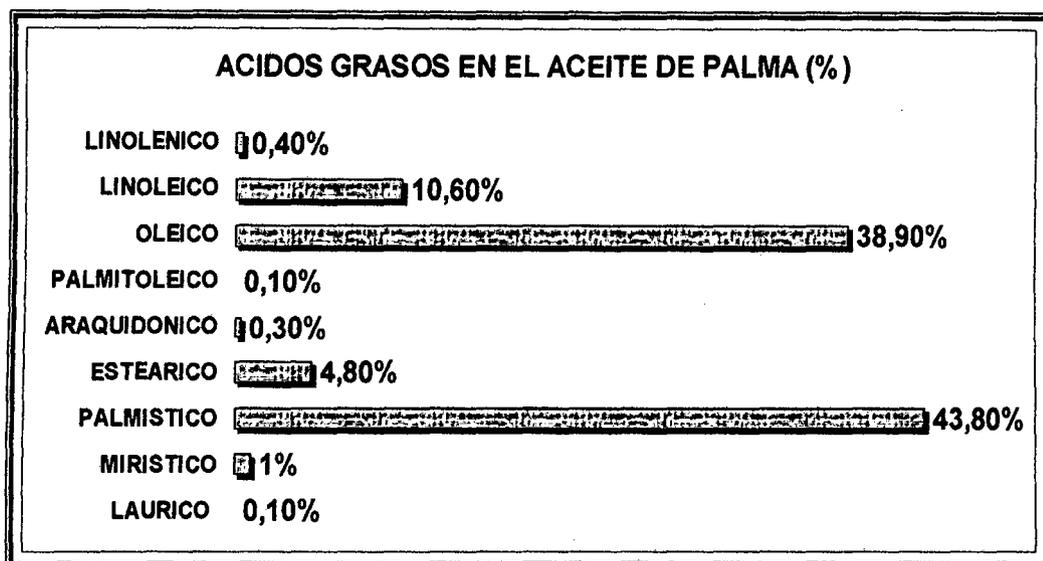
El aceite de palma es un aceite de origen vegetal obtenido del mesocarpio de la fruta de la palma *Elaeis guineensis*, este aceite es considerado como el segundo más ampliamente producido sólo superado por el aceite de soja.

Los usos son en su gran mayoría culinarios, bien directamente empleado como aceite de freír o aliñar, bien como producto añadido a otros alimentos como los helados, las margarinas, ya que se puede elaborar derivados equivalentes de aceite de cacao, jabones, etc.

Se usa también como materia prima en la producción de biodiésel, usado en producción de piensos para la alimentación animal, sobre todo de terneros, por su alto aporte energético por ración.

3.11 COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE PALMA.

El aceite de palma es saturado hasta en un 50%, su composición en promedio es como se describe en el gráfico N° 04.



**Figura N° 06: Composición de los ácidos grasos en el aceite de palma.
(Palma del Espino)**

3.12 PERFILES DE LOS ÁCIDOS GRASOS.

Los ácidos grasos insaturados en el mesocarpio representan el 65.31%; siendo el principal el ácido oleico con un 45.46%; en la semilla: ácidos grasos saturados en un 82.38%, siendo el láurico de mayor proporción con un 45%.

3.13 PROCESO DE HIBERNIZACIÓN DE ACEITES Y GRASAS.

Según **BAILEY (1979)** se denomina hibernación de los aceites, al proceso de eliminación de los glicéridos de punto de fusión elevado; ya que esta separación se lleva a cabo primeramente dejando reposar y decantando el aceite contenido en tanques a la intemperie, durante la estación invernal. La gran demanda actual de aceites de esta clase hace que sea necesario el empleo de frío artificial y la filtración del líquido para separar las porciones sólidas.

El problema de la elaboración de aceites hibernados estriba principalmente en la necesidad de producir cristales, en forma fácilmente separables de la parte de aceite que permanece líquido; problema que presenta cierta dificultad. A las temperaturas relativamente bajas, necesarias para la hibernación, el aceite es muy viscoso; y es bien conocida la mala disposición que tienen las disoluciones viscosas a depositar cristales bien formados, sobre todo cuando las moléculas que los forman son grandes como sucede con la de los triglicéridos. El aceite debe enfriarse con extrema lentitud, a fin de conseguir cristales filtrables y, aún en las circunstancias más favorables, la separación final de sólidos y líquido es incompleto. Debido a la lentitud de la operación y la mala separación que se consigue, este procedimiento es uno de los métodos actuales de manipulación de aceites menos satisfactorio.

Toda la operación de hibernación se suele llevar a cabo en salones refrigerados, aunque los tanques de enfriamiento se pueden colocar a temperatura ambiente, si están bien cerrados y aislados térmicamente. En algunas instalaciones, los enfriados se construyen en forma muy estrecha (en ciertos casos llegan a tener solo de 60 a 90 cm. de ancho), para facilitar la transmisión de calor, desde su interior, al aire frío de la sala. Sin embargo, es muy corriente emplear tanques de forma y tamaño ordinario, equipados con serpentines de enfriamiento.

La expansión directa de un agente refrigerante en el interior del serpentín apenas cumplirá los requisitos de enfriamiento gradual, necesario para la formación apropiada de cristales. Por consiguiente, los serpentines se construyen

para la circulación de una salmuera fría. Es más o menos esencial tener dispuesto el sistema de refrigeración de manera que la temperatura de la salmuera se puede variar fácilmente y controlar con exactitud. Para evitar el rápido enfriamiento del aceite próximo a los tubos, no debe nunca ser muy grande la diferencia de temperaturas entre la salmuera y el aceite.

Por regla general, suele ser satisfactoria una diferencia de unos 15 °C, cuando el aceite está a 25 °C hasta 5°C, cuando está a 7.5 °C los serpentines deben estar en el tanque muy próximos entre sí, ya que, no es posible la agitación del aceite, para ponerlo en contacto con los tubos, cuando los cristales han empezado a formarse.

Una característica absolutamente esencial del proceso, como ya se dijo anteriormente, es la lenta velocidad de enfriamiento. Aun cuando se haya prestado el máximo de cuidado en la refrigeración, la filtración del aceite frío y viscoso de los cristales relativamente no rígidos, sigue siendo muy dificultosa, y, la falta de control en la formación de estos, puede dar lugar a estropear totalmente la operación.

A continuación, se describe la serie de operaciones características, que se siguen en la preparación de un aceite de algodón bien hibernizado. El aceite se carga a los refrigeradores, a una temperatura de 20 a 30 °C y se enfría entonces a 13 °C, en 6 a 12 horas; en un aceite de composición media, los primeros cristales aparecen cuando se alcanza esta temperatura. La velocidad de enfriamiento se disminuye algo y se deja que la temperatura baje hasta 7.2 °C, al cabo de 12 a 18

horas. La velocidad de cristalización será lo suficientemente rápida como para causar un ligero aumento de la temperatura del aceite, aún cuando se siga manteniendo al mismo nivel la refrigeración interior. Ordinariamente, la temperatura sube de 1 a 2 °C, para caer después, como se dijo anteriormente.

Cuando alcanza un punto ligeramente inferior al mínimo anterior (esto es, 5.5 °C) se interrumpe el enfriamiento y se deja la carga a esta temperatura, durante un tiempo considerable. La duración exacta de este último periodo depende del grado de hibernización deseado. La cristalización continúa durante bastante tiempo, después de que cesa el enfriamiento; dependiendo del grado de hibernización conseguido, más que de la duración de este periodo de estabilización de la temperatura, que de su valor real. Un periodo de 12 horas asegura generalmente un ensayo de enfriamiento (tiempo requerido para formación de turbidez a 0°C) de más de 20 horas.

La filtración del aceite hibernizado se suele llevar a cabo en filtros prensas ordinarios, de placa y bastidor de gran capacidad. Para transportar el aceite cristalizado a las prensas, con el menor trastorno posible y mínima desintegración de los cristales, la masa fría, procedente de los refrigerantes, se suele verter por gravedad dentro de unos tanques pequeños cerrados, llamados "huevos", de los cuales se pasa a las prensas por medio de aire comprimido.

3.14 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.

Según **GERPEN (2004)**. La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiésel, es la transesterificación, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado (ver gráfico N° 05).

Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

Las tecnologías existentes, pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será en función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador.

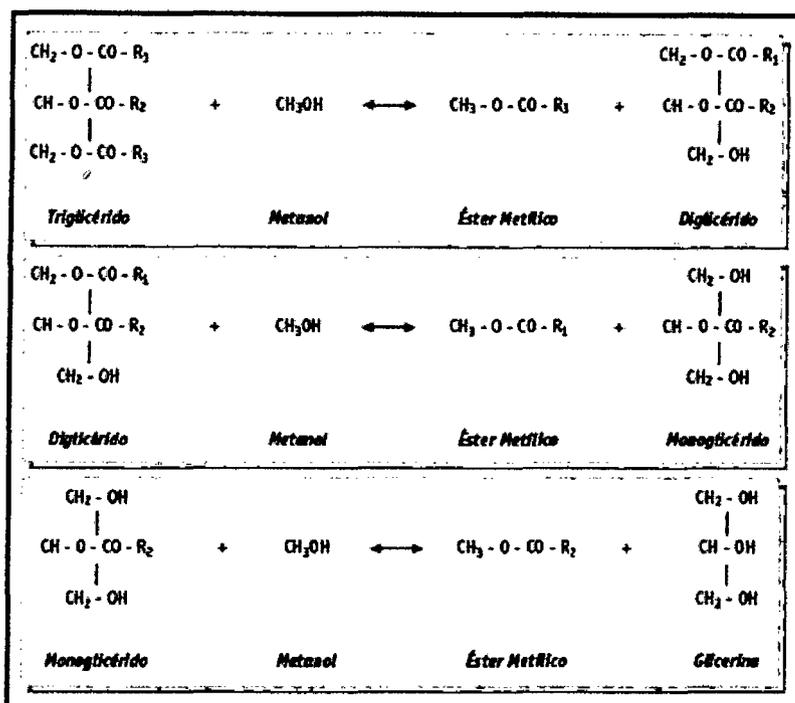


Figura N° 07: Proceso de transesterificación. (Palma del Espino)

Para la elaboración de biodiésel existen dos procesos los cuales son:

➤ **PROCESO DISCONTINUO:**

Según **AVILA (2009)**, es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado relaciones 4:1 (alcohol - triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas.

El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor

del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%, según **AVILA (2009)**.

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol - aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En el gráfico N° 06 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.

➤ **PROCESO CONTINUO:**

Según **AVILA (2009)**, una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción.

Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor

sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) –con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

En el gráfico N° 07, se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.

Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos que a su

vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua.

De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiésel puesto que es un subproducto del proceso.

3.15 FLUJOGRAMAS DE LOS DOS PROCESOS USADOS EN LA INDUSTRIA PARA LA ELABORACION DE BIODIESEL.

En las figuras 08 y 09 se presentan los dos procesos que se usan en la industria del biodiesel para su elaboración.

- **PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN EN DISCONTINUO**

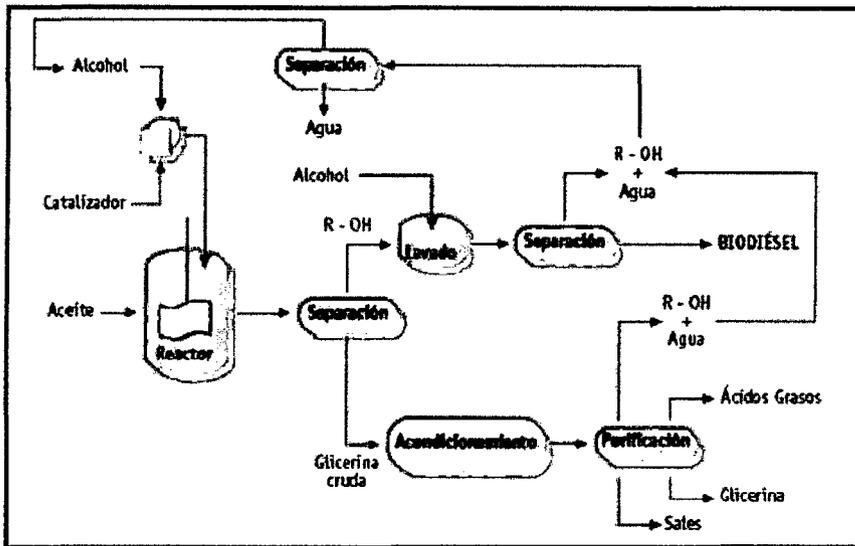


Figura Nº 08: Transesterificación discontinua. (Instituto De Desarrollo Sostenible – IDS 2009)

- **PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN EN CONTINUO**

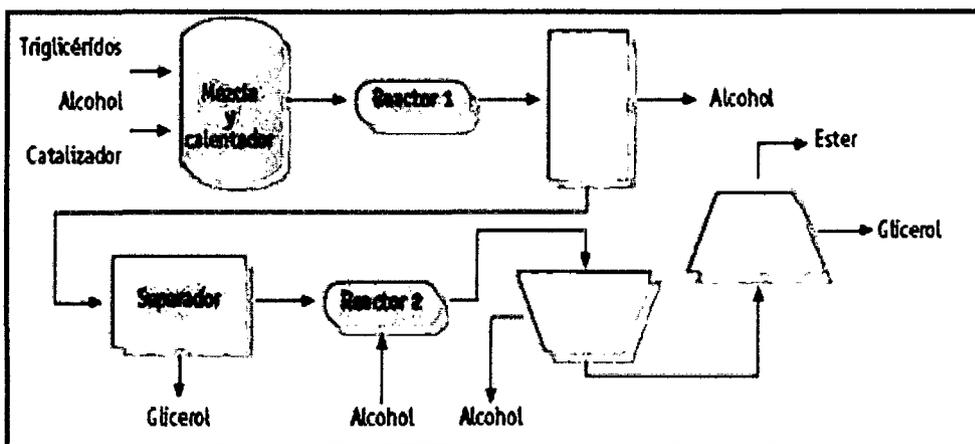


Figura Nº 09: Transesterificación continua. (: Instituto De Desarrollo Sostenible – IDS 2009)

3.16 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIODIESEL DE PALMA

La composición química del biodiésel a partir del aceite de palma en promedio es como se describe en el cuadro N° 06.

Cuadro N° 06: Composición química del biodiésel de palma

| TIPO DE METILESTER | PORCENTAJE MASICO | PUNTO DE FUSIÓN (°C) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| ACIDO MIRISTICO | 4,05 | 18,5 |
| ACIDO PALMÍTICO | 41,04 | 30,5 |
| ACIDO ESTEARICO | 5,61 | 39,5 |
| ACIDO OLEICO | 32,85 | - 20,0 |
| ACIDO LINOLEICO | 16,45 | - 35,0 |
| ALQUILÉSTERES SATURADOS | 50,7 | - |
| ALQUILÉSTERES INSATURADOS | 49,3 | - |

Fuente: Wearcheck Ibérica. (2007)

3.17 CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL.

Según CIRIA (2007), el diesel de petróleo presenta en su estructura compuestos parafínicos, naftalénicos y aromáticos. El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre el C₁₀ y C₂₂.

El biodiésel es un combustible ecológico de origen renovable y respetuoso con el medio ambiente. Es seguro, fácil para transportarlo y almacenarlo.

Es biodegradable como el azúcar, es diez veces menos tóxico que la sal de cocina y tiene un punto de inflamación aproximadamente de 150°C, comparado al diesel cuyo punto de inflamación es 50°C.

Según **CIRIA (2007)**, el uso del biodiésel reduce aproximadamente en 80% las emisiones del anhídrido carbónico y un 100% las de dióxido de azufre. También la combustión del biodiesel disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados y entre el 75%- 90% en los hidrocarburos aromáticos. Contiene 11% de oxígeno en peso y no contiene azufre.

El uso de biodiésel puede extender la vida de los motores por que posee mejor calidad lubricante que el diesel. Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares son menos contaminantes que otros combustibles. Diversos estudios realizados demostraron que el biodiésel reduce en un 90% el riesgo de contraer cáncer, según **GONZÁLEZ DEL VALLE (2004)**.

Cuadro N° 07: Características del biodiésel y el diesel

| DATOS FISICO - QUIMICOS | BIODIESEL | DIESEL |
|---|--|-----------------------------------|
| COMPOSICIÓN COMBUSTIBLE | Ester metílico Ac. Grasos C12 – C22 | Hidrocarburo C10 - C21 |
| PODER CALORICO INFERIOR. (Kcal/Kg.) | 9500 | 10800 |
| VISCOSIDAD CINEMATICA, est. (a 40 °C) | 3,5 – 5,0 | 3,0 – 4,5 |
| PESO ESPECÍFICO. g/cm³ | 0,875 – 0,900 | 0,850 |
| AZUFRE. % P | 0 | 0,2 |
| PUNTO DE EBULLICION °C | 190 – 340 | 180 – 335 |
| PUNTO DE INFLAMACION °C | 120 – 170 | 60 – 80 |
| PUNTO ESCURRIMIENTO °C | -15 / +16 | -35 / -15 |
| NUMERO DE CETANOS | 48 – 60 | 46 |
| RELACIÓN ESTEQUIOMETRICA. Aire/comb. p/p | 13,8 | 15 |

Fuente: Wearcheck Ibérica (2007)

3.18 PROPIEDADES DEL BIODIESEL.

Según CIRIA (2007), las propiedades de un diesel y biodiésel comerciales dependen tanto del proceso de fabricación y en el caso del biodiesel, de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido.

El biodiésel en función de la naturaleza de la fuente, proporcionará unas características particulares al nuevo combustible.

- **PUNTO DE INFLAMACIÓN:** Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención en el caso del biodiésel.
- **VISCOSIDAD:** Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debido a las fugas en bomba de inyección y en el inyector. Además, le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por otra parte también se limita la viscosidad máxima por consideración de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección.
- **DENSIDAD:** Da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indica mayor energía térmica y una mejor economía de combustible.
- **CENIZAS SULFATADAS:** Los materiales que forman cenizas en un biodiésel se pueden presentar de tres formas:
 - Sólidos abrasivos
 - Jabones metálicos solubles
 - Catalizadores no eliminados en el proceso

En el caso del diesel, normalmente solo aparecen los primeros o gomas solubles. Tanto los sólidos abrasivos como los catalizadores no eliminados favorecen al desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor.

Los jabones metálicos solubles tienen un efecto menor en el desgaste pero pueden afectar más a la coimatación de filtros y depósitos en el motor

- **AZUFRE:** Contribuye al desgaste del motor y a la aparición de depósitos que varían considerablemente en importancia dependiendo en gran medida de las condiciones de funcionamiento del motor. También pueden afectar al funcionamiento del sistema de control de emisiones y a límites medioambientales.

- **CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE:** Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen en el sistema compuestos corrosivos y/o presencia de ácidos que pueden atacar al cobre o a la aleación del cobre como el bronce que forma parte del sistema de combustible.

- **NÚMERO DE CETANO:** Es una medida de la calidad de ignición de un combustible que influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor.

Un bajo NC conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

- **ÍNDICE DE YODO:** Indica la tendencia a la oxidación de un biodiesel porque da idea del grado de insaturaciones que poseen los ésteres.
- **PUNTO NUBE:** Indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible (parafina, materia insaponificable). Es una medida muy importante a tener en cuenta cuando se usa el motor en climas fríos. El valor debe ser definido por el usuario, ya que depende del clima en el cual el motor se utilice.

- **AGUA Y SEDIMENTOS:** El agua se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento. La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden colmatar filtros y darle al combustible unas propiedades de lubricidad menores, el biodiésel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diesel.

El agua puede provocar dos problemas en el motor.

- Corrosión en los componentes del motor, generalmente herrumbre. El agua se acidifica y acaba atacando a los tanques de almacenamiento.
- Contribuye al crecimiento de microorganismos, formando lodos y limos que pueden colmatar los filtros. Además, algunos de estos

microorganismos pueden convertir el azufre que posee el combustible en ácido sulfúrico que corroe la superficie metálica del tanque.

- **RESIDUO CARBONOSO:** Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos. Normalmente para el diesel se puede utilizar el 10% que quedan en la destilación, pero debido a que el biodiesel tiene un perfil muy diferente de destilación (en un pequeño rango de temperatura se destila toda la muestra ya que posee una distribución de moléculas diferentes muy pequeñas), se debe utilizar 100% de la muestra. También se puede obtener información, a parte de la contaminación (glicerina libre y total), de la calidad de la purificación del biodiesel cuando se fabrica.

- **DESTILACIÓN:** Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el combustible a unas condiciones de presión y temperatura dadas.
 - El biodiesel a la temperatura de 360 °C tiene que estar el 90% destilado, según la norma ASTM D 1160
 - El diesel a la temperatura de 360 °C tiene que estar el 95% destilado, según la norma ASTM D86.

- **NÚMERO ÁCIDO:** Determina el nivel de ácidos grasos, o generación por degradación, que se presentan en el combustible. Si posee un alto grado de acidez se formarán una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema.

- **CONTENIDO DE METALES (Na, K, P) Y ÁCIDOS GRASOS LIBRES:** Contribuye al aumento del residuo carbonoso de manera notable y también a las cenizas, generando residuos inorgánicos parcialmente quemados. Además, también se pueden formar jabones que coimatan los filtros de combustible.

- **LUBRICIDAD:** Es la cualidad de un líquido para proporcionar una lubricación adecuada para prevenir el desgaste entre dos superficies en movimiento. Los combustibles con un bajo contenido de azufre o baja viscosidad tienden a tener una lubricidad menos.

- **GLICERINA LIBRE:** Determina el nivel de glicerina no enlazada presente en el biodiésel. Su presencia normalmente se debe a una mala purificación del biodiésel. Niveles altos puede causar problemas de depósitos en el inyector, así como coimatación de filtros. Puede dañar los sistemas de inyección debido a los compuestos inorgánicos y jabones que acumulan en la glicerina. Si la cantidad de glicerina es superior al 0.5% esta puede afectar al contenido del residuo carbonoso.

- **GLICERINA TOTAL:** Determina el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significa que se ha producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se ha formado una gran cantidad de monoésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar la colmatación de filtros, forman depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas de ebullición superiores provocan que la combustión sea bastante peor. Además, aumenta la viscosidad del biodiésel.

- **CONTENIDO DE ALCOHOL:** Pueden provocar problemas de lubricidad y en el número de cetano. Desde el punto de vista de la seguridad el punto de inflamación disminuye. Por otro lado, junto a la presencia de alcohol puede venir asociada glicerina disuelta en este con los consiguientes problemas antes comentados.

- **ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN:** Determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento.

La oxidación de un combustible suele venir acompañada de la formación de gomas solubles e insolubles que pueden actuar de la siguiente manera:

- **Gomas insolubles:** Problema de colmatación de filtros.

- Gomas solubles: Formación de depósitos en la punta del inyector y fallo en las boquillas de los inyectores.

Además, dicha estabilidad a la oxidación se puede ver alterada por los diversos contaminantes que pueden estar presentes en el biodiésel.

Hay que tener en cuenta que el biodiésel se puede usar puro o mezclado con el diesel. Esto hará que las propiedades que sean más diferentes entre ellos se irán igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado. Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo 20/80 con diesel se denomina B20. Pero esto no significa que no se pueda usar en otras proporciones. De hecho en Francia y otros países usan el B2, B5, etc.

3.19 ESPECIFICACIONES DEL BODIESEL

La calidad del producto final es de capital importancia. Producir un biodiésel fuera de las especificaciones de calidad establecidas, significa tener problemas para su comercialización.

Para que el usuario pueda obtener un biodiésel de acuerdo a normas, debe asegurarse de no tener problemas con los equipos que utilice (taponamiento de filtros, inyectores, depósitos en los tanques de combustible)

Según **KNOTHE (2006)**, los estándares para el biodiesel han sido establecidos y desarrollados en varias regiones y países alrededor del mundo, los principales estándares de calidad son las normas ASTM D 6751(cuadro N°05),

empleada en los Estados Unidos y la norma EN 14214 (cuadro N° 04), usada en la Unión Europea. Para fines legales, sólo es considerado como biodiesel el producto que atienda todos los requisitos de la norma en uso en el país. Los estándares de calidad para biodiesel incluyen propiedades típicas de diesel, y otras específicas para este nuevo biocombustible, definiendo valores máximos, mínimos o el rango permitido para cada característica, así como el método de medición de cada característica. El sistema de normas ASTM es la base para definir las especificaciones de calidad y métodos analíticos para la mayoría de los segmentos de combustibles y el mercado de productos industriales en Estados Unidos.

Cuadro N° 08
ESPECIFICACIONES DE LA 14214

| PARAMETROS | UNIDAD | VALORES MINIMOS | MAXIMO | METODO |
|------------------------------|--------------------|----------------------------|--|--------------------------|
| DENSIDAD A 15 C | KG / M | 860 | 900 | En ISO 3675 |
| VISCOSIDAD A 40 C | mm ² /s | 3.5 | 5 | En ISO 12185 |
| FLASH POINT | C | 120 | | En ISO 3104 |
| COLD TEST CFFP * | | | Verano max. 0 C Invierno max. -20 C | ISO/CD 3679 |
| CONTENIDO DE AZUFRE ** | mg/kg. | - | 10 | |
| CARBON RESIDUAL ** | % (m/m) | - | 0,3 | |
| ACIDEZ | mg (KOH/g) | | 0,5 | En ISO10370 |
| NUMERO DE CETANO ** | | 51 | | prEN 14104 |
| CENIZAS ** | % (m/m) | - | 0,02 | En ISO 5165 |
| AGUA | mg/kg. | - | 500 | ISO 3987 |
| SEDIMENTOS ** | Vol. % | | 0,05 | En ISO 12937 |
| CONTAMINACION TOTAL | mg/kg | - | 24 | |
| COBRE | Rating | Class 1 | En ISO 2160 | EN 12662 |
| ESTABILIDAD A OXIDACION | Hours | 6 | - | |
| CONTENIDO DE ESTER | % (m/m) | 96.5 | | prEN 14112 |
| CONTENIDO EN METANOL | % (m/m) | | 0,2 | prEN 14103 |
| MONOGLICERIDOS | % (m/m) | | 0,8 | prEN 14110 |
| DIGLICERIDOS | % (m/m) | | 0,2 | prEN 14105 |
| TRIGLICERIDOS | % (m/m) | | 0,2 | prEN 14105 |
| GLICERINA LIBRE | % (m/m) | | 0,05 | prEN 14105 prEN 14106 |
| CONTENIDO TOTAL DE GLICERINA | % (m/m) | | 0,25 | prEN 14105 |
| INDICE DEIODO | | | 120 | prEN 14111 |
| FOSFORO | mg/kg | | 10 | prEN 14107 |
| CONTENIDO (Na + K) | mg/kg | | 5 | prEN 14108 prEN 14109 |

Fuente: Wearthcheck Ibérica (2007)

Cuadro N° 09

ESPECIFICACIONES 6751 – 034

| PROPIEDADES | UNIDADES | LIMITE MINIMO | MAXIMO |
|------------------------------|--------------------|----------------------|---------------|
| DENSIDAD A 15 C | gr/cm ³ | | |
| DESTILACION | % C | 90% 360C | - |
| VISCOSIDAD A 40 C | mm ² /s | 1,9 | 6,0 |
| RANGO DE FLASH POINT | C | 130 | - |
| COLD TEST CFPP ** | - | . | - |
| CONTENIDO DE AZUFRE ** | Mg/kg | - | 15 |
| RESIDUO CARBONOSO | % (m/m) | - | - |
| INDICE DE ACIDEZ | mg KOH/g | - | 0,8 |
| N DE CETANO ** | - | 47 | - |
| CONTENIDO DE CENIZAS ** | % (m/m) | - | 0,02 |
| CONTENIDO DE AGUA | mg/kg | - | 500 |
| SEDIMENTOS ** | | - | 0,05 |
| CONTAMINACION TOTAL | mg/kg | - | - |
| CORROSION DEL COBRE | Rating | - | - |
| ESTABILIDAD OXIDATIVA ** | Hours | 6 | - |
| CONTENIDO DE ESTER | % (m/m) | 96,5 | - |
| CONTENIDO DE METANOL | % (m/m) | - | - |
| CONTENIDO DE DIGLICERIDOS | % (m/m) | - | - |
| CONTENIDO DE TRIGLICERIDOS | % (m/m) | - | - |
| CONTENIDO DE GLICERINA LIBRE | % (m/m) | - | 0,02 |
| CONTENIDO TOTAL DE GLICERINA | % (m/m) | - | 0,24 |
| INDICE DE IODO | - | - | - |
| FOSORO | mg/kg | - | 10 |
| CONTENIDO ALCALINO (Na + k) | mg/kg | - | - |

Fuente: Wearcheck Ibérica. (2007)

* Para alcanzar los valores límites de CFPP, es necesaria una adición de anticongelante (no incluido en nuestro suministro)

** Valores procedentes desde la materia prima, sin influencia en el proceso de transesterificación.

3.20 ESTUDIOS REALIZADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL BIODIESEL A BAJAS TEMPERATURAS

DUNA et al. (1996), presentaron una evaluación preliminar del potencial de la técnica de winterización para mejorar las propiedades de flujo a bajas temperaturas del biodiesel de aceite de soya. Dicha evaluación se realizó a escala de laboratorio mediante la inmersión de botellas de vidrio de un litro, conteniendo aproximadamente 0,65 kg. de biodiesel, en un baño de enfriamiento con control de temperatura. El proceso se inicio a una temperatura de 4°C y la temperatura del baño se redujo gradualmente a intervalos de 2°C hasta llegar a -10°C. En cada paso del proceso, los sólidos formados eran retirados mediante filtración rápida con un filtro de vidrio sinterizado. Estando el biodiesel en una etapa dada del proceso, el criterio para continuar con el siguiente paso a una temperatura 2°C inferior, era que en el líquido remanente no se observará ninguna nubosidad por un periodo de tres horas. La duración de cada ensayo fue de aproximadamente una semana y se logró obtener un biodiesel final con un punto nube (temperatura a la cual aparecen los primeros cristales) de -

16°C. El rendimiento de líquido al final con respecto a la masa inicial fue del 25%

LEE et al. (1996), realizaron un estudio orientado a mejorar las propiedades de flujo a bajas temperaturas de biodiesel del aceite de soya mediante winterización. En lugar de los parámetros convencionales para determinar las propiedades de flujo a bajas temperaturas de combustibles diesel como el punto nube y el punto de fluidez, los investigadores en mención utilizaron como parámetros de evaluación el punto de inicio de cristalización (*crystallization onset temperatura = Tco*), el cual se determina experimentalmente mediante análisis térmico usando calorimetría diferencial de barrido o DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). El procedimiento general de los ensayos en laboratorio seguido por et al. fue similar al utilizado por Dunn, reduciendo la temperatura en pasos de 0.2 °C a 0.3°C y manteniendo constante la temperatura en cada paso por 16 horas. Con el procedimiento anterior fue posible obtener metilésteres de aceite de soya con un punto de inicio de cristalización de (*Tco*) de -5,8 °C y un rendimiento final de líquido de 77%. Los resultados fueron mejores al utilizar un biodiesel proveniente de soya con bajo contenido de metilésteres de ácido palmítico. En este caso se obtuvo un rendimiento de biodiesel del 86% con un *Tco* de -6,5 °C.

BENAVIDES et al. (2008), del Grupo de Combustibles Alternativos del Instituto de Energía; Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, realizaron un trabajo donde evaluaron la efectividad de la técnica

de fraccionamiento por cristalización para mejorar el punto de fluidez a bajas temperaturas de un biodiesel a partir del aceite de palma logrando implementar a escala de laboratorio un proceso de fraccionamiento del biocombustible de aceite de palma mediante la cristalización inducida por enfriamiento, donde el objetivo de dicho proceso no fue la separación total de uno o varios de los componentes saturados, sino la migración de tales componentes, especialmente de los que se encuentran en mayor proporción, de una fracción a otra.

Se observó que a medida que se incrementa el tiempo de estabilización y se disminuye la temperatura de enfriamiento en el proceso, se disminuye el rendimiento y se aumenta el contenido global de insaturados de las fracciones líquidas, notándose el cambio más dramático a las 24 horas de estabilización, caso en el cual el rendimiento de líquido cae desde 98% a la temperatura de prueba de 16°C hasta 50,8 % a temperatura de prueba de 14°C, mientras el contenido de insaturados sube solamente 3,6 puntos porcentuales, de 50,4 a 54%.

Los cambios más significativos en la composición de las fracciones líquidas a medida que se aumenta el tiempo de estabilización y se disminuye la temperatura de enfriamiento ocurren con los metilésteres que se encuentran en mayor proporción, o sea, los metilésteres del ácido palmítico y del ácido oleico.

Para las condiciones extremas probadas en este trabajo (tiempo de estabilización de 24 horas y temperatura de enfriamiento de 14°C) se logró una reducción de 6°C en el punto Nube, con respecto al biodiesel de palma sin fraccionar. Dicho cambio en el punto nube corresponde al aumento en el contenido de insaturados de 4,7% y una reducción en el contenido de metilésteres del ácido palmítico de 5,29%.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material y Equipos:

- Botellas de vidrio 1000 ml. 10 unidades
- Botellas de vidrio 500 ml. 30 unidades
- RBD palma. 30 litros.
- Embudo 01 unidad
- Termómetro -10 a 150 °C 02 unidades
- Caja de polietileno 01 unidad
- Cámara de frío 01 unidad
- Vaso de precipitado 50 y 500 ml. 01 unidad
- Hielo 250 gramos
- Tubos de ensayo 09 unidades
- Probeta 20, 100 y 500 ml. 01 unidad
- Tetracloruro de metano 02 ml.
- Reactivo de wej's 05 ml.
- Yoduro de potasio al 10% 03 ml.
- Solución de almidón al 1%
- Tiosulfato de sodio 0.1 N
- Agua destilada 40 ml.
- Pipeta 20 ml. 01 unidad
- Alcohol metílico 96 ° 250 ml.
- Fenolftaleína 15 ml.
- Hidróxido de sodio 0.1 N 20 ml.

4.3 Metodología

4.3.1 Diseño del experimento

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A) con un arreglo factorial 3 x 3, (temperatura x tiempo) con tres repeticiones por cada tratamiento.

4.3.2 Componentes en estudio

a. Aceite de palma refinado

b. Hibernización

- Temperaturas de 10, 13 y 16 °C.
- Tiempos de 04, 06 y 08 horas.

c. Biodiesel elaborado con las fracciones líquidas obtenidas

4.3.3 Tratamientos en estudio

T0 = Testigo, aceite de palma que no será hibernizado.



PROCESO 01: 04 HORAS

T1 = Aceite refinado de palma hibernizado a 10 °C.

T2 = Aceite refinado de palma hibernizado a 13 °C.

T3 = Aceite refinado de palma hibernizado a 16 °C.

PROCESO 02: 06 HORAS

T1 = Aceite refinado de palma hibernizado a 10 °C.

T2 = Aceite refinado de palma hibernizado a 13 °C.

T3 = Aceite refinado de palma hibernizado a 16 °C.

PROCESO 03: 08 HORAS

T1 = Aceite refinado de palma hibernizado a 10 °C.

T2 = Aceite refinado de palma hibernizado a 13 °C.

T3 = Aceite refinado de palma hibernizado a 16 °C.

Los tratamientos mencionados, fueron realizados en botellas que contenían 1000 ml. de aceite refinado de palma. Cada una de las botellas fue etiquetada con un color determinado, lo cual indicaba el tiempo al que fue mantenido en la cámara de frío.

4.3.4

Fase de hibernización

4.3.4.1 Distribución del aceite en unidades medibles

- a) Separación del aceite de palma en botellas de vidrio de 1000 ml., esto con la finalidad de usar como un 100% para el cálculo posterior de las fracciones líquidas obtenidas.

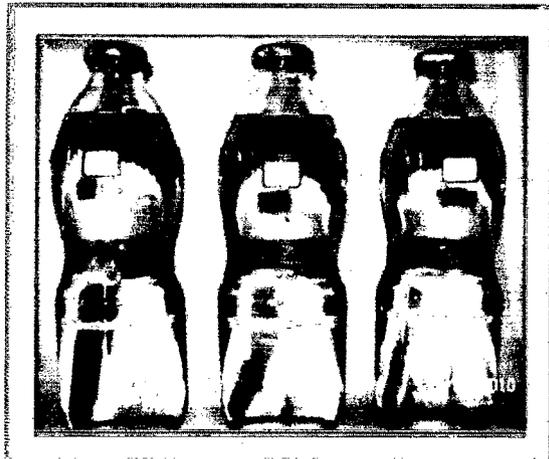


Figura N° 10: Aceite Refinado de Palma

4.3.4.2 Hibernización del aceite

- a) Ubicación de las botellas de vidrio en una caja de polietileno expandido, la cual se encuentra en el interior de la cámara de frío, esto con el fin de ayudar a controlar el frío una vez alcanzada la temperatura de prueba.

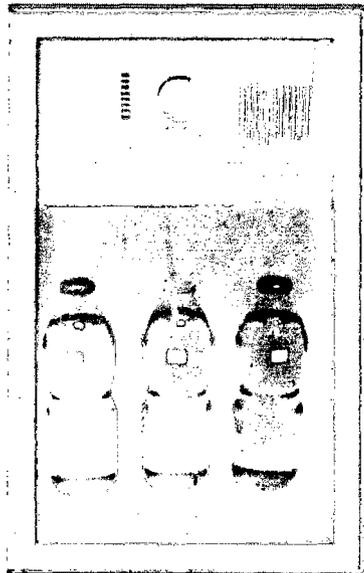


Figura N° 11: Aceite en la Cámara de frío

- b) En una de las botellas ubicadas en la cámara de frío se le introdujo un termómetro el cual nos ayudó a determinar la temperatura interna de la muestra, esto con el fin de controlar la temperatura a la cual fueron sometidas para de ahí controlar el tiempo mencionado en el trabajo, cabe mencionar que también se usara un termómetro externo el cual ayudara a determinar la temperatura interna de la caja de polietileno expandido esto con la finalidad de controlar y mantener una temperatura constante.

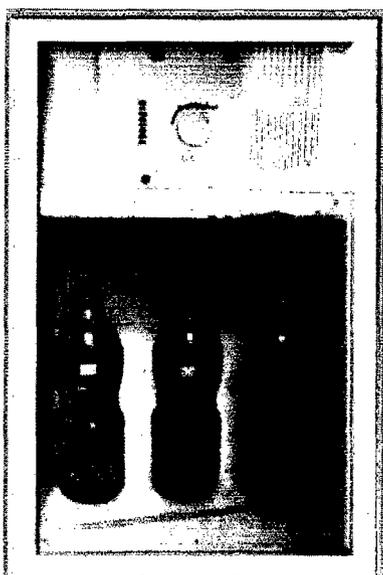


Figura N° 12: Aceites con los termómetros de control

- c) Una vez efectuado el tratamiento a cada una de las muestras, se procedió a la separación de la fracción líquida de la sólida, para ello se utilizó un embudo el cual contendrá una gasa para evitar el paso de pequeños cristales de manteca, las fracciones líquidas obtenidas se vaciaron en botellas de 500 ml. las cuales serán rotuladas de acuerdo al tratamiento sometido.

4.3.5 Fase de laboratorio.

4.3.5.1 Medición del índice de acidez de las fracciones líquidas obtenidas

- a) Medimos 5 ml. del aceite de palma fraccionado.
- b) Después medimos 15 ml. de alcohol de 96 ° y lo añadimos al aceite.
- c) Una vez obtenida la mezcla se le agrega tres gotas de fenolftaleína.
- d) Para luego llevar a titular con hidróxido de sodio al 0.1 N y proceder a anotar el gasto, hasta el viraje de color.

4.3.5.2 Medición de índice de yodo de las fracciones líquidas obtenidas

- a) Colocar aproximadamente 0,20 a 0,03 gr. de aceite hibernizado en un Erlenmeyer de 250 ml.
- b) Añadir 2 ml. de Tetracloruro de carbono, 5ml. de reactivo de wij's mas una gota de yoduro de potasio al 10% al Erlenmeyer conteniendo el aceite.

- c) Después tapar el frasco y dejar en reposo por dos horas en un ambiente oscuro.
- d) Transcurrido el tiempo, se añade 3 ml. de yoduro de potasio al 10% y 40 ml. de agua destilada agitando continuamente.
- e) Finalmente se añade una solución de almidón al 1% hasta obtener una coloración morado intenso y titular con Tiosulfato de sodio al 0.1 N hasta la desaparición del color.
- f) Anotar el gasto, paralelamente llevar a cabo una determinación en blanco (igual procedimiento, pero sin muestra de grasa).

4.3.5.3 Elaboración de biodiesel a partir de las fracciones líquidas obtenidas

- a) Medir 100 ml. de la fracción líquida obtenida del aceite de palma fraccionado.
- b) El cálculo de hidróxido de sodio que se necesita para la reacción y la formulación del metóxido de sodio. Para ello se calcula la cantidad de hidróxido de sodio teniendo en cuenta que por cada litro de aceite se agrega 3.5 gramos de hidróxido de sodio para la transesterificación, además de agregar la

cantidad de ml. de disolución de hidróxido de sodio empleada en la valoración.

- c) Medir el 20% del volumen del aceite a utilizar en metanol, a esto agregarle la cantidad calculada de hidróxido de sodio y agitar. Este proceso permite formular el metóxido de sodio.

- d) Calentar el aceite a una temperatura aproximadamente de 45°C y agregar el métoxido mientras se agita con un agitador imantado, seguir agitando la mezcla durante unos 50 a 60 minutos. La reacción suele completarse en media hora, pero es mejor agitar durante más tiempo.

- e) Pasado el tiempo, dejar que la mezcla repose y se enfríe en una pera de decantación, sujeta en un soporte universal por lo menos durante ocho a veinticuatro horas (al cabo de unos minutos se podrá apreciar el inicio de la estratificación).

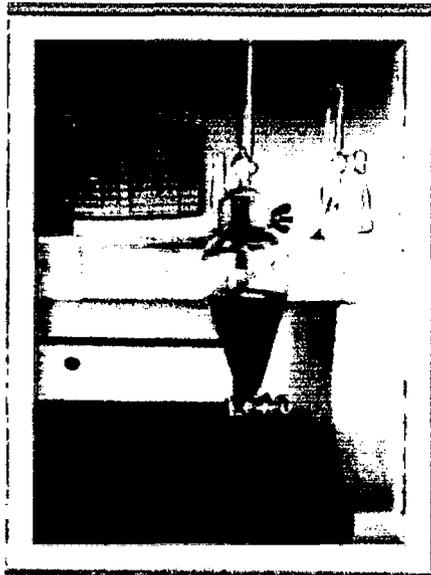


Figura N° 13: Formación de las fases

- f) Una vez reposado, separa las dos fases, la glicerina del biodiésel (la glicerina formará una masa gelatinosa en el fondo). Se recomienda no acercarse a una llama.



Figura N° 14: Separación final

- g)** Realizar el lavado del biodiésel para eliminar las impurezas y restos de hidróxido que han quedado durante el proceso de transesterificación. Se mezcla 1/3 parte de agua corriente y 2/3 partes del biodiésel previamente reposado, agitar la mezcla por espacio de 10 minutos. Dejar reposar (en 10 minutos se podrá apreciar la separación).

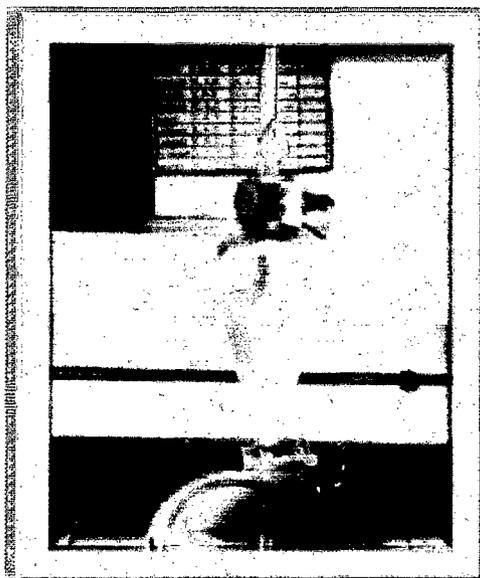


Figura N° 15: Primer lavado del biodiesel

- h)** Repetir el proceso dos veces más, a la tercera lavada deberá salir limpia el agua, de lo contrario añadir 15 ml. de vinagre por cada 25 litros de agua y repetir la operación.



Figura N° 16: Segundo lavado del biodiesel



Figura N° 17: Eliminación de jabones formados en el biodiesel

- i) Una vez obtenido el biodiésel, se lleva por 24 horas aproximadamente a la estufa, a una temperatura de 50°C.

4.3.6

Parámetros a evaluar.

4.3.6.1 Rendimientos de las fracciones líquidas obtenidas y del biodiesel elaborado

- a) Las fracciones líquidas obtenidas fueron medidas utilizando una probeta de 500 ml. y 100ml. Para determinar los rendimientos de las fracciones líquidas obtenidas y los rendimientos del biodiesel respectivamente. Esto ayudará a determinar los cálculos obtenidos en cada uno de los procesos de hibernización, estos valores se anotaron y se procesaron de acuerdo al modelo estadístico planteado en el trabajo.



Figura N° 18: Medición de rendimientos del biodiesel elaborado

4.3.6.2 Punto nube de las fracciones liquidas obtenidas y del biodiésel elaborado

- a) Para la determinación de punto nube se colocarán 10 ml. aproximadamente en un tubo de ensayo las fracciones liquidas obtenidas y el biodiesel elaborado con las mismas.

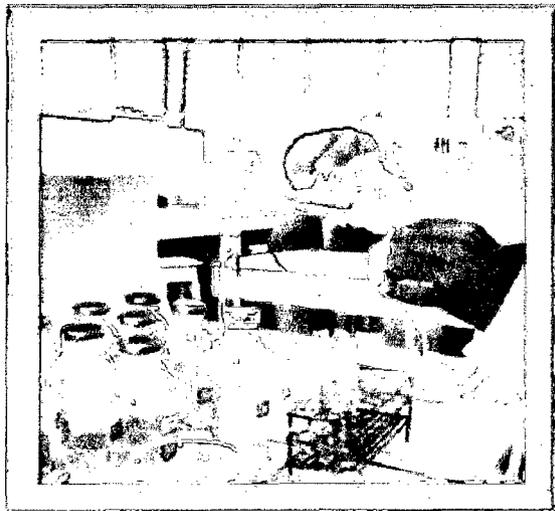


Figura N° 19: Colocación de la muestra en tubos de ensayo

- b) Una vez dispuestas las muestras en los tubos de ensayo, se procedió a sumergir de uno en uno en agua con hielo contenida en un vaso de precipitado, para esto en el interior del tubo de ensayo se colocará un termómetro.



Figura N° 20: Introducción del tubo de ensayo en medio frío

- c) Sumergida la muestra se procede a agitarla de manera suave, cuando se observe que en el interior de la muestra se forma una nubosidad se procede a retirarla del agua con hielo y se anota la temperatura a la que se encuentra.



Figura N° 21: Determinación de la temperatura de punto nube

V. RESULTADOS y DISCUSION

5.1 FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS

A continuación se observan las fracciones líquidas obtenidas de acuerdo al tiempo y temperatura sometidas al proceso de hibernización.

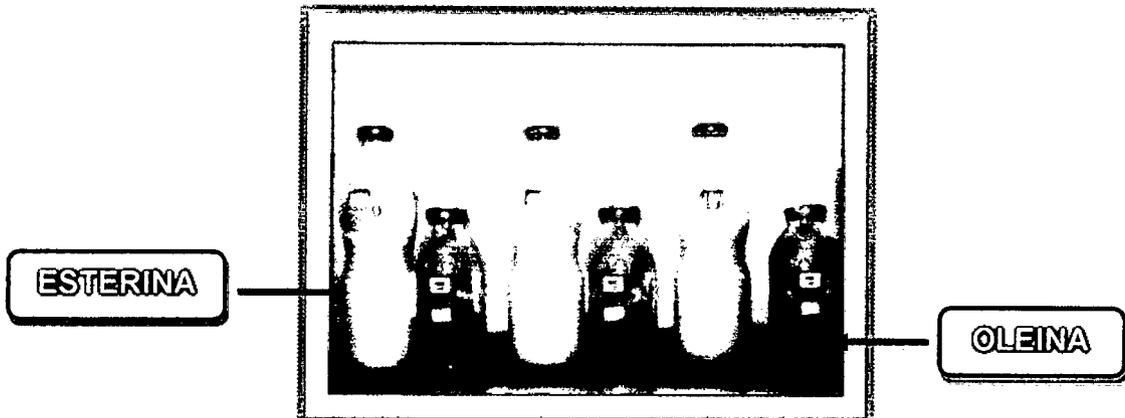


Figura N° 22: T1: 10 °C X 04 HORAS

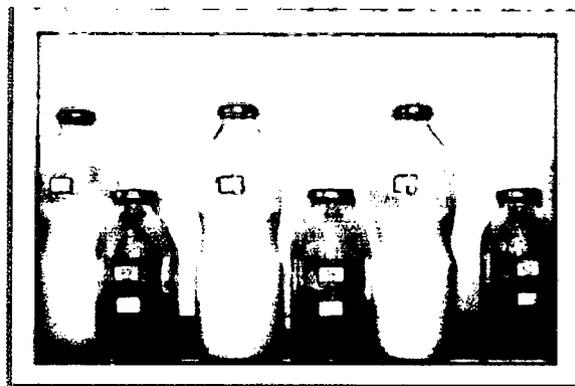


Figura N° 23: T2: 13 °C X 04 HORAS

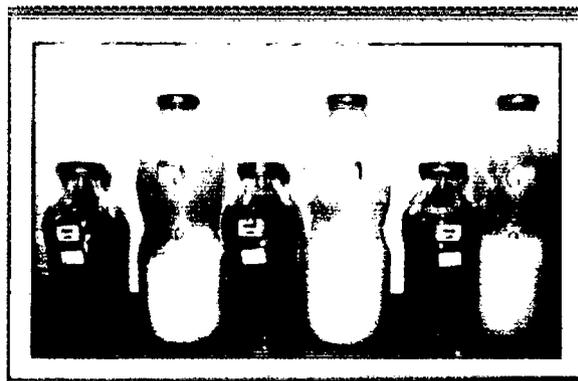


Figura N° 24: T3: 16 °C X 04 HORAS

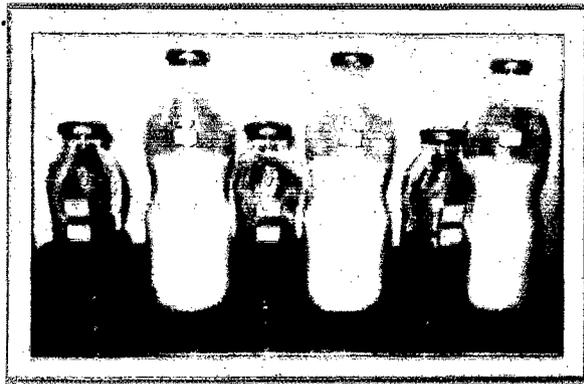


Figura N° 25: T1: 10 °C X 06 HORAS



Figura N° 26: T2: 13 °C X 06 HORAS

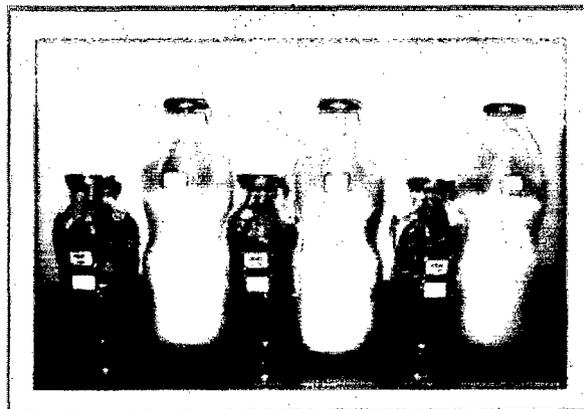


Figura N° 27: T3: 16 °C X 06 HORAS



Figura N° 28: T1: 10 °C X 08 HORAS

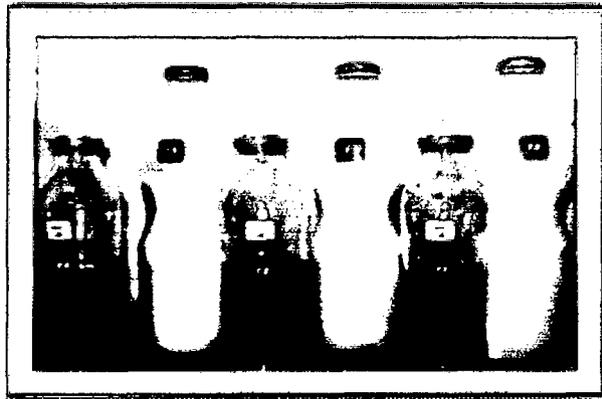


Figura N° 29: T2: 13 °C X 08 HORAS

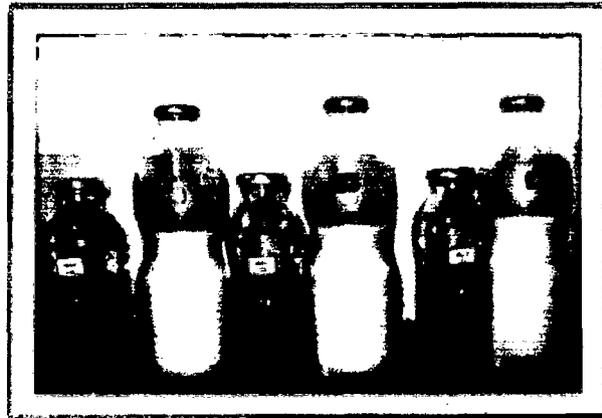


Figura N° 30: T3: 16 °C X 08 HORAS

5.2 EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS.

5.2.1 RENDIMIENTO: En el cuadro N° 10 y la figura N° 54 se presentan los valores del análisis de varianza y prueba Duncan respectivamente.

Cuadro N° 10: Análisis de Varianza para rendimientos de las fracciones líquidas obtenidas

| F. DE V. | GL | SC | CM | FC | FT |
|----------|----|-------|-------|-----------|-------------|
| TTOS | 8 | 84,63 | 10,58 | 127,83 ** | 2,59 - 3,89 |
| t (Hrs.) | 2 | 24,84 | 12,42 | 150,05 ** | 3,63 - 6,23 |
| T °C | 2 | 0,37 | 0,19 | 2,25 NS | 3,63 - 6,23 |
| t vs T | 4 | 59,42 | 14,86 | 179,50 ** | 3,01 - 4,77 |
| ERROR | 16 | 1,32 | 0,08 | | |
| TOTAL | 24 | 85,95 | 3,58 | | |

** Altamente significativo

R² = 98,5%

C.V = 1,8

NS: no significativo

X = 16,05

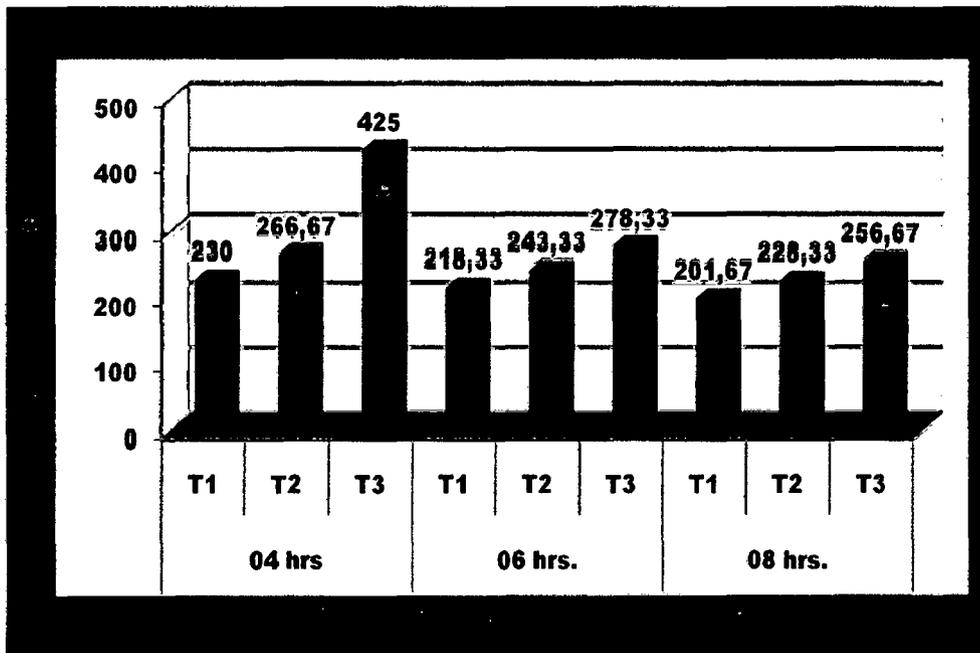


Figura N° 31: Prueba DUNCAN para rendimientos de las fracciones líquidas

En el **cuadro N°10**, donde se muestra el análisis de varianza de los Rendimientos de las Fracciones Líquidas obtenidas, se puede observar que entre los tratamientos y la variable tiempo así como la interacción tiempo (Hrs.) / temperatura (°C) mostraron alta significancia, pero en la variable temperatura no se observó significancia estadística, del mismo modo podemos observar en dicha prueba un $R^2 = 98,5\%$ y un $C.V = 1,8$; así mismo en el **figura N° 31** para la prueba de Duncan del parámetro evaluado, observamos que entre los tratamientos puestos en estudio hubo una marcada diferencia estadística y numérica, indicando que el tratamiento T3 (16°C) mostró los índices promedios de rendimientos más altos bajo los tres tiempos (4,6 y 8 horas) en que fueron puestos a prueba, siendo los valores obtenidos 425ml, 278,33ml y 256,67ml; seguido del tratamiento T2 (13°C); quien mostró los índices intermedios de rendimiento, siendo los valores promedios obtenidos para los tres tiempos en estudio de 266,67ml, 243,33ml y 228,33ml; así mismo, en dicha prueba podemos observar que el tratamiento que mostró los índices promedios más bajos de rendimiento fue el tratamiento T1(10°C), siendo los valores obtenidos para los tres tiempos de 230 ml, 218,33ml y 201,67ml respectivamente.

Este fenómeno se presentó debido a que el aceite refinado de palma por presentar ácidos grasos saturados en más de un 50%, y al ser sometido a temperaturas bajas genera la formación de cristales de lípidos (esterina) que van creciendo de acuerdo al tiempo de tratamiento de la muestra.

Según BAILEY (1979), en el proceso de cristalización se pueden separar los componentes de una mezcla de grasas o de ácidos grasos que difieran considerablemente en el punto de fusión, siendo estos los ácidos saturados e insaturados. La hibernación de los aceites es el proceso de eliminación de los glicéridos de punto de fusión elevado.

5.2.2 PUNTO NUBE: En el cuadro N° 11 y el figura N° 55 se presentan los valores del análisis de varianza y prueba Duncan respectivamente.

Cuadro N° 11: Análisis de Varianza para punto nube de las fracciones líquidas obtenidas.

| F. DE V. | GL | SC | CM | FC | FT |
|----------|----|-------|-------|----------|-------------|
| TTOS | 8 | 80,67 | 10,08 | 80,67 ** | 2,59 – 3,89 |
| t (Hrs.) | 2 | 32,00 | 16,00 | 128,0 ** | 3,63 – 6,23 |
| T °C | 2 | 0,67 | 0,33 | 2,67 NS | 3,63 – 6,23 |
| t vs T | 4 | 48,00 | 12,00 | 96,00 ** | 3,01 – 4,77 |
| ERROR | 16 | 2,00 | 0,13 | | |
| TOTAL | 24 | 82,67 | | | |

** Altamente significativo

NS: no significativo

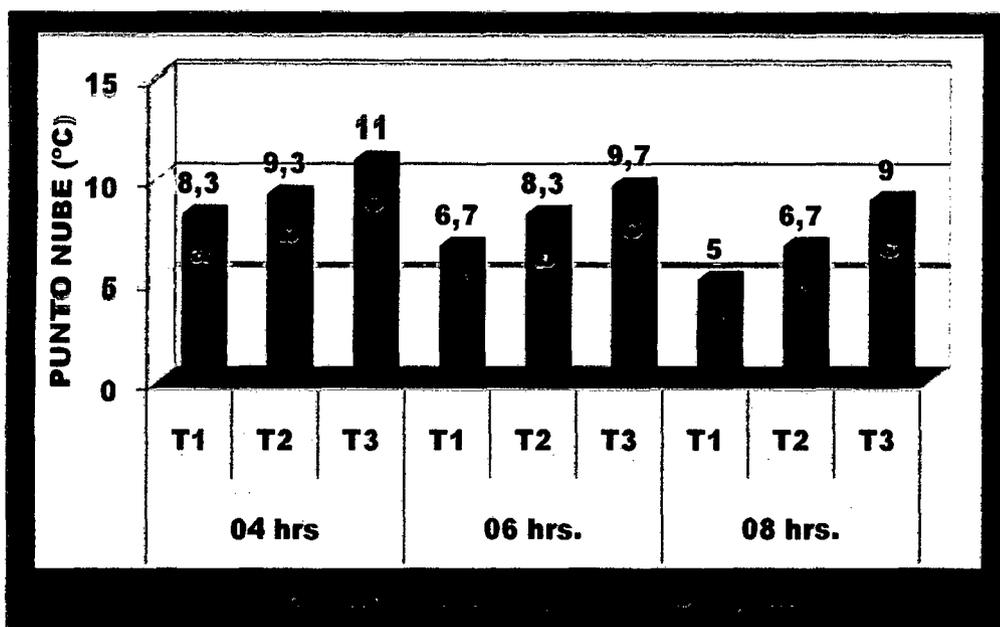
R² = 97,5%

C.V = 3,9

X = 8,29

Cuadro N° 12: Punto nube de la muestra testigo.

| T0 | | | Σ | X̄ |
|----|----|----|----|-------|
| 13 | 13 | 14 | 40 | 13,33 |



| | |
|----|------|
| T1 | 10°C |
| T2 | 13°C |
| T3 | 16°C |

Figura N° 32: Prueba DUNCAN para punto nube de las fracciones líquidas .

En el *cuadro N° 11*, donde se muestra el análisis de varianza para Punto Nube de las Fracciones Líquidas obtenidas, se observó que entre los tratamientos en estudio, el tiempo y la interacción de temperatura /tiempo; presentó alta significancia entre cada uno de ellos; observándose también que en la variable temperatura no existió significancia. Del mismo modo en el *figura N° 32*, donde se muestra la prueba de Duncan para dicho parámetro observamos que el tratamiento que mostró los índices promedios de puntos nube (°C) mas bajos en los tres tiempos a los cuales fueron sometidas las muestras de aceites refinados de palma (4,6 y 8 horas); fue el tratamiento T1 (10°C) siendo los valores promedios obtenidos de: 8,3°C a las 4 horas; 6,7°C a las 6 horas y 5°C a las 8 horas; seguido del tratamiento T2 (13°C) quien dio los valores medios con índices promedios de 9,3°C a las 4 horas; 8,3°C a las 6 horas y 6,7°C a las 8 horas respectivamente

siendo el T3 (16°C) el tratamiento quien mostro los índices promedios de puntos nube más altos siendo estos: 11°C a las 4 horas; 9,7 a las 6 horas y 9°C a las 8 horas; observándose también en dicha prueba que entre los tratamientos existió una diferencia numérica y estadística, no existiendo similitud en ninguno de los tratamientos en estudio.

La temperatura de punto nube obtenido en el aceite refinado de palma que fue sometido a 10 °C x 08 horas fue de 5 °C, comparado esto con la muestra testigo la cual presento una temperatura de punto nube promedio de 13 °C, indica que en el proceso de hibernización se pudo separar los ácidos grasos saturados presentes en el aceite de palma, los cuales son los causantes de que a medida que la temperatura baja formaran cristales de manteca.

Según **BAILEY (1979)**, el aceite de palma es semisólido a temperaturas bajas, su consistencia y punto de fusión depende en gran parte de su contenido de ácidos libres, puesto que estos tienen puntos de fusión más elevados que los glicéridos.

Los valores obtenidos determinaron que hubo depuración de los ácidos grasos saturados presentes en el aceite de palma, lo cual fue demostrado al evaluar el índice de yodo de cada una de las muestras, las cuales al ser comparadas con la muestra testigo comprueba que los ácidos grasos insaturados se incrementaron, pero el que demostró el incremento de los insaturados fue el tratamiento el cual fue sometido por 10°C a 08

horas obteniéndose un valor promedio de 126.05 en comparación al promedio de la muestra testigo que fue de 76.14.

Según **BAILEY (1979)**, la característica media del aceite de palma en cuanto a índice de yodo aproximadamente es de 53.

Según **BAILEY (1979)**, define como el número de gramos de yodo absorbido, bajo condiciones determinadas, por 100 gramos de grasa. El índice de yodo representa el verdadero grado de instauración de las grasas o los ácidos grasos, solamente cuando los enlaces dobles de los últimos no son conjugados, en caso contrario la absorción de halógeno no es cuantitativa.

5.3 INDICE DE ÁCIDEZ

El índice de acidez se determinó utilizando los datos del cuadro N° 13, siendo estos los resultados presentes en el cuadro N° 14.

Cuadro N° 13: Gastos en la titulación de acidez

| Repeticiones | T0 | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
|--------------|-----|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 0,3 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,27 | 0,27 |
| II | 0,3 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,27 | 0,27 |
| III | 0,3 | 0,25 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,27 | 0,20 | 0,25 | 0,27 |

Cuadro N° 14: Índice de acidez de las fracciones líquidas obtenidas

| Repeticiones | T0 | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
|--------------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 0,38 | 0,26 | 0,32 | 0,32 | 0,26 | 0,32 | 0,26 | 0,26 | 0,34 | 0,34 |
| II | 0,38 | 0,26 | 0,26 | 0,32 | 0,26 | 0,32 | 0,26 | 0,26 | 0,34 | 0,34 |
| III | 0,38 | 0,32 | 0,26 | 0,32 | 0,26 | 0,26 | 0,34 | 0,26 | 0,32 | 0,34 |

5.4 INDICE DE YODO

El índice de yodo se determino utilizando los datos del cuadro N° 15, siendo estos los resultados presentes en el cuadro N° 16.

Cuadro N°15: Gastos en la titulación del índice de yodo de las fracciones liquidas obtenidas y la muestra testigo

| Repeticiones | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
|--------------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 6,2 | 6,6 | 6,9 | 5,8 | 6,3 | 6,5 |
| II | 6,4 | 6,9 | 7,2 | 6,2 | 6,6 | 6,8 | 5,8 | 6,3 | 6,5 |
| III | 6,3 | 6,9 | 7,1 | 6,3 | 6,5 | 6,8 | 5,9 | 6,4 | 6,5 |

$$T0 = 7,8$$

$$\text{Gasto en blanco} = 10,8$$

Cuadro N° 16: Índice de yodo de las fracciones líquidas obtenidas y la muestra testigo

| Repeticiones | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
|--------------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 111,67 | 101,52 | 91,27 | 116,75 | 106,60 | 98,98 | 126,90 | 114,21 | 109,14 |
| II | 111,67 | 98,98 | 91,37 | 116,75 | 106,60 | 101,52 | 126,90 | 114,21 | 109,14 |
| III | 114,21 | 98,98 | 93,91 | 114,21 | 109,14 | 101,52 | 124,36 | 111,67 | 109,14 |

$$T0 = 76,14$$

5.5 EVALUACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO CON LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS

En las figuras 47, 48 y 49 se muestran los biodiesel elaborados con las fracciones liquidas obtenidas por cada tratamiento.

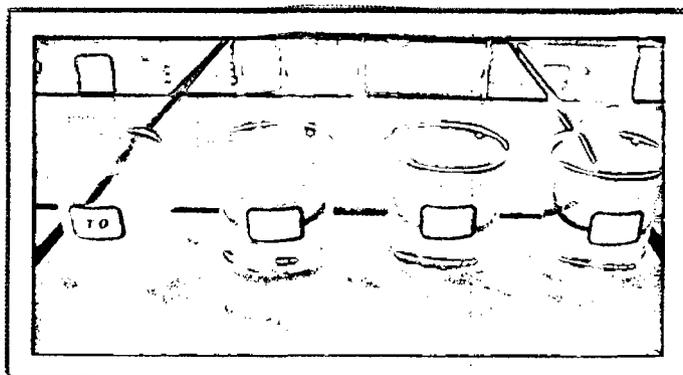


Figura N°33: Biodiesel elaborado con el T1, T2 y T3 a 04 horas

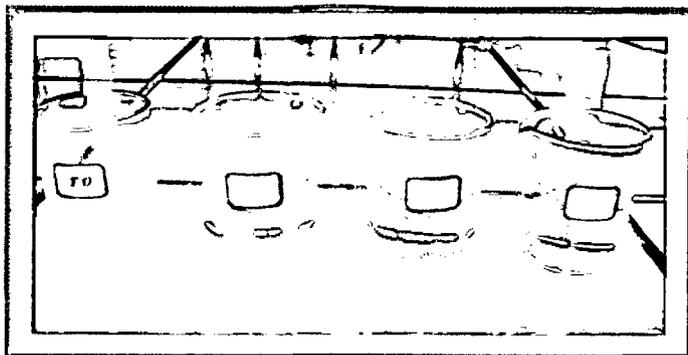


Figura N°34: Biodiesel elaborado con el T1, T2 y T3 a 06 horas

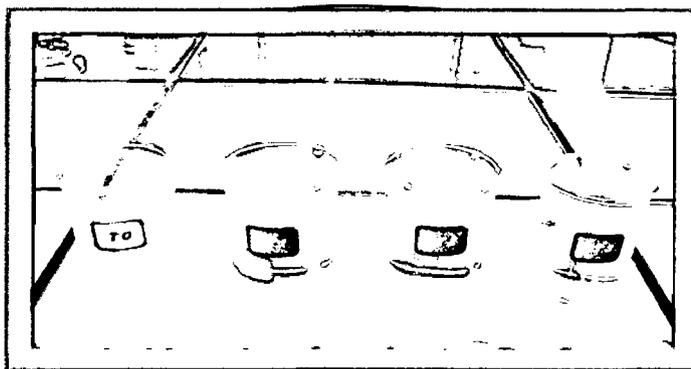


Figura N° 35: Biodiesel elaborado con el T1, T2 y T3 a 08 horas

5.5.1 RENDIMIENTO: En el cuadro N° 17 y el grafico N° 59 se presentan los valores del análisis de varianza y prueba Duncan respectivamente.

Cuadro N° 17: Análisis de Varianza para rendimientos del Biodiesel elaborado con las fracciones liquidas

| F. DE V. | GL | SC | CM | FC | FT |
|----------|----|------|------|----------|-------------|
| TTOS | 8 | 1,68 | 0,21 | 24,00 ** | 2,59 - 3,89 |
| t (Hrs.) | 2 | 0,87 | 0,44 | 49,71 ** | 3,63 - 6,23 |
| T °C | 2 | 0,01 | 0,01 | 0,57 NS | 3,63 - 6,23 |
| t vs T | 4 | 0,8 | 0,20 | 22,86 ** | 3,01 - 4,77 |
| ERROR | 16 | 0,14 | 0,01 | | |
| TOTAL | 24 | 1,82 | 0,08 | | |

** Altamente significativo

NS: no significativo

R² = 92,3%

C.V = 1,03

X = 9,03

Cuadro N° 18: Rendimientos obtenidos del biodiesel elaborado con la muestra testigo.

| T0 | | | Σ | |
|----|----|----|-----|-------|
| 58 | 56 | 56 | 170 | 56,67 |

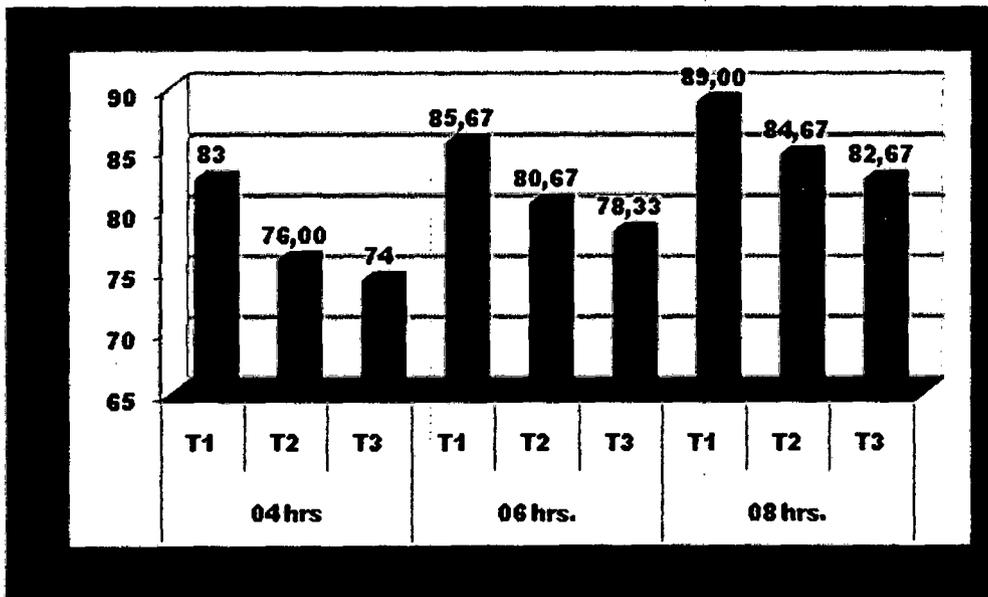


Figura N° 36: Prueba DUNCAN para rendimiento del biodiesel elaborado con las fracciones liquidas.

En el **cuadro N° 17** donde se muestra el análisis de varianza del parámetro de Rendimientos de Biodiesel elaborado de las fracciones líquidas obtenidas, podemos observar que entre los tratamientos y las variables en estudio como el tiempo y la interacción de los tiempos y las temperaturas mostraron una alta significancia; siendo la variable temperatura (°C), la que no mostró significancia estadística; del mismo modo observamos que en dicha prueba se obtuvieron un $R^2 = 92,3\%$ y un $C.V= 1,03$. Así mismo en el **figura N° 36** se muestra la prueba de Duncan para dicho parámetro evaluado, podemos indicar que entre los tratamientos en estudio existió una evidente diferencia estadística y numérica entre ellos; observándose que el tratamiento que nos dio los índices promedios más altos en Rendimientos de Biodiesel bajo las tres tiempos en prueba (4,6 y 8 horas) fue el tratamiento T1 (10°C), con valores promedios de 83ml, 85,67 ml y 89 ml. Seguido del tratamiento T2(13°C) quien mostró los índices medios de rendimiento bajos los tres tiempos, con valores promedios de 76ml; 80,67 y 84,67 ml. Siendo el T3 (16°C); el tratamiento que nos dio los índices promedios más bajos de rendimiento bajo los tres tiempos en observación, con valores de 74ml, 78,33ml y 82,67 ml respectivamente.

Según **VICENTE (2004)**, la relativa sencillez y economía del proceso tradicional de producción de alquil ésteres con catalizadores homogéneos lo ha convertido en el proceso más empleado a nivel industrial, ya que permite generar un producto de buena pureza (< 96 %) y con rendimientos aceptables (86 % – 97 %)

Según **THE NATIONAL BIODIESEL BOARD** (2006), esta situación puede deberse al elevado contenido de ácidos grasos libres, que en el caso del aceite de palma puede alcanzar hasta un 10%, siendo lo recomendable >5%. El problema principal con los ácidos grasos libres, radica en que estos son saponificables y no participan en las reacciones de transesterificación, por el contrario forman compuestos indeseados perjudicando de esta manera el rendimiento en dicho proceso.

Por otro lado, el proceso de elaboración de biodiesel desarrollado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial se pudo ver afectado por las condiciones de humedad y temperaturas altas propias de la zona. Estos aspectos son importantes porque de acuerdo con **BIODIESEL NATIONAL BOARD** (2000), la temperatura y humedad presente así como el tiempo prolongado de almacenaje favorecen la acción enzimática en el aceite provocando su deterioro, trayendo como resultado un incremento en los ácidos grasos libres.

5.5.2 PUNTO NUBE: En el cuadro N° 19 y el figura N° 60 se presentan los valores del análisis de varianza y prueba Duncan respectivamente.

Cuadro N° 19: Análisis de Varianza para punto nube del Biodiesel elaborado con las fracciones líquidas

| F. DE V. | GL | SC | CM | FC | FT |
|----------|----|-------|------|----------|-------------|
| TTOS | 8 | 43,85 | 5,48 | 65,94 ** | 2,59 - 3,89 |
| t (Hrs.) | 2 | 13,41 | 6,71 | 80,66 ** | 3,63 - 6,23 |
| T °C | 2 | 0,07 | 0,04 | 0,42 NS | 3,63 - 6,23 |
| t vs T | 4 | 30,37 | 7,59 | 91,34 ** | 3,01 - 4,77 |
| ERROR | 16 | 1,33 | 0,08 | | |
| TOTAL | 24 | 45,19 | 1,88 | | |

** Altamente significativo.

NS: no significativo

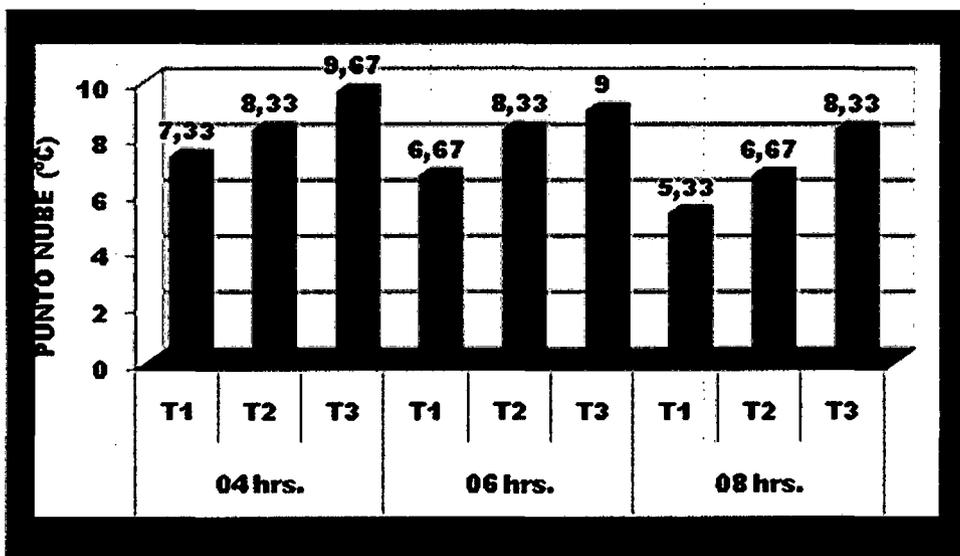
R² = 97%

C.V = 3,7

X = 7,74

Cuadro N° 20: Punto nube del biodiesel elaborado con la muestra testigo

| T0 | | | Σ | |
|----|----|----|----|-------|
| 13 | 14 | 14 | 41 | 13,67 |



| | |
|----|-------|
| T1 | 10 °C |
| T2 | 13 °C |
| T3 | 16 °C |

Figura N° 37: Prueba DUNCAN para punto nube del biodiesel elaborado con las fracciones líquidas

En el **cuadro N°19**, donde se muestra el análisis de varianza del punto nube del biodiesel elaborado con las fracciones líquidas obtenidas, se observó que entre los tratamientos, la variable tiempo así como la interacción tiempo (Hrs.) / temperatura (°C) mostraron alta significancia entre cada uno de ellos, pero en la variable temperatura no existió significancia estadística, del mismo modo las pruebas presentaron un $R^2 = 97\%$ y un C.V= 3,7. Así mismo en el **figura N° 37** muestra la prueba de Duncan para dicho parámetro evaluado, donde se observó que el biodiesel con menor punto nube fue el que se elaboro con el aceite el cual fue tratado a 10 °C x 08 horas el cual fue de 5 °C, seguido por el tratamiento al cual el aceite que fue sometido a 13 °C por los tiempos de 06 y 08 horas, dando valores medios de 6.7 °C, el biodiesel que presento mayor temperatura de punto nube fue el cual fue elaborado con el aceite al cual se lo trato a 16 °C por periodos de tiempo de 04, 06 y 08 horas siendo estos valores de 11 °C, 9.7 °C y 9 °C respectivamente.

Los valores obtenidos en la determinación de punto nube del biodiesel elaborado con las fracciones líquidas presentaron una disminución en este parámetro comparado con la muestra testigo, pero el que presento una reducción importante en la temperatura de punto nube en comparación con la testigo fue el biodiesel elaborado con la fracción líquida obtenida del aceite al cual fue sometido a 10 °C x 08 horas el cual fue de 5°C, en comparación con los 13.3 °C del biodiesel elaborado con la muestra testigo, demostrando esto que si hubo una reducción de los ácidos grasos saturados presentes en el aceite de palma; esto muestra que hubo una

reducción importante en el punto nube final, logrando determinar que si se pudo mejorar la calidad del biodiesel.

Según **BICKELL** (1999), los combustibles tienen largas cadenas de hidrocarburos llamadas ceras. Si la temperatura es suficientemente baja, estos cristales cerosos se aglomeran y tapan los filtros de combustible impidiendo el funcionamiento del motor. En una temperatura más baja el combustible terminará por solidificarse, esta característica dependerá más de la naturaleza del aceite o grasa.

Según **ASTM** (2007), el punto nube es la temperatura en la cual pequeños cristales sólidos son observados inicialmente cuando el biodiesel es expuesto a temperaturas bajas de enfriamiento. Esta temperatura no es un valor específico, el valor solo es reportado. Para el biodiesel la temperatura de punto de enturbiamiento será determinada por el clima local.

5.6 INFLAMACIÓN Y VISCOSIDAD DEL BIODIESEL ELABORADO CON LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS

5.6.1 INFLAMACIÓN

El poder de inflamación se determinó utilizando algodón el cual fue usado como material de combustión, como se describe en las figuras 61, 62 y 63.

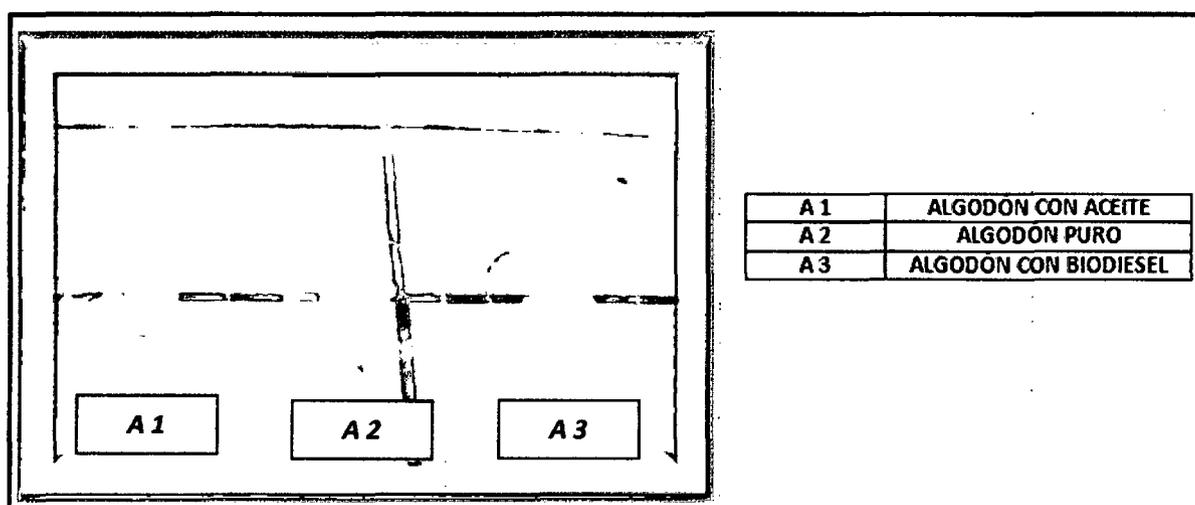


Figura N° 38: Muestras para análisis de inflamación

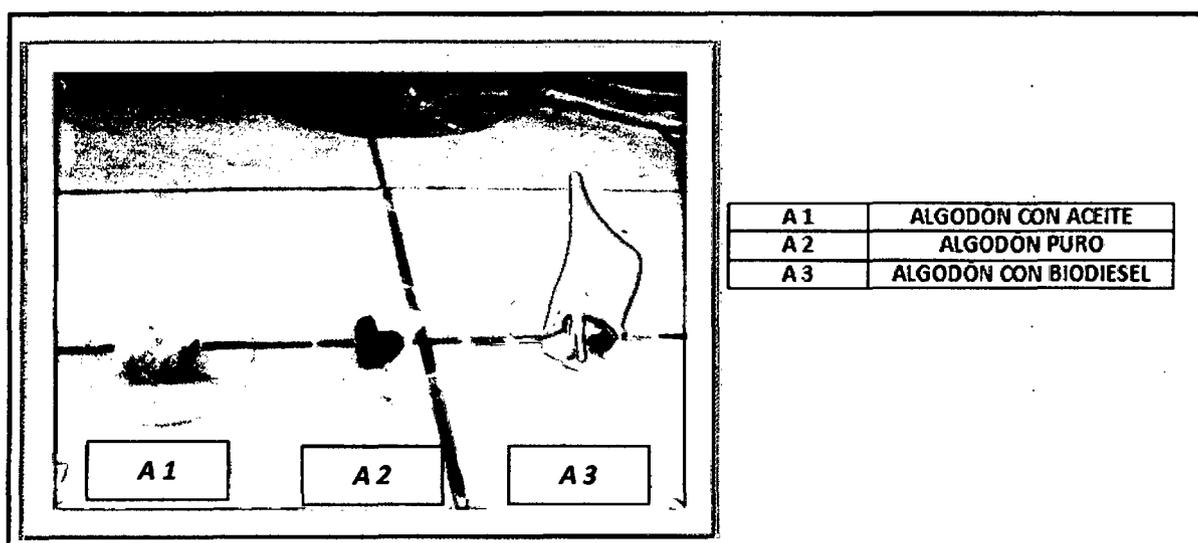


Figura N° 39: Análisis de inflamación del biodiesel elaborado

5.6.2 VISCOSIDAD

La tiempo de flujo del biodiesel se determino utilizando el viscosímetro capilar.

5.6.2.1 CÁLCULO DE VISCOSIDAD

En el siguiente cuadro se toman datos de densidad y viscosidad del agua, los cuales serán aplicados en la fórmula para determinar la viscosidad del aceite.

Cuadro N° 21: Propiedades físicas del agua a 1 atm

| T° | ρ Kg./m ³ | μ Kg./m. seg. 10 ⁻³ |
|----|------------------------------|--|
| 20 | 998,2 | 1,009 |
| 24 | 997,2 | 0,92 |
| 30 | 995,7 | 0,8 |

Los valores de tiempo del flujo de agua obtenidos en el viscosímetro son los siguientes:

Cuadro N° 22: Tiempos del agua en el viscosímetro

| Tiempos en segundos | | | |
|---------------------|-------|-------|------|
| 18,00 | 17,00 | 18,00 | 17,6 |

En el cuadro N° 23 se presentan los valores de tiempo del biodiesel obtenidos en el viscosímetro siendo estos los siguientes:

Cuadro N° 23: Tiempos del biodiesel elaborado en el viscosímetro

| T0 | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | | |
|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | |
| 180 | 146 | 159 | 167 | 145 | 160 | 163 | 138 | 144 | 160 | |
| 180 | 149 | 156 | 166 | 145 | 163 | 163 | 141 | 141 | 154 | |
| 183 | 149 | 156 | 168 | 148 | 163 | 160 | 138 | 141 | 160 | |
| Σ | 543 | 444 | 471 | 501 | 438 | 486 | 486 | 417 | 426 | 474 |
| □ | 181 | 148 | 157 | 167 | 146 | 162 | 162 | 139 | 142 | 158 |

Cuadro N° 24: Viscosidad dinámica del biodiesel elaborado (Kg. /mm. seg.)

| VISCOSIDAD DINÁMICA | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| T0 | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| 8,25 | 6,75 | 7,16 | 7,62 | 6,66 | 7,39 | 7,39 | 6,34 | 6,48 | 7,21 |

En el cuadro N° 25 se presenta la viscosidad cinemática obtenida del biodiesel analizado

Cuadro N° 25: Viscosidad cinemática del biodiesel elaborado. (mm² / s)

| VISCOSIDAD CINEMÁTICA a 24 °C | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| T0 | 04 HRS. | | | 06 HRS. | | | 08 HRS. | | |
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| 9,48 | 7,76 | 8,23 | 8,75 | 7,65 | 8,49 | 8,49 | 7,29 | 7,45 | 8,29 |

La viscosidad en el biodiesel es una característica que va a estar ligada a los ácidos grasos saturados presentes en el aceite que se utilice; con la determinación de viscosidad a los tratamientos observamos que hay una disminución en comparación con la muestra testigo, esto debido a que en los tratamientos el aceite original ya no presenta la misma cantidad de ácidos grasos saturados.

Es importante que el biodiesel presente una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debido a las fugas en bomba de inyección y en el inyector.

Según **KERSCHBAUM et al. (2004)**, a temperaturas inferiores a 16 °C, temperatura correspondiente a su punto nube, el biodiesel pierde su naturaleza Newtoniana, como una consecuencia de la formación de cristales.

VI. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el proceso de hibernización que se ha realizado en el siguiente trabajo, se logró establecer un parámetro para la depuración de ácidos grasos saturados presentes en el aceite de palma; no se trató de la separación total de uno o varios componentes saturados, sino la estabilización de tales componentes, especialmente de los que se encuentran en mayor proporción.

A medida que se incrementa el tiempo de estabilización y se disminuye la temperatura de enfriamiento en el proceso, también disminuye el rendimiento de oleína, aumentando el contenido global de insaturados en las fracciones líquidas obtenidas.

Esto se ve reflejado en el tratamiento que se realizó por 08 horas a 10 °C, el cual presentó el promedio más bajo de punto nube que fue de 5 °C en las fracciones líquidas obtenidas y en el biodiesel elaborado con la misma.

En el tratamiento antes mencionado el rendimiento de oleína en el aceite de palma se vio afectado ya que se obtuvo el promedio más bajo el cual fue del 20 %.

El rendimiento obtenido en el biodiesel elaborado con esta fracción líquida fue superior siendo su promedio de un 90 %.

Finalmente se puede concluir que se logró mejorar la calidad del biodiesel elaborado a partir de aceites hibernizados, en cuanto a su punto nube ya que la muestra testigo presentó un valor de 13 °C de punto nube comparado esto con el tratamiento realizado por 08 horas a 10°C donde se redujo esto a 5°C.

6.2 Recomendaciones

Realizar trabajos de investigación en elaboración de biodiesel a partir de aceite de palma fraccionado utilizando alcoholes ramificados o de mayor longitud de cadena que el metanol.

Realizar trabajos de investigación en biodiesel elaborados a partir de aceite fraccionado de palma, mezclándolo en diferentes proporciones con el diesel de petróleo, con el fin de medir su eficiencia en un motor diesel.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **A. BAILEY** (1979). "ACEITES Y GRASAS INDUSTRIALES"; Invernización de los aceites vegetales; CAPITULO XXI; PAG. 671 – 674; EDITORIAL REVERTE – ARGENTINA.
2. **A. BENAVIDES, P. Benjumea, J. Agudelo.** (2008). Grupo Combustibles Alternativos. Instituto de energía. Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, Medellín. "El Fraccionamiento por cristalización del biodiésel de aceite de palma como alternativa para mejorar sus propiedades de flujo a baja temperatura" Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N° 43. pp. 7 – 17.
3. **ADRIAN E.** (2009). INSTITUTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. "Procesos de transesterificación". FORO "BIOCOMBUSTIBLES"
4. **ASTM,** 2007. ASTM International Standards Worldwide. <http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/index.shtml>. Consultada el 2010.
5. **BICKELL,** 1999. Cold Flow Properties of Biodiesel and Biodiesel Blends. http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Cold%20Flow.PDF. Consultada el 2010.
6. **FAO.** (2008). *THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE. BIOFUELS: PROSPECTS, RISKS AND OPPORTUNITIES*, ROME, ITALY.
7. **G. DEL VALLE.** (2004). "Estimación de la valoración económica de los impactos de la contaminación atmosférica". Informe final: Lima. Perú.

8. **I. LEE, L. Johnson, E. Hammond.** (1995). "Use of Branched – Chain Esters to Reduce the C. Huang, D. Wilson Crystallization Temperature of Biodiesel" *JAOCS*. Vol. 72. 1150 -1162.
9. **ITDG.** (2007). "*OPCIONES PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DEL BIODIESEL EN PERU*". Lima - Perú.
10. **JOSÉ I. G, Diego F. R, Luis M. S;** Escuela de Ingeniería Química – Universidad de Valle; "Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Palma crudo".
11. **J. CIRIA.** (2007). WEARCHECK IBERICA "Propiedades y características de combustible diesel y biodiesel". www.wearcheckiberica.es. Consultada el 2010.
12. **KERSCHBAUM, S., Rinke, G.** 2004. Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. Vol. 83; pág. 287 – 291.
13. **KNOTHE,** 2006. Analyzing Biodiesel: Standards and Other Methods. www.nbb.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20060801-gen-376.PDF. Consultada el 2010
14. **NATIONAL BIODIESEL BOARD,** 2002. Biodiesel production and Quality. www.biodiesel.org/pdf-files/prod.-quality.PDF. Consultada el 2010.
15. **OCROSPOMA, DL.** (2008). "SITUACIÓN Y PRESPECTIVAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL PERU" ICCA, LIMA – PERÚ.

16. **R. O. DUNN, M. Shockley, M. Bagby.** (1996). "Improving the low temperature properties of alternative diesel fuels: vegetable oil – derived methyl esters". *JAOCS*. Vol. 73. pp. 1719 – 1728.

17. **REIJNDERS, L. & Huijbregts, M.A.J.** (2008). Biogenic greenhouse gas emissions linked to the life cycles of biodiesel derived from European rapeseed and Brazilian soybeans. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1943 - 1948.

18. **SANCHEZ A, F. & Orrego M, R.** (2007). "Tablero de Comando" para la promoción de los biocombustibles en el Perú. CEPAL, Santiago de Chile.

19. **V. GERPEN, J. et al.** (2004). Biodiesel production technology. Report for the National 82 Zapata et al Renewable Energy Laboratory. USA: Department of Energy. p. 30-42.

20. **VICENTE, G., Martínez, M., Aracil, J.,** 2004. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems, *Bioresource Technology*, 92, pp. 297305.

VIII. ANEXOS

ANEXO 01

CUADROS DE RECOPILACIÓN DE DATOS PARA LAS FRACCIONES LIQUIDAS.

PUNTO NUBE DE LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS

| REPET. | 04 Hrs. | | | 06 Hrs. | | | 08 Hrs. | | |
|--------|---------|----|----|---------|----|-----|---------|-----|----|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 8 | 10 | 11 | 7 | 9 | 10 | 5 | 7 | 9 |
| II | 8.5 | 9 | 11 | 6.5 | 8 | 9.5 | 5 | 6.5 | 9 |
| III | 8.5 | 9 | 11 | 6.5 | 8 | 9.5 | 5 | 6.5 | 9 |

RENDIMIENTO DE LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS

| REPET. | 04 Hrs. | | | 06 Hrs. | | | 08 Hrs. | | |
|--------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 15 | 16.28 | 20.25 | 14.66 | 15.65 | 16.73 | 13.78 | 15 | 16.12 |
| II | 15.17 | 16.28 | 20.25 | 14.83 | 15.65 | 16.58 | 14.14 | 15.17 | 15.97 |
| III | 15.33 | 16.43 | 21.33 | 14.83 | 15.49 | 16.73 | 14.66 | 15.17 | 15.97 |

ANEXO 02

CUADROS DE RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL BIODIESEL ELABORADO.

- **PUNTO NUBE DEL BIODIESEL ELABORADO CON LAS FRACCIONES LIQUIDAS**

| REPET. | 04 Hrs. | | | 06 Hrs. | | | 08 Hrs. | | |
|--------|---------|-----|-----|---------|-----|----|---------|-----|-----|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 7 | 8 | 9.5 | 7 | 8.5 | 9 | 5.5 | 6.5 | 8 |
| II | 7.5 | 8.5 | 9.5 | 6.5 | 8.5 | 9 | 5 | 7 | 8.5 |
| III | 7.5 | 8.5 | 10 | 6.5 | 8 | 9 | 5.5 | 6.5 | 8.5 |

- **RENDIMIENTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL CON LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS**

| REPET. | 04 Hrs. | | | 06 Hrs. | | | 08 Hrs. | | |
|--------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| I | 9.16 | 8.77 | 8.6 | 9.32 | 8.94 | 8.94 | 9.49 | 9.23 | 9.06 |
| II | 9.16 | 8.66 | 8.6 | 9.23 | 8.94 | 8.66 | 9.49 | 9.23 | 9.06 |
| III | 8.94 | 8.72 | 8.66 | 9.23 | 9.06 | 8.94 | 9.33 | 9.17 | 9.17 |

ANEXO 03

CULTIVO DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN LA AMAZONIA PERUANA.

| Departamento / Organización | Palma aceitera en producción (ha) | Palma aceitera en crecimiento (ha) | Palma aceitera en vivero (ha) | Area total de palma aceitera (ha) | Porcentaje (en %) |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Departamento Ucayali | | | | | |
| Cultivo a pequeña escala | 5.695 | 2.685 | 1.300 | 9.680 | 93% |
| Cultivo a gran escala | 0 | 730 | 0 | 730 | 7% |
| Total Ucayali | 5.695 | 3.415 | 1.300 | 10.410 | 100% |
| Departamento San Martín | | | | | |
| Cultivo a pequeña escala | 8.495 | 3.378 | 700 | 12.573 | 51% |
| Cultivo a gran escala | 8.200 | 3.800 | 0 | 12.000 | 49% |
| Total San Martín | 16.695 | 7.178 | 700 | 24.573 | 100% |
| Departamento Huánuco | | | | | |
| Cultivo a pequeña escala | 0 | 127 | 300 | 427 | 100% |
| Cultivo a gran escala | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| Total Huánuco | 0 | 127 | 300 | 427 | 100% |
| Departamento Loreto | | | | | |
| Cultivo a pequeña escala | 1.300 | 710 | 900 | 2.910 | 17% |
| Cultivo a gran escala | 0 | 3.337 | 1.000 | 4.337 | 83% |
| Total Loreto | 1.300 | 4.074 | 1.900 | 7.247 | 100% |
| Región Amazona | | | | | |
| Cultivo a pequeña escala | 15.490 | 6.900 | 3.200 | 25.590 | 60% |
| Cultivo a gran escala | 8.200 | 7.867 | 1.000 | 17.067 | 40% |
| Total Amazona | 23.690 | 14.767 | 4.200 | 42.657 | 100% |

Fuente: Baukje Bruinsma, AGRITERRA - INCAGRO 2009.

ANEXO 04

CULTIVO A GRAN ESCALA DE PALMA ACEITERA EN LA AMAZONIA PERUANA.

| Departamento / Organización | Palma aceitera en producción (ha) | Palma aceitera en crecimiento (ha) | Palma aceitera en vivero(ha) | Área de Palma aceitera total (ha) |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Departamento Ucayali | | | | |
| Diversas empresas privadas (Guadalupe, Biodiesel Ucayali, Agrocooler, Palmagro) (2) | 0 | 730 | 0 | 730 |
| Total Ucayali | 0 | 730 | 0 | 730 |
| Departamento San Martín | | | | |
| Empresa privada Palma de Espinas S.A. (Grupo Romero) (1) | 8.200 | 3.800 | 0 | 12.000 |
| Total San Martín | 8.200 | 3.800 | 0 | 12.000 |
| Departamento Huanuco | | | | |
| Total Huanuco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Departamento Loreto | | | | |
| Empresa privada "Palmas de Shanusi" (grupo Romero) | 0 | 3337 | 1000 | 4.337 |
| Total Loreto | 0 | 3.337 | 1.000 | 4.337 |
| Total Amazona | 8.200 | 7.867 | 1.000 | 17.067 |

Fuente: Baukje Bruinsma, AGRITERRA - INCAGRO 2009.

ANEXO 05

CULTIVO A PEQUEÑA ESCALA DE PALMA ACEITERA EN LA AMAZONIA PERUANA.

| Departamento / Organización | Numero de org. de base. | Numero de miembros | Palma aceitera en producción (ha) | Palma aceitera en crecimiento (ha) | Palma aceitera en vivero (ha) | Area de palma aceitera total (ha) |
|--|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Departamento Ucayali | | | | | | |
| Comité Central de Palmicultores de Ucayali (COCEPU) | 9 | 525 | 2.830 | 1.885 | 1.300 | 6.015 |
| Asociación Central de Palmicultores de Campo Verde y Nueva Requena (ACEPERU) | 18 | 1047 | 1.015 | 300 | 0 | 1.315 |
| Asociación de Palmicultores de Shambillo Aguatía (ASPASH) | 13 | 470 | 1.850 | 500 | 0 | 2.350 |
| Total Ucayali | 40 | 2.042 | 5.695 | 2.685 | 1.300 | 9.680 |
| Departamento San Martín | | | | | | |
| Asociación Central de Palmicultores de Tocache (ACEPAT) | 16 | 1000 | 2.300 | 1.800 | 700 | 4.800 |
| Jardines de Palma (JARPALMA) | 9 | 350 | 873 | 900 | 0 | 1.773 |
| Fredepalma San Martín | 18 | 399 | 5.322 | 678 | 0 | 6.000 |
| Total San Martín | 43 | 1749 | 8.495 | 3.378 | 700 | 12.573 |
| Departamento Huanuco | | | | | | |
| Asociación Agropecuaria Nuevo Amanecer | 1 | 200 | 0 | 127 | 300 | 427 |
| Total Huanuco | 1 | 200 | 0 | 127 | 300 | 427 |
| Departamento Loreto | | | | | | |
| Yurimaguas | 5 | 150 | 1.000 | 500 | 0 | 1.500 |
| Maynas – San Juan | - | - | 0 | 110 | 900 | 1010 |
| Pampa Hermosa | - | - | 300 | 0 | 0 | 300 |
| Contamina | - | - | 0 | 110 | 0 | 110 |
| Total Loreto | 5 | 150 | 1.300 | 710 | 900 | 2.910 |
| Total Amazona | 71 | 4.141 | 15.490 | 6.900 | 3.200 | 25.590 |

Fuente: Baukje Bruinsma, AGRITERRA - INCAGRO 2009.

ANEXO 06

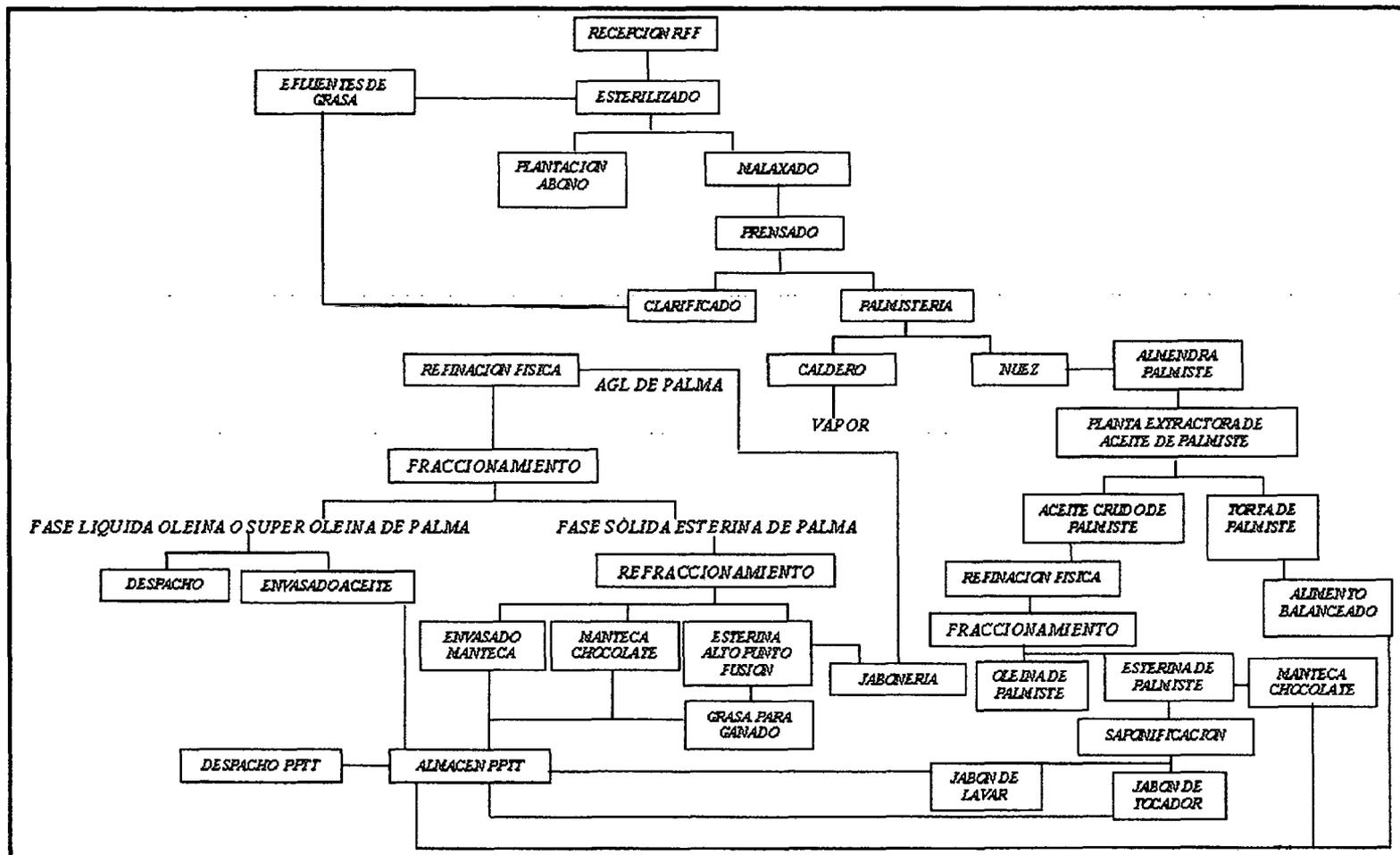
ÁREA NECESARIA DE PALMA PARA CUMPLIR CON LA DEMANDA DE B2, B5 Y B100

| Ano | Consumo nacional de diesel (millones de litros/año) | Consumo biodiesel 2% y 5% (millones de litros/año) | Área de palma aceitera (ha) para 2% y 5% de biodiesel mercado nacional | Área de palma aceitera (ha) para 100% de biodiesel mercado nacional | Área de palma aceitera (ha) para San Martín, Loreto y Ucayali 2% y 5% de biodiesel | Área de palma aceitera (ha) San Martín, Loreto y Ucayali para 100% de biodiesel |
|------------|--|---|---|--|---|--|
| 2006 | 3439 | | | | | |
| 2007 | 3515 | | | | | |
| 2008 | 3667 | | | | | |
| 2009 | 4028 | 81 | 20.250 | 1.000.700 | 1.013 | 50.035 |
| 2010 | 4142 | 83 | 20.750 | 1.035.500 | 1.038 | 51.775 |
| 2011 | 4324 | 216 | 54.000 | 1.081.000 | 2.700 | 54.050 |
| 2012 | 4438 | 222 | 55.500 | 1.109.500 | 2.775 | 55.475 |
| 2013 | 4606 | 230 | 57.500 | 1.151.500 | 2.875 | 57.575 |

Fuente: Elaborado en base de datos de Sanches Albavera en Orrega Moyo, 2007y IIAP/SNV, 2008.

ANEXO 07

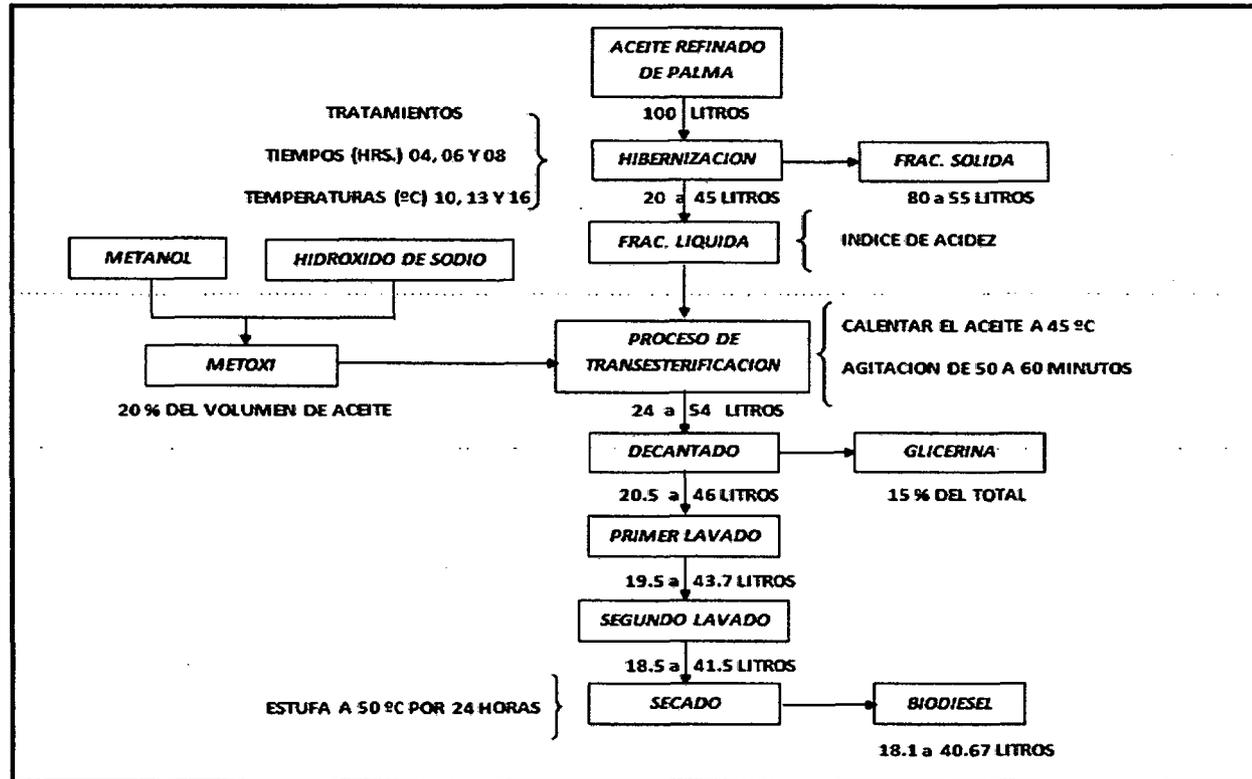
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y BENEFICIO DE PALMA ACEITERA



Fuente: Palma del Espino

ANEXO 08

BALANCE DE MATERIA EN LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL EN LABORATORIO CON LAS FRACCIONES LIQUIDAS OBTENIDAS DEL ACEITE DE PALMA HIBERNIZADO



Fuente: Elaboración propia.

NOTA: Este balance es solo de guía, por cuanto el mismo es afectado por diversos factores, tales como el tiempo y la temperatura de hibernización del aceite de palma usados en el proceso de elaboración de biodiesel

ANEXO 09

BALANCE DE ENERGIA EN LA ELABORACION 1 Kg. DE BIODIESEL.

| Insumos o Materia Prima | Valores en Kcal./kg. De Biodiesel |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Aceite | 3940.4 |
| Metanol | 759.3 |
| Hidróxido de sodio | 2.39 |

Fuente: Elaboración propia

| Energía Consumida | Valores en Kcal./kg. De Biodiesel |
|-------------------|-----------------------------------|
| Energía eléctrica | 203.2 |

Fuente: Elaboración propia

| Productos | Valores en Kcal./kg. De Biodiesel |
|-----------|-----------------------------------|
| Biodiesel | 8365 |
| Glicerina | 234.2 |

Fuente: Elaboración propia

| | |
|--|----------------|
| CONSUMO DE ENERGIA POR Kg. DE BIODIESEL GENERADO (Kcal/Kg.) | 13504.5 |
|--|----------------|

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10

COSTO ESTIMADO DE MATERIA PRIMA Y MANO DE OBRA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL CON OLEINA DE PALMA

| | | CANTIDAD (T/M/AÑO) | VALOR UNITARIO (\$/Kg.) | VALOR TOTAL (\$/AÑO) |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| MATERIA PRIMA | OLEINA DE PALMA | 10800 | 2.95 | 31,860,000.00 |
| | METANOL | 2160 | 15.52 | 33,523,200.00 |
| | HIDROXIDO DE SODIO | 43.44 | 48.28 | 2,097,283.20 |
| | AGUA | 11564.24 | 0.10 | 1,156,424.00 |
| | TOTAL MATERIA PRIMA | | | 68,636,907.20 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

| | | CANTIDAD(UND.) | VALOR UNITARIO (\$/HOMBRE) | VALOR TOTAL (\$/AÑO) |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| COSTOS DE MANO DE OBRA | OPERARIO | 3 | 258.62 | 9,310.32 |
| | SUPERVISOR | 2 | 362.07 | 8,689.68 |
| | JEFE DE PLANA | 1 | 517.24 | 6206.88 |
| | TOTAL | | | 24,106.88 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 11

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS Y PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL CON OLEINA DE PALMA

| EQUIPOS | MATERIAL | CAPACIDAD | VALOR UNITARIO CALCULADO \$ | CANTIDAD | VALOR TOTAL \$ |
|---|------------------|--|------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Tanque de almacenamiento de (oleína de palma) | Acero negro | 30 TM | 12629.72 | 1 | 12,629.72 |
| Tanque de almacenamiento de (metanol) | Acero negro | 10 TM | 6752.03 | 1 | 6,752.03 |
| Tanque de almacenamiento de (glicerina) | Acero negro | 10 TM | 6752.03 | 1 | 6,752.03 |
| Tanque de almacenamiento del agua residual | Acero negro | 40 TM | 14880.2 | 1 | 14,880.20 |
| Tanque de almacenamiento del (biodiesel) | Acero negro | 60 TM | 18749.11 | 1 | 18,749.11 |
| Tanque de mezcla (Metanol + Hidróxido de sodio) | Acero inoxidable | 10 TM | 21549.03 | 1 | 21,549.03 |
| Tanque de mezcla (oleína + metilato de sodio) | Acero inoxidable | 15 TM | 27151.88 | 1 | 27,151.88 |
| Tanque sedimentador (biodiesel – glicerina) | Acero inoxidable | 15 TM | 4123.06 | 1 | 4,123.06 |
| Tanque sedimentador (biodiesel – agua) | Acero inoxidable | 25 TM | 4805.89 | 1 | 4,805.89 |
| Secador | Acero inoxidable | 10 TM | 43552.28 | 1 | 43,552.28 |
| Condensador (vapor del metanol) | Acero negro | 0.2 TM | 4818.01 | 1 | 4,818.01 |
| Batería de filtros (hasta 5 micras) | Acero negro | 20 Gal/min. | 5858.87 | 2 | 5,858.87 |
| Bomba centrífuga | Acero negro | 20 Gal/min. | 4950.32 | 2 | 4,950.32 |
| Bomba centrífuga | Acero negro | 60 Gal/min. | 7980.18 | 9 | 7,980.18 |
| Tubería y accesorios | Acero negro | 30% del costo del total de los equipos | - | - | 55,365.78 |
| TOTAL | | | | | 239,918.39 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

| | |
|---|-------------------|
| Costo de instalación \$ (25% costo total de los equipos) | 59,979.56 |
| Costo total \$ (instalación + equipos) | 299,897.95 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL APARTIR DE OLEINA DE PALMA POR BACHE Y POR GALÓN.

COSTO ESTIMADO POR BACHE

| ITEM DE COSTO | COSTO POR BACHE \$ |
|----------------------------------|--------------------|
| MATERIA PRIMA | 190,658.08 |
| MANO DE OBRA | 66.96 |
| SERVICIOS | 25.00 |
| DEPRECIACION DE PLANTA Y EQUIPOS | 149.95 |
| MANTENIMIENTO | 583.13 |
| VARIOS | 165.00 |
| TOTAL | 191,148.13 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

COSTO ESTIMADO POR GALON

| COSTO DE FABRICACION BIODIESEL | VALOR |
|--|-------|
| \$ / Kg. | 6.48 |
| \$ / Lt. | 5.63 |
| \$ / Gal. | 21.29 |
| Precio de venta con utilidad del 30% (\$/Gal.) | 27.68 |
| Precio de venta del diesel fósil (\$/Gal.) | 3.97 |

Tasa de cambio: S/.2.90

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 13

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BIOETANOLY BIODIESEL EN EL AÑO 2007

| País | Bioetanol | | Biodiesel | | Total | |
|----------------|--------------------|-------|--------------------|------|--------------------|-------|
| | Millones de litros | Mtoe | Millones de litros | Mtoe | Millones de litros | Mtoe |
| Brasil | 19000 | 10,44 | 227 | 0,17 | 19227 | 10,60 |
| Canadá | 1000 | 0,55 | 97 | 0,07 | 1097 | 0,62 |
| China | 1840 | 1,01 | 114 | 0,08 | 1954 | 1,09 |
| India | 400 | 0,22 | 45 | 0,03 | 445 | 0,25 |
| Indonesia | 0 | 0,00 | 409 | 0,30 | 409 | 0,30 |
| Malasia | 0 | 0,00 | 330 | 0,24 | 330 | 0,24 |
| Estados Unidos | 26500 | 14,55 | 1688 | 1,25 | 28188 | 15,80 |
| Unión Europeo | 2253 | 1,24 | 6109 | 4,52 | 8361 | 5,76 |
| Otros | 1017 | 0,56 | 1186 | 0,88 | 2203 | 1,44 |
| Mundo | 52009 | 28,57 | 10204 | 7,56 | 62213 | 36,12 |

FUENTE: FAO 2008.

ANEXO 14

ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA.

| Propiedad | Método de Ensayo (a) | Biodiesel B100 | Unidades |
|--|----------------------|---------------------|----------------------------------|
| Contenido de calcio y magnesio, combinado | EN 14538 | 5 Máx. | ppm ($\mu\text{g} / \text{g}$) |
| Punto de inflamación. (Copa cerrada) | ASTM D 93 | 93 mín. | $^{\circ}\text{C}$ |
| Control de Alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:) | | | |
| 1. Contenido de Metanol | EN 14110 | 0,2 Máx. | % volumen |
| 2. Punto de inflamación | ASTM D 93 | 130,0 mín. | $^{\circ}\text{C}$ |
| Agua y sedimento | ASTM D 2709 | 0,050 Máx. | % volumen |
| Viscosidad cinemática a 40°C | ASTM D 445 | 1,9 – 6,0 (b) | mm^2/s |
| Ceniza sulfatada | ASTM D 874 | 0,020 Máx. | % masa |
| Azufre (c) | ASTM D 5453 | 0,0015 Máx. (15) | % masa (ppm) |
| Corrosión a la lámina de cobre | ASTM D 130 | Nº 3 | |
| Número Cetano | ASTM D 613 | 47 mín. | |
| Punto nube | ASTM D 2500 | Reportar (d) | $^{\circ}\text{C}$ |
| Residuo de carbón (e) | ASTM D 4530 | 0,050 Máx. | % masa |
| Número acidez | ASTM D 664 | 0,50 Máx. | $\text{Mg KOH} / \text{g}$ |
| Glicerina libre | ASTM D 6584 | 0,020 Máx. | % masa |
| Glicerina total | ASTM D 6584 | 0,240 Máx. | % masa |
| Contenido de fósforo | ASTM D 4951 | 0,001 Máx. | % masa |
| Temperatura de destilación. Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica. | ASTM D 1160 | 360 Máx. | $^{\circ}\text{C}$ |
| Contenido de sodio y potasio, combinado | EN 14538 | 5 Máx. | ppm ($\mu\text{g} / \text{g}$) |
| Estabilidad a la oxidación | EN 14112 | 3 min. | horas |

