

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



**TRANSESTERIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE PIÑON
BLANCO (*Jatropha curcas L.*) CON METANOL PARA LA OBTENCIÓN DE
BIODIESEL**

Tesis

Para optar el título de:

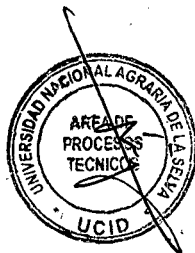
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES

MARCO ANTONIO DELGADO OJANAMA

PROMOCIÓN 2010 - II

TINGO MARÍA – PERÚ

2012



P06

D53

Delgado Ojanama, Marco Antonio

Transesterificación de los ácidos grasos del aceite de pinón blanco (*Jatropha curcas* L) con metanol para la obtención de biodiesel. – Tingo María 2012

71 páginas; 08 cuadros; 05 figuras; 35 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales)
Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

- | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1. BIODIESEL | 2. TRANSESTERIFICACIÓN | 3. METANOL |
| 4. METÓXIDO | 5. ÍNDICE DE ACIDEZ | 6. GLICERINA |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 18 de marzo del 2013, a horas 06:00 p.m. en la Sala de Grados la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“TRANSESTERIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE *Jatropha curcas* L. (PIÑÓN BLANCO) CON METANOL PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL”

Presentado por el Bachiller: **MARCO ANTONIO DELGADO OJANAMA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**.


En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

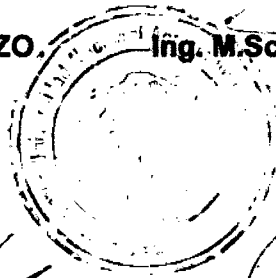
Tingo María, 25 de marzo del 2013.


Ing. M.Sc. **JOSÉ BLAS MATIENZO**,
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. **CASIANO AGUIRRE ESCALANTE**
VOCAL


Ing. **LAURIANO ZA VALETA DE LA CRUZ**
VOCAL


Ing. M.Sc. **TANIA GUERRERO VEJARANO**
(ASESORA)



DEDICATORIA

A Dios

por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada momento y paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda mi vida, Por Darme unos padre que me ayudaron a salir adelante y cumplir con mi meta.

A mi padre Boris

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante. Papá gracias por darme una carrera para mi futuro.

A mi madre María

Por darme la vida, porque siempre me apoyaste en todo momento, por creer en mí, por tus consejos, tus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por tu amor.

A mis Hermanas Fiorella y Ruth Esther

Gracias por su gran apoyo y cariño, las quiero mucho.

A mi Abuelita Belén Gonzales Macedo

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mi alma mater La UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, a mi FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES especialidad CIENCIAS FORESTALES y plana de docentes, por ser forjadora de profesionales de éxito.

Agradezco a la Ing. Química Msc. Tania Guerrero Vejarano por su asesoría brindada para el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación.

Agradezco a los miembros del jurado, Ing. José Blas Matienzo, Ing. Lauriano Zavaleta de la Cruz, y al Ing. Msc Cassiano Aguirre Escalante.

Al Ing. Raúl Araujo Torres, Al Ing. Jorge Luis Vergara Palomino, Ing. Warren Ríos García, Ing. Ladislao Ruiz Rengifo, Ing. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. Ronald Puerta Tuesta, Ing. Edilberto Díaz Quintana, Ing. Manuel Bravo Morales, y a los diferentes docentes de la facultad de Recursos Naturales, docentes de las demás especialidades y técnicos de laboratorio que contribuyeron al desarrollo de mi carrera profesional.

A mis amigos y compañeros Beto Canal Farfán, Fernando Hidalgo Navarro, Julio Cesar Castro Fabián, Edwin Allcahuaman Mañuico, John Alvarado Ramírez, Lucinda Abendaño Llanos, a la familia Chávez, y demás compañeros de la Facultad de Recursos Naturales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El biodiesel	3
2.1.1. Antecedentes del biodiesel.....	4
2.1.2. Origen.....	6
2.1.3. Proceso de producción de biodiesel.....	8
2.1.4. Ventajas del biodiesel.....	8
2.1.5. Importancia del biodiesel como biocombustible	10
2.1.5.1 Cumplimiento con el compromiso de Kyoto.....	10
2.1.5.2 Mejorar la calidad del aire.....	10
2.1.5.3 Mejorar la calidad de los combustibles	10
2.1.5.4 Reducir la importación de combustibles	10
2.1.5.5 Fomentar el desarrollo de la agroindustria	10
2.1.6. Características de la producción de biodiesel.....	11

2.1.7. Principales características del biodiesel	12
2.1.8. Contenido energetico	14
2.1.9. Estabilidad y durabilidad del biodiesel	14
2.1.10. Produccion de biodiesel en el mundo	15
2.1.11. Produccion de biodiesel en el Peru	17
2.1.12. Biodiesel en el Peru	17
2.2. Avances de la produccion de biodiesel en america latina	19
2.3. El biodiesel en el Peru	20
2.3.1. Materias primas: aceites y grasas	20
2.3.2. Aceite de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco).....	22
2.3.3. Taxonomia de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco).....	23
2.3.4. Produccion actual de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco)	23
2.4. Determinación del índice de acidez de un aceite	24
2.4.1. Índice de acidez.....	24
2.4.2. Fundamento químico de índice de acidez.....	25
2.5. Insumos: Catalizadores y alcoholes	26
2.5.1. El alcohol.....	26

2.5.2. El catalizador	26
2.5.2.1 Catalizadores alcalinos.....	27
2.5.2.2 Hidroxido de sodio (NaOH).....	27
2.6. Preparacion del metoxido de sodio	27
2.7. Transesterificacion	28
2.8. Proceso de produccion de biodiesel	29
2.9. Rendimiento teorico de la reaccion	31
2.10. Rendimiento experimental del biodiesel.....	32
2.11. Unidad de separacion	32
2.12. Control de calidad del biodiesel	33
2.13. Antecedentes de otros resultados en la investigacion de biodiesel.....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Lugar de ejecucion.....	37
3.2. Materiales y equipos	37
3.2.1. Materiales de laboratorio	37
3.2.2. Equipos.....	37

3.2.3. Reactivos.....	38
3.3. Recurso vegetal.....	38
3.4. Metodología experimental.....	38
3.4.1. Determinacion del indice de acidez del aceite de piñon blanco.....	38
3.4.2. Transesterificacion de los acidos grasos del aceite de piñon blanco	40
3.4.2.1 Preparacion del metoxido de sodio.....	40
3.4.2.2 Obtencion del biodiesel de aceite.....	40
3.4.2.3 Separacion del biodiesel y la glicerina.....	41
3.4.2.4 Lavado del biodiesel.....	42
3.4.2.5 Secado del biodiesel.....	43
3.4.2.6 Pruebas de calidad del biodiesel.....	44
3.4.3. Diagrama del flujo del proceso	45
3.4.4. Diseño experimental	46
3.4.5. Tratamientos	47
3.4.6. Estructura del diseño experimental	48

IV. RESULTADOS	49
4.1. Índice de acidez de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco)	49
4.2. Temperatura optima para obtener mayor rendimiento de biodiesel.....	50
4.3. Cantidad de metanol optimo para obtener mayor rendimiento de biodiesel.....	51
4.4. Interaccion de temperatura y cantidad de metanol adecuado para obtener un mayor rendimiento de biodiesel a partir del aceite de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco)	52
4.5. Pruebas de calidad de biodiesel obtenido a partir del aceite de <i>jatropha curcas L.</i> (piñon blanco).....	54
V. DISCUSIONES	55
VI. CONCLUSIONES.....	61
VII. RECOMENDACIONES.....	62
VIII. ABSTRAC.....	63
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
X. ANEXO	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Produccion de aceites oleaginosos en el Peru (2003 – 2005).....	20
2. Comparacion del rendimiento proyecto A vs Journey to forever	32
3. Normas de calidad para el uso del biodiesel como biocombustible ..	34
4. Determinacion del indice de acidez del aceite de piñon blanco	49
5. Prueba de TUKEY para el factor temperatura	50
6. Prueba de TUKEY para el factor metanol	51
7. Prueba de TUKEY para la combinacion de temperatura y metanol ..	52
8. Pruebas de calidad pH, densidad y viscosidad	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Reaccion de transesterificacion del aceite vegetal para obtener biodiesel.....	30
2. Cantidad de gramos de NaOH por litro de aceite.....	49
3. Influencia del factor temperatura en el rendimiento del biodiesel.....	50
4. Influencia del factor metanol en el rendimiento del biodiesel	51
5. Combinacion de temperatura y cantidad de metanol en el rendimiento del biodiesel.....	53
6. Preparacion de la solucion etanolica al 0,1 N.....	75
7. Solucion etanolica al 0,1 N lista.....	75
8. 100 ml de aceite de jatropha curcas L. (piñon blanco).....	76
9. Lectura de la temperatura	76
10. Añadiendo el metoxido de sodio	77
11. Proceso de transesterificacion	77
12. Separacion de biodiesel y glicerina	78

13.	Separacion despues del primer lavado	78
14.	Separacion despues del segundo lavado.....	79
15.	Separacion despues del tercer lavado	79
16.	Secado del biodiesel	80
17.	Biodiesel puro despues del secado.....	80

RESUMEN

El petróleo es un recurso natural no renovable, por lo que viene a ser uno de los puntos principales para la búsqueda de combustibles alternativos, uno de estos combustibles alternativos es el biodiesel, que se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación. Como uno de los objetivos fue determinar que tratamiento de la combinación (temperatura y cantidad de metanol) se obtuvo mayor rendimiento. Para obtener los respectivos tratamientos se combinó dos (2) factores: temperatura (45 °C, 55 °C, 65 °C) y cantidad de metanol (20, 30, 40, 50, y 60 mL) lo cual nos da 15 tratamientos cada uno con 3 repeticiones lo que da un total de 45 tratamientos. Se inició con el cálculo del índice de acidez luego proceder a preparar el metóxido de sodio el cual mediante un proceso de transesterificación de cada tratamiento con 100 mL de aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L*) dio resultado al biodiesel lleno de impurezas, tales como pequeños ácidos grasos sin reaccionar o pequeñas partículas de glicerina, para eliminar estos residuos se realizó tres (3) lavados con agua destilada a cada uno de los tratamientos obtenidos, se añadió el 40% de agua destilada respecto al volumen obtenido de biodiesel, y por último el secado en baño maría.

Finalmente se realizó las pruebas de calidad para luego comparar los valores obtenidos de acuerdo a las normas técnicas. Como resultado se obtuvo que el tratamiento 10 (55 °C y 60 ml de metanol) sea el más adecuado para obtener un mejor rendimiento de biodiesel con 88,7 mL.

I. INTRODUCCION

En el mundo cada día se consume una energía equivalente a 210 millones de barriles de petróleo. El 75% de estas necesidades energéticas se cubren con la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), responsables; además de la contaminación atmosférica (GONZALES, 2003).

Los combustibles fósiles (petróleo), contaminan el ambiente, liberando compuestos tóxicos como NO_x, SO_x, COVs, Pb, produciendo lluvia acida, estos compuestos orgánicos volátiles afectan la calidad de aire.

Con el avance de la tecnología y la desenfadada carrera hacia el desarrollo técnico y económico tiene como consecuencia el agujero en la capa de ozono, enfermedades respiratorias, entre muchas otras. Como bien se sabe, el petróleo es un recurso natural no renovable, por lo que viene a ser uno de los puntos principales para la búsqueda de combustibles alternativos, uno de estos combustibles alternativos es el biodiesel.

Este biocombustible se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el cual los aceites orgánicos son combinados con un alcohol y alterados químicamente para formar un éster etílico o metílico, el cual recibe finalmente el nombre de biodiésel. Estas moléculas resultantes

están compuestas por un ácido graso de cadena larga y un alcohol.

Bajo este contexto se planteo los siguientes objetivos:

- Determinar el índice de acidez del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)
- Determinar la cantidad óptima de metanol para obtener un mayor rendimiento de biodiesel a partir del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)
- Determinar la temperatura óptima para obtener un mayor rendimiento de biodiesel a partir del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)
- Determinar el mayor rendimiento obtenido de biodiesel de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)
- Determinar las pruebas de calidad, pH, densidad, y viscosidad.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. El biodiesel

El biodiesel es un combustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales. El prefijo **bio** hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible **diesel** tradicional derivado del petróleo; mientras que **diesel** se refiere a su uso en motores de ese tipo. Como combustible, el biodiesel puede ser usado en forma pura o mezclado con diesel de petróleo (GONZALES, 2003).

El National Biodiésel Board (la asociación de productores norteamericanos de biodiésel) lo define como un combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites o grasas, vegetales o animales.

El biodiesel es un combustible de origen vegetal que reemplaza al gasoil fósil. Su fabricación es sencilla, y su materia prima mas económica y sencilla de obtener que el petróleo.

El biodiesel es un sustituto del petrodiesel, se puede obtener, a partir de recursos naturales renovables, como aceites vegetales y/o grasas animales y algas. Al igual que el diesel del petróleo, el biodiesel funciona en

los motores de combustión interna, sus ventajas son variadas. Un recurso vegetal renovable que ha llamado la atención a nivel mundial es la planta de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) que pertenece a la familia de la Euphorbiaceas, y que por su alto contenido de aceite (50 - 55%), es una fuente importante para la obtención de biodiesel.

2.1.1. Antecedentes del biodiesel

La idea de usar aceites vegetales como combustible para los motores de combustión interna data de 1895, cuando el Dr. Rudolf Diesel desarrollaba su motor. En la presentación del motor diésel en la Exposición Mundial de París, en 1900, el Ing. Diesel usaría aceite de maní como combustible, o, mejor dicho, como biocombustible.

Años después Diésel fue muy claro al señalar que «el motor diésel puede funcionar con aceites vegetales, esto podría ayudar considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que lo usen así. Hacia 1912 afirmarí que «el uso de los aceites vegetales como combustibles para los motores puede parecer insignificante hoy en día, pero con el transcurso del tiempo puede ser tan importante como los derivados del petróleo y el carbón en la actualidad (SHAY, 1993).

Las predicciones de Diesel tomarían su tiempo para empezar a tomar a cuerpo y, en este lapso de, más o menos un siglo, los motores diésel

evolucionarían y se perfeccionarían utilizando fundamentalmente destilados medios de petróleo con mucha menor viscosidad que los aceites vegetales. La principal razón por la que actualmente no podríamos usar aceites vegetales directamente en los motores es, precisamente, su mayor viscosidad. La química proporciona una solución para disminuir esta viscosidad: la transesterificación.

Este proceso fue desarrollado por los científicos E. Duffy y J. Patrick a mediados del siglo XIX, cuarenta años antes que Diesel desarrollara su motor de combustión interna. Los aceites vegetales (y también las grasas animales) están constituidos por moléculas (ésteres) de ácidos grasos y glicerol. A éste último, los aceites y grasas le deben su elevada viscosidad. La transesterificación, en sencillo, consiste en reemplazar el glicerol (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente («más ligero») usualmente metanol o etanol, formando moléculas más pequeñas (ésteres monoalquílicos, comúnmente denominado biodiésel), con una viscosidad similar a la del combustible diésel derivado del petróleo. Asimismo, se produce glicerina, sustancia que tiene numerosos usos en diversas industrias.

Durante el siglo XX, algunos intentos se realizaron para utilizar aceites como combustible para vehículos. Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos pesados en el África. Durante la década de los años 40, los franceses trabajaron con el aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) como

combustible sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República Federal de Alemania y Austria con aceite de colza (*Brassica napus*); y en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón, obteniéndose excelentes resultados.

2.1.2. Origen

El hombre fue llevando sus semillas hasta lograr que en otras partes del mundo se haya asilvestrado. Se cree que habría llegado a África en las galeras portuguesas que traficaban esclavos hacia Brasil. Según el país en que fue reconocida esta especie, ha recibido diferentes nombres triviales, tales como pinhao manso (Brasil), tempate (México), *physic nut* (países de habla inglesa), piñón de leche o piñón botija (Cuba), etc. *Jatropha curcas* es una oleaginosa de porte arbustivo, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, que tiene más de 3,500 especies agrupadas en 210 géneros. Presenta un uso potencial para áreas deforestadas, erosionadas, suelos de áreas marginales, con una vida útil de 30 - 50 años, aunque se han reportado casos de una longevidad de 100 años (CORTESAO, 1956; PEIXOTO, 1973).

Hasta 1939 el principal uso del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.) era la saponaria y fabricación de estearina, pero debido a las necesidades militares comenzaron a estudiarse otros posibles usos. Durante la segunda Guerra Mundial se empleó, en África, el aceite como lubricante de motores, debido a su baja viscosidad y gran porcentaje de ácidos grasos insaturados (DE ARRUDA *et al.*, 2004).

Los indios guaraníes, que la denominaban como Kuri jyva y Turuvi, empleaban las semillas como purgante y las raíces como depurativas, para rejuvenecer y como aromática (SILVA NOELLI, 1996).

Esta planta es tóxica pues se ha encontrado en la semilla la presencia de alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan un efecto purgante. Solamente en México se han encontrado variedades no tóxicas, las cuales son consumidas después de tostar y en la preparación de comidas tradicionales por los pobladores de la región de Poplanta en Veracruz, Otón P. Blanco en Querétaro, Pueblillo en Veracruz y Huitzilán en Puebla (MAKKAR *et al.*, 1998; MARTINEZ HERRERA *et al.*; 2006).

Si el aceite se consume en dosis elevadas, produce alteraciones del tracto gastrointestinal, que se manifiesta con náuseas, vómitos, y gran sudoración, pudiendo llegar a producir la muerte (PEIXOTO, 1973).

Según HELLER (1996) su área de dispersión en Sudamérica abarca Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Galápagos, Paraguay, Perú y Venezuela, llegando a la Argentina, habiéndosele reconocido en varias provincias.

2.1.3. Proceso de producción del biodiésel

El proceso de producción de biodiésel se basa en la reacción de transesterificación del aceite. Los aceites están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos, las cuales se componen de tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol. La transesterificación consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan esteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. Este proceso permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de glicerina en la molécula. La alta viscosidad del aceite impide su uso directo en motores diesel, desventaja que se supera mediante este proceso. Para lograr la reacción se requieren temperaturas entre 40 y 60 °C, así como la presencia de un catalizador, que puede ser la soda o potasa caústica (NaOH o KOH, respectivamente) (GONZALES, 2003).

2.1.4. Ventajas del biodiésel

- Esta probado que el CO₂ es el principal causante del calentamiento global. Utilizando biodiesel al cien por ciento las emisiones se reducen en un 75% y usándolo en mezcla de 20% con petrodiesel común se consigue una reducción de 15%.
- El biodiesel, además de sus ventajas ambientales, permite un ahorro substancial en los costos de reducción del sector agropecuario.

- Igualmente, mejora la relación productos primarios/petróleo, y representa la única respuesta económicamente válida a los subsidios del sector agropecuario en los países industriales.
- El biodiesel elaborado por los propios productores es ideal para esto ya que reduce sustancialmente el costo del combustible a la vez que aumenta la duración en servicio de los motores, reemplaza a su vez el desagradable olor del petróleo cuando es quemado, por un agradable aroma a papas fritas.
- El biodiesel no requiere de megaproyectos o inversionistas avaladas por el estado que impliquen onerosos créditos. De hecho se puede hacer biodiesel con solo mezclar los componentes en una licuadora de uso doméstico.
- Lo que sí requiere el biodiesel para su rápida adopción es la diseminación de la tecnología disponible, y la toma de decisiones políticas que permitan distanciar a los poderosos intereses económicos y de prestigio que están en juego. A la industria petrolera no le agrada ser desplazada de sus mercados.
- Produce además menos partículas sólidas como monóxido de carbono y dióxido de sulfuro, ambas causantes del asma, laringitis y otras enfermedades respiratorias.
- Y por sobre todo un factor de suma importancia tiene una temperatura de ignición mucho mayor que la del petrodiesel, haciendo su

almacenaje, transporte, y despacho mucho más seguro (CALERO *et al.* 2007).

2.1.5. Importancia del biodiesel como biocombustible

2.1.5.1. Cumplimiento del compromiso de kyoto:

- Reducción de la contaminación ambiental y consumo de combustibles fósiles.
- Incremento de uso de biocombustibles.

2.1.5.2. Mejora la calidad del aire:

- Reducción de emisiones que contribuyen al efecto invernadero (CO, CO₂, SO_x).
- Reducción de daños a la capa de ozono.

2.1.5.3. Mejora la calidad de los combustibles:

- Reducción de contenido de compuestos aromáticos, (Bencenos, Olefinas y Azufre).

2.1.5.4. Reduce la importación de combustibles:

- Gasolinas y diesel 2.

2.1.5.5. Fomenta el desarrollo de la agroindustria:

- Nuevos cultivos agrícolas para incrementar la producción de alcohol carburante y aceites vegetales.

- Nuevas biorefinerías de bioetanol y biodiesel.
- Nuevas plazas de trabajo.

2.1.6. Características de la producción de biodiésel

El biodiésel se obtiene a través de un proceso denominado transesterificación, a partir de la transformación de grasas y aceites. A partir de dicho tratamiento, en el cual se facilita la reacción del lípido normalmente mediante un grupo alcalino, además de biodiesel se genera también glicerina. En ciertos casos, previamente a la transesterificación se realiza un pretratamiento de las materias primas, basado en la esterificación de los lípidos, el cual tiene como finalidad el convertir los mismos en ésteres.

Tradicionalmente, las materias primas más utilizadas para la generación de biodiésel han sido algunos cultivos oleaginosos, entre los que destacan la soja, la palma aceitera y el raps (colza).

Asimismo, en los últimos años se han realizado numerosas experiencias que pretenden agregar un nuevo cultivo a la lista señalada: el piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) El interés por dicha especie proviene principalmente de que es capaz de soportar condiciones agronómicas muy desfavorables en su crecimiento, por lo cual puede cultivarse en terrenos marginales. No obstante, si no se dan las condiciones agronómicas adecuadas, el contenido de aceite de sus frutos será bajo. Por otra parte, algunas algas con

alto contenido oleico se postulan como materia prima para biodiésel de generaciones avanzadas (MELZOCH *et al.*, 2010).

2.1.7. Principales características del biodiesel

En la literatura parece haber un mayor consenso hacia las características deseables de la producción de biodiésel. Sin embargo, hay voces de precaución sobre un optimismo demasiado alto.

Características deseables:

- Es una fuente de energía limpia, renovable, de calidad y económicamente viable, que además contribuye a la conservación del medio ambiente, por lo que representa una alternativa a los combustibles fósiles.
- Se trata de un combustible biodegradable, cuyo uso disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y óxidos de azufre.
- Reduce entre 60% y 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados.
- Puede ser producido económicamente en un amplio rango de lugares tanto rurales como urbanos y en diferentes escalas (pequeñas para autoconsumo o comerciales).

- Tiene un gran potencial para ser producido por aceites no comestibles.
- El contenido energético del etanol es de 67% con respecto a aquel de la gasolina, mientras que el del biodiésel es de 90% en relación con el del diésel proveniente del petróleo.

Características no deseables:

- El proceso de fabricación de biodiésel libera la glicerina, la cual todavía constituye un problema por su contenido tóxico (moderado) y contaminante.
- Aporta un 10% de óxidos nitrosos a la Atmósfera (lluvia ácida) con respecto a los combustibles fósiles.
- El Balance energético. Un aspecto que todavía es debatido en el mundo es si el balance energético del biodiésel es positivo. En la producción de combustibles, se entiende por balance energético la diferencia entre la energía que produce un kilogramo de combustible (biodiésel en este caso) y la energía necesaria para producirlo, lo cual incluye extracción (cultivo, en este caso), procesamiento, transporte, refinado entre otros. (BIODIESEL 2020: A GLOBAL MARKET SURVEY).

2.1.8. Contenido energético

El contenido energético del biodiesel es ligeramente menor que el del diésel (12% en peso u 8% en volumen), y por lo tanto su uso implicará un consumo ligeramente mayor, así como ciertas pérdidas en potencia y torque.

2.1.9. Estabilidad y durabilidad del biodiesel

En lo referente al tiempo de duración, los expertos recomiendan que el biodiésel se deba consumir dentro del año de producción para asegurar el mantenimiento de las cualidades del combustible. Las condiciones de almacenamiento deben ser adecuadas: sin exposición a la luz, sin contacto con el aire (es decir, en envases llenos y cerrados), sin contacto con la humedad y de ser posible a temperaturas no superiores a los 20 °C. De preferencia, sin embargo, el biodiésel no se debe almacenar por largos períodos de tiempo, y por lo tanto los niveles de producción deben ser establecidos en función a la demanda.

En contraste, como ya vimos en la primera parte de este libro, otras propiedades específicas del biodiésel son consideradas ventajas en el aspecto técnico, entre las cuales se puede resaltar:

- El biodiésel tiene significativamente menos azufre que el diésel de petróleo, pero mantiene una alta lubricidad.

- El biodiésel contiene aproximadamente 11% de oxígeno en peso, y un número de cetano ligeramente mayor que el diésel convencional, lo cual implica una mejor combustión y una reducción en la mayoría de emisiones (DOE, 2006).

2.1.10. Producción de biodiésel en el mundo

Según el F.O. Licht's World Ethanol & Biofuels Report 2007, la producción de biodiesel en el mundo en el 2005 habría superado los 3 mil 500 millones de litros, siendo Alemania el principal productor con 1,920 millones de litros, seguido de Francia (511 millones), Estados Unidos (290 millones), Italia (227 millones) y Austria (83 millones).

Varios gobiernos, no obstante, han anunciado metas ambiciosas de producción de biodiesel en sus países, entre los que destacan Malasia (450 millones de litros/año de biodiesel de palma hacia el 2007), Brasil (2,000 millones de litros/año de biodiesel, principalmente de palma, ricino y soya, hacia el 2012), India (4,500 millones de litros/año de biodiesel de piñón) e Indonesia (4,700 millones de litros/año de biodiesel de palma hasta el 2025).

Los principales motivos que llevaron a los diferentes países a impulsar la producción de biodiesel han sido:

- Una mayor seguridad en el abastecimiento energético.

- La reducción de la dependencia de fuentes de energía fósiles.
- La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La reducción de emisiones dañinas de efecto local.
- La protección del suelo mediante el uso de productos biodegradables.
- La reducción de peligros a la salud mediante el uso de productos no tóxicos.
- La minimización de los excedentes de la producción agraria.

Como se puede observar, todas estas razones están directamente relacionadas con las ventajas del biodiésel explicadas en el capítulo anterior. Ellas se relacionan también con los tipos de medidas regulatorias y de fomento que han implementado los gobiernos para alcanzar estas metas.

Fuente: Austrian Biofuels Institute: World-wide trends in production and marketing of biodiesel. Presentado en el Seminario ALTENER «New Markets for Biodiesel in Modern Common Rail Diesel Engines», Universidad Tecnológica de Graz, Graz, Austria (22 mayo 2000); (FRIEDRICH, 2004).

En la actualidad, la producción mundial de biodiésel se concentra en pocos países. Por ejemplo, del total durante el 2006, alrededor del 75% se produjo en Europa, donde Alemania contribuyó con el 55%, y la mayor parte del 25% restante fue producido por Estados Unidos de América. Estas cifras son muy dinámicas entre los países de América que reportan la producción de biodiésel a cierta escala comercial (como Canadá, Brasil y Argentina), mientras

que la mayoría de los demás países informan una producción incipiente o en una escala de prueba.

Aunque se puede producir biodiésel de cualquier aceite, las fuentes que han sido utilizadas hasta el presente son pocas. La producción de la Unión Europea (UE) proviene principalmente del aceite de colza y en menor medida del aceite de palma aceitera, mientras que la producción de los Estados Unidos proviene principalmente del aceite de soja. En términos potenciales, se puede decir que para los países de climas templados, la materia prima para la producción de biodiésel proviene del aceite de la colza y de soja, mientras que para los países subtropicales y tropicales, procede del aceite de la palma africana y otras oleaginosas (BIODIESEL, 2020: A GLOBAL MARKET SURVEY).

2.1.11. Producción de biodiesel en el Perú

No se reportan cifras significativas de producción de biodiésel en el país, aunque algunas empresas productoras de aceite de palma han instalado algunas plantas piloto para producirlo a partir del aceite de palma.

2.1.12. Biodiesel en el Perú

Si bien la producción y las experiencias en el Perú con el piñón o tempate (*Jatropha curcas L.*) son más bien escasas, este es otro de los cultivos que ha generado mucho interés por sus posibles ventajas que presentaría para la producción de biodiésel. A saber (FOILDL Y EDER, 1997; HENNING, 1998;

VINAYAK Y SINGH, 1998): crece desde el nivel del mar hasta los mil metros sobre el nivel del mar; se adapta a suelos pobres, arenosos y/o alcalinos; es muy resistente a la sequía; es un cultivo perenne, con una vida útil de 30 a 50 años.

Se estima que la fijación de CO₂ en troncos y raíces estaría entre las 7 y 8 TM/ha/año, más del doble que cualquier cultivo maderero. En el Perú es usual encontrar el piñón utilizado como cerco vivo, en la selva alta del norte de la región Cajamarca, aprovechando su toxicidad que mantiene alejado al ganado. De modo más reciente se tiene noticias de las primeras plantaciones que se habrían instalado, tanto en condiciones de selva baja (Ucayali), como de costa (Lima y Piura). Energía es una empresa que está iniciando la instalación de piñón en la selva, con una proyección de 10 mil hectáreas en los próximos años.

La gran rusticidad y adaptabilidad de este cultivo se basaría en su variabilidad genética, lo cual le permite resistir condiciones tan diversas y exigentes, como las de la costa desértica o la selva tropical lluviosa. Sin embargo, esta cualidad, muy probablemente se presente como dificultad cuando se desee obtener cierta uniformidad y homogeneidad en grandes extensiones de cultivo. En este sentido, se requerirá invertir recursos y tiempo en la investigación e identificación de las variedades más apropiadas para la producción de aceite en cada región (CASTRO *et al.*, 2007).

2.2. Avances de la producción de biodiesel en América Latina

Según el F.O. Licht's World Ethanol & Biofuels Report, la producción mundial de biodiésel en el 2006 fue de 5,4 millones de toneladas, con Europa con la mayor producción, y proyectando un crecimiento a 7,9 millones de toneladas al 2007.

Estos niveles de producción, que siguen creciendo de manera acelerada, han sido impulsados por una demanda también creciente, generada en muchos casos por regulaciones, incentivos y metas establecidas por los estados.

Brasil lanzó en el 2004 el Programa Nacional de Producción y Uso del Biodiésel, que busca impulsar a este combustible como una opción para el desarrollo del agro en las zonas más pobres del país. Este programa consta de un marco regulatorio, de metas físicas de uso de biodiésel, y de una planificación de cultivos oleaginosos en todo el país. Así, en el 2004 fue autorizada la mezcla de 2% de biodiésel en el diesel convencional, y, según la Ley del Biodiésel (Ley 11.097/05), a partir del 2008 este porcentaje de mezcla será obligatorio. Asimismo, a partir del 2013, la mezcla de 5% de biodiésel en el diesel (B5) será obligatoria (CASTRO *et al.*, 2007).

2.3. El biodiesel en el Perú

2.3.1. Materias primas: aceites y grasas

Las materias primas: aceites y grasas vegetales y animales disponibles para producir biodiesel en el Perú son variadas: aceites vegetales, grasas animales (sebo), aceite de pescado, aceites y mantecas comestibles usados. Sin embargo, su cantidad no es suficiente para satisfacer una posible demanda a gran escala de biodiesel. En el cuadro se puede apreciar un resumen de la producción nacional de cultivos oleaginosos.

Cuadro 1. Producción de aceites oleaginosos en el Perú (años 2003 – 2004).

Producto	Producción por año (toneladas)	
	2003	2004
Fruto de la palma aceitera	180.446	208.538
Algodón con semilla	126.125	160.46
Semilla de algodón	80	69.672
Aceituna	38.089	42.198
Aceite de palma	35	42
coco	22.989	21.283
Semilla de palma aceitera	8	9
Maní con cascara	5.188	5.2
Soya	1.928	2.581
Semilla de linaza	750	850
Semilla de sésamo	76	75

Fuente: MATTHEWS Y O'CONNOR, 2006

En resumen: el Perú no cuenta en este momento con producción suficiente de aceites vegetales para satisfacer su demanda por alimentos.

Como, entonces, podría sustentar una industria del biodiesel si no cuenta con esta materia prima básica (MATTHEWS Y O'CONNOR, 2006).

Las dos fuentes más comunes de aceites y grasas para producir biodiésel son:

- Cultivos oleaginosos
- Tejidos adiposos (grasos) de animales beneficiados.

Además, se está experimentando en diversos lugares para obtener biodiésel a partir de:

- Algas productoras de aceites
- Aceites residuales de cocina
- Grasas residuales provenientes, por ejemplo, de plantas de tratamiento de aguas o de trampas de separación de grasas.

Extracción de aceites y grasas

Los aceites vegetales se obtienen a partir de las semillas o frutos que los contienen mediante extracción química con solventes (se utiliza principalmente hexano como solvente) o, en menor medida, por medios físicos como la aplicación de grandes presiones. El aceite de palma y el de oliva aún se obtienen por medios físicos utilizando prensas hidráulicas. El aceite de canola se extrae combinando el prensado con la extracción por solventes: las semillas de canola se separan en escamas, se cuecen, se laminan, se medio prensan y a continuación se extraen con solventes (LAWSON, 1994).

La extracción por solventes es el medio más eficiente para obtener el aceite de soya o de la semilla de algodón, lográndose un 9% a 12% más de aceite y con menos impurezas que mediante la presión mecánica. Con la extracción por solventes se requiere menos calentamiento, obteniéndose un aceite de mejor calidad y ahorrando energía. La fracción oleosa de las semillas se solubiliza en el hexano durante la extracción, y a continuación el hexano se destila y se reutiliza. Dada su alta volatilidad, el residuo de solvente que queda en el aceite es mínimo o nulo (LAWSON, 1994). Sin embargo, este método es menos apropiado para aplicaciones rurales, ya que requiere equipamiento grande y sofisticado (LAWSON, 1994).

2.3.2. Aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)

Hasta 1939 el principal uso del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) era la saponaria y fabricación de estearina, pero debido a las necesidades militares comenzaron a estudiarse otros posibles usos. Durante la segunda Guerra Mundial se empleó, en África, el aceite como lubricante de motores. (DE ARRUDA *et al.*; 2004).

Si el aceite se consume en dosis elevadas, produce alteraciones del canal alimentario, que se manifiesta con náuseas, vómitos, y gran sudoración, pudiendo llegar a producir la muerte (PEIXOTO, 1973).

El aceite puro de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) (30% del peso de la semilla), presenta un valor calórico de 9335,0 kcal/kg, y puede alcanzar menos de 4% de acidez cuando está fresco (SOTOLONGO LOPEZ *et al.*, 2007).

2.3.3. Taxonomía del piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)

Según LINNEO (1753-1754)

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
SubClase:	Rosidae
Orden:	Euphorbiales
Familia:	Euphorbiaceae
Género:	Jatropha
Especie:	Curcas

2.3.4. Producción actual de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)

Impulsado por la ley de promoción del mercado de biocombustibles, y su reglamento que exige el uso de biocombustibles en el mercado peruano con porcentajes obligatorios a partir del 2009, el biodiesel está tomando fuerza e interés por parte de varias empresas nacionales e internacionales, también en el ámbito de San Martín.

Dentro de las especies que se busca utilizar para la producción de biodiesel destaca el piñón blanco (*Jatropha curcas L.*), el cual es bastante resistente al clima y diversos tipos de suelos. Esta planta de tipo arbustivo produce un aceite tóxico que no es apto para el consumo humano y por lo tanto no compite con productos de consumo directo como son la soya, el girasol, o la palma aceitera. Otra ventaja que tiene es que puede adaptarse a suelos degradados y eriazo, lo cual hace que no necesariamente compita con tierras destinadas para la agricultura. En este sentido, el piñón blanco viene siendo una alternativa interesante para mejorar los ingresos de los agricultores rurales de una manera sostenible (LIMACHI, 2005).

2.4. Determinación del índice de acidez de un aceite

2.4.1. Índice de acidez

ZAPATA *et al.* (2007) manifiesta que el índice de acidez (IA), es el número de mg de KOH o NaOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (es decir, que no se encuentran unidos a un glicérido) de 1 g de aceite. Se determina mediante la titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol con una solución estándar de KOH o NaOH. Un valor elevado para este índice muestra que el índice contiene una alta cantidad de ácidos grasos libres, ya que ha sufrido un alto grado de hidrólisis.

Puede expresarse también como porcentaje del ácido oleico, palmítico o laurico, según el ácido graso que predomine en la grasa en cuestión. Los aceites y grasas refinadas deben tener un nivel de ácidos grasos libres inferior al 0.2% como ácido oleico para ser aptos para su uso en la

alimentación, sin embargo, los aceites crudos y los usados previamente en frituras, comúnmente tienen un contenido de ácidos grasos libres significativamente superior a este (2% o más).

Este índice es particularmente importante para el proceso de producción de biodiésel (transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador de la transesterificación (NaOH o KOH) formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiesel. La saponificación no solo consume el catalizador necesario para la transesterificación, sino que además los jabones producidos promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel.

2.4.2. Fundamento químico del índice de acidez

ZAPATA et al. (2007) señala que los enlaces éster de grasas y aceites se hidrolizan por efecto de lipasas microbianas y liberan ácidos grasos en mayor o menor grado. Para cuantificar este proceso, se define el índice de acidez de un aceite, que puede expresarse, entre otras formas, como el número de miliequivalentes de hidróxido potásico o hidróxido de sodio que consume 1 g de aceite para neutralizar los aceites libres ejemplo.



Para evitar la saponificación de los glicéridos por el hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, la determinación debe hacerse en frío y cuidando de no añadir un exceso de base.

2.5. Insumos: Catalizadores y alcoholes

2.5.1. El alcohol

CASTRO *et al.* (2007) indica que el alcohol es el principal insumo para la producción de biodiesel. En volumen, representa alrededor del 10 – 15 % de los insumos consumidos. Los alcoholes que comúnmente más se utilizan para producir biodiésel son metanol y etanol. Así mismo se puede utilizar otros alcoholes – propanol, isopropanol, butanol, y pentanol, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua (es decir, la presencia de agua en mínimas cantidades inhibe la reacción). El metanol es tóxico cuando es ingerible, se inhala o al hacer contacto con la piel, y además altamente inflamable, sus gases se encienden a una temperatura de 12 °C. Por encima de esta temperatura las mezclas de aire y vapor de metanol (con al menos 6% de metanol) son explosivos. El etanol es menos tóxico pero la desventaja de su uso para producir biodiesel es que es mucho menos reactivo que el metanol, y la transesterificación se ve afectada principalmente por cualquier cantidad de agua presente en los insumos. Se requiere entonces que el etanol utilizado contenga una pureza superior al 99%, y que los otros insumos (aceite y catalizador) sean igualmente de muy alta pureza. Es por esto que en la mayoría de plantas de producción de biodiesel aun se utiliza metanol pese a su toxicidad.

2.5.2. El catalizador

CASTRO *et al.*, (2007), la transesterificación de los triglicéridos puede ser realizada mediante diferentes procesos catalíticos, el proceso más conocido, utilizado y hasta el momento más efectivo es el que emplea

catalizadores alcalinos. Sin embargo, si el aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos libres, la catálisis alcalina no es apropiada debido a que los hidróxidos reaccionan con los ácidos grasos formando jabones, lo cual reduce el rendimiento de producción de biodiesel. En este caso, se requiere otro tipo de transesterificación, o un pre tratamiento con catalizadores ácidos.

2.5.2.1. Catalizadores alcalinos

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en un estado anhidro (seco). Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues este disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono.

2.5.2.2. Hidróxido de sodio (NaOH)

El NaOH viene en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto muy barato y fácil de conseguir, pero es caustico e irritante, y su manipulación directa sin protección respiratoria y para la piel debe evitarse. Al igual que en el caso del KOH, la manipulación de este insumo solido puede ser complicada (especialmente en plantas de producción de gran escala, donde se quieren evitar operaciones manuales).

2.6. Preparación del metóxido de sodio

CALERO (2007) menciona que la cantidad de metanol generalmente, es del 20% en masa de la cantidad de aceite. Las densidades

de los dos líquidos son bastantes parecidas; también debería funcionar con el 20% en volumen. Para estar completamente seguro, se mide medio litro de cada líquido, pesarlos y calcular el 20% en masa. Distintos aceites pueden tener distintas densidades dependiendo de su procedencia y de cómo hayan sido cocinados, por ejemplo para 100 mL de aceite falta 20 mL de metanol.

Cuando se mezcla el metanol con el hidróxido de sodio (NaOH) se produce una reacción exotérmica (libera calor) cuyo resultado es el metóxido de sodio.

2.7. Transesterificación

CASTRO *et al.* (2007) señala que la reacción química de la transesterificación, equivale a:

1 triglicérido + 3 alcohol + catalizador alcalino + 3 biodiesel + 1 glicerol

Sin embargo, en la práctica se necesita más de 3 alcoholes por cada triglicérido para que la reacción ocurra completamente. Si no se usa este exceso de alcohol, el producto obtenido no será biodiesel puro: consistirá en una mezcla de biodiésel, triglicéridos sin reaccionar, y productos intermedios como los monoglicéridos y diglicéridos. Estas impurezas pueden afectar las características del combustible, de manera que no cumpla con las normas técnicas de calidad, además de tener efectos indeseados como producir depósitos carbonosos en el motor, taponeo de los filtros, combustión

incompleta, etc. Igualmente, para que la reacción se lleve a cabo, también hemos visto que se necesita la presencia de un catalizador y de ciertas condiciones de reacción (tiempo, temperatura, agitación). Asimismo, hemos visto que la calidad del aceite es uno de los condicionantes más importantes para que la transesterificación se lleve a cabo adecuadamente y que debe asegurarse con un análisis químico previo y, si es necesario, con un pretratamiento adecuado.

2.8. Proceso de producción del biodiésel

WHITMAN (2007), el proceso de producción de biodiesel se basa en la reacción de transesterificación del aceite. Los aceites están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos, las cuales se componen de tres (03) cadenas de ácidos grasos unidas a una (01) molécula de glicerol. La transesterificación consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. Este proceso permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de glicerina en la molécula. La alta viscosidad del aceite impide su uso directo en motores diesel, desventaja que se supera mediante este proceso. Para lograr la reacción se requiere de temperaturas que oscilan entre 40 y 60 °C, así como la presencia de un catalizador, que puede ser la soda o potasa caustica (NaOH o KOH), respectivamente.

CASTRO *et al.* (2007) señala que el biodiésel es un biocombustible derivado de aceites o grasas ya sea vegetal o animal, que puede ser usado en forma pura o mezclado con diesel de petróleo. Se compone de esteres mono – alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos mediante la transesterificación de aceites o grasas vegetales o animales con un alcohol, la idea del proceso de transesterificación es reemplazar el glicerol de los triglicéridos por alcoholes simples, como el metanol o etanol. De esta manera, se obtienen moléculas en forma de cadena larga, muy similares en su forma y sus características físicas a las moléculas de los hidrocarburos. La principal ventaja que se logra con este proceso es reducir la viscosidad del aceite hasta un nivel muy cercano al del diesel 2.

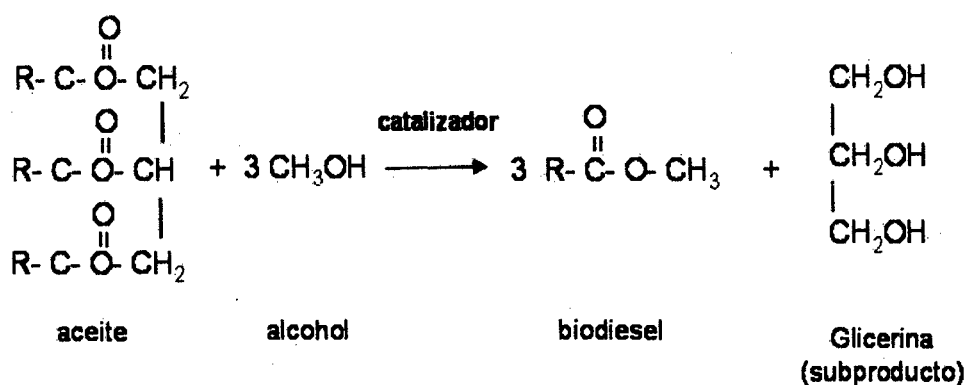


Figura 1. Reacción de transesterificación del aceite vegetal para obtener biodiésel.

A pesar de que esta reacción química puede parecer muy simple en el esquema finalmente, es solo cuestión de reemplazar el glicerol por un alcohol (metanol o etanol). Así mismo, existen diversos factores que influyen como:

- La calidad de las materias primas

- El tipo, la calidad y cantidad de alcohol utilizado
- El tipo de catalizador utilizado
- Las condiciones físicas del proceso: temperatura, agitación, presión, tiempo.

RECINOS *et al.* (2005), la síntesis de biodiésel puede ser efectuada a partir de tres procesos. La primera opción es la transesterificación del aceite, empleando una base como catalizador. Esta metodología es ampliamente usada debido a que tiene un alto porcentaje de rendimiento y representa un proceso de conversión directa. El segundo proceso es la transesterificación del aceite empleando un ácido como catalizador. La tercera opción es la conversión de los ácidos grasos del aceite de ésteres y posteriormente en biodiesel lo cual posee la ventaja de evitar la formación de jabón en la reacción. Sin embargo esta opción presenta la desventaja de requerir mayor tiempo de proceso, debido a que involucra un proceso de esterificación seguido de un proceso de transesterificación.

2.9. Rendimiento teórico de la reacción

IIDEPROQ (2007), este rendimiento se calcula tomando en cuenta el contenido total del glicerol o glicerina que debe tener el producto final, que según la norma ASTM debe ser de 0,24% como máximo. La glicerina total es igual a la glicerina libre más la glicerina ligada que se encuentra en la forma de monoglicéridos y diglicéridos que son los productos parciales de la reacción de conversión de los triglicéridos a metilésteres.

El contenido de glicerina en la trioleína es de 10.24% y en producto final el valor máximo permitido es de 0.24%.

$$\text{Rendimiento} = (10.24 - 0.24)/10.24$$

$$\text{Rendimiento} = (97.7\%)$$

2.10. Rendimiento experimental del biodiésel

CALERO *et al.* (2007) indica que por cada litro de aceite se obtiene una cantidad de 900 ml de biodiesel y cerca de 100 ml de glicerina pura, siendo el resto metanol sin reaccionar, jabón y algunos ácidos grasos, lo cual corresponde a cerca de 200 mL.

Cuadro 2. Comparación del rendimiento Proyecto A vs Journey to forever

Producto (ml)	Journey to forever	Proyecto "A"	Rendimiento (%)
Biodiesel	900	887	98,5
Glicerina	100	135	135
Impurezas	200	178	89

Fuente: Escuela de bioquímica y farmacia "Universidad Central del Ecuador".2007

2.11. Unidad de separación

IIDEPROQ (2007) indica que la separación de las fases de la glicerina y éster es el primer paso en la recuperación del biodiesel. La separación se basa en la diferencia significativa que existe entre las densidades de ambas fases. Para ello, durante la reacción se aplica una agitación intensa, el glicerol es dispersado en gotas muy finas dentro de la mezcla. Esta

dispersión requiere de varias horas (al menos 8 horas) para permitir que las gotas de glicerina dispersas puedan unirse. Cuando la reacción es incompleta, se presenta cantidades importantes de mono – di y triglicéridos, que son emulsificantes que impiden la separación de las fases formadas. En este caso se deberá reevaluar la reacción entera y evitar así la formación de dichas emulsiones que son perjudiciales en la obtención de un producto de calidad.

2.12. Control de calidad del biodiesel

COELLO Y CASTRO (2007) menciona que la calidad del biodiesel es generalmente controlada en base a ciertos parámetros físicos y químicos establecidos por normas técnicas aprobadas en cada país. Las principales normas técnicas para el biodiesel son la europea (EN 14214) y la estadounidense (ASTM D6751 – 07). Los estándares de calidad deben estar de acuerdo con la realidad nacional. Copiar estándares extranjeros puede constituir una barrera, ya que en muchos casos estos estándares son diseñados con el objetivo de controlar el mercado en lugar de facilitar su implementación. Por ejemplo, la norma ASTM está orientada principalmente a la producción de biodiesel a partir de aceite de soya, producto abundante en los Estados Unidos pero con una limitada producción en el Perú.

CALERO *et al.* (2007), la calidad del producto acabado puede comprobarse visualmente y midiendo su pH. El pH puede medirse con papel tornasol o con un medidor electrónico. Debe ser neutro (pH 7). Debe tener el aspecto del aceite vegetal, pero con un matiz marrón, parecido a la sidra.

Cuadro 3. Normas de calidad para el uso del biodiesel como combustible.

Parámetro	Unidad	Especificaciones	
		14214 - 03	A.S.T.M.D - 02
Contenido de esteres	% masa	Min. 96,5	-----
Densidad a 15 °C	g/cm ³	0,86 – 0,90	-----
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	3,50 – 5,00	1,90 – 6,00
Punto de Inflamación	°C	Min. 120	Min. 130
(P.O.F.F.)	°C Verano	Max. 0	-----
	°C invierno	Max. -20	-----
Azufre total	% masa	Max. 0,001	Max. 0,05
Residuo carbonoso al 100%	%masa	Max. 0,05	Max. 0,05
Numero de cetano	-----	Min. 51	Min. 47
Contenido de cenizas	% masa	Max. 0,03	Max. 0,02
Contenido en agua	mg/Kg.	Max. 500	-----
Agua y sedimentos	% volumen	---	Max.0,05
Corrosión al cobre(6h/50) °C	Corrosión	Max. 1	Max. 3
Estabilidad a la oxidación	horas	Min. 6	-----
Índice de acidez	mg NaOH/g	Max. 0,50	Max. 0,80
Contenido en metanol	% masa	Max. 0,20	-----
Contenido en monoglicéridos	% masa	Max. 0,80	-----
Contenido en diglicéridos	% masa	Max. 0,20	-----
Contenido en triglicéridos	% masa	Max. 0,20	-----
Glicerol libre	% masa	Max. 0,02	Max. 0,02
Glicerol total	% masa	Max. 0,25	Max. 0,24
Índice de yodo	-----	Max. 120	-----
Fosforo	ppm.	Max. 10	Max. 10
Sales metálicas (Na+K)	mg/Kg.	Max. 5	-----

Fuente: Instituto de Investigación y desarrollo de procesos químicos (IIDEPROG).2001

2.13. Antecedentes de otros resultados en la investigación de Biodiesel

El índice de acidez del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) en la localidad de pueblillo (México) fue de 3.86 y es menor comparado con otros aceites de Tailandia, Indonesia y otras partes del mundo. La obtención de biodiesel en una y dos etapas utilizando NaOH como catalizador al 1% en metanol al 20%. La reacción de esterificación con H_2SO_4 se llevó a cabo a 50 °C 1 hora y la reacción de transesterificación se llevó a cabo a 65°C durante 2 horas.

El incremento en la acidez, se observa cuando el aceite lleva mucho tiempo de almacenamiento, sin un manejo adecuado del mismo, se presentan varias reacciones como hidrólisis, polimerización, y oxidación. El incremento de los ácidos grasos libres en el aceite de piñón, se debe a la hidrólisis de triglicéridos en presencia de humedad y oxidaciones.

Obtención de biodiesel en una etapa. La mayor conversión a biodiesel se logró con 1% de catalizador NaOH y 28% de metanol, en donde los rendimientos de biodiesel fueron de 65 - 68%. Cuando hay una mayor concentración de ácidos grasos libres en el aceite, el catalizador NaOH se desactiva, y es necesaria la adición de un exceso de NaOH provocando con ello la formación de una emulsión e incremento de la viscosidad (BERCHMANS HIRATA, 2008).

El índice de acidez, nos permite determinar la presencia de ácidos grasos libres en la muestra. Es importante mencionar que en el caso de la

catálisis enzimática la presencia de ácidos grasos libres no afecta el rendimiento de la reacción, ya que las enzimas son capaces de llevar a cabo la reacción de esterificación directa a partir de ácidos grasos libres (CANAKCI, 2005; LEE *et al.*, 2002).

Esto es una ventaja frente al proceso clásico en el cual se emplean catalizadores básicos donde la presencia de ácidos libres en las grasas o aceites, así como un alto nivel de oxidación, afectan de manera significativa los rendimientos de la reacción (BADUI, 1993).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se realizó en el laboratorio de fitoquímica de la facultad de Recursos Naturales Renovables "Universidad Nacional Agraria de la Selva", ubicada a 1,5 km. de la carretera Tingo María – Huánuco. Políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, a una altitud de 660 m.s.n.m. presenta una temperatura media de 24 °C y una humedad relativa media de 80%.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación, frascos con tapa rosca, matraz erlenmeyer, fioles, probetas, embudos de vidrio, pera de decantación, bureta, pipetas, termómetro de 0 – 100 °C, perilla de succión.

3.2.2. Equipos

- Agitador magnético "Cimarec"
- Cocina eléctrica "Megafest"
- Estufa "Memmert"
- Balanza analítica "Sartorius"

- Peachímetro "Lida"
- Picnómetro "lasany"
- Viscosímetro de Ostwald

3.2.3. Reactivos

- Solución etanólica de NaOH 0.1 N
- Solución alcohólica de fenolftaleína al 1%
- Mezcla etanol – éter etílico 1:1, neutralizada con el álcali en presencia de fenolftaleína.
- Metanol al 99%
- Hidróxido de sodio (99%)

3.3. Recurso vegetal

Se utilizó el aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) proveniente de la estación el Porvenir (Instituto Nacional de Innovación Agraria - Tarapoto). Aceite obtenido de las semillas del fruto mediante el proceso del prensado.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Determinación del índice de acidez del aceite de "piñón blanco"

Se ha seguido la metodología propuesta por RUTPRAC (2006), que consistió en el siguiente proceso:

- ✓ Se preparó una solución etanólica (96°) de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N; para la respectiva valoración.
- ✓ Luego en un matraz se añadió 5 g de aceite de piñón blanco.
- ✓ Seguidamente se disolvió en el matraz 50 mL de la solución alcohol – éter, previamente neutralizada con una solución etanólica de fenolftaleína preparada al 1%.
- ✓ Se añadió 5 mL de solución fenolftaleína, y se realizó la valoración con la solución alcali utilizado (NaOH) al 0.1 N. La fórmula utilizada para determinar el índice de acidez, se detalla:

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \times N \times 40}{P}$$

Dónde:

V = Volumen en mililitros de solución de alcali utilizado.

N = Normalidad de la solución de NaOH.

P = Peso en gramos de muestra utilizada.

40 = Peso molecular del NaOH.

Se realizó 3 repeticiones, para mayor exactitud y menor error.

3.4.2. Transesterificación de los ácidos grasos del aceite de piñón blanco

3.4.2.1. Preparación del metóxido de sodio

Para la preparación del metóxido de sodio se ha seguido la metodología propuesta por CALERO (2007) que consiste:

- ✓ Se colocó el hidróxido de sodio en una fiola de 100 mL totalmente seca sin contacto con la humedad ambiental.
- ✓ Posteriormente se agregó un volumen determinado de metanol de acuerdo al tratamiento para cada uno de los tratamientos.
- ✓ Se activó el agitador magnético hasta que se disuelva totalmente el hidróxido de sodio, formando el metóxido; se cubrió totalmente la fiola para evitar su hidratación con la humedad ambiental y la evaporación del metanol.

3.4.2.2. Obtención del biodiésel del aceite

Para obtener el biodiesel se siguió el procedimiento indicado según CALERO *et al.*, (2007):

- ✓ En un frasco con tapa rosca se calentó 100 ml de aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) sobre el agitador magnético hasta encontrarse en un rango de 50 a 55 °C.
- ✓ Se agregó el metóxido de sodio según el volumen del tratamiento.
- ✓ Luego se procedió a agitar durante 2 horas, procurando que el medio de reacción se encuentre a una temperatura constante, según el tratamiento (figura 09). controlando la temperatura del agitador magnético, utilizando un termómetro de 0 – 100 °C.
- ✓ Pasando las dos horas se dejó enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se colocó la mezcla en un embudo de separación por un lapso mínimo de 8 horas para su separación respectiva de la glicerina.

3.4.2.3. Separación del biodiesel y la glicerina

Se utilizó el procedimiento propuesto por Calero *et al.*, (2007):

- ✓ Se separan en dos capas: El biodiésel obtenido que se encontraba en la parte superior del embudo de separación, y tiene un color similar al aceite vegetal crudo con tonalidad más clara y cristalina, mientras que la glicerina se encontraba en la parte inferior y de un color marrón. Además se deja en reposo por un día para que la separación entre las dos fases se dé correctamente.

- ✓ Se procedió a retirar la glicerina del embudo de separación, para dejar el biodiesel impuro para su posterior lavado.

3.4.2.4. Lavado del biodiesel

Se procedió la metodología propuesta por CALERO *et al.*, (2007).

- ✓ Del embudo de separación se retiró el volumen de glicerina quedando el volumen de biodiésel impuro variando para cada tratamiento, agregando agua destilada en un 40% al volumen de biodiesel obtenido (biodiesel impuro), agitando durante 30 minutos.
- ✓ A esta mezcla se le colocó dentro del embudo de separación, y se dejó reposar durante un día (primer lavado).
- ✓ se realizó tres (3) lavados con agua destilada; Para cada uno de los 3 lavados se añadió el 40% de agua destilada respecto al volumen obtenido de biodiesel. En el caso del primer lavado, se dejó reposar por un día finalizado el lavado respectivo y para el segundo y tercer lavado el tiempo de reposo fue de 1 hora.
- ✓ Transcurrido el día se observó en la parte inferior del embudo de separación una fase acuosa que contiene una gran cantidad de impurezas (ácidos grasos sin reaccionar, pequeñas partículas de glicerina suspendidas, emulsiones), mostrando un color blanco lechoso.

- ✓ Repitiendo el mismo procedimiento del lavado hasta obtener en la parte inferior el agua incolora, indicando que el biodiésel se encuentra sin impureza. Se realizó tres lavados por cada tratamiento, el primer lavado duró un día de reposo, mientras que el segundo y el tercer lavado se realizó en un tiempo de reposo de 1 hora.

3.4.2.5. Secado del biodiésel

Se realizó la metodología propuesta por CALERO *et al*, (2007) cuyo proceso es el siguiente:

Es la parte final del proceso de obtención del biodiesel, las pocas cantidades de agua que aun tiene el biodiesel se procedió a eliminarlas, mediante un baño maría a 48 °C y mantenerlo constante durante un lapso de 2 horas, hasta la evaporación y el secado total del agua.

3.4.2.6. Pruebas de calidad del biodiesel

Se realizaron tres pruebas de calidad (pH, densidad a 15 °C y viscosidad a 40 °C) siendo las más importantes para su utilidad en los motores diesel.

- **Determinación de pH:** se determinó el pH por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, para ello se utilizó un peachímetro digital.
- **Densidad a 15 °C:** Se determinó la densidad del biodiesel por cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, utilizando un picnómetro marca "Lasany" de 50 mL, y calculando la densidad con la fórmula siguiente:

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

Donde:

D = Densidad en g/mL.

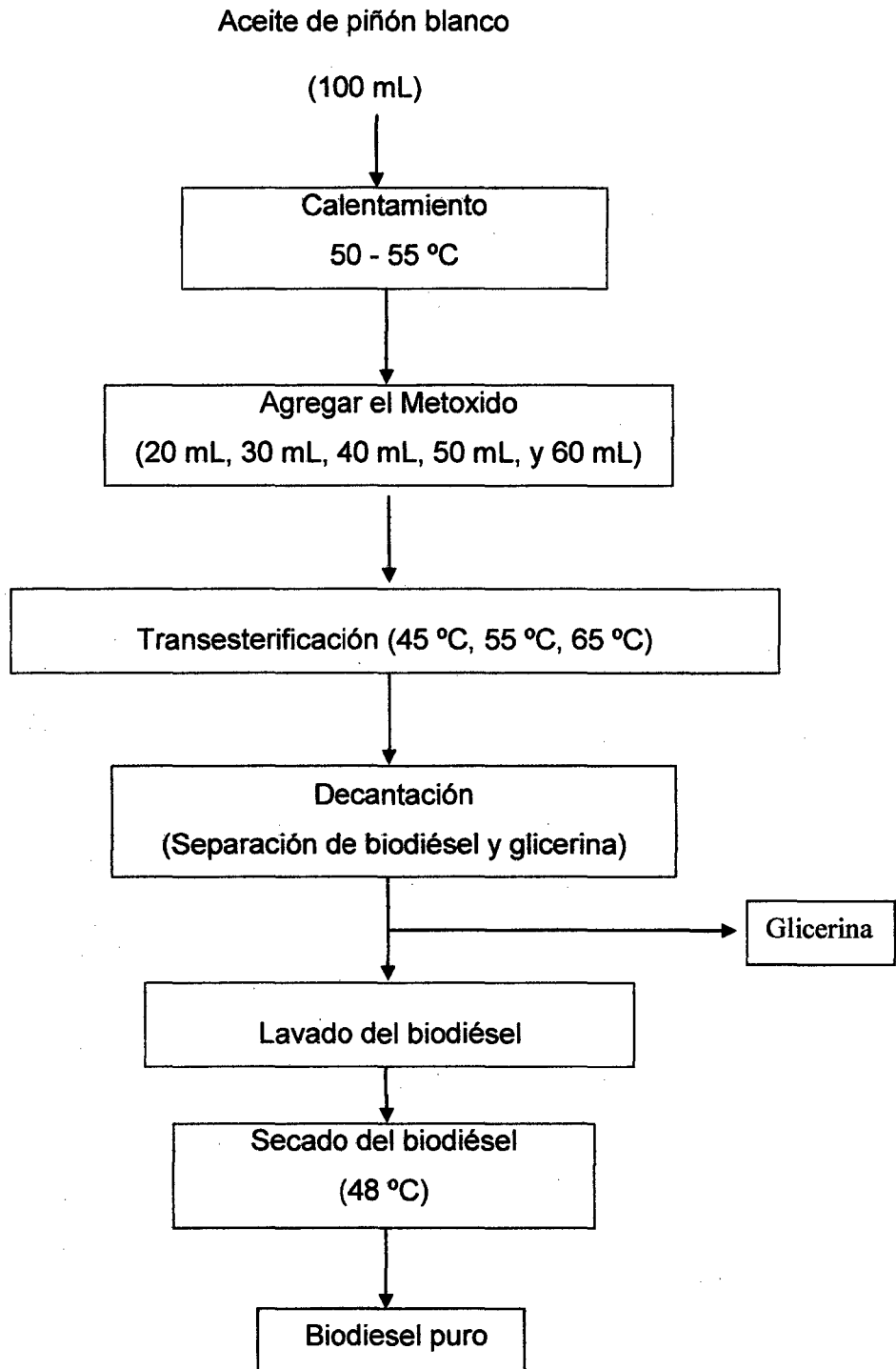
m = masa en g.

v = volumen en mL.

- **Viscosidad a 40 °C:** Se determinó la viscosidad a 40 °C, utilizando el método de Ostwald, siguiendo lo indicado por VALDERRAMA (2007).

3.4.3. Diagrama del flujo del proceso

El flujo del proceso que se realizó en la presente investigación fue el siguiente:



3.4.4. Diseño experimental

Se aplicó el diseño factorial 3A x 5B completamente al azar, utilizando el programa estadístico SPSS 15 para el procesamiento de los datos, siendo un total de 15 tratamientos evaluados. Modelo aditivo lineal del diseño factorial:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ij}$$

Con la ayuda del programa estadístico SPSS 15, se realizó un análisis de varianza con un diseño factorial completamente al azar (DCA) para determinar si existe diferencia estadística entre los tratamientos, corroborando los resultados del análisis de varianza con la prueba de TUKEY para determinar cuál de ellos es el de mayor significancia, lo cual determino el tratamiento donde se obtuvo al mayor rendimiento del biodiésel.

3.4.5. Tratamientos

- **Factor temperatura**

(T1 = 45 °C, T2 = 55 °C, T3 = 65 °C).

- **Factor cantidad de metanol**

a = 20 mL, b = 30 mL, c = 40 mL,

d = 50 mL, e = 60 mL

IV. RESULTADOS

4.1. Índice de acidez de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.)

Cuadro 4. Determinación del índice de acidez del aceite de piñón blanco

N° de repeticiones	Índice de acidez g de NaOH/L de aceite
1	7.61
2	7.59
3	7.50
Promedio	7.57

En el cuadro N° 4 las tres repeticiones realizadas para la determinación del índice de acidez del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas* L.), obteniéndose los siguientes resultados: 7.61; 7.59; 7.50 g de NaOH por litro de aceite, con un promedio de 7.57 g de NaOH/L de aceite que viene a ser el índice de acidez promedio del aceite de piñón blanco crudo.

Índice de acidez g de NaOH/L de aceite

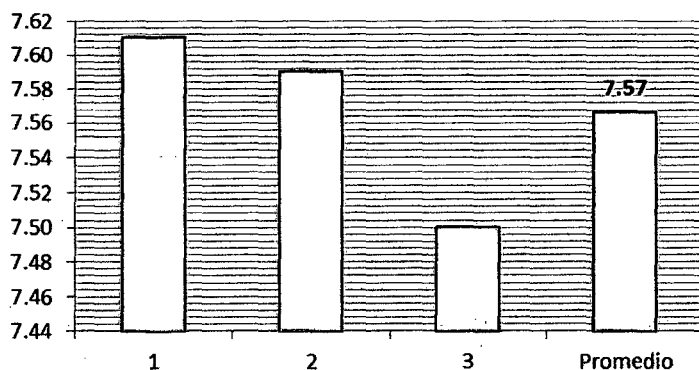


Figura 2. Cantidad de gramos de NaOH por litro de aceite.

4.2. Temperatura optima para obtener mayor rendimiento de biodiesel

Cuadro 5. Prueba de TUKEY para el factor temperatura. a ($\alpha=0.05$)

Temperatura (°C)	Promedio biodiesel (ml)	Rendimiento (%)	Significancia
65	82.47	82.47	a
55	81.80	81.80	a
45	81.13	81.13	a

a: Representan las igualdades significativas. En el análisis de varianza, nos muestra que el factor temperatura resulto no significativo.

En el Cuadro N° 5 el efecto del factor temperatura en los rendimientos del biodiesel, mostrando que no existe diferencia significativa en las temperaturas (45 °C, 55 °C, 65 °C), presentando promedios de (81.47 mL; 81.80 mL; 82.47 mL) de biodiesel, obteniendo el promedio más alto a una temperatura de 65 °C con un rendimiento de 82.47% a comparación de las demás temperaturas.

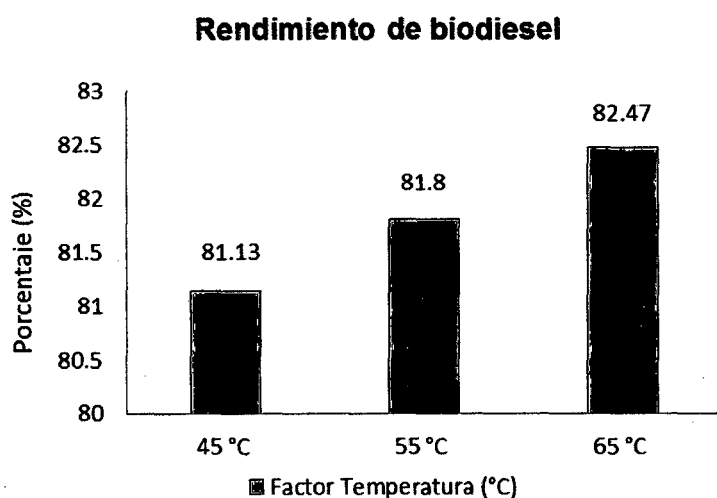


Figura 3. Influencia del factor temperatura en el rendimiento del biodiesel.

4.3. Cantidad de metanol óptimo para obtener mayor rendimiento de biodiesel.

Cuadro 6. Prueba de TUKEY para el factor metanol a ($\alpha=0.05$).

Metanol (mL)	Promedio Biodiesel (mL)	Rendimiento (%)	Significancia
60	87.44	87.44	a
50	84.78	84.78	b
40	82.78	82.78	b
20	77.11	77.11	c
30	76.89	76.89	c

a,b,c: Representa las diferencias significativas. En el análisis de varianza, nos muestra que el factor metanol resulto también significativo por lo tanto se realizó una comparación de medias (Prueba de TUKEY), para saber cuál de las cantidades resulto con mayor significancia.

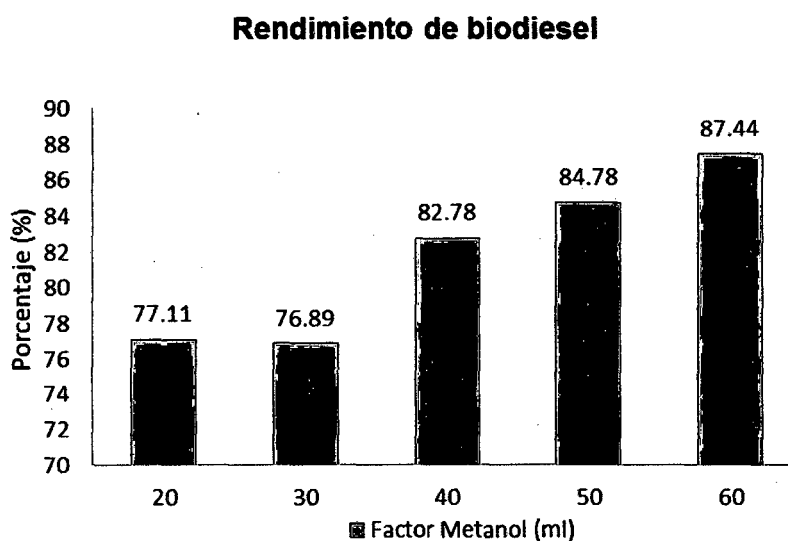


Figura 4. Influencia del factor metanol en el rendimiento de biodiesel.

4.4. Interacción de temperatura y cantidad de metanol adecuado para tener un mayor rendimiento de biodiesel a partir del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*)

Cuadro 7. Prueba de TUKEY para la combinación de temperatura y metanol a ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Vol. De aceite (mL)	Factores		Biodiesel puro (mL)	Rendimiento (%)	Significancia
		Temperatura (°C)	Metanol(mL)			
T10	100	55 °C	60	88.7	88.7	a
T5	100	45 °C	60	88.3	88.3	a
T14	100	65 °C	50	86.0	86.0	ab
T15	100	65 °C	60	85.3	85.3	abc
T9	100	55 °C	50	84.3	84.3	abc
T4	100	45 °C	50	84.0	84.0	abcd
T8	100	55 °C	40	84.0	84.0	abcd
T13	100	65 °C	40	83.0	83.0	abcde
T3	100	45 °C	40	81.3	81.3	bcdef
T12	100	65 °C	30	79.7	79.7	cdefg
T11	100	65 °C	20	78.3	78.3	defg
T1	100	45 °C	20	77.3	77.3	efg
T7	100	55 °C	30	76.3	76.3	fg
T6	100	55 °C	20	75.7	75.7	fg
T2	100	45 °C	30	74.7	74.7	g

a,b,c,d,e,f,g: Representan diferencias significativas. En el análisis de varianza, nos muestra que la interacción o la combinación de los factores de temperatura y cantidad de metanol también resulto significativo por lo tanto se realizó una comparación de medias (Prueba TUKEY), para saber cuál de las combinaciones resulto con mayor significancia.

En el Cuadro N° 7 el rendimiento de biodiesel varia en volumen de esteres metílicos, resultante de la reacción de transesterificación, en cada uno de los 15 tratamientos que viene hacer la combinación de los factores de (temperatura y cantidad de metanol), observando que existe diferencia significativa.

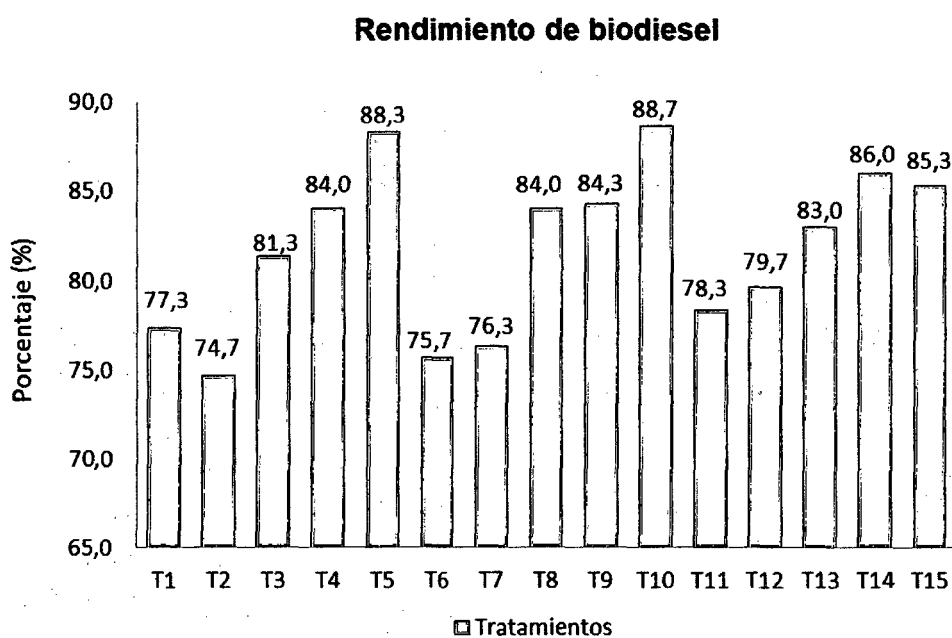


Figura 5. Combinación de temperatura y cantidad de metanol en el rendimiento de biodiesel.

4.5. Pruebas de calidad del biodiesel

Cuadro 8. Pruebas de calidad de pH, Densidad, y Viscosidad.

N° de tratamiento	Biodiesel puro (mL)	Rendimiento (%)	pH	Densidad a 15 °C (g/mL)	Viscosidad a 40 °C mm ² /s
T10	88.7	88.7	7.30	0.867	2.95
T5	88.3	88.3	6.76	0.871	2.83
T14	86.0	86.0	7.12	0.868	2.77
T15	85.3	85.3	6.81	0.868	2.72
T9	84.3	84.3	7.16	0.867	2.94
T4	84.0	84.0	6.89	0.866	2.92
T8	84.0	84.0	7.35	0.864	2.94
T13	83.0	83.0	7.41	0.869	2.91
T3	81.3	81.3	7.12	0.869	2.96
T12	79.7	79.7	7.23	0.870	2.89
T11	78.3	78.3	7.09	0.875	2.84
T1	77.3	77.3	6.85	0.859	2.96
T7	76.3	76.3	7.08	0.867	2.95
T6	75.7	75.7	7.04	0.869	2.85
T2	74.7	74.7	7.19	0.856	2.85

V. DISCUSION

1. En el Cuadro 4 y Figura 2 apreciamos que para neutralizar un litro de aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) se necesita 7.57 g de NaOH, y se menciona que el índice de acidez es importante para el proceso de producción de biodiesel (transesterificación), ya que los ácidos grasos libres reaccionan con el catalizador de la transesterificación (NaOH o KOH), formando jabones (saponificación), lo cual lleva a un menor rendimiento en la producción de biodiesel. Asimismo ZAPATA *et al.* (2007) menciona que cuando hay un exceso de catalizador (NaOH), se forma una pasta inservible; además indica, que si no hay suficiente catalizador, la reacción no se completa, quedando mezclado el aceite con biodiesel y glicerina. Comparando con otros trabajos realizados, tenemos que CALERO *et al.* (2007), determino el índice de acidez para el aceite usado de palma obteniendo un valor 6.25 g de NaOH por litro de aceite y 3.5 g de NaOH por litro de aceite nuevo. Sin embargo CALLE *et al.*, (2007) obtuvo el índice de acidez del aceite de palma crudo con un valor de 5.9 g de NaOH por litro de aceite. Por lo tanto, se puede señalar que el índice de acidez del aceite varia comparando con los datos de otros trabajos, demostrando así que el índice de acidez depende mucho de los ácidos grasos libres que se encuentran en el aceite.

2. En el Cuadro 5 y Figura 3, vemos que al aumentar la temperatura, se logra mayores rendimientos de biodiesel observando que la mejor temperatura resulto a 65 °C con un rendimiento de 82.47%, seguido por la temperatura de 55 °C con un rendimiento de 81.8%, siendo el nivel de temperatura de menor significancia a 45 °C, con un rendimiento bajo de 81.13%, resultando la temperatura óptima para obtener un mayor rendimiento de biodiesel a 65 °C. Al respecto CASTRO *et al.*, (2007) menciona que para lograr un buen rendimiento de biodiesel a partir de aceites vegetales y utilizando como catalizador una base (NaOH o KOH), se necesita un rango de temperatura entre 50 °C a 80 °C, logrando así mejores resultados a una temperatura de 60 °C. ZADRA (2006) realizó estudios en producción de biodiesel a partir de aceite de girasol utilizando NaOH como catalizador, obteniendo un rendimiento de 86.71% a una temperatura de 65 °C. Así mismo, IIDEPROQ (2007) obtuvo resultados confiables y mayores rendimientos de biodiesel a partir de residuos de grasas de ganado vacuno y cerdos a un rango de temperatura de 60 a 75 °C, obteniendo un rendimiento de 100% de biodiesel. El factor de temperatura es fundamental en el rendimiento de biodiesel, tal como lo menciona CASTRO *et al.*, (2007), una condición muy importante para que se lleve la reacción transesterificación de los ácidos grasos es un adecuado nivel de temperatura.

La temperatura influye en la velocidad de la reacción y distribución de la energía calorífica produciéndose una transferencia de energía para que el proceso de transesterificación la temperatura active la reacción, sin energía no hay reacción.

3. En el Cuadro 6 en la prueba de TUKEY, se observa las diferencias significativas entre las cantidades de metanol, resultando el mayor promedio de biodiesel a una cantidad de metanol de 60 mL con un rendimiento de 87.44%, obteniendo el valor más alto frente a las demás cantidades de metanol, por lo tanto es el promedio con mayor significancia, seguidamente la cantidad de 50 mL de metanol obtuvo un rendimiento de 84.78%, siendo este el segundo valor más alto y distante del resultado obtenido a 60 mL. Estadísticamente el rendimiento obtenido a 60 mL y a 20 mL son significativos entre sí, pero si hay diferencia significativa comparando con las demás cantidades de metanol.

En la Figura 4 el mayor rendimiento obtenido de biodiesel a una cantidad de 60 mL se ha obtenido con el valor con un valor de 87.44%, seguido por la cantidad de 50 mL con un rendimiento de 87.78%, luego de 40 mL con un rendimiento de 82.78%, siendo el primero con mayor rendimiento significativo como se muestra en la prueba de TUKEY y comparando con las cantidades de 20 mL y 30 mL que obtuvieron promedios bajos y resultaron ser significativos entre ellos. Con estos resultados se deduce estadísticamente que es suficiente una cantidad de 50 mL de metanol para obtener rendimientos similares a la cantidad de 60 mL de metanol.

Así mismo, IIDEPROQ (2007), indica que para convertir 100 mL de aceite o grasa en biodiesel, solo es necesario como máximo 25 mL de metanol, obteniendo un rendimiento del 100%.

Según CALERO *et al.*, (2007) y CASTRO *et al.*, refieren que la cantidad de metanol debe estar en un 20%; sin embargo, en este trabajo se obtuvo mejor rendimiento a un 60%, para definir la cantidad exacta habría que realizar una evaluación económica.

OSORIO (2007) obtuvo un mejor rendimiento con 60 mL de metanol que con 20 mL de metanol. En el Perú se tiene información sobre el rendimiento de la eficiencia de los diferentes cultivos en la producción de biodiesel y para este caso la producción de biodiesel es de 68.9% de una producción de 1700 kg/ha de aceite.

4. En el Cuadro 7 se identifica las 2 combinaciones que pueden producir mayor rendimiento de biodiesel, las cuales son el tratamiento 10 (temperatura de 55 °C y 60 mL de metanol), obteniendo el rendimiento más alto de 88.7% , seguido por el tratamiento 5 (temperatura de 45 °C y 60 mL de metanol), siendo el segundo valor más alto, con un rendimiento de 88.3% y el tratamiento que obtuvo el menor rendimiento de todos los tratamientos evaluados es el tratamiento 2 (temperatura de 45 °C y 30 mL de metanol), con un rendimiento bajo de 74.7%. La prueba de TUKEY muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (T5, y T10), resultando rendimientos estadísticamente iguales, estos dos tratamientos fueron los que obtuvieron mayor rendimiento de biodiesel, comparando con los demás el T5 y el T10 utilizaron una cantidad de 60 mL de metanol en su combinación. Este exceso de metanol, desde el punto de vista económico no es recomendable, esto

quiere decir que a una mayor materia prima mayor rendimiento de biodiesel según los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos comparando con otros trabajos bibliográficos tal como CALERO *et al.*, (2007), quien uso aceite de palma refinado para la producción de biodiesel, realizando una combinación de temperatura con metanol de (54 °C y 20 mL) ha obtenido un rendimiento mayor de 88.7%; Así mismo, IIDEPROQ (2007), al realizar combinaciones de temperatura con metanol (75 °C y 25 mL), ha obtenido un rendimiento mayor de 99%. Así mismo RIVEROS y MOLANO (2006) utilizaron combinaciones exploratorias de temperatura con metanol de (135 °C y 30 mL), obteniendo un rendimiento bajo de 75%. El tratamiento que se recomienda utilizar es el T10 (55 °C y 60 mL de metanol) porque fue el que obtuvo mayor rendimiento de biodiesel (Figura 5).

5. En el Cuadro 8 los tratamientos que resultaron con mayores rendimientos de biodiesel, de acuerdo a las pruebas de calidad que se realizó a todos los tratamientos siendo pruebas necesarias para el uso del biodiesel en motores diesel, se observa que el T5 tiene una densidad de 0.871 g/mL, viscosidad de 2.83 mm²/s y un pH de 6.7; el T10 obtuvo una densidad de 0.867 g/mL, viscosidad de 2.95 mm²/s y un pH de 7.3. Según las normas de calidad para el uso del biodiesel como combustible, los tratamientos T5, y T10 cumplen con el rango de densidad a 15 °C, aceptable según la norma Europea, pero no cumple con respecto al rango de viscosidad a 40 °C, pero si para la norma de Estados Unidos, encontrándose dentro del rango aceptable. Al respecto menciona CALERO *et al.* (2007), que la calidad del producto acabado puede

comprobarse visualmente y midiendo su pH, para ello debe ser neutro (pH=7). Además COELLO y CASTRO (2007), indican que las principales normas técnicas para el biodiesel son la europea (en 14214) y la Estadounidense (ASTM). Del mismo modo, según estas dos normas podemos mencionar que los tratamientos de mayor rendimiento y mejor calidad son el T5 y el T10, debido a que estos cumplen con las normas de calidad establecidas. Así mismo, es importante recalcar lo que menciona COELLO y CASTRO (2007), que los estándares de calidad deben estar de acuerdo con la realidad nacional, copiar estándares extranjeros puede constituir una barrera, ya que en muchos casos estos estándares están diseñados para controlar el mercado.

VI. CONCLUSIONES

1. El valor promedio obtenido del índice de acidez fue de 7.57 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) por litro de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*).
2. Las cantidades de metanol óptimas para un mayor rendimiento de biodiesel es de 50 mL y 60 mL con rendimientos de 84.78% y 87.44%.
3. La temperatura óptima para obtener un mayor rendimiento de biodiesel a partir del aceite de piñón blanco (*Jatropha curcas L.*) es de 65 °C con un rendimiento de 82.47%.
4. El tratamiento 10 (55 °C y 60 mL de metanol) es el más adecuado para obtener un mejor rendimiento de biodiesel de 88.7%.
5. Los tratamientos de mayor rendimiento que cumplieron con las pruebas de calidad según los parámetros evaluados fueron los tratamientos 5 (45 °C y 60 mL de metanol) y 10 (55 °C y 60 mL de metanol) con densidades de 0.871 g/mL y 0.867 g/mL y viscosidades de 2.83 mm²/s y 2.95 mm²/s y un pH neutro respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- 1. Se recomienda que luego de efectuada la reacción de transesterificación durante las dos horas, se debe dejar reposar durante 24 horas o a más tiempo para que se decante totalmente la glicerina y obtener un biodiesel con menos impurezas.**
- 2. El lavado debe ser realizadas con agua destilada, ya que en el agua corriente contiene cantidades mínimas de sales de sodio y potasio, que pueden producir jabones debido que en el biodiesel impuro todavía pueda existir pequeñas cantidades de ácidos grasos sin reaccionar.**
- 3. Realizar estas investigaciones con diversas especies oleaginosas con la posibilidad de obtener biodiésel a partir de ellas, de esta manera fomentar el desarrollo sostenible de nuestra amazonia.**
- 4. La glicerina obtenida como subproducto del proceso de biodiésel se debe aprovecharlo o tomarlo como un producto que puede ser utilizado en la industria farmacéutica, industrias de los cosméticos, papelería, etc.**
- 5. Después de cada procedimiento en la elaboración del biodiesel tratar de realizarlo con mucho cuidado al continuar con el siguiente paso, ya que de esta manera la pérdida de biocombustible obtenido sea mucho menor y los datos sean más exactos y el rendimiento sea mejor.**

ABSTRACT

The oil is a natural not renewable resource, for what it comes to be one of the principal points for the search of alternative fuels, one of these alternative fuels is the biodiesel, which so called trans esterification obtains by means of a chemical process. Since one of the aims was to determine what treatment of the combination (temperature and quantity of methanol) obtained major performance. To obtain the respective treatments we combined two (2) factors: temperature (45 °C, 55 °C, 65 °C) and quantity of methanol (20, 30, 40, 50 and 60 mL) which gives us 15 treatments each one with three repetitions what gives a total of 45 treatments. It began with the calculation of the index of acidity then to proceed to prepare the metóxid of sodium which by means of a process of trans esterification of every treatment with 100mL of oil of white pine kernel (*Jatropha curcas* L.) gave proved to the biodiesel full of impurities, such as small oily acids without reacting or small particles of glycerin, to eliminate these residues three (3) washes were realized by distilled water to each of the obtained treatments, was added 40% of distilled water with regard to the volume obtained of biodiesel, and finally the dried in double boiler.

Finally the quality tests were realized then to compare the values obtained of according to the technical procedure. As result obtained, treatment 10 (55% and 60 mL of methanol) is most adapted to obtain performance of biodiesel with 88.7 mL.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BADUI DERGAL S. 1993. Química de los alimentos. Tercera edición. Pearson Educación. 213-232. Naucalpan Edo. México. México.
- BERCHMANS, J.H., HIRATA, S. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Tecnology*, 99:1716-1721.
- CALERO, W. 2007. Síntesis y refinación de biodiesel y glicerina obtenidos a partir de grasa vegetal. [En línea]: universidad central de ecuador facultade de ciencias químicas. (<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sintesis-refinacion-biodiesel/sintesis-refinacion-biodiesel.pdf>, informe, 06 nov. 2008).
- CALLE, J., COELLO, J. CASTRO, P., NAZARIO, M., ACOSTA, F. 2004. Opciones para la producción de biodiesel a pequeña escala en el Peru. ITDG – UNALM. [En línea]: CONYTEC. (<http://www.slideshare.net/peyg/biodiesel.pdf> informe, 30 nov 2008).
- CANAKCI M. 2005. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresour Technol.* 11, 1-8 p.

CASTRO P., COELLO J., CASTILLO L. 2007. Opciones para la producción de biodiésel en el Perú. Lima: Soluciones Prácticas – ITDG 173 pp.

COELLO, J., y CASTRO, p. 2007. Oportunidades para la producción y uso de biodiesel en el Perú s.n.t [En línea]: (<http://www.itdg.org.pe/publicaciones/pdf/articulo%20biodiesel.pdf>/informe, 09 nov. 2008).

CORTESAO, M. 1956. Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica. 231 pp.

DE ARRUDA, F.P.; DE MACEDO BELTRAO, N.; PEREIRA DE ANDRADE, A.; PEREIRA, W. E SOARES SEVERINO, L. 2004. Cultivo de Pinhao manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semiárido nordestino. Rev. Bras. ol. fibras. Campina Grande. V 8 Nº 1, 789-799 p.

DOE. 2006. Biodiesel handling and use guidelines. Oak Ridge: U.S. Department of Energy – Office of Scientific and Technical Information. 61 pp.

FOIDL N., EDER P. 1997. Agro industrial exploitation of *Jatropha curcas*. Biofuels and industrial products for *Jatropha curcas*. Ed.: G.M. Gübitz, M. Mittelbach y M. Trabi. Graz: Technische Universität Graz, Austria.

FONT, F. 2003. Las especies del género *Jatropha* (Euphorbiaceae, Crotonoideae) en Argentina. Revista del Círculo de Coleccionistas de Cactus y Crasas de la República Argentina. 2 (1):4-20.

FRIEDRICH S. 2004. A world wide review of the commercial production of biodiesel – A technological, economic and ecological investigation based on case studies. Schriftenreihe Umweltschutz und Ressourcenökonomie. Band 41. Viena: Institut für Technologie and nachhaltiges Produktmanagement der Wirtschafts universität. 150 pp.

HELLER, J. 1996. Physic nut, *Jatropha curcas* L. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.

HENNING R. 1998. Use of *Jatropha curcas*: a household perspective and its contribution to rural employment creation. Ponencia en Regional Workshop on the Potential of *Jatropha Curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe.

IIDEPROQ. 2007. Obtención de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* L. por transesterificación etanolica. Instituto de Investigación y desarrollo de procesos Químicos. Producción de biodiesel. Universidad mayor de San Andrés. [En línea]: (<http://www.pncc.gov.bo/esp/pqpncc/PRIMERA%20CONVOCATORIA/U>

MSA-IIDEPROQ/doc%20biodiesel_IIDEPROQ_PNCC.pdf, proyecto, 20 agosto. 2008).

JORDENS, RD. Piñón blanco, 2007. *Jatropha curcas L.* y su potencial como planta energética para Perú. Presentación en el I Congreso sobre Biocombustibles y Energías Renovables. Lima, PE. UNALM.

KHAN, F; MEJIA, K. S.F. 2005. Las comunidades de palmeras en los ecosistemas forestales inundables de la Amazonía Peruana. Ley No. 3207. Producción de biodiésel. Septiembre 2005.

LAWSON H. 1994. Aceites y grasas alimentarios - Tecnología, utilización y nutrición. Zaragoza: Editorial Acribia. 333 pp.

LIMACHI, L. 2005. Socioeconómica. Zonificación Ecológica Económica del Departamento de San Martín. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Gobierno Regional San Martín. Moyobamba – Perú.

MAKKAR, H.P.; BECKER, K and SCHMOOK, B. 1998. Edible provenance of *Jatropha curcas* from Quintana Roo State of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. 4 pp.

MARTINEZ HERRERA, J; SIDDHURAJU, P; FRANCIS, G; DAVILA ORTIZ; G and BECKER, K. 2006. Chemical composition, toxic / antimetabolic constituents, and effects of different treatment on their levels, in four

provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry* 96: 80 - 89 p.

MATTHEWS W.G., O'CONNOR D. 2006. Analizar la Aplicabilidad de los Biocombustibles en el Perú. Lima: Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Hidrocarburos. Peru hydrocarbon assistance projet. 74 pp.

MELELZOCH, KAREL *et. al.*, 2010, "Experiences in the production and use of butanol as biofuel", *V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Santiago (Chile). Biodiésel 2020. A Global Market Survey. 2nd Edition. [En línea]: <http://www.emerging-markets.com/biodiésel/>

OSORIO, U. 2007. Producción de biocombustibles: Aspectos sociales, capacitación, entrenamiento y cooperación. Presentación en el Seminario Internacional. Desarrollo de cultivos alternativos para la producción de biocombustibles. Lima, PE, Petroperú.

PEIXOTO, A.R. 1973. Plantas oleaginosas arbóreas. Sao Paulo: Nobel. 284 pp.

RIVEROS, L., MOLANO. 2006. Transesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido "Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes" 1 ed. Bogota D.C., Colombia 44 p.

SILVA F. 1996. Múltiplos Usos de Espécies Vegetais pela Farmacologia Guarani a través de Informações Históricas. I Simpósio de Etnobiologia e Etnoecologia. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia.

SOTOLONGO J. A.; BEATON P.A.; DIAZ A.; MONTES DE OCA LOPEZ, S; DEL VALLE, Y. y GARCIA, S. 2007. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química. Vol 27. Nº 2. 23 p.

SHAY E.G. 1993. Diesel fuel from vegetable oil: status and opportunities». *Biomass Bioenergy* 4(4): 227–42.

TORRES, C. 2007. *Jatropha curcas* L.: desarrollo fisiológico y técnico. En: Boletín CUBAENERGÍA. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía. La Habana, Cuba. 7 p. Disponible en: <http://www.cubaenergia.cu/>. mayo 2008.

VILLACHICA, H. 1996. Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonía. SPT-TCA. Lima, Perú. no. 44:2-11. El Sitio Agrícola. Disponible en www.elsitioagricola.com/articulos/cultivosEnergeticos/JatrophaCurcas_Fi chaTecnica.pdf. setiembre 1996.

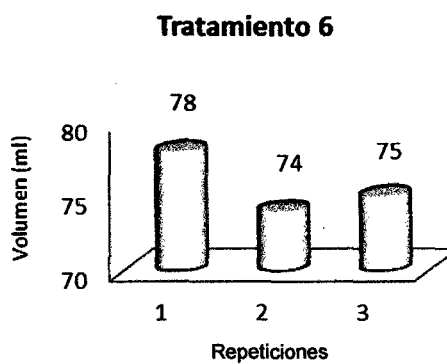
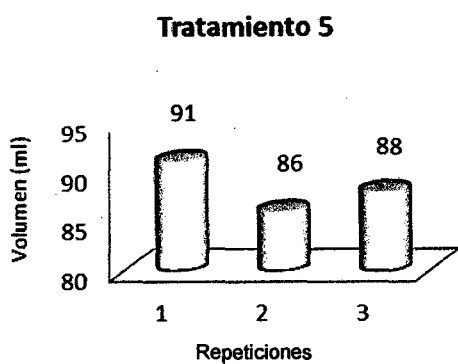
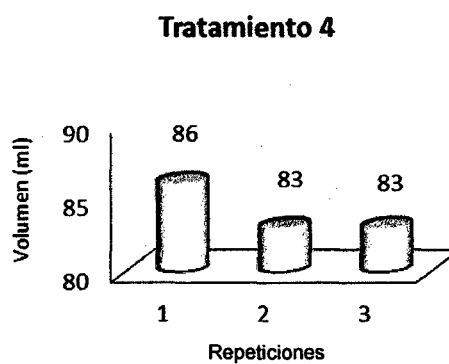
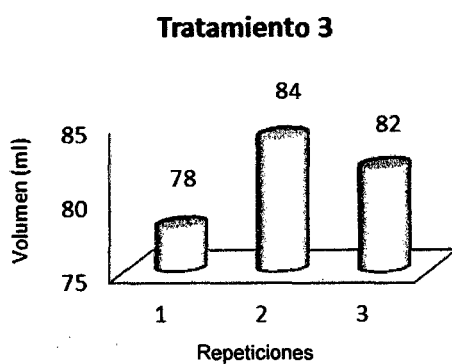
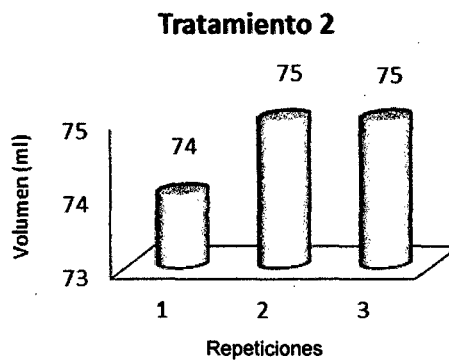
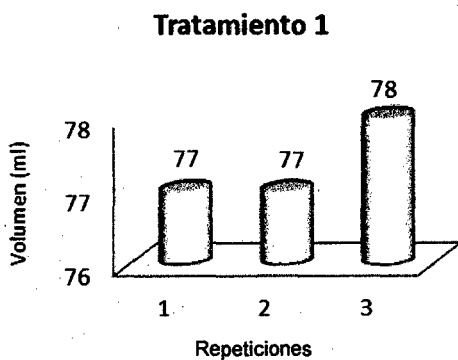
VINAYAK P., SINGH K. 1998. "Cultivation and marketing of *Jatropha curcas* through agro-forestry co-operatives in Maharashtra". Ed: Gayathri V. y H.S. Mukunda. Biomass Users Network (Vol. 2.3). Bangalore: Indian Institute of Science.

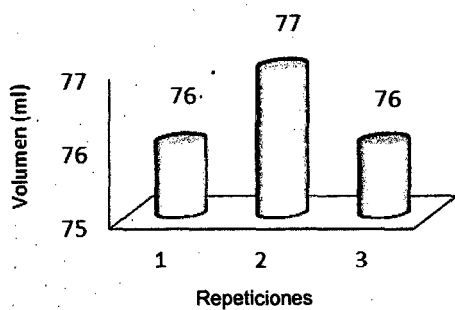
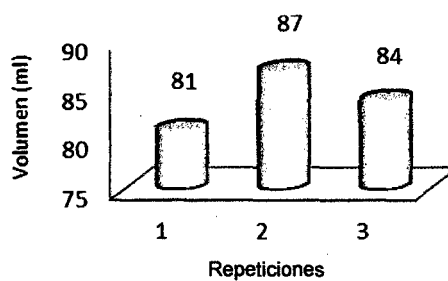
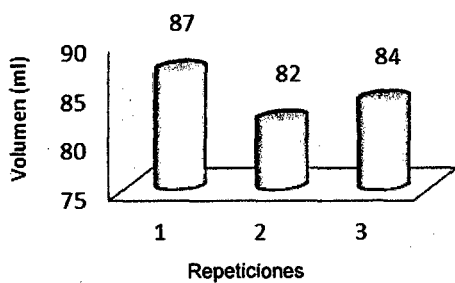
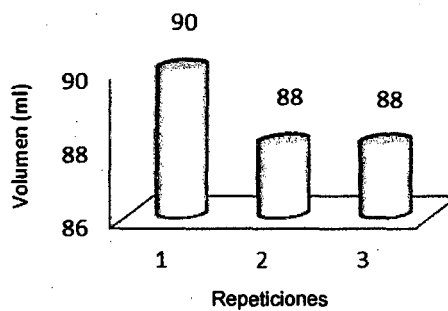
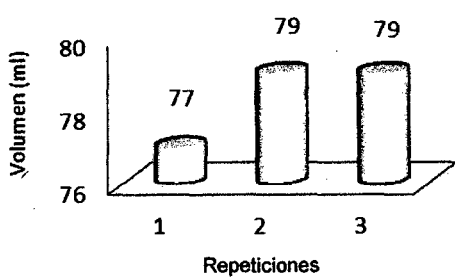
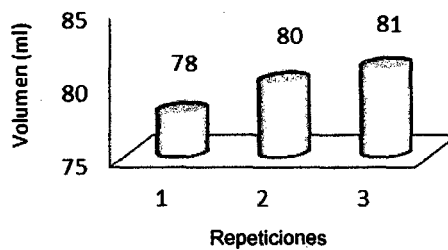
ZADRA, R. 2006. Improving Process Efficiency by the Usage of Alcoholates in the Biodiesel Production "Marketing and Sales Industrial Chemicals BASF" (en línea): IV Forum Brasil, Alemania sobre Biodiesel ARACATUBA. [En línea]: <http://www.ahkbrasil.com/inwent/IVForum/RogeroZadra.pdf.documento>. 01 dic 2008.

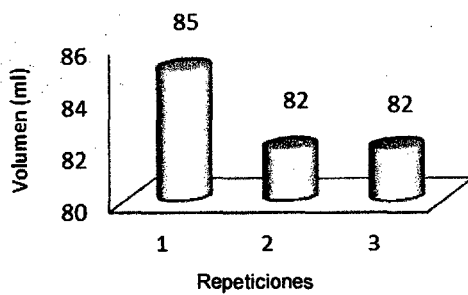
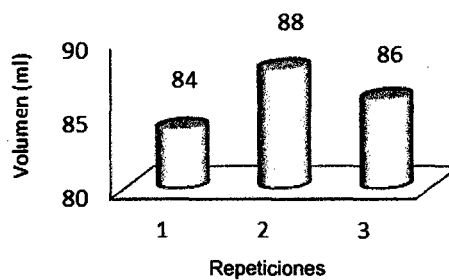
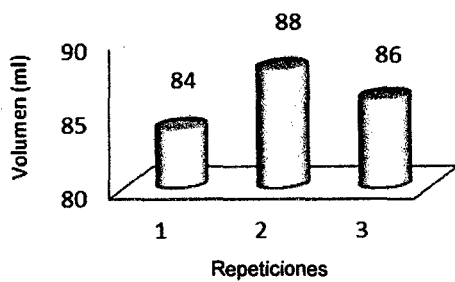
ZAPATA, C., MARTINEZ, I., ARENAS, E., ENERO, 2007. Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: segunda evaluación económica. (Medellin, Colombia) [En línea]: http://www.scielo.org.com/scielo.php?pid=s0012-73532007000100009&script=sci_arttext, journals, 14 nov. 2008).

IX. ANEXO

Anexo 1. Volumen de biodiesel por tratamiento con su respectiva repetición



Tratamiento 7**Tratamiento 8****Tratamiento 9****Tratamiento 10****Tratamiento 11****Tratamiento 12**

Tratamiento 13**Tratamiento 14****Tratamiento 15**

Anexo 2. Panel Fotográfico.



Figura 6. preparación de la solución etanólica al 0.1N



Figura 7. Solución etanólica al 0.1 N lista

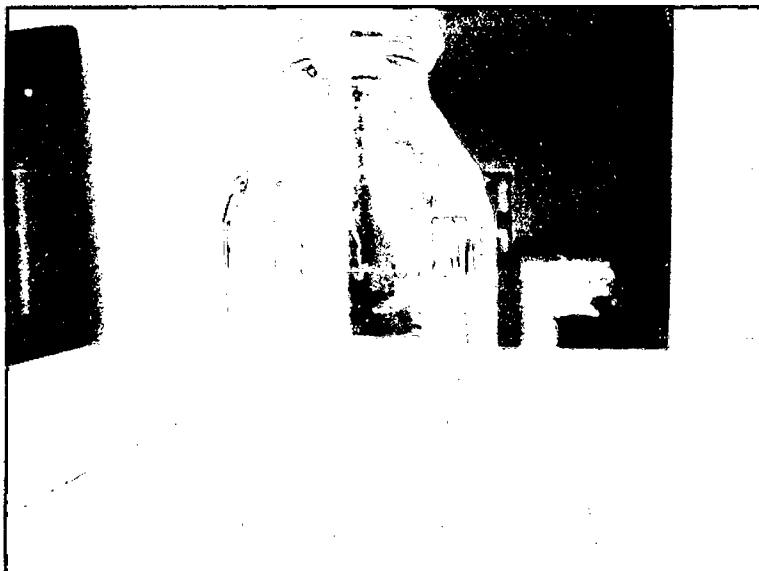


Figura 8. 100 ml. de Aceite de *jatropha curcas* L. (Piñón blanco).



Figura 9. Lectura de la temperatura.

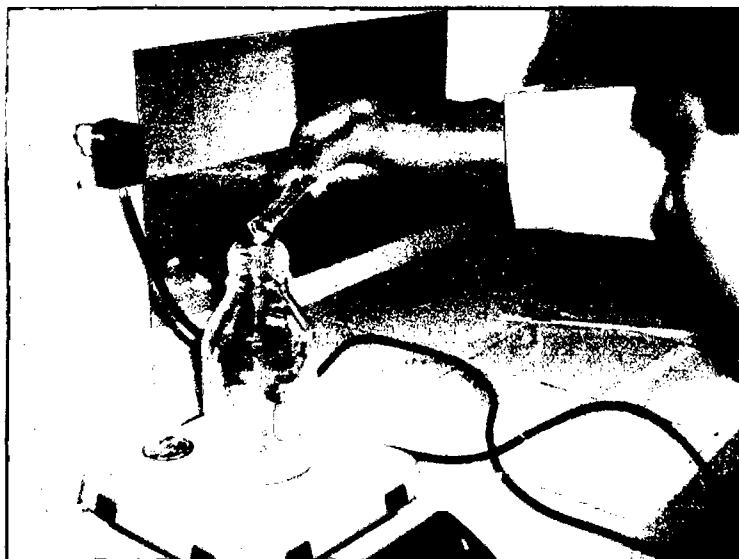


Figura 10. Añadiendo el metoxido de sodio.

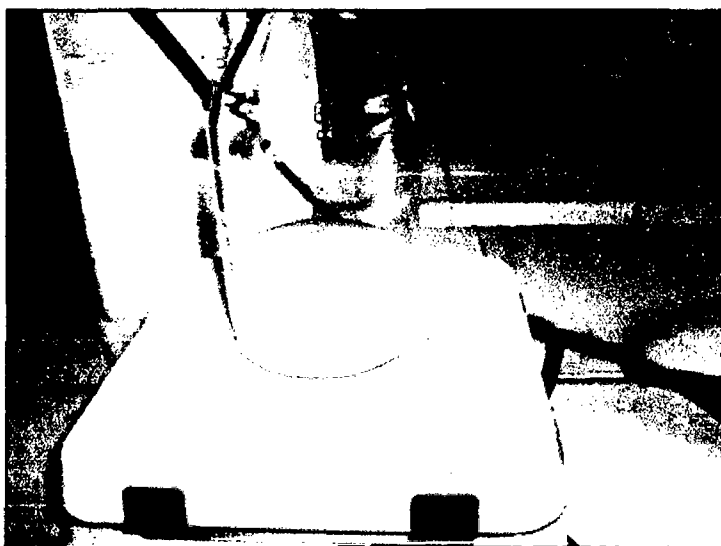


Figura 11. Proceso de trasesterificacion



Figura 12. Separación de biodiesel y glicerina.

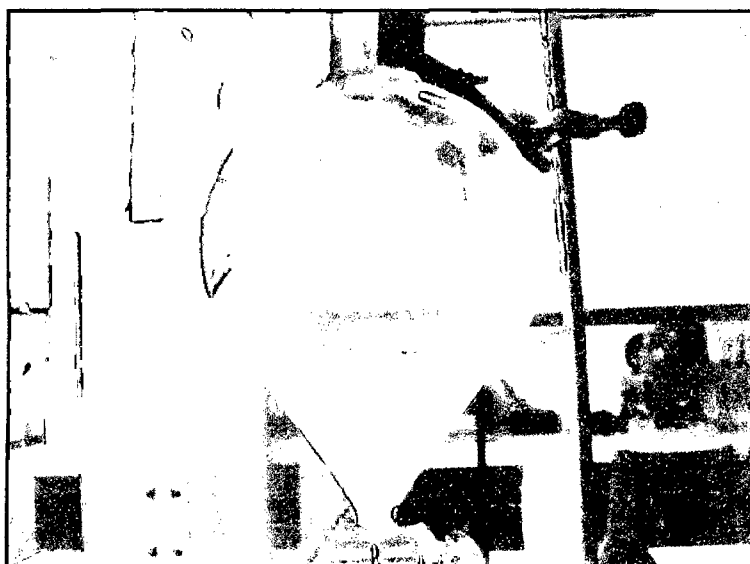


Figura 13. Separación después del primer lavado

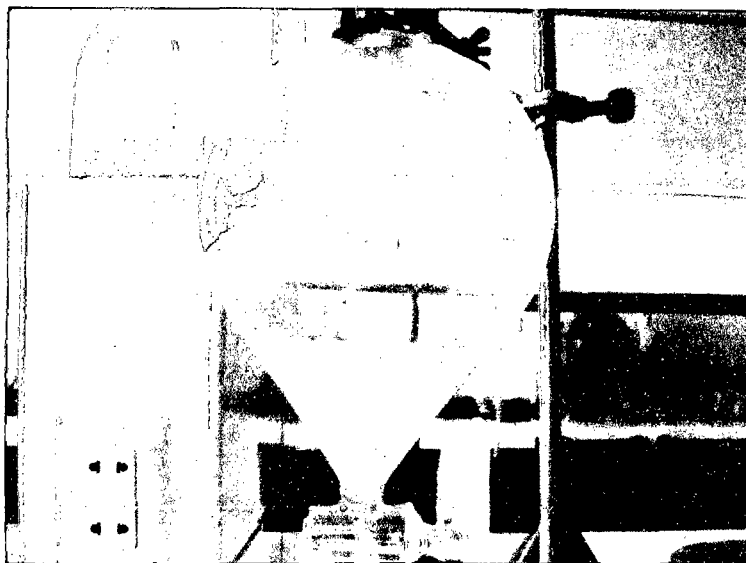


Figura 14. Separación después del segundo lavado.

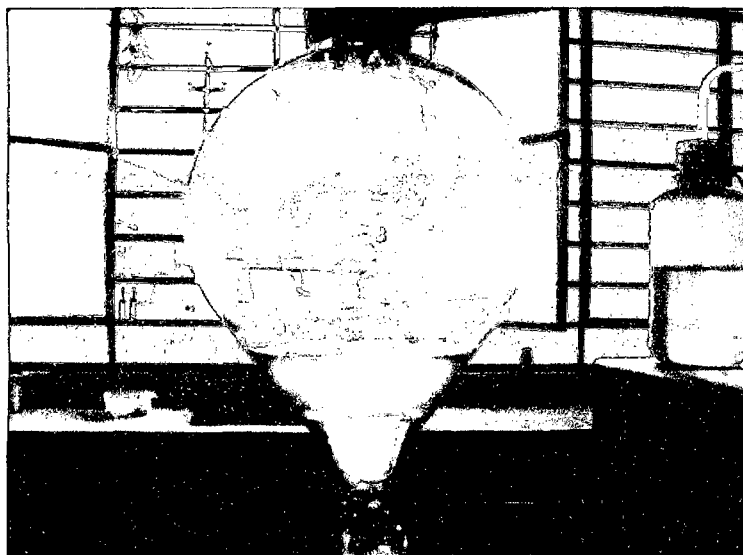


Figura 15. Separación después del tercer lavado.



Figura 16. Secado de biodiesel.

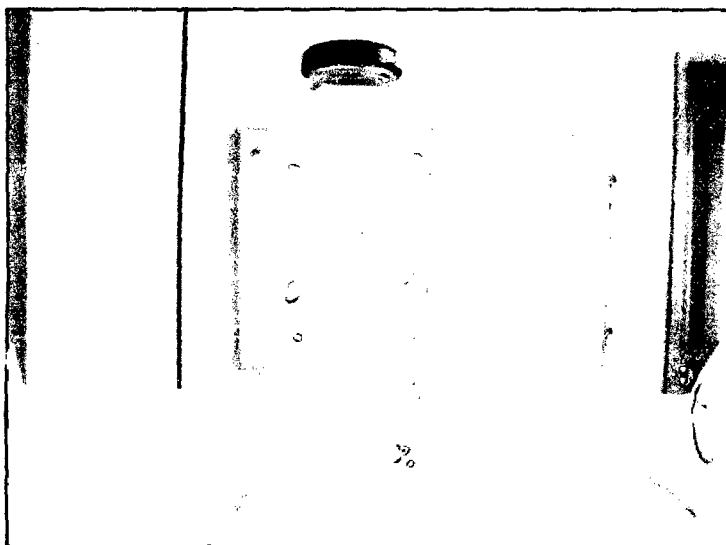


Figura 17. Biodiesel puro después del secado.