

1/600.2/15.227

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**“PREPARACIÓN A ESCALA PLANTA PILOTO Y ESTUDIO  
COMPARATIVO DE LOS BIODIESEL OBTENIDOS A  
PARTIR DE METANOL Y ETANOL”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**Presentado por:**

Bach. SANTIAGO ROMAN MIRIAM MARILU

**Asesor:**

Ing. Msc. LUIS A. CARRASCO VENEGAS

**DICIEMBRE 2008**

La presente tesis fue sustentada ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN** conformado por los siguientes profesores:

**ING° PABLO DIAZ BRAVO**

**PRESIDENTE**

**ING° VIORICA STANCIUC STANCIUC**

**SECRETARIA**

**ING° JUAN MEDINA COLLANA**

**VOCAL**

**ING° LUIS CARRASCO VENEGAS**

**ASESOR**

Según figura en el Libro de Actas N° 02, Folio N° 30 asentado en el Acta N° 213 de fecha **CUATRO DE DICIEMBRE DE 2008**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación con Sustentación de Tesis, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 047-92-CU de fecha 18 de junio de 1992.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su amor, comprensión, amistad y apoyo en todo momento, por ser mis primeros maestros, por enseñarme que nuestra mayor gloria no está en levantarnos en las caídas de la vida, sino en proseguir nuestro camino.

A Gina, mi hermana; gracias por ser mi amiga y por compartir conmigo un lindo sueño.

A Lucho, por su amor, cariño, amistad y lealtad en todo momento, por estar conmigo en los momentos más importantes de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, Señor de la Divina Misericordia por ser mi mejor amigo, aquel quien nunca falla, por darme la vida, por iluminar mi camino.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC gracias por su dedicación por elegir esta loable profesión la de maestros, formadores de Profesionales al servicio de la Comunidad.

A mi asesor Ing. Luís Carrasco Venegas, por su ayuda incondicional, por sus aportes a la ciencia, por ser un científico con una gran calidad humana.

A mi Alma Máter Universidad Nacional del Callao, porque en sus aulas compartí el esfuerzo y dedicación al estudio, y por que en ella cultive muchas amistades.

A mis compañeros de aulas y amigos de Promoción, entre ellos: Evelyn Flores y Rocío Quintanilla, por compartir muchas vivencias y experiencias inolvidables.

A mis familiares y amigos; Yolanda Román, y a la familia Flores Cuellar mi cariño eterno.

# INDICE

	PÁGINA
DEDICATORIA	
PRÓLOGO	09
RESUMEN	11
I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5 ANTECEDENTES VINCULADOS A LA TESIS	24
1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	26
1.6.1 Hipótesis General	26
II. MARCO TEÓRICO	27
2.1 EL BIODIÉSEL Y SUS PROPIEDADES	27
2.2 EL DESARROLLO DEL BIODIÉSEL	33
2.3 SITUACIÓN DEL BIODIÉSEL EN EL PERÚ Y EL MUNDO	35
2.3.1 Biodiésel como alternativa en el mundo	33



4.2	PORCENTAJE DE MEZCLA	83
4.3	CRONOGRAMA DE APLICACIÓN Y USO DE BIODIESEL	83
4.4	COMPRADORES AUTORIZADOS Y LUGARES DE MEZCLA	83
4.5	DEFINICIONES SOBRE ASPECTOS TRIBUTARIOS	83
V. LA PREPARACIÓN DEL BIODIÉSEL		88
5.1	MATERIALES Y EQUIPOS	88
5.2	REACTIVOS	90
5.3	PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DEL BIODIÉSEL UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA ACEITE NUEVO Y ACEITE USADO COMO INSUMOS METANOL Y ETANOL	91
5.3.1	Aceite nuevo y alcohol metílico	92
5.3.2	Aceite nuevo y alcohol etílico	94
5.3.3	Aceite usado y alcohol metílico	95
5.3.4	Aceite usado y alcohol etílico	97
5.4	GALERÍA DE FOTOS	100
VI. PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL BIODIÉSEL		103
6.1	POSTRATAMIENTO DEL BIODIÉSEL	103
6.2	CONTROL DE CALIDAD DEL BIODIÉSEL	104
6.3	POSTRATAMIENTO DE LA GLICERINA	111
VII. ESPECIFICACIONES PARA USO DE BIODIÉSEL		113
7.1	PROPIEDADES, NORMAS Y LÍMITES DE BIODIÉSEL	113
7.2	ESPECIFICACIONES ENTRE BIODIÉSEL Y DIÉSEL	114

7.3	COMPARACIÓN ENTRE BIODIÉSEL Y DIÉSEL	114
7.4	NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD PARA BIODIÉSEL Y DIÉSEL	116
7.5	VENTAJAS DEL BIODIÉSEL FRENTE AL DIÉSEL	118
7.6	DESVENTAJAS DEL BIODIÉSEL FRENTE AL DIÉSEL	120
7.7	FORMAS DEL BIODIÉSEL	126
7.7.1	Biodiésel Puro	126
7.7.2	Uso del Biodiésel en Mezclas	127
7.7.2.1	Aspectos técnicos del uso de Biodiésel en mezclas	132
7.8	BALANCE ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL	133
 <b>VIII. PROYECTOS – EVALUACIÓN</b>		 135
 <b>IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		 144
 <b>X. CONCLUSIONES</b>		 147
 <b>XI. RECOMENDACIONES</b>		 148
 <b>XII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b>		 150
 <b>XIII. APÉNDICE</b>		 153
	<b>APÉNDICE A:</b> Guía de Procedimientos Experimentales de Laboratorio	153
	<b>APÉNDICE B:</b> Tabla Comparativa de Resultados	169

<b>GLOSARIO</b>	171
<b>ANEXOS</b>	173
<b>ANEXO 1:</b> Impacto Ambiental del Uso de Combustibles	173
<b>ANEXO 2:</b> Impacto del Biodiésel sobre el Ambiente	178
<b>ANEXO 3:</b> Comisión Técnica Ley 28054 – Promoción de Biocombustibles (Consejo Nacional del Ambiente) República del Perú - Presidencia del Consejo de Ministros	181

## PRÓLOGO

Desde hace mucho tiempo se avizoró el agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y como consecuencia de ello en el lapso de un año el precio del barril del petróleo se ha triplicado, afectando negativamente todas las economías del mundo y en particular a la economía de nuestro país, ya que la variación del precio del petróleo incide directamente en el alza del costo de los productos de primera necesidad.

Otro aspecto negativo que se observa en el uso de los combustibles fósiles, es la “contribución” al efecto invernadero ya que alrededor del 90 % del petróleo, carbón y gas que se usa como combustible para la generación de fuerza, tiene como consecuencia el vertido de una gran cantidad de dióxido de carbono y una serie de partículas al ambiente. Apenas un 10 % de estos combustibles fósiles se destina a la petroquímica.

Una forma de frenar estos aspectos altamente negativos para la economía y el ambiente es la sustitución paulatina de estos combustibles fósiles, con otras formas de generación de energía que sean más corregibles para la salud del medio ambiente, dichas energías se denominan energías renovables, tales como : Solar, Eólica, Hidráulica, Mareomotriz, Geotérmica, Undimotriz , etc.

Dentro de un conjunto de energías renovables, destaca un tipo de combustibles denominado biodiésel.

El biodiésel es el resultado de la transesterificación de un aceite vegetal y / o grasa animal, con alcohol pudiendo ser metanol o etanol en medio alcalino.

La gran ventaja que posee este combustible es que se obtiene de fuentes naturales renovables y que el producto puede ser usado directamente en los vehículos de motor diesel.

Otro aspecto positivo es que por igual cantidad de petróleo diésel y biodiésel, el biodiésel descarga menos dióxido de carbono al ambiente y éste dióxido de carbono puede ser reabsorbido por las plantas, produciendo un ciclo de generación continua de energía, además posee otros atributos muy importantes los cuales se detallan más adelante.

Un aspecto negativo de la producción del biodiésel es que este producto compite con el uso del aceite comestible, lo cual han hecho que éste último duplique su precio en un período muy corto.

Sin embargo, en la práctica se observa que una gran cantidad de aceite comestible usado es desechado. Nuestra intención es transesterificar este aceite usado para producir biodiésel, lo cual puede lograrse con una serie de tratamientos previos, intermedios y finales.

El presente trabajo consiste en establecer las condiciones de operación a escala planta piloto para la producción de biodiésel, a partir de un aceite “nuevo” y aceite usado, como alternativa de los combustibles. Asimismo se presenta los controles de calidad respectiva que se lleva a cabo tanto en la materia prima como en los productos terminados.

Espero que el presente trabajo sirva de aportes a las demás investigaciones en éste proceso de búsqueda de combustibles obtenidos a partir de la biomasa.

## RESUMEN

El biodiésel es un combustible que presenta ventajas frente al diésel derivado del petróleo. Puede obtenerse a partir de fuentes renovables como los aceites y grasas vegetales o animales. Es un metiléster o etiléster que se forma mediante la remoción de la glicerina del triglicérido (aceite) en un proceso similar a la saponificación, las moléculas restantes (cadenas simples de hidrocarburos) forman el biodiésel, que casi no contienen azufre, anillos, compuestos aromáticos, además al contener el 10% de oxígeno en su estructura, es un combustible que no requiere aditivos para cumplir las normas ambientales. La transesterificación puede hacerse a temperatura ambiente, mediante mezcla mecánica de un alcohol, un álcali, y el aceite vegetal. Al cabo de un cierto tiempo de mezcla y reposo, se separan por decantación el biodiésel y el glicerol. En la presente investigación se ha realizado la preparación de biodiésel a nivel planta piloto en un reactor batch, mediante la transesterificación en medio básico.

La materia prima fue aceite vegetal de soya. Se obtuvo 3.8 litros de biodiésel a partir de 4 litros de aceite vegetal. Se realizó la determinación de la densidad, obteniéndose un valor promedio de  $0.86 \text{ g/cm}^3$ , tomado a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , este valor está dentro del rango establecido por la norma ISO 3675.

El valor promedio de la viscosidad fue de  $4,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ , según la norma ISO 3104, este valor se encuentra dentro del rango establecido. El costo calculado por galón de biodiésel en el Perú es de US \$ 7 (Dólares americanos) ello demuestra que el beneficio no es solo ambiental sino también económica. Esto es sin duda una excelente alternativa para contribuir a la mejora ambiental del parque automotor en nuestro país, pues su producción no necesita de grandes proyectos, sino de mayor conocimiento y difusión.

# I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

## 1.1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En Septiembre del 2006, un grupo de científicos de la IPCC (*Inter-Governmental Panel on Climate Change*) llegó a la conclusión que las emisiones contaminantes harán que en el año 2050 la temperatura de la tierra marque 2 grados más de lo normal, es decir *la mayoría de los aumentos observados en las temperaturas medias de la tierra desde la mitad del siglo XX son muy probablemente debidos al aumento observado en las concentraciones de GEI (Gases de Efecto Invernadero)*<sup>(1)</sup>

En 1972, la Asamblea General de Naciones Unidas designó el 5 de junio; como Día Mundial del Medio Ambiente para dar a conocer mejor la necesidad de conservar y mejorar el medio ambiente. Este año la jornada está marcada por la publicación de un nuevo estudio realizado en la Universidad de Berkeley, en California, que señala que el aumento global de la temperatura del planeta este siglo será de 7,7 °C, dos grados más de las estimaciones actuales.<sup>(2)</sup>

Este cambio en las estimaciones se debe a las emisiones adicionales de CO<sub>2</sub> y metano a la atmósfera que genera el planeta como consecuencia del calentamiento global.

---

(1) PETERSON, T.C., CONNOLLEY, W.M. & FLECK, J., 2008: The myth of the 1970s global cooling scientific consensus.. [http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento\\_global#cite\\_note-ozono\\_NASA-26](http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global#cite_note-ozono_NASA-26)

(2) COMPLEJIDAD Y MODELO PEDAGÓGICO - CICLO DE CONFERENCIAS (MADRID 2008)

Esta variable no había sido integrada en los anteriores modelos climáticos, pero ha sido incorporada ahora por científicos norteamericanos tomando como referencia la historia del clima de la Tierra recogida en el interior de los hielos antárticos.

El hallazgo publicado en "Proceedings of the National Academy of Sciences", confirmó que el tema de la contaminación ambiental está escapando de nuestras manos. Las emisiones de gases contaminantes, que provocan el calentamiento global, causan estragos en nuestro planeta, sólo basta una leve modificación de temperatura para que se rompa el delicado equilibrio de la naturaleza.<sup>(3)</sup>

Los científicos, encabezados por Lee Malcolm, de la Universidad de Toronto, Canadá, investigaron la forma en que las temperaturas en aumento podrían afectar la riqueza de especies de 25 "nichos de biodiversidad", zonas del planeta ricas en especies que no se encuentran en ningún otro lado. Los 25 sitios incluidos en el estudio cubren apenas uno por ciento de la masa terrestre global, pero contienen alrededor de 44 por ciento de las plantas y 35 por ciento de los animales vertebrados del planeta.<sup>(4)</sup>

---

**(3) PROCEEDINGS OF THE NACIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA** – Early Edition – 2008 - <http://www.pnas.org/>

**(4) JORGE ANAYA** – Extinción de miles de especies por calentamiento global  
<http://www.jornada.unam.mx/2006/04/20/a02n1cie.php>

"El cambio climático es una de las amenazas más graves a la biodiversidad. Ahora tenemos fuertes pruebas científicas de que el calentamiento global conducirá a una pérdida catastrófica de especies en todo el planeta", expresó Malcolm.

Al elevarse las temperaturas debido a las crecientes concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, muchas especies se extinguirán, advierte el estudio.

Por ejemplo, en el tiempo relativamente corto de que dispondrán para adaptarse al cambio climático, animales y plantas de montaña, que necesitan temperaturas frías, no podrán emigrar a altitudes mayores, y tampoco las especies que requieren de humedad lograrán evolucionar para adquirir resistencia a la sequía.

El estudio, publicado en la revista *Conservation Biology*, predice que muchos hábitat únicos se perderán cuando el cambio climático propicie rápidas alteraciones en el ambiente. "Proyectamos la pérdida eventual de miles, quizá decenas de miles de especies endémicas de plantas y vertebrados ante un clima asociado con una duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono", expresa el estudio.

El debate ha sobrepasado el ámbito científico y ha llegado al debate público. Al Gore, autor de *"Earth in the Balance"* (*La Tierra en juego*) y el documental "Una verdad incómoda" recibió el Premio Nóbel de la Paz en el 2007, junto al Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de la ONU, «por sus esfuerzos para construir y diseminar un mayor conocimiento sobre el cambio climático causado por el hombre y poner las bases para la toma de las medidas que sean necesarias para contrarrestar ese cambio».

De no comenzar desde ahora a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, en menos de 20 años el calentamiento global será el principal problema que enfrentará el mundo entero, dado que este fenómeno cambiará el patrón de lluvia y sequía en todo el planeta, coincidieron decenas de especialistas reunidos en el Green Forum, celebrado en Miami (El Green Forum contó con el patrocinio de organizaciones como Environmental Defense, Natural Resources Defense Council, la revista National Geographic, y las universidades de Columbia y de Georgetown), entre otros. La gran mayoría de los expertos coincide en que el ser humano es el principal causante del proceso de calentamiento, también conocido como efecto invernadero, y que los países industrializados son los que tienden a agravar la amenaza. En La Haya, delegados de 150 países tratan de ponerse de acuerdo de una vez por todas sobre cómo frenar el aumento del "efecto invernadero".

No basta con cumplir con el Protocolo de Kyoto, sino que urge elaborar un pacto entre las principales ciudades del mundo, para tener una estrategia que haga disminuir dichas emisiones hasta en un 90%.

Se postula que si usáramos solo las energías en base a la energía solar: eólica, hidráulica brisas del mar, fotovoltaica, térmica y de la biomasa, no se alteraría el equilibrio térmico de la tierra; sin embargo, por el momento esto no es posible, pero que se puede ir sustituyendo paulatinamente los combustibles fósiles por los antes mencionados. (5) y (6)

---

(5) NATIONAL GEOGRAPHIC CHANNEL - 2007 " Tecnología Ambiental I y II )

(6) ENERGÍA EÓLICA EN CARTERA EN EL PERÚ - [www.peruecologico.com.pe/lib\\_c16\\_t09.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c16_t09.htm)

- 14k

El deterioro del medio ambiente, sumado a las poco alentadoras perspectivas que presentan los combustibles fósiles y la creciente conciencia ambiental, han llevado al desarrollo de diversos combustibles y fuentes de energía denominadas renovables. Uno de los problemas más frecuentes en éste campo es la adaptabilidad de dichas energías a la vida cotidiana, ya que la transición hacia éstas acarrea costos frecuentemente insuperables. *Sin embargo, el desarrollo de un combustible en particular, denominado biodiésel, se presenta como una alternativa alentadora.* Dicho combustible, obtenido a partir de aceites y grasas animales y vegetales, puede ser empleado sin mayores modificaciones en motores de ciclo diésel. Más aún, permite aprovechar la red de expendio existente, y dada la naturaleza de sus materias primas, y gran adaptabilidad al mercado local de combustibles., presenta un perfil alentador para un país agrícola como lo es el nuestro.

En este contexto, surge la idea de realizar el trabajo de investigación indicado, para contribuir con los esfuerzos que se hacen a nivel mundial para atenuar el calentamiento global, que constituye en el problema principal de la tierra en estos momentos, usando la biomasa que se tiene o se puede cultivar para los fines antes indicados, siendo el biodiésel uno de los productos a obtener a partir de la biomasa. Con este nuevo combustible no sólo se requeriría un menor gasto de energía, sino que se generarían menos residuos y prácticamente no se necesitaría gastar agua para la eliminación de los mismos.

El Decano del Colegio de Ingenieros del Perú (2008), aseguró que el Perú vive “una crisis energética” por las deficiencias en la infraestructura para el transporte del gas natural hacia las centrales termoeléctricas, que en algunos casos están trabajando al límite de su capacidad.

“El suministro de gas tiene una capacidad máxima de 290 millones de pies cúbicos al día, cuando Lima necesita 320. Tampoco se dice que el gasoducto se construyó para mil 200 millones de pies cúbico al día. Lo que se necesita es ampliarlo y hacerlo a tiempo”. “El Perú tiene 10 veces más del potencial eléctrico que se está utilizando, pero de nada sirve si no se desarrolla, si no se hacen las obras y las centrales no se instalan. Las decisiones han sido lentísimas y las consecuencias las vivimos hoy” (7)

Una encuesta hecha en toda América Latina revela que se mantiene muy fuerte la expectativa sobre la integración regional y la crisis energética es vista como una oportunidad para avanzar en ese rumbo. (8)

---

**(7) MEM NOTA DE PRENSA DEL 11 DE AGOSTO DEL 2008:** Sociedad – Crisis Energética, Ministerio de Energía y Minas, Oficina de Prensa.

**(8) EMPRESA EDITORA EL COMERCIO**

<http://www.elcomercio.com.pe/edicionimpresa/Html/2008-04-17/la-crisis-energetica-preocupa-paises-america-latina.html>

Las emisiones se reducen en comparación con el diésel, pero lo más resaltante es su bajo contenido de azufre, por lo que se convierte en la mejor opción para reducir dichas emisiones al ser usado como aditivo en el diésel para cumplir con las regulaciones que se van imponiendo en diferentes países.

Se hace necesaria la búsqueda constante de alternativas energéticas. Asimismo, el desarrollo industrial y el crecimiento de la población, ha impulsado la búsqueda constante de combustibles que no afecten el Medio Ambiente. En 1992 se dio a conocer el reconocimiento oficial por el Departamento de Energía de Estados Unidos de los llamados Combustibles Alternativos, dentro de los cuales destaca como una opción muy atractiva el llamado Biodiésel; combustible de origen vegetal que reemplaza al Diésel derivado del petróleo, con una serie de cualidades que superan por mucho al Diésel tradicional. Cuando se habla de biodiésel, se habla en general de ésteres de alquilo menores (metilo y etilo) de ácidos grasos de cadena par, que en general van del C<sub>4</sub> al C<sub>24</sub>. Por otro lado, el proceso de síntesis consta normalmente de una transesterificación que sustituye el grupo glicérido de los triglicéridos por un grupo metilo u etilo, proveniente en general de un alcóxido como el metóxido u etóxido de sodio.

En la Unión Europea la energía de biomasa representa el 3% del total. *El biocombustible más conocido y utilizado, el cual es motivo de esta Tesis es el Biodiésel también denominado biogasóleo o diéster.* El uso del biodiésel ha aumentado de manera tal que entre 1990 y el presente año ha aumentado prácticamente de cero a dos mil millones de litros. Esto ha tenido un gran impacto

ya que la Unión Europea ha normalizado las características técnicas del biodiésel el cual es 100% biodegradable.

La empresa perteneciente al Grupo Herco, Heaven Petroleum Operators, de capitales peruanos, inauguró la primera planta procesadora y distribuidora de Biodiésel en enero de este año en Lurín a fin de dedicarse al abastecimiento de combustibles alternativos y renovables. La planta, que será la primera del país, tendrá capacidad para producir cerca de 120.000 galones al día de biocombustibles a partir de *Jatropha Curcas*.

La empresa Pure Biofuels ( **Empresa estadounidense con instalación en Perú**), tiene un proyecto de producción de Biodiésel para cubrir la demanda del mercado automotor, que en su primera etapa tendrá una inversión de US\$ 30 millones, con una capacidad de 180 mil toneladas de biodiésel anual.

El mercado de biocombustibles es tan amplio que la competencia no es competencia, sino un apoyo. Es por ello el presente trabajo pretende analizar el proceso de producción del biodiésel obtenidos a partir de metanol y etanol así como el estudio comparativo de los biodiésel obtenidos a partir de estos alcoholes, analizando a la vez su impacto sobre los humos de combustión y elaborando una síntesis de sus ventajas y desventajas.

## 1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La preparación del biodiésel de calidades estándares del mercado requiere el uso de las cantidades precisas de los reactivos é insumos y las condiciones de operación más adecuadas del proceso, de no tener en consideración estos aspectos se corre el riesgo de tener una baja eficiencia de proceso y una baja calidad de producto. Teniendo en cuenta estos aspectos se pretende preparar el biodiésel, usando como insumo en un caso el metanol y en otro el etanol; esto nos permite obtener, usando el mismo tipo de aceite como materia prima, dos tipos de producto, lo que nos lleva a la siguiente interrogante. *¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CADA UNO DE ESTOS PRODUCTOS OBTENIDOS?*

## 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.3.1 Objetivo General.

Obtener el biodiésel a escala planta piloto usando como materia prima aceite comestible nuevo en un caso y aceite comestible usado en otro caso, usando como insumos metanol y etanol.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar la materia prima.
- b) Obtener el biodiésel a escala de planta piloto, en un reactor batch.
- c) Realizar la caracterización física y química de los biodiésel obtenidos.
- d) Verificar las condiciones más adecuadas de obtención del biodiésel.

- e) Plantear el mecanismo de reacción de los aceites frente a los alcoholes utilizados.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Conforme se ha visto anteriormente, uno de los problemas principales de la tierra es el calentamiento global. Este, es un problema que atañe e involucra a todos los países del mundo; y el Perú no puede estar ajeno a esta realidad. Una forma de mitigar estos efectos es mediante la utilización de energías renovables; y una de estas formas de uso de estas energías renovables es el biodiésel, un combustible, capaz de sustituir al petróleo diésel N° 2, combustible utilizado en los motores petroleros.

La presencia del biodiésel es tan antigua como la existencia del motor y no fue explotado debido a que no pudo competir con los precios del petróleo. La toma de conciencia ambiental de la población para reducir los elementos tóxicos que generan en la combustión de los combustibles fósiles, el avance de la tecnología, la reducción de precios de los aceites vegetales y el incremento en el rendimiento de éstos por hectáreas, así como el agotamiento del petróleo, han originado que las miradas se centren en el “oro verde” representado por los recursos de la biomasa y en consecuencia se estén implementando plantas de procedimiento continuo de mediana magnitud con el otorgamiento de incentivos por parte del gobierno para desarrollar este nuevo mercado.

El estudio de este combustible se justifica por las siguientes razones:



- a) Cualquiera de sus mezclas reduce en proporción equivalente a su contenido, las emanaciones de CO<sub>2</sub>, CO, partículas e hidrocarburos aromáticos. Dichas reducciones están en el orden del 15% para los hidrocarburos, del 18% para las partículas en suspensión, del 10% para el óxido de carbono y del 45% para el dióxido de carbono. Estos indicadores se mejoran notablemente si se adiciona un catalizador.
- b) Proviene de la acción de la energía solar, puesto que el dióxido de carbono que se emite a la atmósfera estaba fijado previamente por las plantas de las cuales proviene. Por lo tanto, se considera que es, en este sentido, neutro. A todo esto hace falta añadir que es renovable y biodegradable.
- c) No contiene azufre, por lo cual los gases de combustión están exentos de dióxido de azufre.
- d) Se puede utilizar aceite comestible de desecho.
- e) No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diésel comunes.
- f) No es tóxico.
- g) No requiere realizar grandes cambios a los motores diésel para su uso.
- h) Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.
- i) Vertidos al medio ambiente se degradan más rápidamente que los petrocombustibles.
- j) Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo las posibilidades de producir cáncer.
- k) Es menos irritante para la epidermis humana.
- l) Actúa como lubricante de los motores prolongando su vida útil.

- m) Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición más elevado. El biodiésel puro posee un punto de ignición de 148° C contra los escasos 51° C del gasoil.
- n) Mejor combustión, que reduce el humo visible en el arranque en un 30%.
- o) Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, permitiendo a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.

Como puede verse en los puntos anteriores el biodiésel preparado con aceites y grasas vegetales y/o animales posee características muy superiores al diésel, que hacen que su uso en otros países ya sea una realidad.

Por otro lado, la mayoría de las empresas hoy en día están usando para sus estudios y su eventual producción como insumo el metanol. Este alcohol en nuestro país se importa, debido a su gran demanda, recientemente se ha incrementado los precios, lo cual hace que la producción de biodiésel usando este insumo sea caro, Además procede de combustibles fósiles (aunque también en pequeñas cantidades puede obtenerse de la biomasa "madera"). Sin embargo, nuestro país produce etanol al 96% en grandes cantidades. Un tratamiento adecuado ya sea deshidratación por sales o destilación azeotrópica o por evaporación nos permitiría obtener un alcohol anhidro para la producción de biodiésel que no dependería de las condiciones impuestas por el mercado externo, si no de nuestra economía interna. Estas y otras razones me permiten tener una base ambientalista en la realización de esta investigación.

## 1.5 ANTECEDENTES VINCULADOS A LA TESIS

En diversos artículos y páginas Web, se encuentran numerosas investigaciones relacionadas a la elaboración del biodiésel; sin embargo en la mayoría de los casos, utilizan metanol como insumo, más no así el etanol; por otro lado la información que se dispone es muy imprecisa o muy genérica, por lo cual en el presente trabajo se detallará en forma específica los parámetros de operación, así como los controles de calidad respectivo.

En la Universidad Nacional Agraria de la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento Académico de Construcciones Rurales se llevó a cabo el 8vo curso teórico práctico de producción de biodiésel en el Perú llevado a cabo del 28 al 30 de Mayo del presente año, sobre el desarrollo de las investigaciones tecnológicas en las Energías Renovables, los Principales cultivos oleaginosos para producción de biodiesel en el Perú, Consideraciones de los aceites para producción de biodiesel a partir de metanol , estudios relacionados a la producción de Biodiésel partir de aceites vegetales usados en zonas urbanas, para ser usado como aditivo del combustible diésel en vehículos de transporte terrestre para reducir las emisiones de gases contaminantes y como una alternativa para resolver la disposición final de los aceites usados, así mismo en la dirección: <http://www.coches-es.com/noticias/3208/universida-de-peru-genera-biodiesel-con-grasa-animal-y-humana/> ; se publica que en dicho Centro de estudios vienen realizando un **proyecto** que vienen preparando sus alumnos conjuntamente con los profesores, el cual pretende cuidar el medio ambiente, generando biodiésel de la grasa extraída del cuerpo humano por las liposucciones

En la pagina Web: **BIODIESEL A PARTIR DE METANOL**

<http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/gen014.pdf>

respecto al metanol sobrante, menciona que puede recuperarse después de la reacción para reutilizarlo, simplemente calentándolo en un recipiente cerrado con salida a un condensador, A diferencia del etanol, el metanol no forma un azeotropo con el agua, y puede obtenerse un metanol relativamente puro, lo suficiente para volver a usarlo.

Por otro lado en un artículo publicado por Lenoir Christian: Análisis de la Producción de Biodiésel-Argentina, indica que la glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico (tarea no del todo sencilla a pequeña escala) puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora. También en artículos encontrados que se muestran en la bibliografía, se tiene información acerca de la cinética de la reacción.

Finalmente el Consejo Nacional del Ambiente CONAM en el 2004, en la ley 28054 cuyos objetivos son: Promover el desarrollo de los biocombustibles, sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica. Diversificar su matriz energética. Fomentar desarrollo agropecuario. Generación de empleo. Disminuir la contaminación ambiental. Mercado alternativo en lucha contra las drogas.

Presenta la estimación de la valoración económica de los impactos de la contaminación atmosféricas en la ciudad de Lima: *“La producción del biodiesel es una alternativa económica para reducir la contaminación ocasionada por la quema del diesel en el Perú, considerando el escenario actual de un mercado dieselizado, con un muy alto contenido de azufre” (9)*

## 1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### 1.6.1 Hipótesis General

Es posible hacer la preparación y caracterización del biodiésel usando como insumos metanol en un caso y etanol en otro, y como materia prima aceites nuevo y usado, en un reactor Batch, lo que indica la posibilidad de obtener biodiésel a nivel de planta piloto.

---

(9) COMISIÓN TÉCNICA DE LOS BIOCOMBUSTIBLES. (2004) Informe Final: Promoción del mercado de biocombustibles, Lima; CONAM: Mayo de 2004

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 EL BIODIÉSEL Y SUS PROPIEDADES

El Biodiésel es un combustible obtenido de fuentes renovables, compuesto por esterres metílicos o etílicos de ácidos grasos, su obtención es a partir de aceites vegetales y/o grasas animales. El prefijo bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica a diferencia del diésel tradicional derivado del petróleo, mientras que diésel se refiere a su uso en motores de este tipo. Como combustible, el biodiésel puede ser usado en forma pura o mezclado con diésel de petróleo.

Con el Protocolo de Kyoto (Japón, 11 de Diciembre de 1997), del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC). Se trata de frenar el cambio climático. Uno de sus objetivos es contener las emisiones de los gases que aceleran el calentamiento global.

Hasta la fecha ha sido ratificado por 163 países. El acuerdo ha entrado en vigor el pasado 16 de febrero de 2005, sólo después de que 55 naciones que suman el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero lo han ratificado. En la actualidad 166 países lo han ratificado.

El objetivo del Protocolo de Kyoto es conseguir reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero de origen humano como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre

Este biocombustible se obtiene mediante un proceso químico llamado transesterificación de un aceite vegetal (mezclas de triglicéridos de diferentes ácidos grasos) combinados con un alcohol (generalmente etanol ó metanol), utilizándose como catalizador NaOH ó KOH, formando así un éster etílico o metílico el cual en su conjunto recibe el nombre de **Biodiésel**. Este combustible necesita ser secado y filtrado previamente antes de su uso.

El uso de un éster, que implica un valor agregado sobre el aceite, y la adaptabilidad del biodiésel, que no sólo presenta una viscosidad mucho menor a la del aceite, sino también la posibilidad de utilización directa en motores diésel, hace que el desarrollo del biodiésel resulte de sumo interés por sus implicancias económicas, así como el favorable impacto y conservación del medio ambiente gracias al reciclado de productos de desecho como los que origina la industria oleícola.

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

El desarrollo de biodiésel, se presenta como una alternativa alentadora. Dicho combustible, puede ser empleado sin mayores modificaciones en motores de ciclo diésel. Es interesante mencionar además de la elaboración de Biodiésel con aceites vegetales también se puede obtener a partir de aceites ya utilizados, aquí el potencial que representa las **3R: Recolección, Reciclaje y Reuso** de aceites vegetales de cocina usados para la elaboración de biodiésel. En general, la flora bacteriana de un buen sistema de tratamiento de efluentes en una ciudad organizada o un buen compostaje podrá lidiar con dicha carga, pero a menudo éstos aceites llegan directamente a cursos de agua, sin previo tratamiento, y representan un riesgo para la flora y fauna acuática al formar una delgada capa superficial que impide procesos fisicoquímicos fundamentales para la vida. Esto no solo representa un problema ambiental, sino que es un desperdicio absoluto de materia prima valiosa, tanto para la obtención de glicerina, ácidos grasos o ésteres como el biodiésel. Sus buenas cualidades impulsan crecientemente su uso, ya que reduce la dependencia tecnológica, genera gran cantidad de fuentes de trabajo y promueve el desarrollo agroindustrial.

### **VENTAJAS:**

El Biodiésel constituye una opción de gran trascendencia, especialmente para los países como el nuestro en el que son prioridades, la generación de fuentes de trabajo, potenciar el desarrollo agrario, fortalecer la independencia tecnológica y mantener una cuidadosa administración de nuestros recursos energéticos. La gran fortaleza que representa el Biodiésel como combustible radica en su posibilidad de generarse a partir de cultivos que en nuestro país son abundantes como la soja y el

girasol entre otros, generando ganancias para el sector agrícola y consecuentemente un descenso del desempleo.

- ✓ Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables. Lo que garantiza su disponibilidad en el tiempo.
- ✓ Cumple con los requisitos de la Environmental Protection Agency (EPA) para los combustibles alternativos.
- ✓ Son biodegradables y no tóxicos.
- ✓ Contribuye a la mejora de la calidad de aire.
- ✓ La producción de biodiésel supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores. Promoviendo así el desarrollo agroindustrial.
- ✓ Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles volcados al medio ambiente se degradan más rápidamente que los petrocombustibles.
- ✓ No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diésel comunes. Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo. Puede utilizarse en mezclas con gasoil común en cualquier proporción. Duplica la vida del motor mejorando su rendimiento porque al estar hecho con aceites es mucho más lubricante que el gasóleo y va mejor para los vehículos. Está demostrado que alarga su vida y, además, el motor hace incluso menos ruido.
- ✓ Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.
- ✓ Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.

- ✓ El biodiésel puede ser utilizado como aditivo para motores a petróleo para la limpieza interna de estos.
- ✓ No altera sustancialmente el consumo.
- ✓ Mejor combustión generando menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo las posibilidades de producir cáncer por no contener hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- ✓ Su transporte y almacenamiento es más seguro dado su alto flash point.
- ✓ Ya ha sido probado satisfactoriamente por más de 20 años en Europa.
- ✓ Como fluidos en sistemas hidráulicos sobrepasan las pruebas ASTM D2882 y ASTM D2271.
- ✓ Mayor Índice de Viscosidad.
- ✓ Elevados Puntos de Inflamación llegando a ser 300 F.
- ✓ Por su mayor índice de cetano y lubricidad reduce el desgaste en la bomba de inyección y en las toberas.
- ✓ El biodiésel supone una disminución de entre un 25% a un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por los combustibles derivados del petróleo, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases invernadero producidos por el transporte. El dióxido de carbono emitido durante la combustión del biodiésel es totalmente reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto el biodiésel puede ser considerado un combustible renovable. La emisión de monóxido de carbono durante la combustión del biodiésel en motores diésel es del orden del 50% inferior.,
- ✓ No se produce emisión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) por cuanto el biodiésel no contiene azufre. y por ende no genera emanaciones de este elemento, las cuales

son responsables de las lluvias ácidas. El dióxido de azufre es nocivo para la salud humana así como para la vegetación.

- ✓ Es menos irritante para la epidermis humana. ya que reduce compuestos cancerigenos como PAH y PADH.
- ✓ Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición más elevado. El biodiésel puro posee un punto de ignición de 148 °C contra los escasos 51 °C del gasoil.
- ✓ El biodiésel no contiene productos aromáticos (benceno, benzopirenos derivados) siendo conocida la elevada toxicidad (potencialmente cancerigenas)

### **DESVENTAJAS:**

Las principales desventajas que presenta el uso del biodiésel son:

- \* Presenta costos de materia prima altas.
- \* Su combustión puede acarrear un aumento de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- \* Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0 °C).
- \* Escasa estabilidad oxidativa, y su almacenamiento no es aconsejable por períodos superiores a 6 meses, El producto se degrada notoriamente más rápido que el petrodiesel. por tratarse de un producto hidrófilo y degradable.
- \* Bajo punto de fluidez, lo que permite que se congelen a menores temperaturas de operación.
- \* Su poder solvente lo hace incompatible con una serie de plásticos y elementos derivados del caucho natural, y a veces obliga a sustituir mangueras en el motor.

- \* Menor capacidad energética, aproximadamente un 5% menos, aunque esto, en la práctica, no es tan notorio ya que es compensado con el mayor índice cetano, lo que produce una combustión más completa con menor compresión.
- \* No existe registro de que produzcan mayores depósitos de combustión ni tampoco que degrade el arranque en frío de los motores.
- \* Hasta el momento todavía no está claro el tiempo de vida útil del biodiésel; puede ser meses llegando hasta 8 años dependiendo de su manipulación y almacenamiento.

## 2.2 EL DESARROLLO DEL BIODIÉSEL

El Biodiésel fue el primer combustible en ser usado por Rudolf Diésel (1858-1913) ingeniero alemán, quien presentó su motor en Augsburgo, Alemania el 10 de Agosto de 1893. Por esta razón, se ha declarado este día como el Día Internacional del Biodiésel. En la Exposición Mundial de París en 1900, Diésel presentó un motor funcionando con aceite de maní, a partir de allí implementó tempranas versiones de una máquina (demostración de la adaptabilidad del motor que utilizaba aceite de maní como energía). Siendo un visionario, él vaticinó: *"el uso de los aceites vegetales puede parecer insignificante hoy, pero estos aceites se pueden volver, en el transcurso del tiempo, tan importantes como los productos del petróleo y la brea del presente"*. La utilización de combustibles vegetales, en motores Diésel, es casi tan antigua como el mismo motor.

Las primeras investigaciones sobre la producción del Biodiésel se remontan a la época de la Segunda Guerra Mundial, sin embargo no fue sino hasta la década de

los 70 que se desarrollaron de manera sólida, los primeros métodos de producción, como respuesta ante la crisis energética mundial de esa década.

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 Diésel desarrollara su motor de combustión interna.

Las primeras pruebas técnicas de aplicación en motores se realizaron en los primeros años de la década de los 80 en Europa y en 1985 se construyó la primera planta piloto en Austria para la producción de este energético. Se han hecho numerosos trabajos experimentales sobre la utilización de combustibles vegetales entre los años 1930 – 1940. La crisis del petróleo en los fines de los años 70 y comienzos del 80, acompañados de la incertidumbre reinante sobre lo que podía acontecer con los recursos no renovables, especialmente sobre los derivados del petróleo, reflató la idea de los biocombustibles haciendo que el biodiésel se desarrolle en 1970. En el año 1982 En Austria y Alemania, se llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal luego en el año 1985 en Silberberg (Austria) se construyó la primera planta piloto productora de biodiésel a partir de las semillas de colza o canola. Actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles. Existiendo cientos de artículos escritos de todas partes del mundo sobre la utilización de aceites vegetales en especial

Biodiésel como combustibles. Estos combustibles han pasado de ser experimentales, y ya forman parte de los combustibles habituales.

Hace ya buen tiempo que en el Perú se dieron los primeros pasos para aprovechar los biocombustibles como una fuente de energía vegetal que permita reemplazar, en una muy pequeña parte, los derivados del petróleo y del gas natural. En 2003 se dio la Ley 28054, Ley de Promoción del mercado de biocombustibles y en el 2005 se promulgó su reglamento (el DS 013 2005 EM).

## **2.3 SITUACIÓN DEL BIODIÉSEL**

### **2.3.1 Biodiésel como alternativa en el mundo**

Por su gran aporte a la descontaminación de las ciudades y no requerir los motores diésel ninguna modificación para el cambio de combustible, su carácter renovable, seguridad en su transporte y ser biodegradable, viene recibiendo el apoyo de los países del primer mundo para su utilización. Así por ejemplo en Francia existe una planta de 150 mil TM/año, Italia tiene otra planta de 120 mil TM /año, En Alemania ya existen 800 centros de expendio del biodiésel de igual modo existe una tendencia creciente de consumo en los EEUU, Canadá, Japón: España y Argentina, entre otros, Los productores de soya de los EEUU lograron que desde el 2003 sea una obligación la mezcla del diésel 2 con el biodiésel y con ello han dado salida un millón de toneladas de sus excedentes de aceite de soya. Por otro lado los países exportadores de aceite ven en el biodiésel una alternativa para detener la caída de los precios del aceite en el mercado mundial.

## Principales productores en el mundo de Biodiésel

A nivel mundial, la preocupación por el calentamiento global proveniente de la contaminación petrolera ha aumentado el consumo de biocombustibles, lo que ha sido reforzada por los altos precios del petróleo, Brasil es el primer productor de etanol, con 12 millones de toneladas, seguido de EEUU con 10.7 millones. En el biodiésel, Alemania ocupa el primer lugar con 1,920 millones de litros, seguido por Francia, EEUU e Italia con 511, 290 y 227 millones, respectivamente. En Europa y los EEUU, el biodiésel es producido y utilizado en cantidades comerciales. Sin embargo el biodiésel mezclado, cuya forma más común se llama B20 (20% biodiésel, 80% diésel convencional), no ha sido designado como un combustible alternativo. En los EE UU, flotas de carga mediana y liviana que son centralmente llenadas de combustible en el medio oeste y en el este son actualmente las principales usuarias del combustible biodiésel.

**Cuadro N° 1: Principales Países Europeos productores de Biodiésel**

<b>País</b>	<b>Capacidad instalada (TN/año 2000)</b>	<b>Producción (TN/año 2000)</b>
Alemania	550.000	415.000
Francia	290.000	286.000
Italia	240.000	160.000
Bélgica	110.000	86.000
Inglaterra	2.000	2.000
Austria	20.000	20.000
Suecia	11.000	6.000
Checoslovaquia	47.000	32.000
<b>Total</b>	<b>1.270.000</b>	<b>1.005.000</b>

*Fuente: SAGPyA, en base a "Biodiésel: El pasado del futuro" por Eugenio F. Corradini*

Muchos países ya han adoptado el biodiésel por diversos motivos, como su aumento significativo en el poder de lubricación. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency, E.P.A., EE.UU.) En Europa, prácticamente cualquier automóvil producido a partir de 1996 es apto para el uso de biodiésel puro. Francia mezcla un 5 % de biodiésel como aditivo en los combustibles de todas las estaciones de servicio del país, y en la República Checa, el porcentaje de "Bio-Naphta" es del 30%. Alemania, Austria y otros países de Europa Central usan Biodiésel puro. En Italia según se utilizaba en 1991 en motores IVECO en unas 19 ciudades, en una prueba de campo que implicó unos 520,000 km. de prueba. En EE.UU se venden mezclas de biodiésel, y diversas flotas de transporte terrestre lo utilizan, mostrándose así ampliamente difundido, y su crecimiento durante los últimos años ha sido acelerado. También es utilizado en minería y en el sector marino. Japón presenta interés en su producción y uso. En Alemania se comercializa en más de 350 estaciones de servicio, siendo normal su uso en los cruceros turísticos que navegan sus lagos.

Argentina presenta importantes ventajas para la elaboración de biodiésel: en casi la totalidad de su territorio se presenta algún producto agropecuario para la transformación en aceite: soja, girasol, maní, colza, palma, lino, cártamo, nabo, aceites usados, grasa animales y otros cultivos no oleaginosos cuya semilla pueda contener aceite, ejemplo: algodón. En Perú, similares esfuerzos se han llevado a cabo en la Universidad

Nacional Agraria de La Molina y hoy en día en la Universidad Nacional del Callao.

**Cuadro N° 2: Norma de la Unión Europea**

<b>NORMA DE LA UNION EUROPEA</b>	
<b>CRITERIOS</b>	<b>BIODIÉSEL (EN 14214)</b>
Densidad a 15 °C (g/cm <sup>3</sup> )	0,86 – 0,90
Viscosidad a 40 °C (mm <sup>2</sup> / s)	3,5 – 5,0
Punto flash ° C	> 101
Azufre (% en masa)	< 0,01
Ceniza de azufre (% masa)	0,02
Agua (mg/Kg)	< 500
Residuo de carbono (% peso)	< 0,03
Contaminación total (mg/ Kg)	< 24
Corrosión de cobre 3h / 50 °C	CLASE 1
Número de cetano	51
Metanol (% masa)	< 0,2
Contenido de Ester (% masa)	> 96,5
Monoglicéridos (% masa)	< 0,8
Diglicéridos (% masa)	< 0,2
Triglicéridos (% masa)	< 0,4
Glicerol libre (% masa)	< 0,02
Glicerol total (% masa)	< 0,25
Numero de yodo	120
Fósforo (mg / Kg)	< 10

*Fuente: MORRIS R.E, POLLACK A.K., MANSELL G.E, LINDHJEM C., IMPACT OF BIODIESEL FUELS ON AIR QUALITY AND HUMAN HEALTH – SUMMARY REPORT SEPTEMBER 16, 19999*

### **2.3.2 Biodiésel como alternativa en el Perú**

Presentándose como una oportunidad para reemplazar progresivamente parte de la importación de diésel y reducir la contaminación ambiental generando al mismo tiempo nuevas oportunidades de desarrollo agrícola y agroindustrial en nuestro país.

El biodiésel es importante no sólo porque constituye un elemento de desarrollo del agro peruano a través del desarrollo de cientos de empresas agroindustriales sino además un elemento importante para descontaminar las principales ciudades del país como es el caso de Lima ha llegado a ubicarse como una de las ciudades más contaminadas del mundo. De acuerdo a estudios realizados por CONAM, las sustancias contaminantes son de 2828 Kg/hora, y que de no tomarse acciones urgentes llegaría en el 2008 a 5414 Kg/hora. Dicha contaminación se reduciría significativamente al cambiar el uso de diésel por el biodiésel.

El Perú es un creciente importador de diésel se estima que para el 2010 debemos estar importando 10 millones de barriles anuales y ello constituye una base de desarrollo para el biodiésel muy importante. Por otro lado el Instituto Peruano de Generación de Empleo y Protección al Medio Ambiente que viene promoviendo en el Perú el uso del biodiésel ha sustentado el desarrollo de empresas agroindustriales tanto en base de fruto de la palma como de soya con producciones de aceites comestibles, biodiésel, glicerol, sorgo o maíz, alimentos balanceados en donde se exonera de pago de impuestos al biodiésel y el Estado recauda más impuestos por la venta de los otros productos.

Asimismo se tiene un potencial de desarrollo de cultivos alternativos en selva como la palma aceitera para la producción del biodiésel. El biodiésel recicla el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis de las

plantas contribuyendo a detener el efecto invernadero que genera la combustión de combustibles fósiles.

Considerando que la reducción total de emisiones anuales es de 631 mil 333 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente para una producción de 138 millones de litros anuales de biodiésel tendríamos que la reducción anual de emisiones sería 4,57 ton de CO<sub>2</sub> equivalente por m<sup>3</sup> de biodiésel.

El precio para valorizar la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitido en razón a la sustitución de combustibles fósiles es de aproximadamente USD 5 con tendencia creciente, el ingreso adicional por este concepto alcanzaría un monto de 0,023 USD / litro de biodiésel producido. Asumiendo una producción anual inicial de 138 millones de litros de biodiésel, los ingresos potenciales serían de USD 3,17 millones anuales.

## **2.4 MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL**

### **2.4.1 Aceites y Grasas**

Las materias primas que se pueden emplear en la obtención de biodiésel son muy variadas y pueden clasificarse en:

#### **Aceites Vegetales**

La cantidad de aceite que el mundo entero consume cada año se estima en 47 millones de toneladas, de esta cifra, aproximadamente entre 8 y 14 millones de toneladas vuelven al medio ambiente, por ello, cada día las normas ambientales son cada vez más restrictivas y prohíben el desecho de

éstos. Estas normativas tienden a promover el empleo prioritario de aceites de origen vegetal por parte de la industria y del sector automotriz. Una de las primeras dificultades que se presentaron con la utilización de los aceites vegetales fue su bajo nivel de desempeño en la lubricación de elementos de máquinas, lo que daba lugar, que ha pesar de ser biodegradables, producían el fallo prematuro de dichos mecanismos.

Los aceites vegetales más importantes representan algunas deficiencias en mayor ó menor grado relacionadas con su estabilidad a la oxidación, resistencia a bajas temperaturas y a la hidrólisis. La estabilidad oxidativa de un aceite vegetal se puede medir evaluando su consumo de oxígeno, aumento de la viscosidad y el incremento en el Número Acido (AN). La naturaleza química de los aceites vegetales involucra una molécula de triglicéridos y tres enlaces estéricos en los cuales una variedad de ácidos grasos saturados ó poli-insaturados son esterilizados para formar una base de glicerol.

#### **Semillas y frutos que abundan en nuestro país y que producen aceites.**

Dado que la materia prima principal es el aceite vegetal, el biodiésel se convierte en un factor sobresaliente para promover el desarrollo regional. Los aceites vegetales que pueden emplearse son muy variados de tal forma que dependiendo del lugar de producción que se seleccione puede encontrarse el cultivo idóneo para el clima específico de la localidad, desde

la jojoba para climas desérticos hasta el aceite de coco y palma para los climas tropicales.

El Perú cuenta con muchas especies de plantas oleaginosas, algunas cultivadas desde la prehistoria. Cabe recordar que el propio maní (*Arachis hipogea*) usado por Diésel se cultivaba hace más de 5000 años en el Perú. Las más importantes plantas, entre nativas e introducidas, podemos citar: La palma aceitera (*Elaeis guineensis*), el aguaje (*Mauritia flexuosa*), la andiroba (*Carapa guinensis*), el babassu (*Orbignya phalerata*), la castaña (*Bertholletia excelsa*), la higuera (*Ricinus comunis*), el metohuayo (*Caryodendron orinocense*), la antes mencionada palma aceitera (*Elaeis guineensis*), el piñón blanco (*Jatropha curcas*), el pijuayo (*Bactris gasipaes*), el sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), la ucuuba (*Virola surinamensis*) y el umarí (*Poraqueiba sericea*). Aceites de semillas oleaginosas: girasol, colza, soja y coco. Aceites de frutos oleaginosos: palma. Aceites de semillas oleaginosas alternativas: *Brassica carinata*, *Camelina sativa*, *Pogonius*. Aceites de semillas oleaginosas modificadas genéticamente: Aceite de girasol de alto oleico.

Entre las plantas arriba mencionadas se puede resaltar la palma aceitera que gracias a un esfuerzo del Instituto de Recursos Naturales (INRENA) cuenta con un Mapa del Sistema Agro Ecológico de esta especie. En éste se registra un total de 1'405,000 has. potenciales para su cultivo. Además, existe un Comité Técnico creado por Resolución Ministerial 0488-2005-AG para la Promoción de la Cadena Productiva de la Palma Aceitera.

En el Perú, el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de los Biocombustibles (Decreto Supremo 013-2005-EM) ha establecido en su artículo 8 el contenido de 5% para el biodiésel Ecológico. Asimismo, este debe ser comercializado a partir del 01 de Enero del 2008 en algunas regiones amazónicas como Amazonas, Huanuco, Loreto, Ucayali y San Martín y en el resto del país a partir del 01 de Enero del 2010.

Se viene investigando el potencial de diversas plantas oleaginosas para la producción de biodiésel a partir de cultivos. En el mundo los cultivos más usados para la producción de biodiésel son la colza, la soya, el girasol y la palma aceitera (esta última declarada en el Perú como cultivo de interés nacional por Resolución Suprema. En el Perú no se cultiva la cánola pero la "Sierra Exportadora" plantea promoverla.

**Cuadro N° 3: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES VEGETALES**

<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES VEGETALES</b>			
<b>TIPO DE ACEITE VEGETAL</b>			
<b>Propiedades físicas</b>	<b>Saturado</b>	<b>Monoinsaturado</b>	<b>Poliinsaturado</b>
<b>Estabilidad a la oxidación</b>	E	MB	MB
<b>Fluidez a bajas Temperaturas</b>	D	B	B
<b>Estabilidad Hidrolítica</b>	M	MB	MB
<b>Índice de Viscosidad</b>	130	130	200
<b>E: Excelente ; MB: Muy Bueno ; B: Bueno ; M: Moderado ; D: Deficiente</b>			

Fuente: DALY A. (2003) LA INDUSTRIA OLEAGINOSA PERUANA:  
[http://www.minag.gob.pe/proama\\_expo.shtml](http://www.minag.gob.pe/proama_expo.shtml)

## ACEITE DE SOYA

El aceite de soya es un aceite vegetal que procede del prensado de la soya (*Glycine max*), este aceite es abundante en ácidos grasos poliinsaturados. Los tres mayores productores de aceite de soya, por orden de producción son: EEUU, Brasil y Argentina, seguido de nuestro país. El aceite de soya es el de mayor producción mundial, superando a los aceites de colza, palma y girasol.

En los últimos años, y a consecuencia del florecimiento de la industria del biodiésel, se está potenciando el consumo de grasas vegetales, en concreto el aceite de colza, aceite de girasol, aceite de soja y aceite de palma.

### CUADRO Nº 4: COMPOSICIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS

SATURADOS	INSATURADOS
ácido láurico contiene trazas	ácido palmitoléico contiene trazas
ácido mirístico contiene trazas	ácido oléico 22.0%
ácido palmítico 11.0%	ácido linoléico 54.0%
ácido esteárico 4.1%	ácido linolénico 7.5%
ácido araquidónico contiene trazas	

Fuente: LEHENINGER, A. L., 1976. *CURSO BREVE DE QUÍMICA*. OMEGA, BARCELONA, 447 PP. ISBN 84-282-0445-4. Pág 16

A nivel mundial la producción de aceite de soya durante el año 2001 fue de 6,2 billones de galones, de los cuales la mitad fue producida en los Estados Unidos. Los aceites de soya se utilizan como fluidos hidráulicos en tractores, así como en la industria alimenticia, aceites para engranajes, aceites para compresores y para transformadores. En la actualidad se está

experimentando con estos aceites para formular aceites de dos tiempos y fluidos para corte de metales.

### **ACEITE DE COLZA Y ACEITE DE CANOLA**

La colza, canola o nabicol (*Brassica napus*), son una planta de cultivo de la familia de las Brassicaceae con flores de color amarillo brillante. El aceite de colza es un glicérido (triesteres de glicerina, 1, 2, 3-trihidroxipropanol y los ácidos oleico, linoleico y linolenico, ácidos mono, di y tri insaturados C-18 respectivamente). El glicérido también contiene cantidades variables de grupos esteres derivados del ácido erúdic (un ácido monoinsaturado C-22). El aceite de colza se extrae de las semillas de la Brassica Campestris mediante un proceso de descascarado al vapor, posteriormente se desgoma, se refina con vapor, se blanquea mediante la utilización de tierras activadas con ácidos y se desodoriza. Finalmente mediante la hidrogenación se obtiene un aceite resistente a la oxidación y a la degradación térmica. El aceite de colza tiene una viscosidad de 36 cst a 4,4 °C.

Se cultiva por todo el mundo para producir forraje, aceite vegetal para consumo humano y biodiésel. Los principales productores son la Unión Europea, Canadá, Estados Unidos, Australia, China y la India. En la India ocupa un 13% del suelo cultivable. El aceite de colza, en estado natural, contiene ácido erúsico y glucosinolatos que son medianamente tóxicos en dosis altas.

La canola según la variedad utilizada y disponibilidad de agua prospera bajo diversas condiciones ecológicas y es tolerante a heladas. Hasta la fase de roseta puede soportar hasta 3 °C bajo cero y hasta 0 °C en la floración (primeros 100 días), por lo que representa una opción para aquellas regiones como: Ayacucho, Huancavelica, Cuzco, Cajamarca y Puno siempre que se siembre en primavera.

### **ACEITE DE GIRASOL**

El aceite de girasol es un aceite de origen vegetal que se extrae del prensado de las semillas de la planta *Helianthus annuus*, *girasol*. Técnicamente se trata de un conjunto de grasas insaturadas, cardiosaludables (posee cantidades similares de ácido oleico comparado con el aceite de oliva), y fuente abundante de vitamina E, se considera también un potente antioxidante.

Es nativa de América y fue cultivada probablemente hacia el 1000 a.C. y desde ahí, los españoles la exportaron a Europa al principio del siglo XVI industrialmente. El aceite se emplea como combustible biológico para producir biodiésel de automóviles con motor diésel. Es una alternativa viable a las gasolinas y gasóleos (junto con el Aceite de colza y otros).

### **ACEITE DE JOJOBA**

La Jojoba (*Simmonsia chinensis*) es una planta arbustiva originaria de los desiertos de Sonora entre la frontera de México y Estados Unidos y de Mojave en California, Arizona, Utah y Nevada en Estados Unidos. Este

aceite vegetal no es un triglicérido sino un éster simple derivado de ácidos de hidrocarburos de cadena recta C-20 y C-22 y de alcoholes. El aceite de jojoba se caracteriza por su elevada resistencia a la degradación bacteriana, lo cual permite almacenarlo durante varios años sin que se vuelva rancio. La viscosidad de este aceite cambia muy poco con la presión, lo cual ha permitido que en la actualidad se esté experimentando con este aceite en sistemas hidráulicos de alta presión.

Se ha estudiado asimismo la estabilidad del aceite durante su almacenamiento a temperatura ambiente y durante el calentamiento. Esta especie despertó un gran interés mundial debido a sus múltiples aplicaciones que de ella se obtienen.

Los principales países productores son Argentina (7000 ha) Israel (700 ha), Estados Unidos (2000 ha), Australia (500 ha), Perú (300 ha), México, Egipto, India.

Se sabe que al contrario de otras especies foráneas, la jojoba ha demostrado ser muy adaptable y productiva fuera de su hábitat natural, como ya ha sucedido en Argentina, Perú, Chile, Australia, Israel, Colombia, Madagascar, India, Egipto, etc. Nunca ha habido problema para su comercialización. La demanda está muy por encima de la oferta de unas 300.000 toneladas anuales.

## ACEITE DE RICINO

El aceite de ricino se obtiene a partir de la planta *Ricinus communis*. Estos contienen aproximadamente un 40 – 50 % del aceite. El aceite a su vez contiene el 70 – 77 % triglicéridos del ácido ricinoleico. En contra de las propias semillas no es tóxico.

También conocido como aceite de higuera, está constituido en un 90% por el ácido ricinoleico que es un ácido monoinsaturado de 18 carbonos con un sustituyente hidróxido. Si bien el ricino es sumamente tóxico para los seres humanos, el aceite de ricino se usa como un componente "no tóxico" en los aceites de corte y en los lubricantes para la laminación del acero a altas temperaturas y en otros líquidos para trabajos con metales. La viscosidad del aceite de ricino es de 6,8 CST a 20 °C. La versión oxidada y esterificada del aceite de ricino se usa como lubricante en la industria de la aviación. Desde los tiempos muy antiguos se utiliza la planta de ricino con fines medicinales. Antiguamente se utilizaba también como combustible. Actualmente se baraja su aplicación en la elaboración de biodiésel.

**Cuadro N° 5: PRODUCCIÓN DE VEGETALES OLEAGINOSOS EN EL MUNDO**

<b>PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITES VEGETALES DURANTE EL AÑO 2007</b>	
<b>TIPO DE ACEITE VEGETAL</b>	<b>MILLONES DE TONELADAS MÉTRICAS</b>
Colza	4,0
Girasol	4,5
Soya	8,0
Palma	4,0
Maní	4,0

Algodón	3,0
Coco	3,0
Olivo	2,0

Fuente: FREEDMAN B., PRYDE E.H., MOUNTS T.L (2007) YIELDS OF FATTY ESTERS FROM TRANSESTERIFIED VEGETABLE OILS, Pág: 163

### Cuadro N° 5: FRUTOS QUE DAN ORIGEN AL ACEITE VEGETAL

FRUTOS QUE DAN ORIGEN AL ACEITE VEGETAL Y SU RENDIMIENTO EN LITROS POR HECTÁREA		
Nombre común	Nombre científico	L /Hect.
Soya	<i>Glicine max</i>	420
Arroz	<i>Oriza sativa</i>	770
Tung	<i>Aleurites fordii</i>	880
Girasol	<i>Helianthis annuus</i>	890
Maní	<i>Arachis hiogaea</i>	990
Colza	<i>Brassica napus</i>	100
Ricino	<i>Ricinos communis</i>	1320
Jatropa	<i>Jatropha curcas</i>	1590
Aguacate	<i>Persea americana</i>	2460
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	2510
Cocotero	<i>Acrocomia acualeata</i>	4200
Palma	<i>Elaeis guineensis</i>	5550

Fuente: FREEDMAN B., PRYDE E.H., MOUNTS T.L (1984) YIELDS OF FATTY ESTERS FROM TRANSESTERIFIED VEGETABLE OILS, Pág: 164

La ecuación económica del biodiésel dependerá también del tipo de residuo sólido que la extracción del aceite genera. Si este residuo es apto para uso humano, o para alimentos balanceados, el costo del aceite vegetal será proporcionalmente menor. Si por el contrario sólo sirve para ciertos alimentos balanceados, o para uso industrial y/o fertilizante, entonces el costo del aceite vegetal será mayor.

#### **2.4.1.1 Propiedades de las grasas y aceites vegetales como Combustibles.**

Los aceites tienen como principales propiedades la viscosidad, lubricidad, película resistente y protección contra grandes presiones reducen la fricción, transportan el calor, protegen contra la oxidación, contra la suciedad, transmiten potencia, sirven como aislantes eléctricos. La mayor viscosidad (mucho mayor) del aceite vegetal respecto al diésel normal proveniente del petróleo. Se calienta el aceite para que los inyectores puedan pulverizarlo bien. Si no está bien pulverizado no arde bien y forma depósitos en los inyectores y en los cilindros, empeora el rendimiento, aumenta las emisiones contaminantes y acorta la vida del motor. El índice de yodo en los aceites tiene que ser controlado de lo contrario puede formar restos epóxicos malos para los motores. Con las altas temperaturas que suele haber en los motores de combustión interna el proceso se acelera y el motor puede engomarse rápidamente con el aceite polimerizado.

El aceite vegetal desacidificado se puede usar como combustible en un motor diésel. El aceite sin refinar debe ser desgomado y desacidificado. El aceite no debe contener agua. El aceite debe ser filtrado según las especificaciones de la bomba de inyección. Es recomendable poner filtros adicionales. El último filtro debe ser del mismo tipo que el filtro original. El filtro debe ser preferiblemente 5 micrones o menos.

#### **2.4.1.2 Aceite Vegetal utilizado como combustible Diésel**

Los aceites vegetales en el mundo se vienen usando desde épocas tan remotas como el período Neolítico, y en épocas más recientes durante la I y II Guerra mundial, en las cuales se utilizaron no solamente como lubricantes, sino también como combustibles; el embargo petrolero en 1973 por parte de los países productores de petróleo incentivó el uso de aceites vegetales en los diferentes sectores productivos de los países importadores de petróleo. Los aceites combustibles son una variedad de mezclas líquidas de color amarillento a pardo claro provenientes del petróleo crudo, o de sustancias vegetales (biodiésel biocombustibles). Ciertas sustancias químicas que se encuentran en ellos pueden evaporarse fácilmente, en tanto otras pueden disolverse más fácilmente en agua.

Los lubricantes vegetales ó "verdes" como también se les conoce, son derivados de semillas vegetales sujetas a una producción agraria, lo que permite concluir que su disponibilidad en el tiempo depende de fuentes renovables e inagotables de materias primas, contrario a lo que sucede con los lubricantes derivados del petróleo, cuya existencia en el futuro es incierta y limitada.

Los lubricantes vegetales se caracterizan por ser biodegradables ya que son capaces de degradarse como mínimo en un 80% en un plazo máximo de 21 días. En el caso de los aceites de tipo automotriz, el consumo de aceite vegetal por evaporación es muy bajo y apenas alcanza el 3,5%, lo cual representa una cuarta parte del límite superior estipulado por la ACEA

(Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) que es del 15%; por otra parte la baja viscosidad de estos aceites en el momento de la puesta en marcha del motor permite su rápida distribución por todas las partes internas del motor

### 2.4.1.3 Ácidos Grasos

#### Ácido Palmítico

El ácido palmítico (aceite de origen vegetal obtenida del mesocarpio de la fruta de la palma *Elaeis (E. guineensis)*), es un ácido graso saturado de cadena larga, formado por dieciséis átomos de carbono. Su fórmula química es  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ . (Ácido hexadecanoico). Es el primer ácido graso que se produce durante la lipogénesis y a partir de él se pueden formar otros ácidos grasos de cadena más larga. Durante el catabolismo, la oxidación total de un mol de ácido palmítico produce en energía química, 129 moles de ATP. Este aceite es considerado como el segundo más ampliamente producido sólo superado por el aceite de soja.

Durante la Segunda Guerra Mundial se usaron derivados del ácido palmítico para la producción de NAPALM. Se usa como materia prima en la producción de biodiésel.



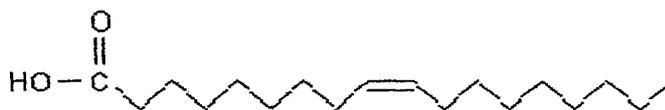
### *Propiedades Físicas:*

<b>Apariencia</b>	Sólido blanco.
<b>Solubilidad</b>	Insoluble en agua, Soluble en acetona y triclorometano.
<b>Masa molecular</b>	256,4 uma
<b>Punto de fusión</b>	63 °C
<b>Punto de ebullición</b>	351 °C
<b>Gravedad específica</b>	0,85

*Fuente: Elaboración propia*

### **Ácido Oleico**

El ácido oleico es un tipo de grasa monoinsaturada típica de los aceites vegetales como el aceite de oliva, del aguacate, etc. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y hepáticas. Su fórmula química es  $C_{18}H_{34}O_2$  ó su forma desarrollada  $CH_3 (CH_2)_7CH=CH (CH_2)_7COOH$ . Su nombre IUPAC es ácido cis-9-octadecaenoico, y su nombre de taquigrafía de lípido es 18:1 cis-9. La forma saturada de este ácido es el ácido esteárico.



El ácido oleico comprende un 55–80% del aceite de oliva y un 15–20% del aceite de semilla de uvas.

### *Propiedades Físicas:*

<b>Apariencia</b>	Líquido aceitoso de color amarillo pálido o marrón amarillento con olor parecido a la manteca de cerdo.
<b>Solubilidad</b>	Insoluble en agua
<b>Masa molecular</b>	282 uma
<b>Punto de fusión</b>	15,3 °C
<b>Punto de ebullición</b>	360 °C
<b>Gravedad específica</b>	0,895

*Fuente: Elaboración propia*

El ácido oleico fue desarrollado para combinar las propiedades buenas tanto de ácido como del oleico es más ligero en color y tiene un grado de ácidos más bajo de resina que de ácido oleico. Este alto ácido graso es utilizado en fluidos de trabajos metalúrgicos, aditivos lubricantes, resinas alcaloides, aceites en el campo de la química, emulsificadores asfálticos, limpiadores especiales para la industria y el hogar, plastificadores y lubricantes de pintura textil. Sirve para la fabricación de jabón en pasta, grasas, pinturas, resinas de goma y aceites sulfonados.

### **Ácido Esteárico:**

El ácido esteárico es un ácido graso saturado proveniente de aceites y grasas animales y vegetales. Es un sólido parecido a la cera; su fórmula química es  $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ . Su nombre IUPAC es ácido octadecanoico.



Se prepara tratando la grasa animal con agua a una alta presión y temperatura. También se puede obtener de la hidrogenización de los aceites vegetales. Algunas de sus sales funcionan como tensoactivos (principalmente de sodio y potasio). Es muy usado en la fabricación de velas, jabones y cosméticos.

***Propiedades Físicas:***

<b>Apariencia</b>	Sólido, duro, blanco o un tanto amarillento y algo vidrioso y cristalino, o polvo blanco o blanco amarillento con olor y sabor sugestivo a sebo.
<b>Peso molecular</b>	284.48 uma
<b>Punto de ebullición</b>	361 °C
<b>Punto de fusión</b>	69 °C

*Fuente: Elaboración propia*

También llamado Ácido Octodecílico, Consiste principalmente de una mezcla de ácidos palmítico y esteárico. Pequeñas masas de cristales o polvo blancos o ligeramente amarillos. En conjunto constituyen el 90% del contenido total. El contenido de cada uno no es menor del 40% del total.

El ácido esteárico purificado es una mezcla de los mismos ácidos, que en conjunto constituyen no menos del 96% del contenido total y el contenido de ácido esteárico en no menor del 90% del total. El ácido esteárico se suele preparar a partir del sebo de vaca o de carnero. La grasa se saponifica, el

jabón se trata con un ácido, y los ácidos grasos liberados se prensan para eliminar el ácido oleico líquido. Se usa como coadyuvante para emulsiones y lubricante de comprimidos.

El ácido esteárico también se usa en comprimidos con cubierta entérica, ungüentos y muchos otros productos comerciales, como cremas de tocador, cremas evanescentes, alcohol solidificado, etc. En cosméticos y farmacéutico en preparación de bases de cremas. En fabricación de velas.

### **Ácido Linoleico**

Es un ácido graso esencial para el organismo humano, lo cual quiere decir que el organismo no puede sintetizarlo y tiene que ser ingerido por la dieta. Es un ácido graso insaturado, más concretamente poliinsaturado (dos dobles enlaces) y perteneciente al grupo omega-6 (primer enlace de hidrógeno en el carbono 6). Es ampliamente usado en la industria de los condones, en alimentos industrialmente procesados una parte de este ácido debe ser saturado con hidrógeno para que el alimento sea más estable, lo que hace que se originen "grasas hidrogenadas" y de "configuración trans", que en nuestro organismo se comportan como las grasas saturadas.

#### **2.4.2 Alcohol**

Los alcoholes tienen diversos usos en la industria y en la ciencia, como solventes y combustibles. El etanol y el metanol pueden hacer combustionar de una manera más limpia que la gasolina o el gasoil. Por su baja toxicidad y disponibilidad para disolver sustancias no polares, el etanol

es utilizado frecuentemente como solvente en fármacos, perfumes etc. Los alcoholes sirven frecuentemente como versátiles intermediarios en la síntesis orgánica.

Respecto a estos alcoholes necesarios para producir el biodiésel: metanol o etanol, ambos pueden obtenerse a partir de productos agrícolas, el etanol sobre todo por vía fermentativa. Actualmente el metanol que se obtiene como derivado petrolífero o del gas y posee un valor de mercado muy conveniente siendo aquel más utilizado en este proceso productivo. Ambos alcoholes es necesario que sean totalmente anhidros, para su mejor trabajo.

#### **2.4.2.1 Alcohol Metílico**

El metanol, también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. Es un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

La estructura química del metanol es muy similar a la del agua, con la diferencia que el ángulo del enlace C–O–H en el metanol ( $108.9^\circ$ ) es un poco mayor que en el agua ( $104.5^\circ$ ), porque el grupo metilo es mucho mayor que un átomo de hidrógeno.

*Propiedades Físicas y Químicas:*

<b>Estado de Agregación</b>	Líquido
<b>Apariencia</b>	Incoloro
<b>Densidad</b>	0.7918 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masa Molecular</b>	32.04 uma
<b>Punto de Fusión</b>	176 K (- 97.15 °C)
<b>Punto de Ebullición</b>	337.8 K (64.65 °C)
<b>Solubilidad en Agua</b>	Totalmente soluble
<b>Punto de inflamación</b>	12,2 ° C

*Fuente: Elaboración propia*

De los puntos de ebullición y de fusión se deduce que el metanol es un líquido volátil a temperatura y presión atmosférica. Esto es destacable ya que tiene un peso molecular similar al del etanol (30 g/mol), y éste es un gas en condiciones normales. La causa de la diferencia entre los puntos de ebullición entre los alcoholes y los hidrocarburos de similares pesos moleculares es que las moléculas de los primeros se atraen entre sí con mayor fuerza. Igualmente el metanol es muy buen solvente de sustancias polares, pudiéndose disolver sustancias iónicas como el cloruro de sodio en cantidades apreciables. Es considerado como un producto o material inflamable de primera categoría; ya que puede emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire, originan mezclas combustibles. El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente. Durante mucho tiempo fue usado como combustible de autos de carrera. Al ser considerado como

inflamable de primera categoría, las condiciones de almacenamiento y transporte deben ser extremas.

Tiene varios usos. Es un disolvente industrial y se emplea como materia prima en la fabricación de formaldehído. También se emplea como anticongelante en vehículos, disolvente de tintas, tintes, resinas y adhesivos. Es utilizado como combustible, principalmente al juntarlo con la gasolina. Sin embargo, ha recibido menos atención que el etanol porque tiene algunos inconvenientes. Su principal ventaja es que puede ser fabricado fácilmente a partir del metano (el principal componente del gas natural) así como por la pirolisis de muchos materiales orgánicos. A diferencia del etanol, el metanol es un producto tóxico; causa dolor de cabeza, mareo, náusea, vómitos, la exposición extensa a él podría provocar daños irreversibles como pérdida de la visión llegando incluso a la ceguera. Una exposición crónica puede ser causa de daños al hígado o de cirrosis. A concentraciones elevadas causa la muerte. Sin embargo el metanol a pesar de ser tan tóxico es muy importante en la fabricación de medicinas.

La exposición máxima permitida en los EE.UU. en el aire (40 h/semana) es de 1900 mg/m<sup>3</sup> para el etanol, de 900 mg/m<sup>3</sup> para la gasolina, y de 260 mg/m<sup>3</sup> para el metanol

#### **2.4.2.2 Alcohol Etilico**

El etanol, o alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 ° C. Al mezclarse

con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica con un contenido de aproximadamente el 96 % de etanol. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ , principal producto de las bebidas alcohólicas. En el presente trabajo se ha utilizado alcohol absoluto (100 %).

***Propiedades Físicas y Químicas:***

<b>Estado de Agregación</b>	Líquido
<b>Apariencia</b>	Incoloro
<b>Densidad</b>	810 Kg./m <sup>3</sup> ; (0,810 g/cm <sup>3</sup> )
<b>Masa Molecular</b>	46,07 uma
<b>Punto de Fusión</b>	158.9 K (- 114.25 °C)
<b>Punto de Ebullición</b>	351.6 K (78.45 °C)
<b>Temperatura Crítica</b>	514 K (240.85 °C)
<b>Presión Crítica</b>	63 atm
<b>Acidez (pKa)</b>	15,9
<b>Solubilidad en agua</b>	Miscible

***Fuente: Elaboración propia***

El alcohol etílico es un líquido incoloro y volátil que está presente en diversas bebidas fermentadas. Desde la antigüedad se obtenía el etanol por fermentación anaeróbica de una disolución con contenido en azúcares con levadura y posterior destilación. Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en una mezcla con benceno o ciclohexano. De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que el etanol se queda retenido, el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales. Es un buen disolvente, puede utilizarse como anticongelante. Se emplea como

combustible industrial y doméstico. En el uso doméstico, se emplea el alcohol de quemar. Éste además contiene compuestos como la piridina o el metanol, que impiden su uso como alimento, La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, etc.), el éter dietílico. En Brasil se añade etanol a la gasolina para bajar la importación de petróleo, dando lugar a laalconafta. Este país es uno de los principales productores (con 18 mil millones de litros anuales), con esto reducen un 40 % de sus importaciones de crudo. Esta última aplicación se extiende también cada vez más en otros países para cumplir con el protocolo de Kyoto. Estudios del Departamento de Energía de USA dicen que el uso en automóviles reduce la producción de gases de invernadero en un 85%, también se aprovechan sus propiedades desinfectantes.

### 2.4.3 Soda Cáustica

El hidróxido sódico (NaOH) o hidróxido de sodio, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica.

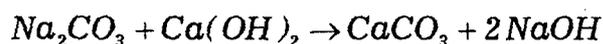
#### *Propiedades Físicas y Químicas:*

Estado de Agregación	Sólido
Apariencia	Blanco
Densidad	2100 Kg./m <sup>3</sup>
Masa molecular	40,0 uma
Punto de fusión	596 K (322.85 ° C)
Punto de ebullición	1663 K (1389.85 ° C)

*Fuente: Elaboración propia*

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%.

En su mayor parte la soda cáustica se obtiene en la electrólisis cloro-álcali. Sin embargo, se obtiene una pequeña parte por caustificación de carbonato de sodio. Se calienta una solución de carbonato de sodio con la cantidad correspondiente de cal apagada (hidróxido de calcio) así precipita el carbonato de calcio insoluble y en la solución queda hidróxido de sodio.



El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Por ejemplo, es ampliamente utilizado en la fabricación de papel (Preparación de la pulpa), en la fabricación de jabón y aceites (base de algunas grasas lubricantes convencionales), en la industria textil (se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado), revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos explosivos, tinturas y productos de metalurgia petróleo (Refinación del petróleo, obtención de zinc y aluminio), Tratamientos de agua (Acondicionamiento del pH de aguas residuales, industriales y potables

Regeneración de ciertas resinas de intercambio iónico) y en la fabricación de muchos otros productos químicos (obtención de tenso activos celulósicos, hojas y películas celulósicas, rayón celofán).

Preparación de emulsiones aniónicas bituminosas y de alquitrán de hulla. Preparación de sulfatos, sulfitos y fosfatos de interés industrial, Obtención de hipoclorito de sodio, Acondicionamiento de superficies metálicas, desengrasado y decapado industrial.

Preparación de soluciones desinfectantes y lavadoras. Mezclada con compuestos como el metasilicato de sodio, mercerización de fibras naturales.

Por otro lado la disponibilidad de la materia prima se da en forma oportuna y precios competitivos, el alto rendimiento en la producción de aceites, el requerimiento de suelos tradicionalmente no agrícolas, el bajo requerimiento de agua.

Un trabajo del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) ha determinado que existen 1.13 millones de hectáreas aptas para cultivos que sirvan para elaborar biocombustibles y que están siendo subutilizadas o no utilizadas, informó el ministro del Ambiente, Antonio Brack. Preciso que esas tierras se ubican en las regiones de Loreto, San Martín y Ucayali y son aptas para desarrollar cultivos de productos como jatropha y palma aceitera, que sirven para la elaboración de biodiesel.

El presidente de Petroperú, César Gutiérrez, estimó que en tres años a partir del presente año, se podría abastecer al 100 por ciento a las plantas de biodiesel que hay en Perú con cultivos locales que sirvan para la elaboración de aceite vegetal que se usa para la elaboración de dicho biocombustible. “Por lo menos va a pasar entre dos y tres años para que Perú se autoabastezca de insumos para la producción de biodiesel porque hay capacidad en demasía en las plantas de producción de biodiesel en base a aceite”.

La empresa estadounidense Pure Biofuels inauguró su planta de producción de biodiésel, ubicada en el distrito de Ventanilla (Callao), que tendrá una capacidad de producción de 52 millones de galones por año. Esta es la segunda planta de biodiésel que opera en el Perú, ya que el pasado 31 de enero Heaven Petroleum Operators, del grupo peruano Herco Combustibles, inauguró su primera planta procesadora y distribuidora de biodiésel en Lurín (al sur de Lima), que produce 120 mil galones diarios de biodiésel Heaven HB100.

En tres años Perú podrá autoabastecerse de biodiesel para cumplir con los límites obligatorios de mezcla en el diesel 2 de uso local, gracias a la ampliación de las áreas cultivadas de palma aceitera por todos los palmicultores nacionales. La mezcla de diesel 2 con dos por ciento de biodiesel será obligatoria en Perú a partir del primero de enero del 2009 y en el 2011 este porcentaje se incrementará a cinco por ciento, de acuerdo al

Reglamento de Comercialización de Biocombustibles, aprobado en abril del 2007.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) propuso que la Agencia de Promoción de la Inversión Privada (ProInversión) intervenga en el proceso de saneamiento de los terrenos agrícolas para el desarrollo de los proyectos de biocombustibles. “ProInversión podría desarrollar un trabajo focalizado allí donde vaya el inversionista, y esa tierra se va saneando, buscando una alianza estratégica con la comunidad, para que ésta pueda ser socia de estos proyectos, como ocurre en otros países”, El Instituto Nacional de Recursos Naturales (Inrena) detalla que la Amazonía de Perú tiene un potencial de más de un millón de hectáreas con condiciones aptas para el cultivo de palma aceitera y que puede ser empleada en la elaboración de biodiesel. “Hay agricultores dispuestos a asumir el reto de estos cultivos y hay un mercado en plena expansión, pero necesitamos articular programas de financiación para cumplir con los requerimientos de producción” (10)

---

(10) MERCADO DE ENERGÍA EN EL PERÚ Y EL MUNDO:  
<http://mercadoenergia.com/mercado/category/hidrocarburos/biodiesel>

### **III. PROCESOS DE PRODUCCION DEL BIODIÉSEL**

El proceso de manufactura del biodiésel requiere de una caracterización previa de la materia prima a utilizar, para poder dosificar adecuadamente la cantidad de metóxido o etóxido de sodio.

Cantidades menores a la estequiométrica provocarían pérdidas importantes de aceite; por el contrario, cantidades en exceso del metóxido y etóxido de sodio provocarían pérdida de estos, ya que en el proceso de lavado se eliminan.

Por otro lado, las condiciones de operación son relativamente “suaves”, dado que se opera a presión ambiente y la temperatura de alrededor de 70 ° C, que es fácilmente regulable y controlable. El proceso se puede llevar a cabo en régimen continuo o discontinuo; este procedimiento dependerá mucho del volumen de producción.

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.**

El biodiésel ha sido obtenido por la transesterificación de los ácidos grasos de los aceites vegetales, También de aceites comestibles reciclados ó bien de grasas animales ó combinados en un proceso de bajo costo de producción. Sin embargo a menudo se refiere cada vez más a los ésteres alquílicos de lípidos naturales como son aceites vegetales o grasas animales y no a los aceites o grasas solas, utilizados como combustible en los motores Diésel.

Comúnmente la reacción de transesterificación se realiza con catálisis básica homogénea, lo que requiere condiciones anhidras y materias primas prácticamente

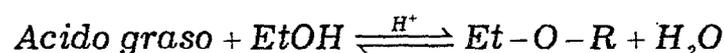
libre de ácidos grasos. Para poder trabajar con materias primas ácidas, es necesario primeramente eliminar los ácidos grasos a valores de acidez menores a 2, preferentemente menores a 1, de lo contrario se producen una formación excesiva de jabones durante la reacción de transesterificación lo cual dificulta el proceso de purificación del biodiésel, además de disminuir el rendimiento del proceso.:

### **Esterificación ácida de los Ácidos Grasos Libres (AGL)**

Para eliminar dichos ácidos grasos se puede someter a la materia prima a una etapa de neutralización, en la cual se pierde una parte de la misma, o bien realizar la esterificación de dichos ácidos grasos, convirtiéndolos en biodiésel y aumentando así el rendimiento del material.

La reacción se lleva a cabo con un alcohol de cadena corta. En este caso se reportarán los resultados con metanol y etanol usando como catalizador ácido sulfúrico.

En estas condiciones la reacción de transesterificación es muy lenta por lo que se considera que prácticamente no ocurre. Se debe utilizar alcoholes anhidros.



Se emplea en motores Diésel de cualquier tipo sin realizar ninguna modificación en los mismos y puede ser mezclada con el diésel oil de origen fósil (petróleo) en

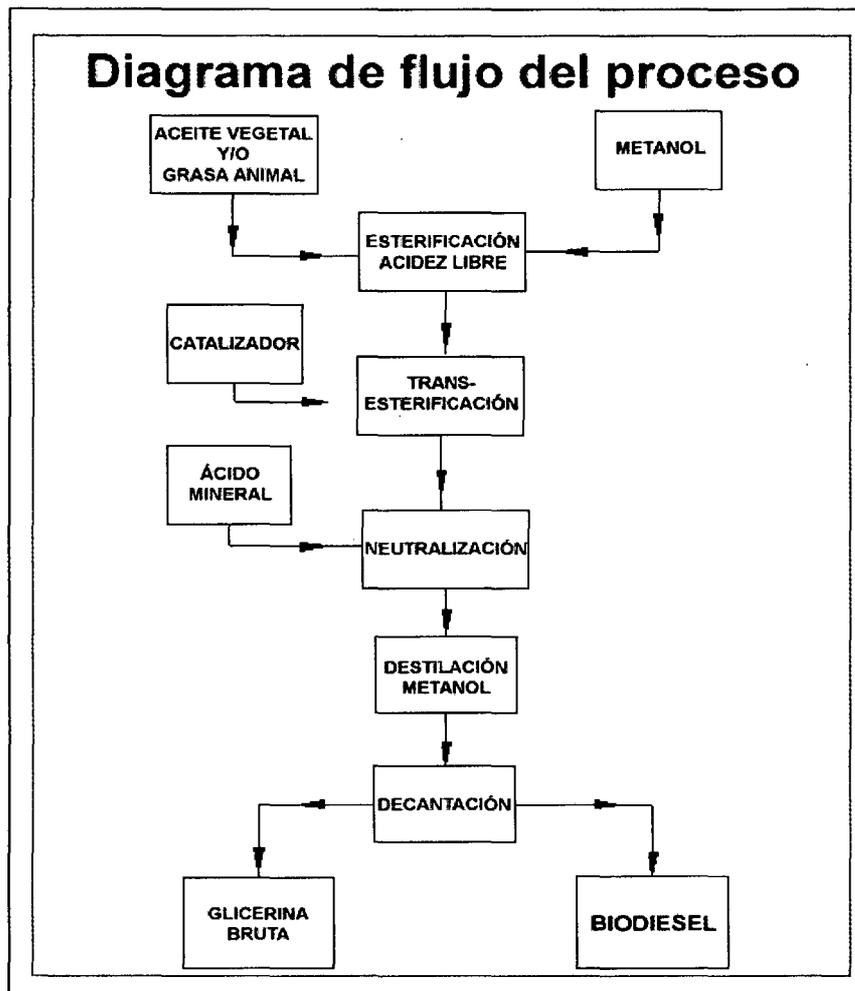
cualquier proporción. Como sustituto total se denomina B100, mientras que otras denominaciones como B5 o B30 hacen referencia a la proporción o al porcentaje (%) de biodiésel utilizado en la mezcla. El biodiésel, se destina a la combustión en motores de ciclo diésel convencionales o adaptados. Se puede obtener en un proceso relativamente simple usando el equipo apropiado.

El impacto medioambiental y las consecuencias sociales de su previsible producción y comercialización masiva, especialmente en los países en vías de desarrollo es objeto de debate entre los especialistas y los diferentes agentes sociales y gubernamentales internacionales. Es un producto energético, ecológico y de alto rendimiento. Se puede utilizar en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, así como en calderas de calefacción, incorporándolo directamente o mezclado con gasóleo. La producción de calor y/o energía eléctrica mediante métodos directos (combustión de la biomasa residual) o mediante métodos indirectos (combustión del biogas producido en la digestión anaerobia de los residuos biodegradables).

Considerando la diferencia entre la energía que produce 1 Kg. de biodiésel y la energía necesaria para la producción del mismo, desde la fase agrícola hasta la fase industrial es positivo al menos en un 30%. Por lo tanto desde el punto de vista energético no agota los recursos de la naturaleza.

### 3.2 DIAGRAMA DEL FLUJO DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la producción del biodiésel usando el metanol o el etanol.



### 3.3 ASPECTOS GENERALES DE BIODIÉSEL OBTENIDOS A PARTIR DE METANOL Y ETANOL

El biodiésel es un éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, alcanza las especificaciones de ASTM (American Society

for Testing and Materials) D6751; define como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diésel. Este combustible de origen vegetal que puede reemplazar al gasoil mineral se presenta en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales, como así también de grasas animales, a través de un proceso denominado *transesterificación*, en el cual el metilester o etilester de los aceites vegetales obtenidos por reacción de los mismos con metanol y etanol respectivamente, produce glicerina como producto secundario. Estos ésteres de los aceites vegetales poseen muchas características físicas y fisico-químicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diésel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor.

*La calidad de este producto está definida por el estándar ASTM D 6751002 y es lo que los concesionarios y seguros requieren. El producto es altamente miscible con el petrodiesel. Hay poca diferencia en la capacidad calorífica entre el petrodiesel y en mezcla de 2% y 20% de diesel y biodiesel. En el laboratorio se han registrados valores entre 16,000 BTU / lbm y 17,000 BTU/ lbm. El valor del pH debe ser mayormente neutral, en el rango de 6.5 a 8.0. Este combustible es más seguro para manejar y transportar que el petrodiesel y su punto de ignición es mayor de 130° C (ASTM D93); no como el diesel que es alrededor de 52° C. (10)*

**Cuadro N° 6: Características de principales procesos para la producción de Biodiésel**

MÉTODO	TRANSESTRIFICACIÓN ALCALINA	ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTRIFICACIÓN ALCALINA	TRANSESTERIFICACIÓN ALCALINA CON ETANOL	TRANSESTRIFICACIÓN ENZIMÁTICA
Alcohol	Metanol	Metanol	Etanol	Metanol
Catalizador	NaOH, KOH ó metilato de sodio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y NaOH, KOH ó metilato de sodio	NaOH, KOH ó metilato de sodio	Lipasas
Razón molar alcohol : aceite	6 : 1	30 – 50 (esterif.) 6: 1 (transestrif.)	9: 1 - 12 : 1	4 : 01
Temperatura (° C)	50 - 80	50 – 80	30 – 70	30 - 40
Presión (bar)	1	1	1	1
Tiempo de reacción (min)	60 - 120	60 + 60	60	720
Sensibilidad a la presencia de agua	Sí	Sí	Alta	No
Sensibilidad a los ácidos grasos libres	Sí	No	Sí	No
Pretratamiento requerido	Neutralización aceite	Esterificación ácida es pretratamiento	Neutralización y secado de aceite	No
Remoción de catalizador	Neutralización y Lavado con agua	Neutralización y lavado con agua	Neutralización y lavado con agua	Filtrado
Remoción de jabones	Lavado con agua	Lavado con agua	Lavado con agua	No necesaria
Rendimiento en biodiésel	96 %	97 %	95 %	95 %
Calidad de glicerol	Baja	Baja	Baja	Alta
Efluentes	Alcalinos - jabonosos	Ácidos y alcalinos - jabonosos	Alcalinos – jabonosos	No hay
Otros	Limitado a aceites de buena calidad, Rendimiento se puede mejorar realizándolo en 2 etapas.	Se requiere equipos resistentes a ácido sulfúrico (caros)	Limitado a aceites de muy buena calidad y etanol anhidro.	Se necesitan cosolventes. Enzimas son caras. Separación por centrifugación.

MÉTODO	TRANSESTERIFICACIÓN CON CATALIZADOR HETEROGÉNEO	TRANSESTERIFICACIÓN SUPERCRÍTICA	TRANSESTERIFICACIÓN SUPERCRÍTICA CON CO- SOLVENTE
Alcohol	Metanol	Metanol	Metanol
Catalizador	Oxido de zinc y aluminio	-	-
Razón molar alcohol : aceite	n/d	42 : 1	24 : 1
Temperatura (°C)	n/d	320	280

Presión (bar)	n/d	400	128
Tiempo de reacción (min)	n/d	5 – 15	5 - 15
Sensibilidad a la presencia de agua	n/d	No	No
Sensibilidad a los ácidos grasos libres	n/d	No	No
Pretratamiento requerido	No	No	No
Remoción de catalizador	Filtrado	No es necesaria	No es necesaria
Remoción de jabones	No es necesaria	No es necesaria	No es necesaria
Rendimiento en biodiésel	98 %		98 %
Calidad de glicerol	Alta (98 % de pureza)	Alta (96,4 % de pureza)	Alta (96,4 % de pureza)
Efluentes	No hay	Agua de refrigeración.	Agua de refrigeración.
Otros	Proceso en dos etapas	Altos costos de inversión y operación, compensados por menor pre – y post – tratamiento.	Requiere cosolvente: propano, altos costos compensados por menos pre y post – tratamiento.

**Fuente: PAULA CASTRO, JAVIER COELLO, LILIANA CASTLLO: OPCIONES PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DEL BIODIÉSEL EN EL PERÚ; SOLUCIONES PRÁCTICAS ITDG; 2007**

### **3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL**

#### **3.4.1 Biodiésel a partir de metanol**

La producción de biodiésel, básicamente, consiste en sustituir la glicerina de las grasas por metanol en presencia de un catalizador alcalino y lograr dos productos por separado: la glicerina y esteres metílicos.

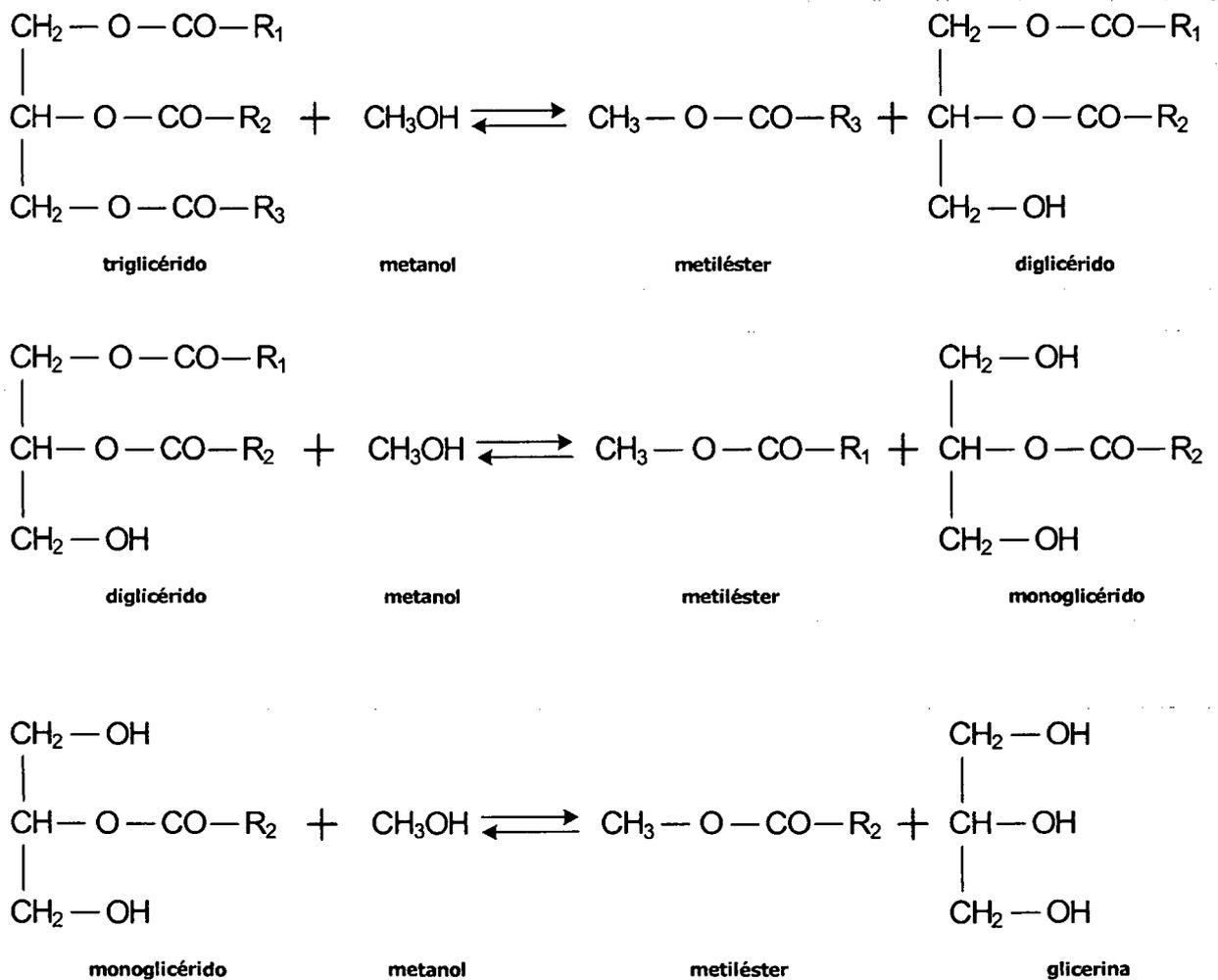
La glicerina, como tal se logra al final del proceso, aproximadamente con una pureza de 80 a 85%, se desvía hacia la industria especializada en este

producto tras ser purificada y tener infinidad de aplicaciones en la industria de la alimentación, química, cosmética, etc.

La tecnología básica de producción consta de un reactor en el cual se lleva a cabo la transesterificación. Por separado se prepara la solución de metóxido de sodio a partir de alcohol metílico de alta pureza, ya que el agua interfiere en la reacción. No se utiliza alcóxido anhidro pues la reacción de dicha sustancia en agua es muy violenta y tiende a la auto ignición. Ésta mezcla fuertemente cáustica es vertida en el reactor principal que contiene los lípidos fundidos. La reacción a menudo se realiza a unos 70° C mezclándose vigorosamente para favorecer una reacción completa. En los procesos industriales más complejos, se procede a separar el biodiésel y la glicerina formados mediante el uso de centrifugas continuas que permiten además remover constantemente los productos de reacción para desplazar la reacción hacia el lado de los productos (logrando un mayor rendimiento). Sin embargo, aún son comunes los procesos por lotes (Batch), en los que transcurridos unos 50 minutos, se procede a una decantación de la glicerina. Luego de separar la misma, el éster es lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados.

En este proceso de transesterificación, los esteres metílicos que forman parte de las grasas y aceites, llamados triglicéridos o esteres de glicerina, reaccionan con el metanol y se obtienen esteres metílicos (biodiésel) y glicerina. Se emplea una base de sodio llamada metóxido como catalizador para acelerar el proceso de transesterificación pues así se reduce el tiempo,

temperatura de proceso y máximo rendimiento en la reacción. Desde el punto de vista químico el biodiésel es una mezcla de los esteres metílicos de los ácidos grasos triglicéridos de los aceites vegetales y /o grasas animales empleados como materia prima. La reacción de transesterificación es la siguiente:



En esta reacción de transesterificadores, los R (radical alquílico) son distintos, por tanto, darán también distintos esteres.

El agua, cabe mencionar, favorece en presencia del catalizador alcalino la formación de jabones. Además, la degradación misma de un aceite produce ácidos grasos libres, y esa acidez debe ser tomada en cuenta a la hora de calcular la masa de catalizador necesaria. Los jabones son perjudiciales no sólo porque contaminan el producto final, sino porque tienden a la formación de emulsiones muy estables. Por esto, debe asegurarse la menor cantidad de agua posible durante el proceso, lo cual implica un secado del aceite (si es aceite usado), y el uso de alcoholes de más del 98,5% de pureza.

Es importante subrayar que la planta de biodiésel produce además glicerol bruto como subproducto (10 % aprox. de la producción de biodiésel). Los esterres metílicos de los ácidos grasos son además un valioso intermedio útil para preparar: Alcoholes grasos (materias primas para la preparación de detergentes aniónicos, emulsionantes, plastificantes, retardantes en la evaporación del agua en cosméticos). Esterres de ácidos grasos que no es posible obtener por esterificación directa, representando por lo tanto un producto muy valioso para producir derivados oleo químico.

### **Proceso de Síntesis**

La decantación de la mezcla, que por sí sola se separará por completo en dos fases (glicerina y éster) al cabo de unas horas. El rendimiento del proceso suele estar cercano al 98-99%. Del porcentaje que ha reaccionado, se forma aproximadamente un 90% de éster y un 10% de glicerina, siguiendo el esquema de la siguiente figura:

### 3.4.2 Biodiésel a Partir de Etanol

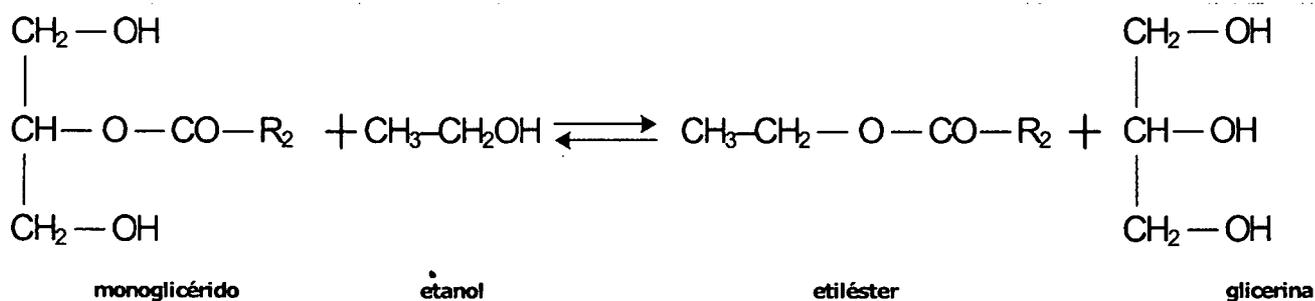
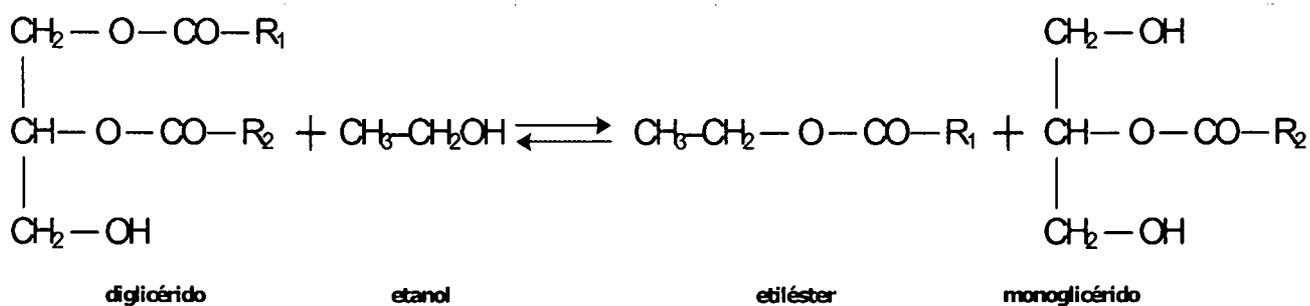
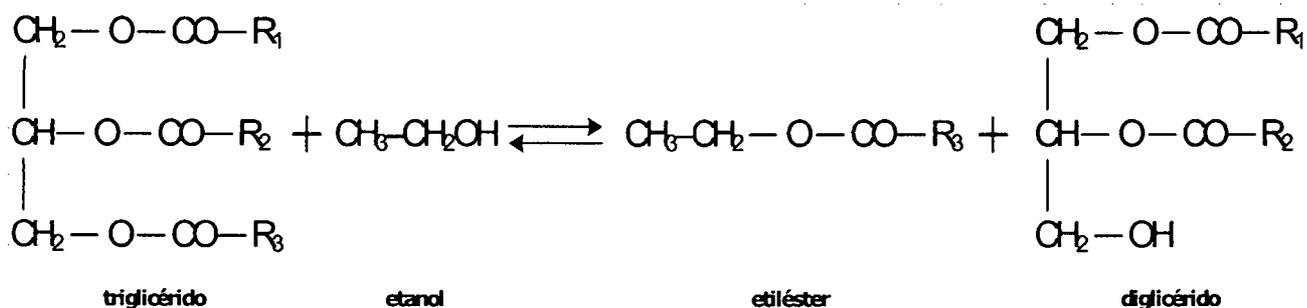
El etanol para la producción de biodiésel es un tema muy estudiado, la viabilidad del uso del metanol dependerá de la distancia a la que haya que transportarlo lo cual determinará el costo del insumo y por ende del biodiésel a producirse, pero también se verá afectado por razones de seguridad para el transporte de este insumo.

La producción de biodiésel empleando etanol es más complicada que para los casos que se emplean metanol, durante la investigación se han logrado determinar parámetros que permiten su utilización.

Para el caso de la elaboración de biodiésel a partir de etanol el catalizador que produce mejores resultados es también el KOH, la cantidad de etanol recomendada por la bibliografía es 28,8 % del peso del aceite lo que equivale a una relación molar 5,5:1 y recomienda utilizar 1% del peso del aceite de KOH ó NaOH a temperatura ambiente.

Los valores más altos se consiguen con una concentración de KOH de 1,2 % a 40 grados centígrados, variando la razón molar a 6,5:1, se obtuvieron el rendimiento experimental más alto a una concentración de 1 % de KOH a temperatura ambiente. Al utilizar NaOH se obtuvieron mayores rendimientos a una concentración de 0,7 % y a 60 °C.

El mecanismo de reacción es como sigue:



En muchos países se está experimentando con la transesterificación utilizando etanol en lugar de metanol. Las ventajas de este proceso serían la procedencia renovable del alcohol (caña de azúcar, remolacha, maíz, etc.), y su menor toxicidad.

Sin embargo la producción de ésteres etílicos es difícil en comparación con la de ésteres metílicos, debido principalmente a la fácil formación de emulsiones estables que dificultan severamente la separación del biodiésel y el glicerol y la purificación del biodiésel. Se requiere mucho mayor cuidado con la pureza de los insumos así como con los parámetros de reacción – tiempo, temperatura, agitación- para asegurar el éxito.(10)

**Cuadro N° 07: Análisis Físicoquímicos del Biodiesel Obtenidos de Etanol**

<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL BIODIÉSEL OBTENIDOS DE ETANOL</b>				
<b>Ensayos</b>	<b>Biodiésel de Etanol 1 % de KOH</b>	<b>Biodiésel de Etanol 0,8 % de NaOH</b>	<b>Normas ASTM D-6751</b>	<b>Norma Técnica Peruana Diésel 2</b>
Agua y Sedimentos (% volumen)	0,05	0,1	0,05	0,1
Poder calorífico bruto (MJ/Kg.)	39,42	38,981		
Poder Calorífico neto (MJ/Kg.)	38,388	38,07		
Viscosidad cinemática	4,75		1,9 a 6,0	2,0 - 5,8
Destilación a 760 mmHg	356	351	360	282 – 357
Gravedad API	28,5	28,8		
Índice de cetano	56,5		47	45
Residuo de carbón			0,05	0,35
Cenizas (% masa)				0,02
Punto de inflamación	156		150	52

Fuente: PIMENTEL D., PATZEK T.W (2005) "ETHANOL PRODUCTION USING CORN, SWITCHGRASS, AND WOOD; BIODIESEL PRODUCTION USING SOYBEAN AND SUNFLOWER" NATURAL RESOURCES RESEARCH. Pág: 66

(10) ADCOA EN CALIFORNIA DEL SUR: <http://www.adcoa/molecula.htm>

## **IV. MARCO LEGAL Y PROMOCIÓN DEL ESTADO**

### **PERUANO (CONAM)**

Para la elaboración de la propuesta de Ley se constituyó un Grupo Técnico de Biocombustibles (2002) liderado por el CONAM, el cual en su informe técnico presentó al biodiésel como una oportunidad para reemplazar progresivamente parte de la importación de diésel y reducir la contaminación ambiental, generando al mismo tiempo nuevas oportunidades de desarrollo agrícola agroindustrial en el país, planteándolo principalmente en base a la promoción del cultivo de palma aceitera y soya.

La Ley N° 28054, entonces “establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas aunque la ley trata de biocombustibles en general, se orienta específicamente a la promoción de los biocombustibles líquidos, específicamente el biodiésel y etanol. Entre sus acertadas políticas generales incluye : La generación de investigación, la formación de recursos humanos de alta especialización, el desarrollo de proyectos experimentales y la transferencia de tecnología, la participación privada para la producción y el incentivo de la comercialización para utilizar los biocombustibles en todos los ámbitos de la economía puros o mezclados con otro combustibles.

La Comisión Técnica de Biocombustibles (2004), liderada por el CONAM y conformada para proponer y recomendar las normas y disposiciones para el cumplimiento de la Ley N° 28054, en su informe final centra su trabajo únicamente en el etanol anhidro ya que el uso de biodiésel en el plano internacional se encuentra en fase de introducción/experimentación a pequeña escala y los fabricantes de vehículos automotores aún no recomiendan plenamente su utilización como biocombustibles en mezcla con diésel e incluyen un anexo denominado “factores que limitan la posibilidad para considerar al biodiésel como opción de combustible comercial en corto plazo”. Estos factores serían fundamentalmente que “los fabricantes de vehículos automotores aún no otorgan garantías que certifiquen la posibilidad de consumir biodiésel como combustible motor en forma pura o en mezcla con diésel” “en el Perú no se han registrado experiencias a nivel industrial en materia de producción de biodiésel, sustituir 5 % de diésel significaría reemplazar 898 745 barriles, cosechar alrededor de 26 mil hectáreas (con un rendimiento promedio de 5500 litros de aceite por hectárea, lo cual supone un nivel de tecnología avanzado en comparación a la condición media de producción que se observa en las plantaciones de palma aceitera existentes en el país” con un costo de 2500 US \$ /ha, “el déficit de producción de aceite comestible en el Perú representa un aspecto que restringirá la producción de biodiésel a partir del fruto de la palma aceitera (reemplazar las 130 mil toneladas/ año de aceite comestible que en la actualidad se importa, requeriría contar con cerca de 27 mil hectáreas adicionales de palma aceitera” y “llevar a cabo un programa de inversión de esta dimensión (55 mil hectáreas) requeriría no menos de una década suponiendo un ritmo de crecimiento de algo más de 5 mil ha/año”.

El Perú cuenta con un marco legal específico para la promoción de los biocombustibles conformado por:

- \* Ley N° 28054 : Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de agosto del 2003
- \* D.S. N° 013-2005- EM : Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, de marzo del 2005
- \* D.S N° 021 – 2007 – EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles de abril del 2007.
- \* Directiva N° 004 – 2007 PROINVERSION : Lineamientos del programa de Promoción del Uso de Biocombustibles – PROBIOCOM de marzo del 2007

El Reglamento de la Ley N° 28054 publicado en el 2005, sin embargo, sí incluye un porcentaje y cronograma de aplicación y uso de biodiésel en el Perú. No obstante, este reglamento contenía varios aspectos susceptibles de ser mejorados, destacando los siguientes (Coello y Castro 2006):

#### **4.1 DEFINICIÓN**

El Reglamento define el biodiésel como una “mezcla de ésteres de ácidos grasos saturados e insaturados de diferentes masas moleculares derivados de la transesterificación de aceites y grasas de origen vegetal” con lo cual se excluye tanto al biodiésel que pudiera ser obtenido a partir de grasas y/o aceites de origen animal, como al que pudiera ser obtenido mediante procesos distintos a la transesterificación.

#### **4.2 PORCENTAJE DE MEZCLA:**

El reglamento señalaba que habría una mezcla denominada diésel ecológico que consistirá en 5% de biodiésel y 95% de diésel convencional, sin embargo no se precisaba si esta proporción era voluntaria u obligatoria; o si era mínima o máxima.

#### **4.3 CRONOGRAMA DE APLICACIÓN Y USO DE BIODIÉSEL:**

El reglamento establecía que desde el 1° de enero del 2008 el diésel ecológico se comercializaría en las regiones de la selva, y desde el 1° de enero del 2010 en todo el país.

#### **4.4 COMPRADORES AUTORIZADOS Y LUGARES DE MEZCLA:**

El reglamento indicaba que sólo los distribuidores mayoristas de combustibles líquidos debidamente registrados en el Ministerio de Energía y Minas (16 empresas en todo el país a marzo del 2007) son los únicos autorizados a comprar biodiésel en el mercado nacional; y que sólo en sus plantas de abastecimiento (36 plantas en 15 regiones en todo el país) se podrían realizar las operaciones de mezcla del biodiésel con el diésel.

#### **4.5 DEFINICIONES SOBRE ASPECTOS TRIBUTARIOS**

La Ley y el Reglamento no especifican si el biodiésel en el Perú estaría afecto al Impuesto Selectivo al Consumo (ISC), que afecta a los combustibles fósiles.

En abril del 2007 se aprobó el reglamento para la Comercialización de Biocombustibles, el cual, si bien no reemplaza al reglamento de la Ley explicado en párrafos anteriores, sí mejora substancialmente varios puntos críticos y medulares que dificultaban iniciativas y emprendimientos. Cabe resaltar que este nuevo Reglamento se prepublicó en noviembre del 2006 a fin de recibir comentarios y sugerencias para enriquecer la norma propuesta. Las principales novedades y mejoras que incorpora este Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles son:

**a. Definición**

Se incluye la posibilidad de emplear, también, grasas animales y aceites comestibles usados, como fuentes para la producción del biodiésel.

**b. Porcentaje de mezcla:**

Se contempla la comercialización de mezclas que contengan 2% de biodiésel en 98% de diésel (denominado Diésel B2), 5% de biodiésel en 95% de diésel (Diésel B5), el 20% de biodiésel en 80% de diésel (Diésel B20). No está permitida la comercialización de mezclas en proporciones diferentes.

**c. Cronograma para la comercialización de biodiésel B100 (puro) y de diésel BX (mezclas de biodiésel en Diésel)**

Se establece que a partir de abril del 2007 será posible comercializar biodiésel puro (Biodiésel B100) y Diésel B20 a los consumidores directos autorizados por la dirección general de Hidrocarburos, así como Diésel B2 en todo el país; desde el 1° de enero del 2009, será obligatorio la comercialización del Diésel

B2, en reemplazo del Diésel N° 2; y desde el 1° de enero del 2011, será obligatoria la comercialización del Diésel B5, en reemplazo del Diésel B2.

**d. Compradores autorizados y lugares de mezcla**

Se mantiene la restricción referida a que son los distribuidores mayoristas los únicos autorizados para comprar Biodiésel B100 para mezclar con Diésel N° 2 y comercializarlo posteriormente. Se abre, sin embargo, la posibilidad que las empresas productoras de Biodiésel B100 puedan vender a consumidores directos autorizados por la Dirección General de Hidrocarburos, para lo cual deberán registrarse como distribuidores mayoristas sin la obligación de tener un volumen mínimo de ventas ni una existencia mínima media mensual.

**e. Aspectos tributarios**

Este Reglamento tampoco aborda el tema de posibles exenciones tributarias. Sin embargo, de acuerdo con el Texto Único Ordenado de la Ley del Impuesto General a las Ventas (IGV) e Impuesto Selectivo al Consumo (ISC) (D.S. 055-99-EF, actualizado al 05/11/2004), el ISC es un impuesto que grava una lista específica de productos, en la cual no se encuentra incluido el biodiésel, y por lo tanto este combustible no estaría sujeto a él. No obstante, durante los primeros meses del 2007, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) ha estado evaluando los posibles beneficios tributarios para los biocombustibles en el Perú.

Por otra parte, PROINVERSIÓN, mediante la Resolución del Director Ejecutivo N° 014-2007 de marzo del 2007 aprobó los Lineamientos del

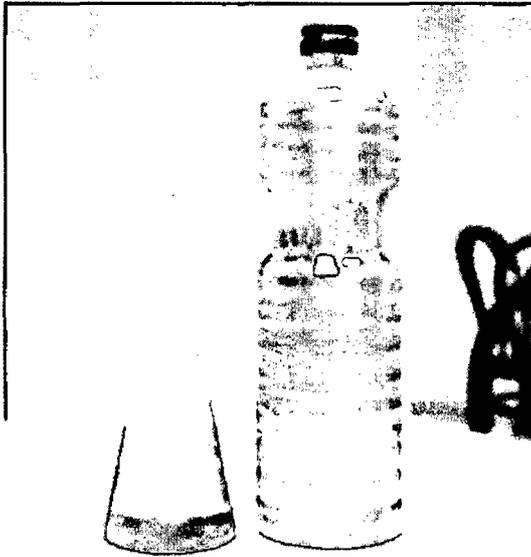
programa de Promoción del Uso de Biocombustibles (PROBIOCOM). Este programa tiene por objeto “promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles, así como, difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso”. En tanto esta es una tarea multisectorial, PROINVERSIÓN ha identificado los siguientes grupos de trabajo: Grupo I de Promoción del consumo y aspectos tributarios (coordinado por CONAM y conformado por MEM, PETROPERU, MEF y DEVIDA); Grupo II de Normas técnicas y ensayos sobre mezclas (coordinado por PROINVERSIÓN) y conformado por MEM y PETROPERU); Grupo III de reglamento de comercialización y competencias (coordinado por MEM y conformado por OSINERGMIN, PRODUCE y MINAG); Grupo IV de Exploración agrícola y asociatividad (coordinado por MINAG y conformado por PROINVERSIÓN, CONAM y Programa Sierra Exportadora); y Grupo V de Desarrollo tecnológico y cooperación internacional (coordinado por PRODUCE y conformado por MINAG , CONCYTEC, DEVIDA y Programa Sierra Exportadora).

En lo referente a los porcentajes de mezcla, porcentajes obligatorios como los aprobados en el reglamento para la Comercialización de Biocombustibles (2% desde el 2009 y 5% desde el 2011) tendrá como principal efecto una gran demanda por aceite, y por ende de cultivos oleaginosos, que podría impulsar un crecimiento importante en el sector agrícola. Será necesario entonces, que el PROBIOCOM enfatice el establecimiento de subprogramas de investigación y promoción de fuentes oleaginosas que permitan abastecer los volúmenes de aceite que serán requeridos. Para referirnos a ventajas medioambientales y

mejora de la calidad de las emisiones, éstas se dan básicamente en aquellos casos que se utilicen biodiésel puro (Biodiésel B100) o incluso hasta en mezclas de Diésel B20 (20% de biodiésel y 80% de diésel.).

## V. PREPARACIÓN DEL BIODIÉSEL

Se preparó biodiésel utilizando como materias primas aceite refinado en base a soya y aceite usado, que contiene diversa composición química, que realmente es difícil conocer; pero que afortunadamente su conocimiento exacto carece de importancia. En cada caso se utilizó como insumo metanol y etanol.



**ACEITE NUEVO**



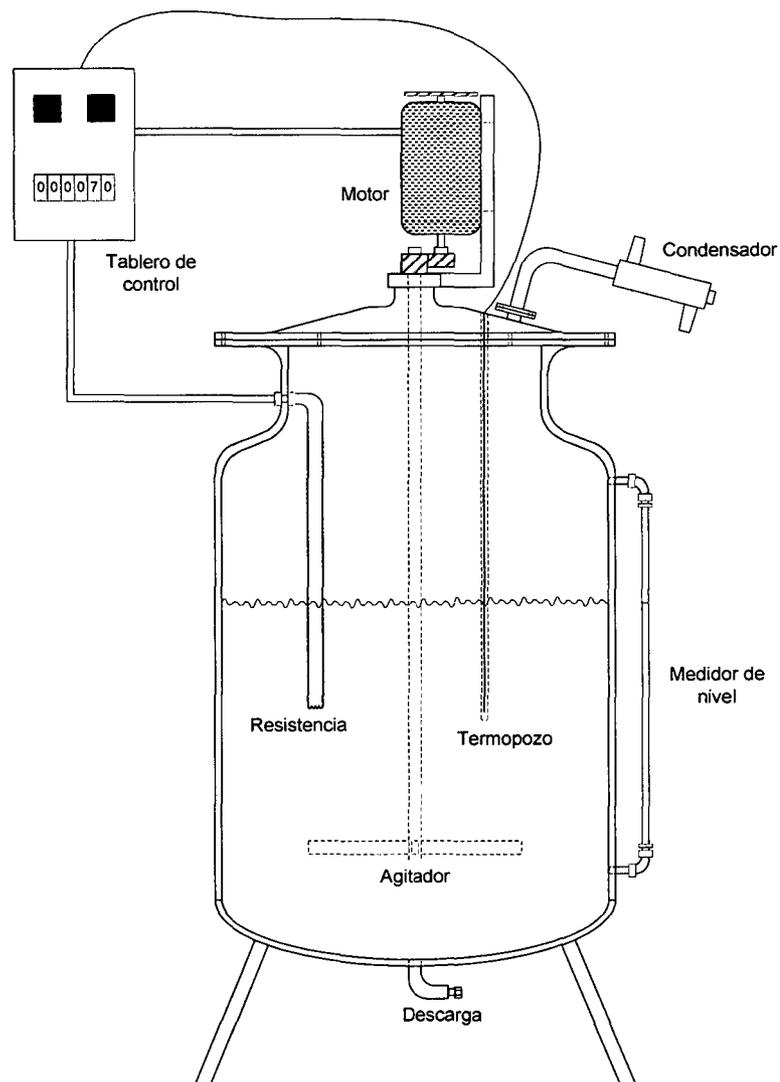
**ACEITE USADO**

### 5.1 MATERIALES Y EQUIPOS

- 01 Reactor Batch de 05 litros con control de temperatura, y agitador mecánico
- 01 termómetro (0 – 100 °C)
- 01 balanza digital
- 03 pipetas graduadas
- 04 vasos precipitados de 02 litros de capacidad
- 02 peras de bromo

- 01 cronómetro.
- 01 luna de reloj
- 02 baguetas
- Guantes aislantes

El reactor es un tanque de metal de 05 litros de capacidad, provisto de un agitador mecánico, movido por un motor eléctrico de 1/8 HP de potencia, el cual tiene una velocidad de alrededor de 300 rpm.; asimismo está equipado con un sensor de temperatura ya que el reactor tiene en su interior una resistencia eléctrica de 500 W. cuyo funcionamiento está controlado por un pirómetro digital. El sistema se fija previamente a la temperatura de trabajo (set point) y una vez que llega a la temperatura indicada, el sistema se apaga y se enciende nuevamente, cuando la temperatura baja.



## 5.2 REACTIVOS

- 08 L de aceite refinado comestible, en base a soya
- 08 L de aceite comestible usado de diversa procedencia
- 02 L de alcohol metílico anhidro
- 02 L de alcohol etílico anhidro
- 500 g de hidróxido de sodio comercial
- 50 mL de ácido sulfúrico

### 5.3 PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE BIODIESEL UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA ACEITE NUEVO Y USADO UTILIZANDO COMO INSUMOS CON METANOL Y ETANOL

El biodiésel es un biocombustible que se obtiene por la reacción de transesterificación de un triglicérido con un alcohol, en éste caso de metanol y de etanol, utilizando hidróxido de sodio como catalizador. Tiene una serie de ventajas respecto del diesel derivado del petróleo pero la principal razón para su utilización es el hecho de que presenta un impacto mucho menor que los derivados del petróleo.

Al ser producido a partir de aceites vegetales, produce una gran ventaja en lo que se refiere al ciclo del carbono, no produciendo acumulación del mismo en el ambiente. La utilización de aceites usados de cocina presenta como ventajas aprovechar residuos, que por lo tanto son de muy bajo valor.

En la presente experiencia se presenta el aprovechamiento de materias primas en éste caso de menor valor que conducen a un combustible competitivo en precio con el petróleo.

Un análisis típico de los aceites usados, se muestra en la tabla siguiente:

**Cuadro N° 08: Tipo de Aceites Usados**

Parámetro	Papas fritas (Hamburguesas)	Pollo broaster	Papas fritas (pollo a la brasa)	Variado	Variado	Papas fritas en snack
Tipo de alimento						
% De humedad	0,06	0,16	0,31	0,03	0,2	0,1
Índice de acidez	8,93	9,3	0,99	2,41	0,85	0,29
Índice de yodo	103,8	68,3	100,3	110,51	97,51	62,44
Índice de peróxido	2,43	1,62	12,35	2,43	17,41	2,16
Índice de refracción	1473	1468	1471	1474	1471	1466
Índice de saponificación	103,8	103,1	76,81	103,79	93,61	110,69
Composición de materia prima según proveedor	Aceite de maíz y soya	Manteca hidrogenada	Aceite	Aceite	Aceite	Manteca
Volumen generado		2500 L/sem	1800 L/sem	1800 L/sem	1800 L/sem	900 L/sem
Precio del aceite US / 1	0,4		0,24	0,24	0,24	0,36

Fuente: CALAIS P., CLARK A.R. (2000) WASTE VEGETABLE OILS AS A DIESELREPLACEMENT FUEL. PERTH AUSTRALIA: MURDOCH UNIVERSITY WESTERNAUSTRALIAN RENEWABLE FUELS ASSOCIATION.  
<http://www.shortcircuit.com.au/warfa/paper/paper.htm>

### 5.3.1 ACEITE NUEVO Y ALCOHOL METÁLICO

- Se carga al reactor 04 litros de aceite refinado, nuevo; en nuestro caso se usó aceite refinado en base a soya y se hace un precalentamiento hasta aproximadamente unos 40 ó 50 °C.
- Paralelamente se pesa 28 g. de hidróxido de sodio y se disuelve en 800 ml. de alcohol metílico, con fuerte agitación, lo cual permite obtener el metóxido de sodio. El proceso de reacción dura aproximadamente 30 minutos, tiempo en el cual el hidróxido de sodio se disuelve totalmente en el metanol.
- Al aceite ligeramente caliente, se adiciona el metóxido de sodio recientemente formado, se tapa herméticamente el equipo, luego el set

point del controlador de temperatura se fija en 60 ° C, y se inicia la agitación a unos 400 rpm que es la velocidad del agitador.

- Se continúa el proceso de calentamiento y agitación por un tiempo aproximado de 50 minutos, tiempo en el cual se lleva a cabo la reacción del triglicérido y el metóxido de sodio, denominado proceso de transesterificación.
- Luego de concluida la reacción, se descarga el producto del reactor hacia unos recipientes, donde se deja en reposo por unas 24 horas para la separación del biodiésel en la parte superior y la glicerina, el metóxido de sodio, el metanol no reaccionado y pequeñas cantidades de agua en el fondo del recipiente.
- Haciendo uso de una pera de bromo se separan cada una de las fases. La fase de interés, constituida casi en su totalidad por el éster (biodiésel), se hace el tratamiento respectivo.
- El tratamiento consiste en realizar un lavado con agua desionizada, en caliente para eliminar todas las sustancias remanentes afines al agua.
- Posteriormente se adiciona un 5% en peso de una arcilla activada, que en este caso se usó de la marca "TONSIL", con la finalidad de adsorber algunas sustancias solubles en biodiésel que originan los denominados golpes de ariete en el motor. Se deja en reposo por 24 horas, luego se filtra y de esta manera se tiene un biodiésel de buena calidad, que puede ser usado directamente en un motor diésel. También pueden prepararse mezclas de 80% de diésel y 20% de biodiésel que se conoce como BD20.

### 5.3.2 ACEITE NUEVO Y ALCOHOL ETÍLICO.

Comúnmente la reacción de transesterificación se realiza en medio alcalino, lo que requiere condiciones anhidras y materias primas prácticamente libre de ácidos grasos libres. Para poder trabajar con materias primas ácidas, es necesario primeramente eliminar los ácidos grasos libres, a valores de acidez comprendidos entre 1 y 2, de lo contrario se produce una excesiva formación de jabones, durante la reacción de transesterificación, lo cual dificulta el proceso de purificación del biodiésel.

- Se carga al reactor 2 litros de aceite refinado, nuevo; en nuestro caso se usó aceite refinado en base a soya y se hace un precalentamiento hasta aproximadamente unos 40 ó 50 ° C.
- Se adiciona igual volumen de etanol anhidro (2 litros) y alrededor de 8 ml. de ácido sulfúrico (0.2% en volumen de la mezcla reaccionante). Este momento se considera como el inicio de la reacción para la toma de muestra, cuando se realizan estudios cinéticos.
- Se trabaja con el mismo reactor donde se preparó el biodiésel con metanol. Se fija el set point en 60 °C, se cierra el reactor y se comienza la agitación por un periodo de 40 minutos, tiempo el cual se estima que ha concluido la reacción.
- Una vez finalizada la reacción, la mezcla reaccionante se coloca en un recipiente de decantación donde se realiza la separación: Una fase acuosa que contiene alcohol etílico, el agua formada durante la reacción y eventualmente el agua de constitución del alcohol al 96%;

y la fase orgánica compuesta principalmente por los ésteres formados, los ácidos grasos aún no esterificados, y el aceite o grasa.

- Si con la primera reacción con catálisis ácida no se logra bajar el contenido de ácidos grasos libre a por lo menos 2 (2g. de ácido / 100 g. de aceite), será necesario una segunda reacción en medio ácido, o bien sucesivas etapas de reacción para llegar al valor de acidez necesario, limitados por el equilibrio de la reacción, entre la acidez inicial de la materia prima y el agua.
- La fase orgánica se lava con agua para separar el ácido remanente y el alcohol, luego se somete a una esterificación alcalina, para lo cual se utilizó 28 g de hidróxido de sodio disuelto en 1124 mL (calculado estequiométricamente a partir de la esterificación con metanol) de alcohol etílico con 3 litros del aceite tratado con ácido sulfúrico.
- Luego se sigue el mismo procedimiento de purificación empleado para el tratamiento del biodiésel obtenido con metanol.
- Para reducir el tiempo de tratamiento con ácido sulfúrico se incrementa el volumen de este a 0.5%, que representa aproximadamente 20 mL de ácido sulfúrico, lo cual permite reducir grandemente la acidez.

### **5.3.3 ACEITE USADO Y ALCOHOL METÍLICO.**

- Previamente se hace un tratamiento que consiste en la separación por filtración de los restos de fritura que contienen los aceites usados.

- Posteriormente debe eliminarse las pequeñas cantidades de agua que contienen los aceites usados; este procedimiento se realiza por evaporación.
- Se carga al reactor 04 litros de aceite usado; en nuestro caso se usó aceite residual empleado para freír pollo y papa (materia prima de donde proviene el agua en el aceite); se hace un precalentamiento hasta aproximadamente unos 40 ó 50 °C.
- Paralelamente se pesa 28 g. de hidróxido de sodio y se disuelve en 800 ml. de alcohol metílico, con fuerte agitación, lo cual permite obtener el metóxido de sodio. El proceso de reacción dura aproximadamente 30 minutos, tiempo en el cual el hidróxido de sodio se disuelve totalmente en el metanol.
- Al aceite ligeramente caliente, se adiciona el metóxido de sodio recientemente formado, se tapa herméticamente el equipo, luego el set point del controlador de temperatura se fija en 60 °C, y luego se inicia la agitación a unos 400 rpm, que es la velocidad del agitador.
- Se continúa el proceso de calentamiento y agitación por un tiempo mayor al utilizado cuando se trata aceite nuevo), aprox. 110 minutos, tiempo en el cual se lleva a cabo la reacción del triglicérido y el metóxido de sodio, denominado proceso de transesterificación.
- Luego de concluida la reacción, se descarga el producto del reactor hacia unos recipientes, donde se deja en reposo por unas 24 horas para la separación del biodiésel en la parte superior y la glicerina, el metóxido de sodio, el metanol no reaccionado y pequeñas cantidades de agua en el fondo del recipiente.

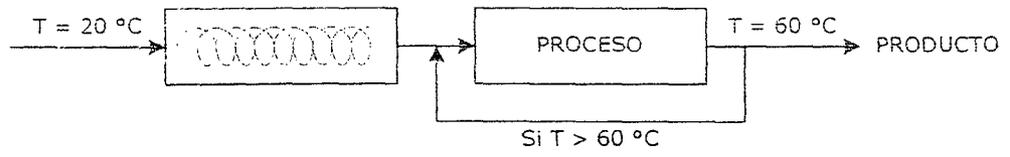
- Haciendo uso de una pera de bromo se separan cada una de las fases. La fase de interés, constituida casi en su totalidad por el éster (biodiésel), se hace el tratamiento respectivo.
- El tratamiento consiste en realizar un lavado con agua desionizada, en caliente para eliminar todas las sustancias remanentes afines al agua.
- Posteriormente se adiciona un 5% en peso de una arcilla activada, que en este caso se usó de la marca “TONSIL”, con la finalidad de adsorber algunas sustancias solubles en biodiésel que originan los denominados golpes de ariete en el motor. Se deja en reposo por 24 horas, luego se filtra y de esta manera se tiene un biodiésel de buena calidad, que puede ser usado directamente en un motor diésel. También pueden prepararse mezclas de 80% de diésel y 20% de biodiésel que se conoce como BD20.

#### **5.3.4 ACEITE USADO Y ALCOHOL ETÍLICO.**

- El tratamiento en su primera etapa es similar al primer ítem de 3.5
- Se carga al reactor 2 L de aceite usado, libre de impurezas sólidas y se hace un precalentamiento hasta aproximadamente unos 40 ó 50 °C.
- Se adiciona igual volumen de etanol anhidro y alrededor de 8 mL de ácido sulfúrico (0.2% en volumen de la mezcla reaccionante). Este momento se considera como el inicio de la reacción para la toma de muestra, cuando se realizan estudios cinéticos.
- Se trabaja con el mismo reactor donde se preparó el biodiésel con metanol. Se fija el set point en 70 °C, se cierra el reactor y se comienza

la agitación por un periodo de 60 minutos, tiempo el cual se estima que ha concluido la reacción.

- Una vez finalizada la reacción, la mezcla reaccionante se coloca en un recipiente de decantación donde se realiza la separación: Una fase acuosa que contiene alcohol etílico, el agua formada durante la reacción y eventualmente el agua de constitución del alcohol al 96%; y la fase orgánica compuesta principalmente por los esterres formados, los ácidos grasos aún no esterificados, y el aceite o grasa.
- Si con la primera reacción con catálisis ácida no se logra bajar el contenido de ácidos grasos libre a por lo menos 2 (2 g de ácido / 100 g de aceite), será necesario una segunda reacción en medio ácido, o bien sucesivas etapas de reacción para llegar al valor de acidez necesario, limitados por el equilibrio de la reacción, entre la acidez inicial de la materia prima y el agua.
- La fase orgánica se lava con agua para separar el ácido remanente y el alcohol, luego se somete a una esterificación alcalina, para lo cual se utilizó 28 g de hidróxido de sodio disuelto en 1124 mL (calculado estequiométricamente a partir de la esterificación con metanol) de alcohol etílico con 3 litros del aceite tratado con ácido sulfúrico.
- Para reducir el tiempo de tratamiento con ácido sulfúrico se incrementa el volumen de este a 0.5%, que representa aproximadamente 20 mL de ácido sulfúrico, lo cual permite reducir grandemente la acidez.
- Luego se sigue el mismo procedimiento de purificación empleado para el tratamiento del biodiésel obtenido con metanol.



## 5.4 GALERÍA DE FOTOS

PESANDO EL HIDRÓXIDO  
DE SODIO



AGITANDO LA SOLUCIÓN  
DE SODIO



DISOLVIÉNDO LA SOLUCIÓN  
BÁSICA



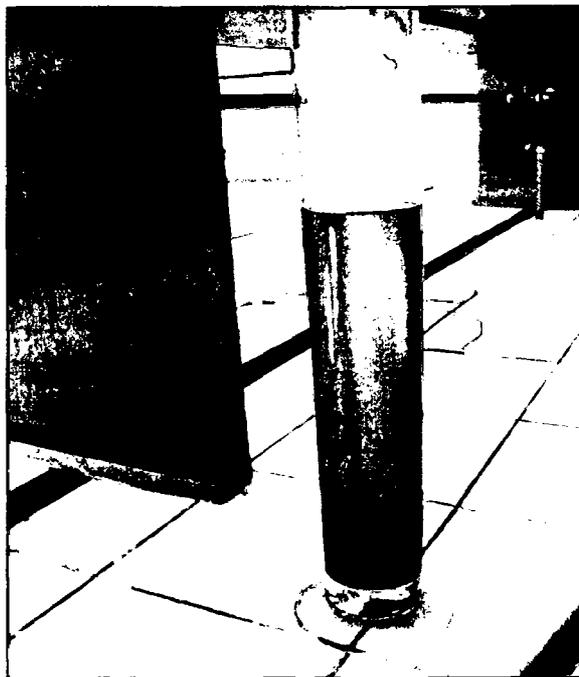
INTRODUCIENDO LA SOLUCIÓN  
AL REACTOR.



**PRODUCIENDO EL BIODIESEL  
EN EL REACTOR**



**EL BIODIESEL, A LA SALIDA DEL  
REACTOR**



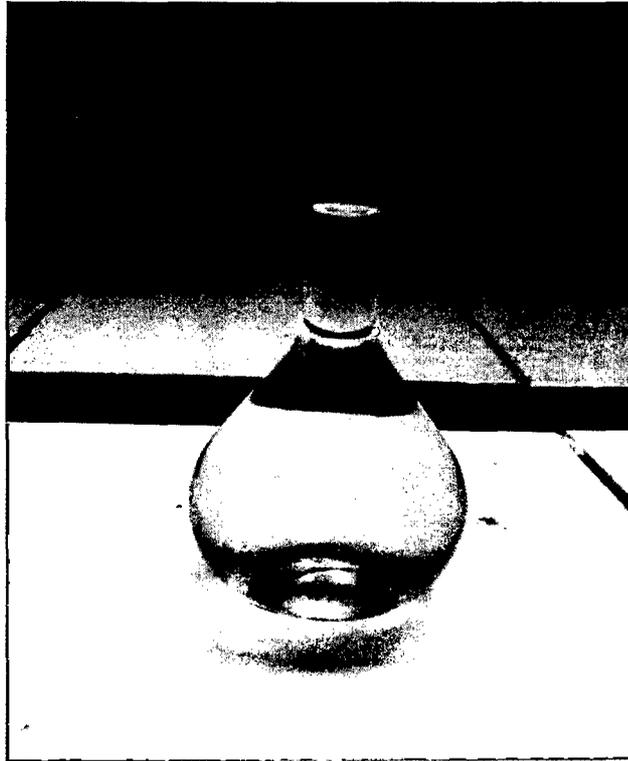
**DECANTANDO EL BIODIESEL  
PARA SU RESPECTIVA  
SEPARACIÓN**



**LAVADO FINAL DEL BIODIESEL**



**PRODUCTO FINAL**



## VI. PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL BIODIÉSEL

### 6.1 POSTRATAMIENTO DEL BIODIÉSEL

Luego de la transesterificación y la separación de las dos fases biodiésel y glicerol, se requiere de un postratamiento para asegurar que el biodiésel cumpla con los estándares de calidad exigidos, pues éste aún contiene impurezas derivadas del proceso: parte del metanol en exceso, posiblemente jabones y trazas de catalizador.

Los metil-ésteres se someten a temperatura y vacío para evaporar el metanol y recuperarlo y luego son llevados a un proceso de lavado para separar todas las impurezas. El lavado se realiza con agua acidulada (con ácido fosfórico o ácido cítrico) que se mezcla con el biodiésel. El ácido neutraliza el catalizador residual presente y separa los jabones que se puedan haber formado en la reacción.

Los jabones se convierten en ácidos grasos libres (que se quedan en el biodiésel) y en sales solubles en agua (Van Germen, 2005) Así los restos de catalizador, jabón, sales, glicerina y metanol, se quedan en el agua de lavado. Este lavado se realiza al menos dos veces con agua nueva cada vez, hasta que se haya eliminado todo el residual de catalizador alcalino y el efluente tenga un color claro.

Finalmente los metil ésteres lavados se secan (con calor y vacío) para separar toda el agua restante y se filtran. El producto de este proceso es el biodiésel terminado.

## 6.2 CONTROL DE CALIDAD DEL BIODIÉSEL

La calidad del biodiésel 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 biodiésel son la europea (EN 14214) y la estadounidense (ASTM D6751-07). Es importante recalcar que aunque es necesario garantizar una adecuada calidad para que los usuarios se animen a consumir el producto, los estándares de calidad deben estar de acuerdo con la realidad nacional.

La norma ASTM está orientada principalmente a la producción de biodiésel a partir del aceite de soya, producto abundante en los Estados Unidos pero con muy limitada producción en Perú.

La calidad del biodiésel depende de dos factores importantes: Uno es el aceite de origen, que debe ser altamente refinado, súper desgomado, seco y neutralizado, y otro es el grado de correcta fabricación. Este biocombustible, para ser utilizado en reemplazo del gasoil o como aditivo del mismo, debe asegurar un buen comportamiento en los motores que responda a parámetros de calidad internacionales.

El motor en que se vaya a utilizar no requiere ninguna modificación. Con aceite más limpio y nuevo es más simple obtener biodiésel de alta calidad.

Su color y transparencia dice mucho sobre la calidad del aceite empleado. Un líquido liviano y claro es un buen biodiésel, un líquido turbio y oloroso es de menor calidad. El número de cetanos (poder de explosión del combustible) del biodiésel es alrededor de 46/48 según utilicemos metanol o etanol (alcohol de quemar / alcohol fino) respectivamente. Los gasoil (de petróleo) habituales tienen 45 cetanos. Algunos motores diésel muy modernos de autos requieren 55 cetanos.

Las propiedades de un diésel y un biodiésel comerciales dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido en el caso del último. El biodiésel en función de la naturaleza del aceite sea animal o vegetal proporcionará unas características particulares al nuevo combustible.

#### **Punto de Inflamación ASTM D 93 ISO/ CD 3679**

Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención como es el biodiésel.

#### **Viscosidad ASTM D 445 EN ISO 3104**

Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por la otra parte también se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores y en las características del sistema de inyección.

### **Densidad ASTM D 1298 EN ISO 12185**

Da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.

### **Cenizas Sulfatadas ASTM D 874 EN ISO 3987**

Los materiales que forman cenizas en un biodiésel se pueden presentar de tres formas

- Sólidos abrasivos
- Jabones metálicos solubles
- Catalizadores no eliminados en el proceso

En el caso del diésel normalmente sólo aparecen los primeros o gomas solubles.

Tanto los sólidos abrasivos como los catalizadores no eliminados favorecen al desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos además de contribuir a la formación de depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen un efecto menor en el desgaste pero pueden afectar más a la colmatación de filtros y depósitos en el motor.

### **Azufre ASTM D 5453 UNE EN ISO 14596**

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

### **Corrosión a la Lámina de Cobre ASTM D 130 EN ISO 2160**

Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen en los sistemas compuestos corrosivos y/o presencia de ácidos que pueden atacar al cobre o aleaciones de cobre como el bronce que forman parte del sistema de combustible.

### **Numero de Cetano ASTM D 613 EN ISO 5165**

Es una medida de la calidad de ignición del combustible e influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor, de las variaciones de la carga y velocidad y condiciones de arranque y atmosféricas. Un bajo número de cetano conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

### **Índice de Yodo prEN 14111**

Indica la tendencia a la oxidación de un biodiésel porque da idea del grado de insaturaciones que posee sus ésteres.

### **Punto de Nube ASTM D 2500**

Indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible (parafinas, materia insaponificable, etc.). Es una medida muy importante a tener en cuenta cuando se usa el motor en climas fríos. El valor debe ser definido por el usuario, ya que depende del clima en el cual el motor se utilice.

## Agua y Sedimentos ASTM D 2709

El agua se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento. La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden colmatar filtros y darle el combustible unas propiedades de lubricidad menores. El biodiésel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diésel.

El agua puede provocar dos problemas en el motor

- Corrosión en los componentes del motor, generalmente herrumbe. El agua se acidifica y acaba atacando a los tanques de almacenamiento.
- Contribuye al crecimiento de microorganismos (fungi, bacterias). Forman lodos y limos que pueden colmatar los filtros. Además algunos de éstos microorganismos pueden convertir el azufre que posee el combustible en ácido sulfúrico, que corroe la superficie metálica del tanque.

El agua se puede presentar en el tanque de dos formas:

- Disueltas en el combustible. La cantidad de agua depende de la solubilidad de ésta en el biodiésel.
- Separada de la fase de combustible en forma libre. La cantidad de ésta depende de cómo se manipule y transporte el combustible.

Los sedimentos de estos pueden ser, debido principalmente a un mal proceso de purificación del combustible o contaminación. Afectan principalmente a la temperatura de cristalización y al número de cetano.

### **Residuo Carbonoso ASTM D 4530 EN ISO 10370**

Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos. Normalmente para el diésel se suele utilizar el 10% que queda en la destilación, pero debido a que el biodiésel tiene un perfil muy diferente de destilación (en un pequeño rango de temperaturas se destila toda la muestra ya que posee una distribución de moléculas diferentes muy pequeña) se debe utilizar el 100 % de la muestra.

También se puede obtener información, aparte de la contaminación (glicerina libre y total) de la calidad de la purificación del biodiésel cuando se fabrica.

### **Destilación ASTM D 86**

Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el combustible a unas condiciones de presión y temperaturas dadas.

El biodiésel a la temperatura de 360 °C tiene que estar al 90% destilado según la norma ASTM D1160. El diésel a la temperatura de 360 °C tiene que estar al 95% destilado, según la norma ASTM D 86.

### **Numero Acido Total (TAN) ASTM D 664 prEN 14104**

Determina el nivel de ácidos grasos o generados por degradación, que se presentan en el combustible. Si poseen un alto grado de acidez se formarán una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema.

### **Glicerina Libre ASTM D 6584 prEN 14105 - 06**

Determina el nivel de la glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significan que se ha producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se han formado gran cantidad de monoésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar la colmatación de los filtros, depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas. Esto es debido a que al poseer temperaturas de ebullición superiores provocan que la combustión sea bastante peor. Además, aumentan la viscosidad del biodiésel.

### **Estabilidad a la Oxidación. prEN 14112**

Se determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento.

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

- Gomas insolubles. Problemas de colmatación de filtros.
- Gomas solubles. Formación de depósitos en la punta del inyector y fallos en las boquillas de los inyectores.

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

Hay que tener en cuenta que el biodiésel se puede usar puro o mezclado con el gasoil. Esto hará que las propiedades que sean más diferentes entre ellos se irán igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado.

Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo 20/80 con gasoil se denomina B20. Pero esto no significa que no se pueda utilizar en otras proporciones. De hecho en Francia y otros países usan el B2, B5, etc.

### **6.3 POSTRATAMIENTO DE LA GLICERINA**

El glicerol que en realidad contiene solamente un 50 % de glicerol, es un sub producto de poco valor en esta forma (ya que contiene gran cantidad de jabones, catalizador alcalino y metanol) y además peligroso debido al metanol, para poder aprovecharlo, debe ser purificado de la siguiente manera:

- Es llevado a un proceso de acidulación (se añade ácido sulfúrico o fosfórico) para separar 3 fases: el glicerol propiamente dicho (con metanol aún disuelto), ácidos grasos libres (provenientes del aceite) y una fase sólida que consiste en sales formadas entre el catalizador alcalino y el ácido agregado en esta etapa. (Van Germen, 2005).
- El glicerol resultante sólo necesita ser separado del metanol (mediante evaporación – temperatura y vacío – y condensación del metanol) y así tendrá una pureza de venta a otros procesos industriales que lo refinan aún más, o que requieran este insumo en este estado.

- El metanol recuperado tanto de los metil – ésteres como del glicerol suele contener agua derivada del proceso y por lo tanto debe ser rectificado (es decir destilado para separarlo del agua) antes de volver a utilizarlo en el proceso. Si se está trabajando con etanol, este paso es más complejo ya que el etanol forma mezclas estables con el agua y se requieren además de la destilación un filtro molecular para separarlos completamente (Van Germer 2005).

# VII. ESPECIFICACIONES PARA USO DE BIODIÉSEL

## 7.1 PROPIEDADES, NORMAS Y LÍMITES DE BIODIÉSELES

Cuadro 09. Normas del Biodiesel

PARÁMETRO	NORMA	UNIDADES	ASTM PS 121:99*	LIMITE CEN/TC 19**	LIMITE NBB ***
Densidad 15 °C	ASTM D 1298 EN ISO 12185	g/cc	0,860- 0,900	0,860 - 0,900	
Viscosidad Cinemática 40 °C	ASTM D 445 EN ISO 3104	Cst	1,9 - 6,0	3,5 - 5,0	1,9 - 6,0
Punto Inflamación V/C	ASTM D 93 ISO CD/ 3679	° C	100 min	101 min	130 min
POFF	IP 309	° C	Usuario	Usuario	Usuario
Punto de Nube	ASTM D 2500	°C	Usuario	Usuario	Usuario
Azufre	ASTM D 5453 UNE EN ISO 14596	ASTM D 1298 EN ISO 12185	0,05 máx	10 ppm máx	0,05 máx
Residuo Carbonoso	ASTM D 4530 EN ISO 10370	ASTM D 445 EN ISO 3104	0,05 máx	0,3 máx (10 %)	0,05 máx
Agua y Sedimentos	ASTM D 2709	ASTM D 93 ISO CD / 3679	0,050 máx		0,05 máx
Estabilidad Oxidativa	prEN 14112	IP 309		Min 6	
Destilación 90%	ASTM D 86	ASTM D 2500	345 máx		360 máx
Agua	ASTM D 1533 EN ISO 12937	ASTM D 5453 UNE EN ISO 14596		500 máx	
Contaminación Total	EN 12662	ASTM D 4530 EN ISO 10370		Máx 24	
Corrosión al Cobre	ASTM D 130 EN ISO 2160	ASTM D 2709	Nº 3 máx	Clase 1	Nº 3 máx
Cenizas Sulfatadas	ASTM D 874 EN ISO 3987	prEN 14112	0,02 máx	0,02 máx	0,02 máx
TAN	ASTM D 664 prEN 14104	ASTM D 86	0,80 máx	0,5 máx	0,80 máx
Metanol	prEN 14110	ASTM D 1533 EN ISO 12937	0,2 máx	0,2 máx	
Monoglicéridos	prEN 14105	% (m/m)	0,8 máx	0,8 máx	
Diglicéridos	prEN 14105	% (m/m)	0,2 máx	0,2 máx	
Triglicéridos	prEN 14105	% (m/m)			
Glicerina Libre	ASTM D 6584 prEN 14105 - 06	% (m/m)	0,020 máx	0,02 máx	0,020 máx
Glicerol Total	ASTM D 6584 prEN 14105	% (m/m)	0,240 máx	0,250 máx	0,240 máx
Contenido en Ester	prEN 14103	% (m/m)		mín 96,5	
Ester metílico del ácido linoleico	prEN 14103	% (m/m)		máx 12	
Ester metílicos poli - insaturados (≥ 4 dobles enlaces)		% (m/m)		máx 1	
Índice de Yodo	prEN 14111	-	110 máx	120 máx	
Fósforo	ASTM D 4951 prEN 14107	mg / kg		10 máx	10máx
Sodio + Potasio	prEN 14108 - 09	mg / kg		5 máx	
Número de Cetano	ASTM D 613 EN ISO 5165	-	40 máx	51 máx	47 máx

Fuente: NORMA ASTM D 6751 - 07; DOE, 2006; MATTHYS, 2003; DEMIRBAS, 2006; SRIVASTAVA Y PRASAV.

## 7.2 ESPECIFICACIONES ENTRE BIODIÉSEL Y DIÉSEL.

Cuadro N ° 10 Especificaciones entre Biodiesel y Diesel

PARÁMETRO	NORMA	UNIDADES	UNE EN 590 * DIÉSEL N° 2	LIMITE CEN /TC 19** BIODIÉSEL
Densidad (15°C)	ISO 12185	g/cc	0,820 – 0,845	0,860 – 0,900
Viscosidad cinemática 40 °	ISO 3104	Cst	2,0 – 4,5	3,5 – 5,0
Punto de Inflamación	ISO 22719 ISO/CD 3679	°C	55 min	101 min
Azufre	ISO 14596	ppm	350 máx	10 máx
Residuo carbonoso (10%)	ISO 10370	%	0,30 máx	0,30 máx
Contaminación total	ISO 12662	ppm	24 máx	24 máx
Agua	ISO 12937	ppm	200 máx	500 máx
Corrosión al Cobre	ISO 2160	-	Clase 1	Clase 1
Cenizas Sulfatadas	ISO 6245 ISO 3987	%	0,01 máx	0,02 máx
Estabilidad Oxidativa	ISO 12205	mg/L	25 máx	6 h min
Número de Cetano	ISO 5165	-	51 min	51 min
Índice de Cetano	ISO 4264	-	46 min	

Fuente: NORMA ASTM D 6751 – 07; DOE, 2006; MATTHYS, 2003; DEMIRBAS, 2006; SRIVASTAVA Y PRASAV.

## 7.3 COMPARACIÓN ENTRE BIODIÉSEL Y DIÉSEL

No se puede hacer una comparación absoluta sobre si es mejor o peor el biodiésel con respecto al diesel, ambos combustibles tienen ventajas y desventajas, como veremos:

CUADRO COMPARATIVO ENTRE DIÉSEL Y BIODIÉSEL	
BIODIESEL	DIESEL
Los componentes básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales provienen tanto de ácidos grasos saturados como insaturados. Dependiendo de estas y otras características de origen de los triglicéridos se obtendrá un biodiesel con unas cualidades u otras	El gasoil está compuesto principalmente por compuestos parafínicos naftalénicos y aromáticos. El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre C10 y C22.
Por otro lado, su alto poder lubricante protege el motor, al disminuir la fricción y los ruidos, reduciéndose, por lo tanto, los gastos de mantenimiento.	La viscosidad del diesel es menor, por ello en el biodiesel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros inyectores que en diesel no ocurre.
El uso de biodiésel reducirá la dependencia energética exterior, lo que redundará en una mejora para consumidores y para la economía en general. Son evidentes las implicaciones positivas que tiene consumir un biocombustible autóctono, fabricado y distribuido por empresas locales que emplean a personal local y que sustituye directamente al combustible importado de terceros países.	Incertidumbre provocada por las continuas fluctuaciones de los precios de los combustibles derivados del petróleo.
Es biodegradable, su manipulación es segura.	Se degrada con el tiempo

El biodiesel es seguro manejar y transportar porque es biodegradable como el azúcar, 10 veces menos tóxico que la sal de la mesa.

**EN EL SIGUIENTE CUADRO SE OBSERVA LAS COMPARACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA FÍSICOQUÍMICAS:**

DATOS FÍSICO QUÍMICOS	BIODIESEL	DIESEL
Composición combustible	Éster metílico, Ácidos Grasos C <sub>12</sub> - C <sub>22</sub>	Éster metílico, Ácidos Grasos C <sub>10</sub> - C <sub>21</sub>
Poder calorífico, kcal/kg ( aprox )	9500	10800
Viscosidad Cinemática, cst ( 40 ° C )	3,5 - 5,0	3,0 - 4,5
Peso específico. g / cm <sup>3</sup>	0,875 - 0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2

Punto de Inflamación ° C	190 - 340	180 - 335
Punto de escurrimiento ° C	120 - 170	60 - 80
Números de Cetanos	- 15 / + 16	- 35 / - 15
Relación Estequiométrica Aire / comb p/p	48 - 60	46
Flash Point ° C	150	50

#### 7.4 NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD PARA BIODIÉSEL Y DIÉSEL

Parámetro	Unidad de medida	Norma estadounidense Biodiésel (ASTM D 6751 – 07)	Norma Europea Biodiésel (EN 14214)	Norma Peruana Diésel 2 (NTP 321.003 2005*)
<b>VOLATILIDAD</b>				
Punto de inflamación	°C	130 min	120 min	55 min (52 min)
Temperatura de destilación, 90 % de recuperación	°C	360 máx		(282 – 360)
Temperatura de destilación				360 máx. (no indica)
95 % de recuperación				65 máx. (no indica)
Destilado recuperado a 250 °C				80 min (no indica)
Destilado recuperado a 350 °C				0,82 – 0,845 (reportar)
Densidad a 15 °C			0,86 – 0,90	
<b>FLUIDEZ</b>				
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> / s	1,9 – 6,0	3,5 – 5,0	2,0 – 4,5 (1,7 – 4,1 para el diésel y 1,9 – 4,1 para el diésel especial) (4 máx.)
Punto de escurrimiento	°C			
Punto de niebla	°C	Reportar al consumidor		
Punto de taponamiento de filtros	°C		Específico para cada país	
<b>CONTAMINANTES</b>				
Agua y sedimentos	% vol.	0,05 máx.	0,05 máx.	0,05 máx. (0,05 máx.)
Material particulado	mg / L			
Contaminación total	% peso		0,0024 máx.	
Azufre total	% peso	0,0015 máx. (S 15), 0,05 máx. (s500)*	0,001 máx.	0,035 máx. (S 350), 0,005 máx. (S50) (0,5 máx. para el Diésel 2 Especial)

CORROSIVIDAD Y ESTABILIDAD				
Corrosión a la lámina de cobre	Horas	Nº 3 máx.	Nº 1 máx.	Nº 1 máx. (Nº 3 máx.)
Estabilidad a la oxidación a 110 ° C	mg. / 100 ml.	3 mín.	6 mín.	
Estabilidad a la Oxidación	mm.			25 máx. (no indica)
Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60 ° C				0,46 máx. (no indica)
COMPOSICIÓN				
Número de cetano		47 mín	51 mín	51 mín (45 mín. para Diésel 2 y 50 mín. para Diésel 2 Especial)
Índice de cetano				46 mín. (40 mín. para Diésel y 45 mín. para Diésel 2 Especial)
Ceniza sulfatada	% peso	0,02 máx.	0,02 máx.	
Cenizas	% peso			
Residuo de carbón	% peso	0,05 máx. **		0,3 máx. (0,35 máx.)**
Residuo de carbón del 10 % del destilado	% peso		0,3 máx.	
Índice de acidez	mg KOH / g	0,50 máx.	0,50 máx.	0,08 máx. (no indica)
Índice de yodo			120 máx.	
Glicerina libre	% peso	0,02 máx.	0,02 máx.	
Glicerina total	% peso		0,25 máx.	
Metanol	% peso		0,20 máx.	
Contenido de éster	% peso		96,5 mín.	
Monoglicéridos	% peso		0,8 máx.	
Diglicéridos	% peso		02 máx.	
Triglicéridos	% peso		0,2 máx.	
Metil-éster de ácido linoléico	% peso		12 máx.	
Esteres insaturados C4 y mayores	% peso		1 máx.	
Contenido de fósforo	% peso	024 máx.	0,001 máx.	
Metales del grupo (Na,K)	% peso	0,001 máx.	0,0005 máx.	
Metales del grupo II (Ca,Mg)	% peso	0,0005 máx.	0,0005 máx.	
Contenido de aromáticos	% vol.	0,0005 máx.		35 máx. (no indica)
Contenido de ésteres metílicos de ácidos grasos.	% vol.			5 máx. (no indica)

## 7.5 VENTAJAS DEL BIODIÉSEL FRENTE AL DIÉSEL

### a) Lubricidad

El biodiésel posee unas características de lubricidad superiores a la del diésel

- Se obtienen unos resultados marcadamente mejores en los ensayos de lubricidad realizados.
- Se producen menos partículas de desgaste (Fe,...) que con el diésel.

### b) Número de Cetano

Por lo general los esteres derivados de ácidos grasos tienen un NC mayores que el Diésel.

Durante el proceso de precombustión de los esteres en el motor se forman diferentes compuestos alcanos, alquenos, esteres, bencenos sustituidos y furanos entre otros.

Se ha comprobado que los compuestos aromáticos poseen un número de cetano menor (por eso el diésel tienen un NC inferior al biodiésel que no posee apenas aromáticos). Los ésteres que más cantidad de compuestos aromáticos poseen son los insaturados.

- Esta es una posible explicación de por qué estos poseen números de cetanos inferiores a los de los ésteres saturados.
- La posición del doble enlace también va a influir en la formación de especies de precombustión (Los cis generan menos aromáticos que los trans)

- Otro factor que influye en el NC es la estructura (ramificación, presencia y números de dobles enlaces en la molécula) Cuanto mayor sea la longitud de la cadena (número de CH<sub>2</sub>) mayor será también el NC, así como la ausencia de dobles enlaces.
- Por último decir que cuanto mayor sea la parte alcohólica del éster tanto menor será el NC.
- Existe una relación entre el punto de ebullición del éster con el NC.

Viendo esto, se puede comprender por qué dependen tanto las características de un biodiésel según su origen.

### c) Emisiones Contaminantes

Producen contaminaciones más eficaces debido a la presencia de oxígeno de las moléculas del éster en el núcleo del spray:

- Afecta a una mejora en el rendimiento de la combustión.
- Una importante disminución en la cantidad de partículas emitidas (menor opacidad en los humos) esto se ve influenciado por el mayor NC.
- Una menor emisión de CO y HC sin quemar.
- El Biodiésel está compuesto por cadenas largas de carbono similares a las parafinas del diésel. De esta manera se diluye el contenido en aromáticos reduciendo las partículas.
- Balance en emisiones de CO<sub>2</sub> nulo debido a que su origen es biológico.

## 7.6 DESVENTAJAS DEL BIODIÉSEL FRENTE AL DIÉSEL

### a) Incompatibilidad a Bajas Temperaturas

Uno de los mayores problemas que se encuentran a la hora de decidir el uso de Biodiésel como combustible es el de las malas propiedades que posee a bajas temperaturas. Generalmente como ya se ha indicado tanto los puntos de congelación (PC), puntos de nube (PN), como el punto de obstrucción por filtros fríos (POFF) son desde ligeramente superiores dependiendo del origen del éster (aceite de maíz, oliva, etc.). Para un Biodiésel procedente de un aceite residual el POFF está entre  $-7$  y  $0$  °C, lo cual es insuficiente para invierno. Utilizando un Biodiésel de origen animal el POFF es todavía superior.

### b) Mayor Viscosidad

Debido a que el biodiésel tiene una viscosidad mayor que el diésel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores. Si el spray es alterado por el flujo de combustible se pueden generar una coquización del inyector o dilución del lubricante.

### c) Coquización del inyector

La coquización se incrementa con el aumento de

- La viscosidad
- Peso molecular
- Potencia calorífica
- Disminuye con el aumento del grado de instauración.

#### d) Dilución de Lubricante

Se debe desarrollar un lubricante específico para este combustible. Se necesita uno que tenga una capacidad dispersante superior a la utilizada con el diésel (TBN alto)

El perfil de la destilación del biodiésel difiere mucho del gasoil aunque los puntos de ebullición finales son bastantes similares. Esto explica por qué el biodiésel tiende a disolverse más fácil en el lubricante que el diésel.

Existen estudios que indican que un aceite de motor se degrada mucho más rápido si el combustible utilizado es Biodiésel en vez de Diésel. La dilución que se produce por el Biodiésel en el aceite hace que la viscosidad disminuya en una de las primeras etapas (dilución del combustible) mientras que se observa que el TAN, TBN e insolubles están dentro de las especificaciones. En posteriores etapas aumenta con el tiempo (oxidación de lubricante) debido a la formación de depósitos y lacas, causada por la tendencia del biodiésel a la oxidación y polimerización del lubricante, debido a la presencia de dobles enlaces en su estructura. Se han observado diluciones máximas en el carter del orden del 15 – 20 %. Cada motor tiene un orden de dilución diferente debido a sus holguras de fabricación, régimen de trabajo, etc.

La dilución afecta de la siguiente manera al motor:

- Se observan depósitos de carbonilla blandos en la boquilla del inyector corona del pistón y cabeza del cilindro

- Se generan menos depósitos de carbono en la válvula de admisión y similares en la de escape que respecto al diésel.
- El biodiésel genera unos depósitos de carbón similares al diésel en los segmentos superiores, pero se obtiene mayores lacas en los segmentos internos.
- Formación de lacas en los orificios del inyector.
- Lodos en el sumidero, zonas de filtración de la bomba de aceite y otras partes del motor.
- Desgaste en el cojinete de bancada (Sn/Pb)

La dilución por combustible es mayor con la carga aplicada que con la velocidad. Respecto al lubricante:

- Pérdida de dispersancia.
- Separación de fases. Se forma una pequeña capa de fangos negros.
- Aumento de la Viscosidad.
- Aumento de los insolubles en el pentano.
- Aumento de los niveles de metales de desgaste.
- Aumento de la acidez del lubricante.

#### **e) Problema de Corrosión**

Pueden aparecer algunos problemas debido a corrosiones y partículas de desgaste en el aceite, que hay que tener en cuenta no sólo en lo que afecta al motor sino también respecto a la instalación (tanques de almacenamiento).

- Ataques a las juntas de nitrilo en contacto con el Biodiésel se disuelven, por lo que deben sustituir por las de Vitón que son más resistentes,

- También habría que tener en cuenta las que están con el aceite debido a los problemas encontrados en dilución con el Biodiésel.
- Las pinturas de depósito de combustible y demás partes se deben sustituir por otras acrílicas.
- Ataques al Cu y Pb

El Pb se desgasta muy rápido en presencia del Biodiésel. Las fuentes de Plomo que existen en el motor:

- Casquillo de Pie de Biela 10% (recubrimiento)
- Casquillo de la Bomba de aceite (recubrimiento)

El Cu también parece haber atacado por el Biodiésel, partes que contienen Cu son:

- Enfriador del Aceite al 100 %
- Casquillo de Piel de Biela 75 %
- Diferentes partes en menores porcentajes
- El Cu puede ser sustituido en la fabricación de las piezas
- Enfriador de acero inoxidable, su desventaja es que disipan peor que el calor, por lo que deben ser más grandes y pesados
- Sustitución de los casquillos de Piel de Biela otros que resistan ácidos y Cl

Agentes corrosivos presentes en el Biodiésel. El Cl es un agente muy corrosivo y por ello se debe limitar su presencia, este puede proceder de diferentes fuentes:

- La sal de las comidas
- Agua sin desalar en el proceso de fabricar Biodiésel

Ácidos presentes en el Biodiésel: A medida que aumentan la cantidad de ácidos en el motor se van generando depósitos en los sistemas de inyección con la consiguiente problemática en el bombeo del combustible, también atacan a las juntas y partes metálicas de los elementos del sistema de inyección.

Presencia del medio microbiano: La presencia de microbios provoca la corrosión de del sistema y una colmatación de los filtros prematura. Podría usarse aditivos anti – microbianos. El contenido en agua acelera la presencia de microbios.

#### **f) Otros contaminantes**

La presencia de K y Na pueden causar la precipitación de jabones obstruyendo los filtros. Estos se presentan en el Biodiésel debido a un defectuoso proceso de lavado en su producción.

Los Diglicéridos y Triglicéridos. Aumentan la corrosión al formar quelatos con los metales de las superficies metálicas. Existen en el mercado filtros bastantes hidrófobos para resolver en gran medida este problema.

Glicerina Libre y Total. Hay que controlar muy bien los niveles de estos dos compuestos debido a que afecta de forma muy directa a la bomba de inyección.

- Colmatan los filtros
- Por otro la generación del producto coquizados en los inyectores
- Aumentan la viscosidad y espesamiento
- Causan cristalizaciones a bajas temperaturas.

**g) Colmatación de filtros**

- Debido a que el biodiésel es un buen disolvente disuelve toda la suciedad que haya en el circuito de combustible hasta dejarlo limpio. Por ello al principio puede que se colmaten los filtros muy rápidamente y haya que cambiarlos a las pocas horas de uso.
- Si se ha usado anteriormente diésel, el biodiésel arrastrará toda la suciedad que se haya depositada en el sistema durante el uso del gasoil.
- Los filtros se pueden colmatar con glicerina con la consiguiente disminución de combustible bombeado (problemas de lubricidad) en la trampa líquida puede quedarse parte de la glicerina que haya sido filtrada.
- Los glicéridos causan cristalizaciones a bajas temperaturas. Los mono y di glicéridos afectan al punto de nube, pero no al de congelación. Se ha comprobado que los causantes de la colmatación de los filtros son los glicéridos saturados, por lo que los insaturados no contribuyen mucho al punto de nube. Hay que controlar especialmente los filtros cuando se trabaja a bajas temperaturas. Se pueden poner calentadores.
- Se pueden usar prefiltros de 5 a 10  $\mu\text{m}$  para eliminar la mayor cantidad de suciedad inicial.

## **h) Problemas de estabilidad**

- Posee menor estabilidad a la oxidación que el diésel debido a que posee dobles enlaces y oxígeno en su molécula, esto es importante a la hora de almacenar durante mucho tiempo el biodiésel.
- El uso de recipiente de acero y aluminio para almacenar biodiésel no afecta negativamente a su estabilidad
- La utilización de recipientes que contengan cobre, Cinc, plomo, o alguna combinación de estas tres afecta de manera muy negativa a la estabilidad ya que forma gran cantidad de sedimentos.
- Cuanto más contenido en C18: 3 tenga va ser menos estable
- Pueden favorecer la formación de depósitos en los inyectores

## **i) Colmatación de los filtros**

- Los productos que se generan en las pre-reacciones de combustión suelen ser más pesados formándose depósitos en el interior del motor y obstruyendo los inyectores.
- A medida que se aumentan las instauraciones se ha observado que los depósitos penetran más en los segmentos del pistón, No se observan ni en el cilindro, pistón ni inyector.

## **7.7 FORMAS DEL BIODIÉSEL**

### **7.7.1 Uso del Biodiésel Puro**

El biodiésel puro (B100, se conoce en la nomenclatura técnica asumida por varios países donde B representa al biodiésel y 100 representa al porcentaje

de mezcla con diésel, en donde este caso 100 porque la “mezcla” es 100 % de biodiésel y 0 % de diésel tiene propiedades físicas y químicas a las del diésel de petróleo, y por lo tanto puede ser utilizado con los mismos equipos y motores que el diésel con poca o ninguna modificación.

El cumplimiento de las norma técnicas de calidad es suficiente para garantizar que su uso no va causar problemas de performance en el motor. Sin embargo algunas propiedades específicas del B100 deben ser tomadas en cuenta durante su manipulación y uso (DOE, 2006 a)

#### **7.7.2 Uso del Biodiésel en Mezclas**

La forma más común de utilizar el biodiésel es en mezclas en diferentes porcentajes con el diésel de petróleo, es decir, en forma de aditivo. Este enfoque tiene las siguientes ventajas:

- Se reducen los problemas de uso en climas fríos
- Se evitan los problemas de incompatibilidad del biodiésel con el caucho y otros plásticos de mangueras y empaquetaduras.
- Se reduce el efecto de solvente.
- Se mejoran las emisiones (aunque en menos porcentaje que si se usa el biodiésel puro) sin reducir significativamente la potencia y el torque.

Diferentes países fomentan determinados porcentajes de mezcla según los objetivos que quieran alcanzar:

- Si se desea promover el empleo en el sector agropecuario mediante la producción de aceites vegetales para biodiésel, se debe tener en cuanta

la capacidad de producción local de oleaginosas. Este es el enfoque de Brasil que establece mezclas del 2 % de un inicio y luego del 5 % y de la Comunidad Europea con diferentes enfoques de mezcla según países.

- Si el objetivo es mejorar la calidad del aire en las ciudades se requiere mezclas de al menos 20 % ó 30 % de biodiésel.
- Con mezclas mayores al 20 % ó 30 % se logran mayores beneficios de reducción de emisiones de CO, material particulado e hidrocarburo, pero las emisiones de NOx pueden subir (dependiendo del tipo de motor). De importancia especial es la reducción de las emisiones de hidrocarburos poli cíclicos aromáticos y otros compuestos carcinogénicos o tóxicos que se encuentran normalmente en los escapes del biodiésel. Sin embargo, con estos niveles de mezcla se debe tener cuidado con el uso del combustible frío (por debajo de 0 ° C) con el efecto de disolución y limpieza del biodiésel, y con la compatibilidad con los materiales de las mangueras y empaquetadoras (DOE, 2006 a)

### **Realizando las Mezclas.**

Para realizar las mezclas de biodiésel se debe tener en cuenta varios factores como el porcentaje de mezcla, el volumen de biodiésel requerido para la mezcla, el volumen de mezcla final que se venderá o consumirá, la disponibilidad de tanques y el espacio de almacenamiento, los costos de equipamiento y operación y los requerimientos específicos para la mezcla (por ejemplo, temperatura mínima de uso).

La naturaleza química del biodiésel permite mezclarlo con cualquier tipo de diésel, incluyendo de aviones, kerosene, diésel N° 1, combustibles para usos militares, diésel N° 2 y combustibles para calderas o calefacción domiciliaria. Una vez que el biodiésel está completamente mezclado con el otro combustible, ambos componentes se quedan junto en una fase, si separarse en el transcurso del tiempo. Las mezclas con un contenido de 20 % de biodiésel o menos deben ser manipuladas exactamente como si se tratara de diésel convencional.

En general al mezclar biodiésel se debe tener en cuenta que:

- A mayor mezclado, mejor.
- El biodiésel es ligeramente más pesado que el diésel, por lo que si se incorpora primero el biodiésel y luego el diésel en un tanque, la mezcla no será completa, ya que el biodiésel tenderá a quedarse en el fondo del recipiente. Luego cuando el combustible es bombeado fuera del tanque como las bombas generalmente cargan la parte del fondo, se tendrá un combustible con alta concentración de biodiésel, lo cual podría generar problemas en los meses fríos de invierno (congelamiento, gelificación en el fondo de los tanques, taponeo de filtros, etc.)

Existen tres formas comunes de realizar las mezclas (DOE, 2006 a):

- **Splash – blending:** El biodiésel es incorporado en un recipiente, tanque o vehículo de carga que ya contiene diésel. al tener una mayor densidad, el biodiésel tiende a caer a través del diésel y mezclarse con éste. Se debe intentar, además, que el biodiésel sea incorporado de una manera

dispersa sobre toda la superficie del diésel, por ejemplo en forma de lluvia. La agitación posterior durante el transporte del recipiente o tanque es usualmente suficiente para que ambos componentes se mezclen totalmente. Puede haber dificultades en la mezcla si es que el biodiésel es incorporado al recipiente antes que el diésel, y si las condiciones climáticas son de muy baja temperatura. Este tipo de mezcla es la que suele realizar un usuario final del combustible, que adquiere tanto el diésel como el biodiésel puros para realizar sus propias mezclas. Si el tanque o vehículo de transporte de combustible se carga por su parte inferior, se necesita cargar primero el diésel y luego el biodiésel, el cual ascenderá a través del diésel gracias a su menor densidad, garantizándose una mezcla completa.

- **Mezcla en el tanque (In – tank blending):** similar a la operación anterior, es cuando el biodiésel y el diésel son cargados en un tanque, separadamente o al mismo tiempo pero por diferentes ingresos. La velocidad de llenado debe ser suficientemente alta como para que los combustibles se mezclen sin necesidad de recirculación o agitación adicionales. Si este no es el caso, se requieren recirculación o agitación para homogenizar la mezcla.
  
- **Mezcla en línea (In –line blending):** Es cuando el biodiésel es añadido a un flujo de diésel que viaja por un ducto, tubería o manguera de manera que ambos combustibles se mezclan completamente gracias al movimiento turbulento a lo largo del ducto. El biodiésel proviene de un

ducto más pequeño conectado en Y con el ducto principal del diésel. Una mezcla homogénea es adicionalmente garantizada gracias a la agitación que ocurre cuando esta tubería finalmente descarga en un tanque o depósito.

### **Propiedades Solventes del Biodiésel**

El biodiésel es un buen solvente. Si es incorporado en un sistema que anteriormente era alimentado con diésel y aún más con un diésel con alta cantidad de impurezas como el que se tiene en Perú, el biodiésel puede con el tiempo soltar y disolver sedimentos dejados por el combustible anterior en los tanques y sistemas de combustible. Al remover estos sedimentos ellos entrarán en el flujo de combustible pudiendo ocasionar taponeo de filtros y/o obstrucción de los conductos de combustible.

Es muy recomendable, entonces, limpiar el sistema de almacenamiento y conducción del combustible antes de cambiar a biodiésel y revisar los filtros de los vehículos y el interior del sistema de distribución antes de usar por primera vez el biodiésel y cambiarlos antes y después el primer uso de biodiésel en caso de ser necesario. Asimismo hay que tener cuidado con las superficies pintadas, ya que el biodiésel puede disolver ciertos tipos de pinturas.

### **Pruebas de Rendimiento de Biodiésel en motores diésel**

Se han realizado pruebas de rendimiento del biodiésel de aceite crudo de palma en un motor diésel a 1600 RPM y 2600 RPM empleando proporciones de mezcla

B2, B5, B10, B20, B35, B50 y B100. Se han evaluado el consumo específico, consumo efectivo y potencia en los motores. Los mejores resultados, comparando las mezclas son de B35.

Se observa que el aumento del consumo no es significativo. El máximo aumento se da en un 0,5 % en B100, lo cual quiere decir que el consumo horario es prácticamente igual cuando se utilizan los dos combustibles. Por lo tanto no hay diferencias al hablar de consumo específico u horario entre el diésel 2 y el biodiésel en cualquiera de sus mezclas pudiéndose utilizar el biodiésel sin la preocupación de que el consumo pueda aumentar.

#### **7.7.2.1 Aspectos Técnicos del uso de Biodiésel en Mezclas.**

Las mezclas de biodiésel al 20 % o menos (B20 o menos) minimizan la mayoría de problemas asociados con la compatibilidad de materiales, no hay riesgo con ningún tipo de plásticos y elastómeros presentes en mangueras y empaquetaduras normales. El B 20 se degrada más rápido que el diésel de petróleo en contacto con cobre, bronce, latón o zinc, pero mucho más lento que el biodiésel puro y en general tiene una mayor vida puede ser almacenado por mayor tiempo que el biodiésel puro. La estabilidad del B20 depende al igual que la del biodiésel del aceite de procedencia. La mayoría de B20 sin embargo, deberían poderse almacenar sin riesgo hasta por 8 a 12 meses (DOE, 2006 a)

El B20 al igual que el biodiésel puro, tiene efecto de limpieza de los sedimentos que se encuentran en el sistema de combustible de vehículo,

aunque en menor intensidad. De este modo, usar B20 podría causar algo de taponamiento de filtros en las primeras semanas de uso, mientras se limpia el sistema, pero sin otros efectos negativos (DOE, 2006 a).

Añadir biodiésel de petróleo, aún en muy pequeñas cantidades (desde un 0,25 %), incrementa significativamente su lubricidad. Es por eso que algunas flotas, y algunos países han adoptado el B2 como su combustible habitual, para evitar el uso de otros aditivos lubricantes. Esto es especialmente importante para el diésel bajo en azufre el cual tiene aún menor lubricidad que el diésel convencional. El biodiésel, al no tener azufre pero sí mayor lubricidad, actúa como excelente aditivo en estos casos (DOE, 2006 a).

## 7.8 BALANCE ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Concepto	Energía consumida KJ / Kg aceite procesado	Energía disponible KJ / Kg aceite procesado
<b>Insumos</b>		
Aceites usados	0,00	
Metanol	7816,63	
KOH	230,81	
Agua	5,72	
<b>Procesos</b>		
Recolección aceites	0,00	
Decantado y filtrado	0,00	
Secado	286,92	

Transesterificación	205,52	
Lavado	9,12	
<b>Producto</b>		
Biodiésel		31 193,40
Total	8 554,72	31 193,40
<b>Balance de energía</b>		22 638,68

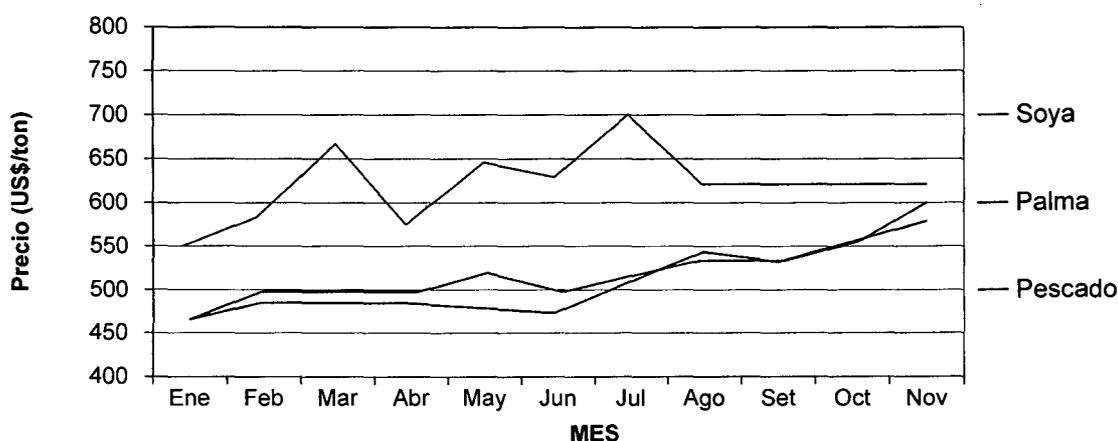
De acuerdo con el balance de masas del proceso de todo aceite recolectado se obtiene un 91,9 % de aceite seco y libre de sólidos y de éste luego de la esterificación y purificación del biodiésel se obtiene un 90,5 % de biocombustible. Es decir el rendimiento total del proceso es de 83,2% (en peso)

## VIII. PROYECTOS – EVALUACIÓN

Se compara una serie de estimaciones de los rangos de costos para la producción de biodiésel en Europa, Estados Unidos, Argentina y Perú. Tal como se puede apreciar, el costo de biodiésel varía significativamente dependiendo de la materia prima utilizada y el lugar de producción y su competitividad dependerá del precio del crudo de petróleo, que determinará el precio del diésel.

### EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LOS ACEITES COMESTIBLES CRUDOS

(AÑO 2007)



Notas: Aceite crudo de soya, precio FOB Argentina; aceite crudo de palma, Precio Fob Rotterdam; aceite crudo de pescado, precio FOB Perú.

Fuentes: Comunidad Andina – Sistema Andino de Franjas de Precios y Resoluciones quincenales (2007). Prompex Stat (2007).

La posibilidad de más aumentos en el precio del aceite comestible de soya y otras oleaginosas a consecuencia del déficit en la producción de estos granos a nivel mundial durante el ciclo 2007-2008, se suma a la caída en los inventarios de oleaginosas en 18 millones de toneladas a nivel mundial; "los stocks mundiales de granos se reducirán a un mínimo histórico, en relación con el volumen de consumo".

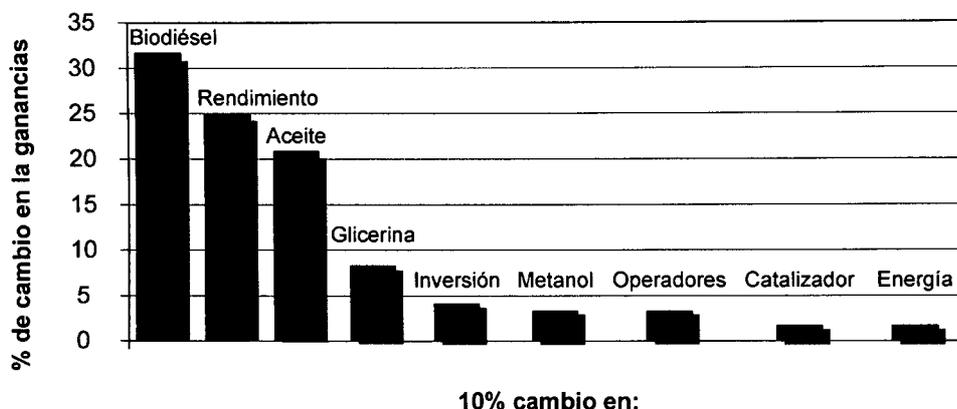
Como resultado de los reducidos inventarios de granos y de oleaginosas en el mundo, es seguro que en 2008 se dará una competencia por las tierras cultivables entre ambos, que se volverá más agresiva por las pérdidas en las cosechas mundiales en 2007.

China incrementó significativamente sus importaciones de aceites de soya, de palma y de nabo, así como de frijol de soya. Se estima que seguirá fomentando las importaciones para elevar la oferta local y provocar descensos en sus precios.

Expertos de los mercados de oleaginosas y granos señalan que es necesaria una reevaluación de las políticas gubernamentales sobre biocombustibles alrededor del mundo. Las cotizaciones han alcanzado niveles tan elevados que los gobiernos deberían empezar a reconsiderar sus objetivos de utilización de biodiesel.

Las metas de consumo de biocombustibles de varios países para 2009 y años subsecuentes son ambiciosas, lo que creará una demanda adicional que el mercado mundial de aceites y grasas no podrá satisfacer, al menos no en el presente año ni en 2009.

## FACTORES DE RENTABILIDAD PARA EL BIODIÉSEL



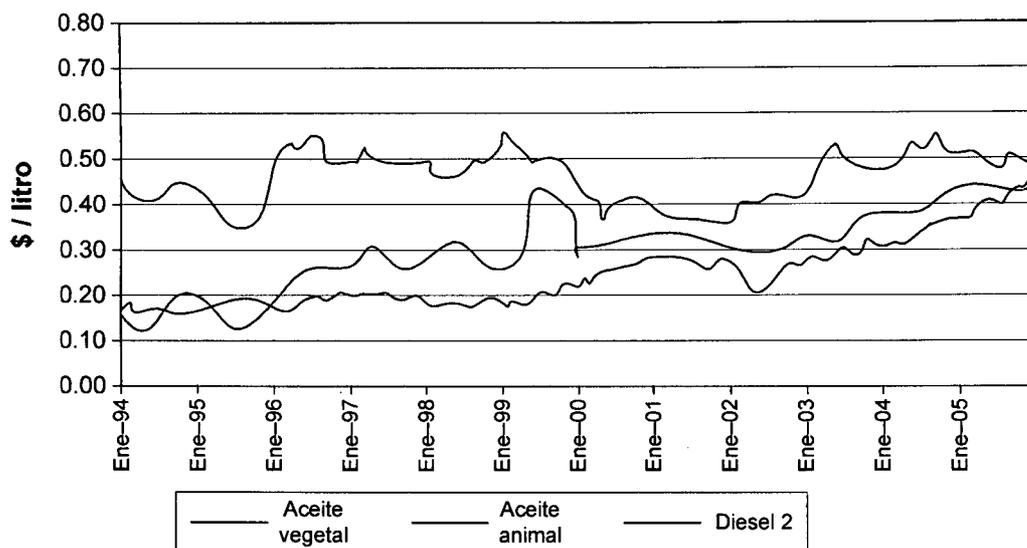
Fuente: Austrian Biofuels Institute, 2000

Los principales factores que influyen en la rentabilidad del biodiésel son comparados en ésta figura, que muestra el porcentaje de cambio en las ganancias obtenidas del biodiésel. Cuando el factor respectivo cambia en un 10 % según estudios realizados por el Austrian Biofuels Institute:

- El precio del biodiésel es el factor importante, ya que está en relación directa con el precio del diésel, su competidor directo.
- Rendimiento en la producción del biodiésel es decir la eficiencia del proceso e transformación del aceite en biodiésel.
- Precio de aceites, materia prima para producir el biocombustible.
- El precio de la glicerina que puede ser vendida para darle diversos usos industriales.

En los últimos 10 años la tendencia es al igual que el precio del diésel y de los aceites vegetales y grasas animales, lo cual permite una rentabilidad del biodiésel con una menor dependencia de los subsidios u otras medidas de promoción.

## EVOLUCIÓN DE PRECIOS DEL ACEITE VEGETAL GRASA ANIMAL Y DIÉSEL 2 (1994 A 2005)



Fuente: Matthews y O'Connor, 2006

La producción de biocombustibles a partir de granos de aceite vegetal dejando de utilizar el petróleo, hace que la demanda del aceite “materia prima” sea cada vez mayor.

Con la demanda de China e India que redujeron aranceles para favorecer la importación de aceite crudo de palma y soya, la fabricación de biodiésel y la producción de Colza, en Europa, se sumaron elementos para disparar el mercado internacional. La producción mundial de aceite de palma se calcula en 3.000 millones de toneladas.

## IMPORTACIÓN DE ACEITES COMESTIBLES AL PERÚ (AÑOS 2004 - 2005)

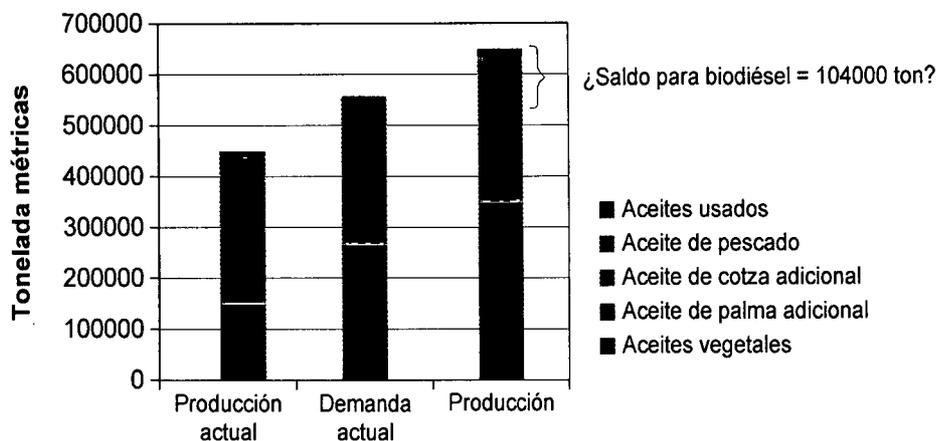
PRODUCTO	Producción por año (toneladas)	
	2004	2005
Aceite de algodón refinado	0,6	3,9
Aceite de girasol en bruto	7.288,3	10.566,8
Aceite de girasol refinado	341,4	484,2
Aceite de oliva refinado	57,5	58,6
Aceite de oliva virgen	264,7	220,8
Aceite de soya en bruto	212.148,1	240.884,0
Aceite de soya refinado	19.428,0	23.528,7
<b>TOTAL</b>	<b>241.532,6</b>	<b>277.742,0</b>

FUENTE: MINAG, ESTADÍSTICA AGRARIA MENSUAL 2004 - 2005

Actualmente se puede hacer un ejercicio de proyección basados en los planes anunciados de la expansión de los cultivos de palma y colza.

El aceite de soja continúa siendo el aceite vegetal más utilizado en la producción de biodiesel en Brasil, Argentina y Estados Unidos, por ser el único con escala de producción suficiente"

## DEMANDA POTENCIAL DE ACEITES EN EL PERÚ



FUENTE: MINAG, ESTADÍSTICA AGRARIA MENSUAL 2004 – 2005

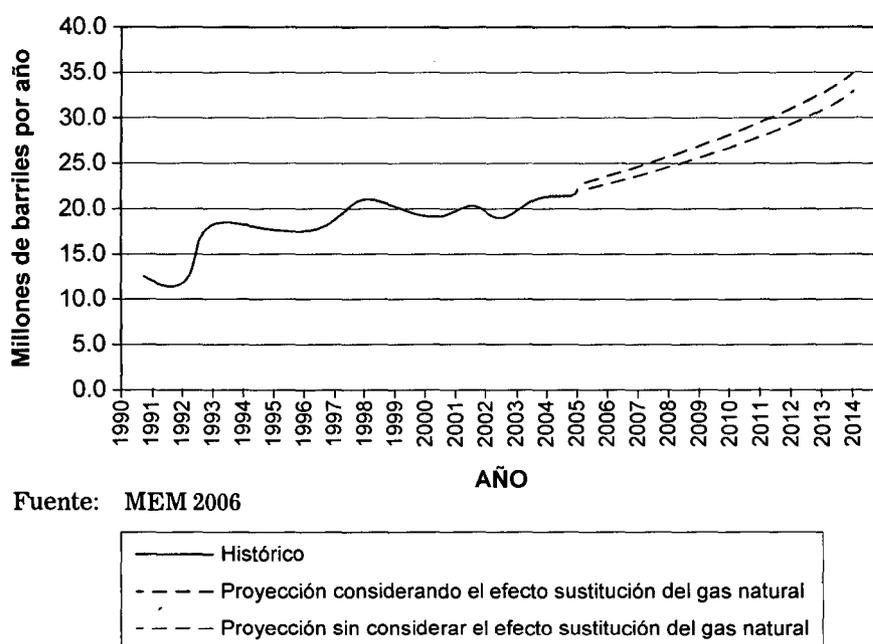
Aquí se aprecia un resumen esquemático de la situación actual y potencial de las principales fuentes de materia prima oleaginosa en el Perú, que comparadas con la demanda actual. La demanda puede variar según la evolución de los precios y el mercado, además la posibilidad de que parte de la producción de aceite, destinada a la exportación se use para producir biodiésel en un futuro no muy lejano.

Si los planes anunciados de ampliación de los cultivos de palma y colza llegan a realizarse y la demanda de aceites para producción de alimentos y para exportación, no varía se podría disponer de aproximadamente 104 mil toneladas de aceites para la producción de biodiésel. No obstante en el mejor de los casos (es decir si los planes adecuados se llevan a cabo) el incremento en la producción de aceite tomaría algunos años, es muy probable que las primeras iniciativas empresariales de producción de biodiésel a gran escala en el Perú, requieren iniciar sus operaciones con aceite importado.

Esto si bien puede ser económicamente rentable tiene posibilidad de arrojar un balance energético negativo.

La demanda por diésel 2 en el Perú se ha mantenido relativamente constante en los últimos 10 años aunque claramente por encima de los niveles de producción nacional Sin embargo si el análisis se extiende a los sucedido desde principios de los años 90 y se proyecta además a los próximos años , tal como se muestra a continuación :

### DEMANDA ESTIMADA DEL DIÉSEL 2 (AÑOS 1990 – 2014)



FUENTE: MINAG, ESTADÍSTICA AGRARIA MENSUAL 2004 – 2005

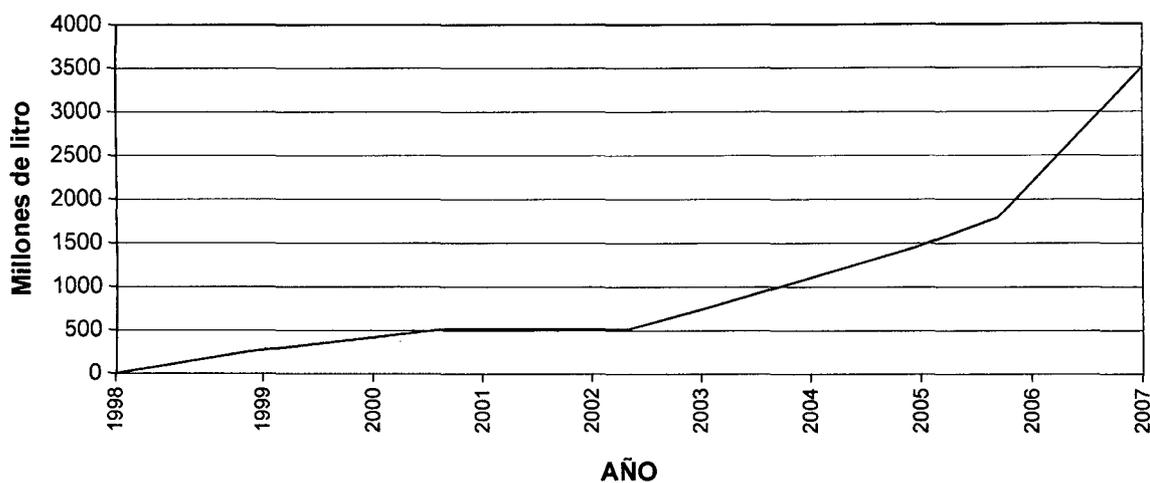
Se pueden apreciar incrementos significativos en el consumo de diésel 2 en el Perú, según estadísticas del MEM (2005 a) se pasó de un consumo de poco menos de 12 millones de barriles en 1990, a más de 23 millones en el año 2004, puesto en perspectiva de su participación en el mercado de combustibles de derivados del petróleo la

proporción del diésel 2 en el mercado nacional pasó de algo menos del 28 % en 1990, al 42 % en el 2004. Esto se explicaría principalmente por la política tributaria aplicada a los combustibles desde la década de los años 90, la cual no fue muy coherente con la producción nacional y distorsionó el consumo interno, no obstante proyecciones realizadas por el precio del (MEM) 2005, prevén que el consumo de diésel 2, seguiría incrementándose de manera importante, superando los 32 millones de barriles anuales. En el 2014 aún considerando el efecto de sustitución del gas natural. Lo crítico de esta situación radica en que el diésel 2 cada vez se producirá menos en el país y además es el más caro de importar.

La producción de biodiésel ha tenido un crecimiento espectacular en los últimos años, entre el 2000 y el 2005, ésta se ha cuadruplicado, mientras que la producción del bioetanol sólo creció al doble y la del petróleo sólo creció un 7 %, sin embargo, aún no está lejos de los niveles de producción mundial de bioetanol, que ya superó los 35 millones de litros por año.

La producción de biodiésel 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)

## PRODUCCIÓN MUNDIAL DEL BIODIÉSEL (1998 a 2007)



Fuente: IEA

La producción total de biodiésel registrada en 2007 fue de 7,9 millones de toneladas, situándose como principal productor Alemania con 2 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos con 1,2 millones, Francia con 1,15 millones e Italia con 550.000 toneladas. España, según estos datos, ocupa el séptimo lugar entre los 10 principales productores mundiales de biodiésel, con 200.000 toneladas, un 60% más que en 2006, y está por delante de Reino Unido, Colombia e Indonesia.

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. El biodiésel preparado con aceite nuevo a base de soya y como insumo metóxido de sodio, permitió obtener 4600 mL de biodiésel sin refinar (96% del total de la mezcla); luego del proceso de refinación se obtuvo 4500 mL que representa el 93.8 % de la mezcla inicial, que fue de 4800 mL.
2. El biodiésel preparado con aceite nuevo a base de soya y como insumo etóxido de sodio, permitió obtener 3600 mL de biodiésel refinado, el cual representa el 90% respecto a la mezcla original el cual fue de 4000 mL.
3. El biodiésel obtenido a partir del aceite usado y metanol como insumo permitió obtener 4200 mL de biodiésel (87.5% del total), aproximadamente 80 mL de jabón y aproximadamente 520 mL de glicerina.
4. El biodiésel obtenido a partir de aceite usado e insumo etóxido de sodio permitió obtener 3450 mL de biodiésel que representa el 86% respecto a la carga inicial.
5. Los parámetros más importantes para la manufactura del biodiésel son: Relación volumétrica de aceite a alcohol, temperatura de reacción, velocidad de agitación, tiempo de reacción.
6. Respecto a la diferencia de cantidades relativas obtenidas usando metanol como insumo, se obtuvo mayores rendimientos respecto al etanol con ambos aceites (nuevo y usado), debido a que fundamentalmente este último proceso implica

mayor número de etapas, lo cual genera pérdidas tales como en la etapa de separación de fases y en la etapa de lavado.

7. La preparación de biodiésel a partir de metanol como insumo es mucho más sencilla; sin embargo, su utilización cada vez más se está restringiendo por su alta toxicidad, y además de ser un producto importado.
8. La producción de biodiésel a partir de etanol, ha sido muy poco estudiada, no se reporta muchos datos en la bibliografía; sin embargo tiene una gran proyección en el mercado nacional e internacional debido a la baja o ninguna toxicidad del insumo y por que nuestro país puede suplir las necesidades de etanol.
9. Es importante realizar el tratamiento con la arcilla activada para eliminar las impurezas remanentes en el biodiésel. Este proceso permite una mejor performance de los motores; permitiendo un ahorro de combustible y la disminuciones de la emanación de gases contaminantes. Con este tratamiento, el biodiésel obtenido se clarifica y tiene una mejor apariencia física.
10. El pH del producto terminado (biodiésel) debe fluctuar entre 6 y 7, es decir, debe tener un carácter ligeramente ácido.
11. No es posible realizar una esterificación directa del aceite o grasa con etóxido de sodio, pues se obtiene una mezcla homogénea formada por el biodiésel, el etanol y la glicerina, cuya mezcla no es sencilla su separación. Se tendría que usar un

método tal como la destilación, lo cual haría restrictivo la utilización del producto debido a su elevado costo.

## X. CONCLUSIONES

1. Se ha caracterizado adecuadamente la materia prima (aceite nuevo y aceite usado) para usar una esterificación alcalina o ácida y para adicionar las cantidades precisas de cada uno de los reactivos por medio de los métodos estándares de caracterización en concordancia con las normas establecidas.
2. Se ha obtenido el biodiesel usando como materia prima aceite nuevo y usado, teniendo como materia prima metanol y etanol en cada caso en un reactor batch experimental de 5 litros de capacidad.
3. Se ha establecido las condiciones de operación tal como la temperatura que fue de 60 y 70 °C, el tiempo de reacción de 20 minutos, relación de reactivos, y velocidad de agitación 300rpm.
4. Se ha establecido las reacciones principales de esterificación de los aceites usados en la producción de los biodiesel.
5. Con los datos obtenidos en el proceso, es posible hacer un escalamiento del proceso de producción del biodiesel a mayor escala.

## XI. RECOMENDACIONES

1. Las extensas pruebas realizadas en todo el mundo con éste combustible demuestran que el mismo es competitivo con el gasoil, y representa una de las alternativas más viables en el campo de las energías renovables, por lo que su uso debe ser impulsado.
2. La reducción neta de humos (en escala lineal) fue de cerca de un 43%. El aumento de humos derivados de la combustión de gasoil fue de un 75% respecto a las emisiones del biodiésel., por lo que desde este punto de vista su inclusión paulatina en los diesel debe ser considerado.
3. Las áreas donde se produce manipulación y almacenamiento de metanol deberán estar correctamente ventiladas para evitar la acumulación de vapores. que son altamente tóxicos.
4. El contenido de agua disuelta del metil éster de soya puede sobrepasar ampliamente los límites exigidos por las normas internacionales de calidad del biodiésel, y se considera que los límites de las normas DIN y ASTM sobre contenido de agua no debieran ser altas, para evitar mermas en los procesos de producción.
5. Los derrames del Biodiésel en ríos y mares resultan mucho menos contaminantes ya que fácilmente se biodegradan, aproximadamente el 85% en sólo 4 semanas, debido a esto el Biodiésel es ideal para emplearse en motores de barcos y lanchas y transportes en parques nacionales, bosques y sobre todo en las grandes ciudades.
  - La investigación en los procesos de transesterificación, los catalizadores y procesos óptimos son problemas optimizables que demandan la colaboración de las diferentes ramas de las ciencias químicas y las ingenierías. El análisis

de las condiciones económicas y los modelos de negocios para comercializar, no sólo el biodiésel sino también la glicerina, constituyen potenciales campos de análisis para los investigadores de economía, administración de empresas y comercio exterior. El uso de los aceites vegetales por parte de la industria y del sector automotriz cada vez será mayor lo que permitirá eliminar paulatinamente la utilización de los aceites derivados del petróleo. Los requerimientos de que los aceites lubricantes sean biodegradables y no tóxicos marcará la diferencia entre los vegetales y cualquier otro tipo de aceite. En la actualidad los aceites vegetales, son casi de uso exclusivo de los países desarrollados y en muy pocos casos se encuentran en el sector productivo de América Latina debido fundamentalmente a la inexistencia ó falta de aplicabilidad de normas ambientales más exigentes que conlleven de manera obligatoria a que la industria los utilice. La recomendación en este caso es que el paso a los aceites vegetales se de en el siguiente orden: minerales-sintéticos y vegetales.

Así mismo, los materiales que componen las estanterías y artefactos similares deberán ser antichispa. Las distancias entre el almacén y la vía pública serán de tres metros para 1000 litros de metanol, aumentando un metro por cada 1000 litros más de metanol. La distancia entre dos almacenes similares deberá ser el doble de la anterior. El metanol es un compuesto orgánico muy importante ya que el grupo hidroxilo se convierte con facilidad en cualquier otro grupo funcional. Así el metanol se oxida para obtener formaldehído (formol) y ácido fórmico; mientras que por su reducción obtenemos metano. Igualmente importantes son las reacciones de éter y esterificación.

## XII. BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS

1. Alvarez P. Bustillo MD, Barriga F, Pereda J, Duran M, (2003) Producción de Biodiésel a partir de residuos agroalimentarios. Rev. Alimentación, Equipos y Tecnologías.
2. Applewhite T. H. (1980) En Kirk -Othmer, Encyclopedoa of Chemical Technology, Tercera Edición. Nueva York : John – Wiley & Sons pp 795 – 811
3. Coello J., Castillo L., Castro P., Calle J. L., Sevilla S., Acosta F., Sologuren G., Canturín A., Vidal C. (2006) Evaluación de opciones para la producción de biodiésel a pequeña escala en el Perú. Ponencia en II Seminario Internacional en Biocombustibles y Combustibles Alternativos., Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
4. Comisión Técnica de Biocombustibles (2004). Informe Final: Promoción del mercado de biocombustibles, Lima, CONAM. Mayo 2004.
5. Conam (2001) Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Primera Comunicación. Lima: CONAM, 120 pp.
6. DOE (2006 b) State and Federal Incentives and Laws. U.S. Department of Energy :  
Alternative Fuels Data Center : [http :  
//www.eere.energy.gov/afdc/progs/view\\_ind\\_mtx.cgi?tech/BIO/US/0](http://www.eere.energy.gov/afdc/progs/view_ind_mtx.cgi?tech/BIO/US/0)

7. Henniges O. Zeddies (2006) "Bioenergy and agriculture: Promises and challenges. Bioenergy in Europe: Experiences and prospects. Focus 14, Washington International Food Policy Research Institute 2 pp.
8. H. Nouredini Kinetics of Transesterificación of Soybean Oil Department of Chemical Engineering. University of Nebraska, Nebraska, USA.
9. Iniciativa aire limpio. Lima: (2001 ) Lima y Callao
10. Leonoir Christian Análisis de la Producción de Biodiésel ( 2004 ) Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Argentina)
11. Marcel Dekker, Inc, New York Fatty Acids and Their Industrial Applications. Pág 195
12. Mattews 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. Perú Hydrocarbon Asístanse Project. 80 pp.
13. Michael Allen, The Modelling of the biodiésel reaction: Department of Mechanical Engineering. Prince of Songkia University. Haidai Thailand.
14. Roger A. Korus, Dwight S. Hoffman Narendra Bam, Charles L. Peterson and David C. Drown Department of Chemical Engineering University of Idaho

15. Roger A. Korus Transesterificación process to manufacture ethil estero of rape oil. Department of Mechanical Engineering, Prince of Songkia University. Haidai Thailand.
16. Sáenz A. (2003) Situación y avances del plan nacional de promoción de palma aceitera, Lima: Ministerio de Agricultura – Programa para el desarrollo de la Amazonía, Julio 2005.
17. Zhang Y., Dubee M.A., Malean D.D., Kates M. (2003) “Biodiésel production from waste cooking oil: 1. Process design ans technological assessment. Bioresource Technology 89 ( 2003 )
18. [http://journeytoforever.org/es/biodiésel\\_fabricar.html](http://journeytoforever.org/es/biodiésel_fabricar.html)
19. <http://www.eco2site.com/informes/biodiésel-m.asp>

## XIII. APENDICE

APENDICE A: Guía de Procedimiento Experimental de Laboratorio

### 1. OBJETIVOS

Guiar al investigador en la práctica del laboratorio, dando a conocer los análisis tomados en cuenta para el control de calidad del biodiésel, de tal manera que se verifique si cumple con las condiciones establecidas.

#### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD (20 °C / AGUA A 20 °C)

##### Resultados:

Densidad del aceite de soya = 0,921

Densidad del aceite usado = 0,918

#### DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ACIDEZ

##### REACTIVOS Y SOLUCIONES

- Solución de Hidróxido de sodio 0,1 N: (Disuelva 4,00 gramos de NaOH en un litro de solución con agua destilada)
- Alcohol etílico para análisis
- Indicador fenolftaleína: Disuelva 0,05 gramos de fenolftaleína en 50 mililitros de alcohol etílico y 50 mililitros de agua destilada

## EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza analítica con lectura mínima de 0,1 miligramo
- Un Erlenmeyer de 250 mililitros
- Una Bagueta
- Una Bureta de 50 mililitros con lectura mínima de 01 mililitro

## PROCEDIMIENTO:

- Pese en un Erlenmeyer, 2 gramos de muestra, con precisión al 0,1 miligramo
- Diluya con 30 mililitros de alcohol etílico.
- Caliente en baño maría, hasta disolver si es necesario.
- Adicione como indicador unas siete gotas de fenolftaleína
- Titule con la solución de Hidróxido de sodio 0,1 N hasta obtener una coloración rosada permanente por 30 segundos.
- Anote el gasto

## EXPRESION DE RESULTADOS:

El número ácido se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Número ácido} = \frac{\text{Gasto en mL de NaOH} \times N_{\text{NaOH}} \times 56,1}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

### **Resultados:**

Densidad del aceite de soya = 0,50

Densidad del aceite usado = 0,48

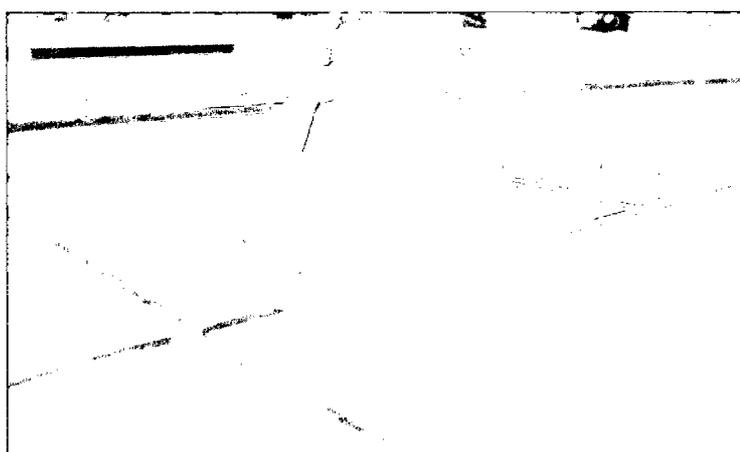
$$\text{\% Acidez total (como ácido oleico)} = \frac{\text{Gasto en mL de NaOH} \times N_{\text{NaOH}} \times 282,47}{\text{Peso de muestra en gramos} \times 10}$$

Expresar el resultado del número ácido con dos decimales, como miligramo de KOH por gramo de muestra (mg KOH/ g).

**Resultados:**

% de acidez total del aceite de soya = 0,57

% de acidez total del aceite usado = 0,65



## DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO

### PRINCIPIO DEL MÉTODO

El método empleado es el de la titulación volumétrica

### REACTIVOS Y SOLUCIONES

Ciclohexano, grado reactivo

Reactivo de Wijs

Yoduro de potasio (KI), solución acuosa al 15 % en peso: Diluir 15 gramos de KI en 100 mililitros de agua destilada, hervida y fría.

Solución indicadora de almidón: Preparar una pasta con un gramo de almidón soluble y una pequeña cantidad de agua y agregar con agitación continuada 100 mililitros de agua en ebullición y hacer hervir durante un minuto.

Tiosulfato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 0,1 N: Diluir 25 gramos de ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en 1 litro de agua destilada hervida y fría.

### EQUIPOS Y MATERIALES

Balanza Analítica con lectura mínima de 0,1 miligramo

Erlenmeyer de 500 mililitros de capacidad con tapa esmerilada

Pipetas de 25 mililitros de capacidad

Una Bureta de 50 mililitros con lectura mínima de 0,1 mililitros

Vaso de precipitados de 50 mililitros de capacidad

## PROCEDIMIENTO

Pese en un erlenmeyer, las cantidades a pesar, dadas por literatura o información fabricante, en los puntos siguientes:

*Para aceites con índice de yodo menores a 100: de 0,19 a 0,25 gramos.*

*Para aceites con índice de yodo mayores a 100: de 0,15 a 0,18 gramos*

Adicione 20 mililitros de ciclohexano, agite bien hasta disolución completa de la muestra.

Adicione 25 mililitros del reactivo de Wijs, con agitación vigorosa. Tape y coloque en un lugar oscuro durante el tiempo siguiente:

*Para aceites con índice de yodos menores a 100: 1 hora*

*Para aceites con índice de yodo mayores a 100: 2 horas.*

Agregue 200 mililitros de una solución de Yoduro de potasio y 100 mililitros de agua destilada.

Titule con solución de Tiosulfato de Sodio 0,1 N, agitando constantemente hasta ligera coloración amarilla.

De inmediato agregue la solución de almidón se tornara de olor azul.

Continúe titulando hasta desaparición del color azul a incoloro o blanco.

Anote el gasto.

Se deberá ensayar una muestra en blanco.

## EXPRESION DE RESULTADOS.

El índice de Yodo se calcula con la siguiente fórmula

$$\text{Índice de yodo} = \frac{\left( \text{Gasto en mL del blanco} - \text{Gasto en mL de muestra} \right) \times N_{\text{Na}_2\text{SO}_3} \times 12,69}{\text{Peso de muestra}}$$

**Resultados:**

Índice de yodo del aceite de soya = 122

Índice de yodo del aceite usado = 124

Índice de yodo del aceite del biodiésel (metanol + aceite de soya) = 119

Índice de yodo del aceite del biodiésel (metanol + aceite usado) = 119

Índice de yodo del aceite del biodiésel (etanol + aceite de soya) = 121

Índice de yodo del aceite del biodiésel (etanol + aceite usado) = 120

**VISCOSIDAD SAYBOLT**

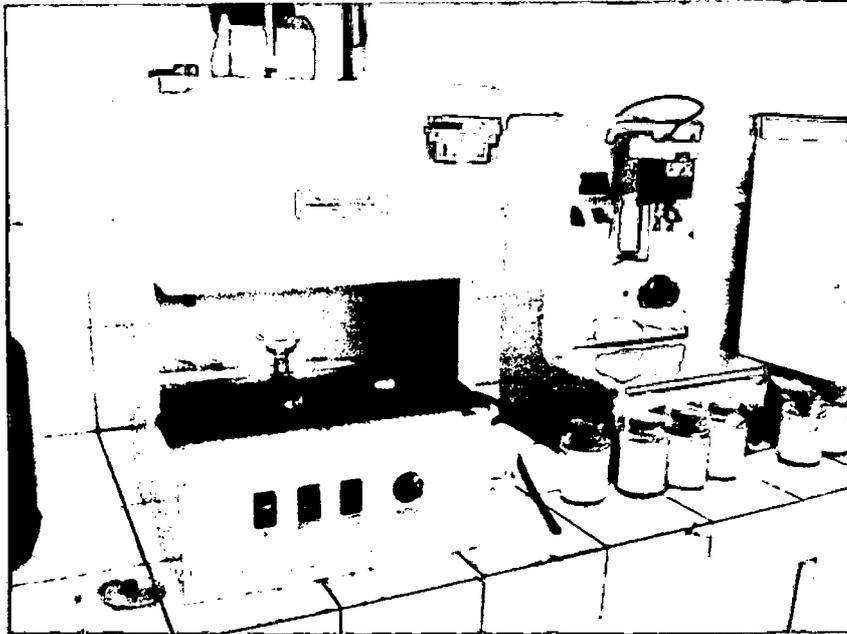
Enrase el líquido a ensayar en los tanques del viscosímetro que previamente se deberá limpiar con solvente y tapar con un tapón de jebe o teflón. Colocar los termómetros en sus respectivos soportes introducidos en el líquido a ensayar.

Poner a calentar el equipo agitando permanentemente hasta que la temperatura se estabilice en 40 °C.

Descargue el líquido a ensayar en los balones graduados paralelamente haga funcionar el cronómetro. Apague el cronómetro en el momento que el líquido haya alcanzado el menisco del balón graduado.

Anote la temperatura en segundos.

Haciendo uso de la norma ASTM D 2161 convierta los valores encontrados de viscosidad Saybolt en seg (SUS) a viscosidad cinemática en centistokes (cst)



### **Resultados:**

Viscosidad del biodiésel (metanol + aceite de soya) = 4,5 cst

Viscosidad del biodiésel (metanol + aceite usado) = 4,8 cst

Viscosidad del biodiésel (etanol + aceite de soya) = 4,83 cst

Viscosidad del biodiésel (etanol + aceite usado) = 4,96 cst

### **PUNTO DE EBULLICIÓN**

Coloque 60 ml De muestra a ensayar con 8 bolillas de vidrio.

Inserte en un condensador sobre la fuente de calor.

Abra el condensador y aplique calor durante 10 minutos  $\pm$  2 min a un régimen de 1 a 5 gotas por segundos.

Mantener por  $5 \pm 2$  segundos, mantenga el reflujo durante 2 minutos adicionales.

### **Resultados**

Punto de ebullición del biodiésel (metanol + aceite de soya) =  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punto de ebullición del biodiésel (metanol + aceite usado) =  $215\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punto de ebullición del biodiésel (etanol + aceite de soya) =  $258\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punto de ebullición del biodiésel (etanol + aceite usado) =  $267\text{ }^{\circ}\text{C}$

### **TOLERANCIA AL AGUA**

$40\text{ }^{\circ}\text{C}$  Colocar 100 mL de muestra que previamente a sido humidificado en un tubo centrifugo de forma cónica, coloque un tapón introduzca en cámara de baja temperatura a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 22 horas  $\pm 2$  horas.

Saque el tubo limpie con alcohol y determine la transparencia de líquido en una carta de ensayo RM – 28.

Examine el líquido por evidencia alguna sedimentación o estratificación.

Invierta el tubo observar, anotar el numero de segundos hasta que la burbuja de aire llegue a la parte superior hasta graduación de 2 mL.

### **Resultados:**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = No Sedimenta- No estratificación

Biodiésel (metanol + aceite usado) = Ligeros Sedimentos, luego del filtrado desaparece.

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = No Sedimenta – No estratificación

Biodiésel (etanol + aceite usado) = Ligeros Sedimentos, y algunas precipitaciones, luego del filtrado desaparece.

### **FLUIDEZ Y ASPECTO A BAJA TEMPERATURA**

- 40 ° C Colocar 100 mL. En tubo tape con un corcho – 40 °C por 144 horas ± 4 horas seque y limpie con alcohol y determine el numero de segundos, hasta que se invierta el tubo y determine el aire alcanzado, permita que la muestra alcance 23 °C ± 5 °C así manténgalo durante 4 horas, examine si hay evidencia de sedimento de estratificación y/o sedimentación.

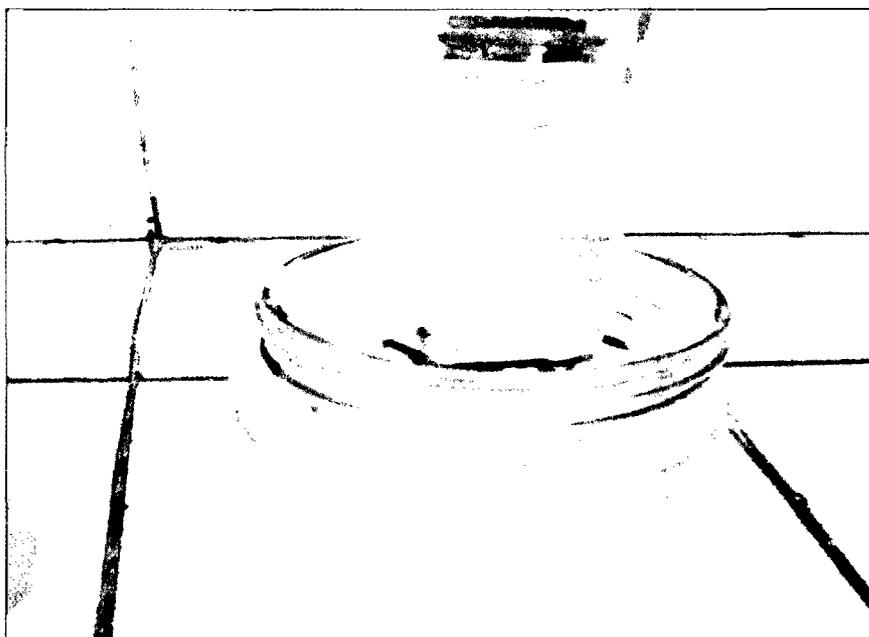
#### **Resultados**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = No se aprecia Sedimento

Biodiésel (metanol + aceite usado) = No se aprecia Sedimento

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = No se aprecia Sedimento

Biodiésel (etanol + aceite usado) = No se aprecia Sedimento



### **PUNTO DE INFLAMACIÓN**

Llene la copa con muestra a ensayar hasta la altura que la cresta del menisco llegue exactamente al nivel del llenado, si hay demasiada muestra en la copa, el exceso se debe remover usando pipeta o cualquier otro aparato similar.

Si la parte líquida moja al exterior de la copa este se debe vaciar, luego secar de nuevo y volver a llenar, distribuir las burbujas que se presentan en la superficie.

Coloque la copa sobre la hornilla eléctrica, inserte el termómetro en posición vertical con la base del bulbo a 10 mm. Arriba del fondo de la copa y en un punto intermedio entre el centro y el borde de la copa frente al arco de barrido de la llama.

Encienda la llama aplique calor inicialmente a una velocidad de incremento de T de 14 a 16 por minuto a 60 °C por debajo de la esperada del punto de inflamación se

reduce el calor hasta lograr una velocidad de incremento de temperatura de 5 °C a 6 °C por minuto en los últimos 30 °C, antes del punto de inflamación.

Aplique la llama de ensayo a los 30 °C antes del punto de inflamación esperado, cada vez que se incremente en 2 °C la temperatura de la muestra. Con movimiento suave y continuo se aplica la llama en línea recta o circunferencia, en el movimiento de la segunda aplicación de la llama de ensayo, esta se pasa en sentido opuesto al anterior.

### **Resultados**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = 153

Biodiésel (metanol + aceite usado) = 150

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = 148

Biodiésel (etanol + aceite usado) = 146

### **DETERMINACIÓN PARA MUESTRAS DE CORROSIÓN**

<b>Tiras</b>	<b>Especificación.</b>
Cobre RM – 11	SAE CA 114

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

- Balanza analítica de 0,1 mg
- Desecador de silica gel
- Vernier 0,01 mm
- Estufa a 100 °C
- Centrifuga con tubo cónico 100 mL de capacidad

- Frasco de vidrio con capacidad 475 mL y dimensiones aproximadamente 100 mm. Altura y 75 mm de diámetro con tapa de acero estañado.

### PROCEDIMIENTO

Prepare un juego de tiras de cada uno de los metales, limpiar con la pulidora usando lija nueva para cada tira metálica.

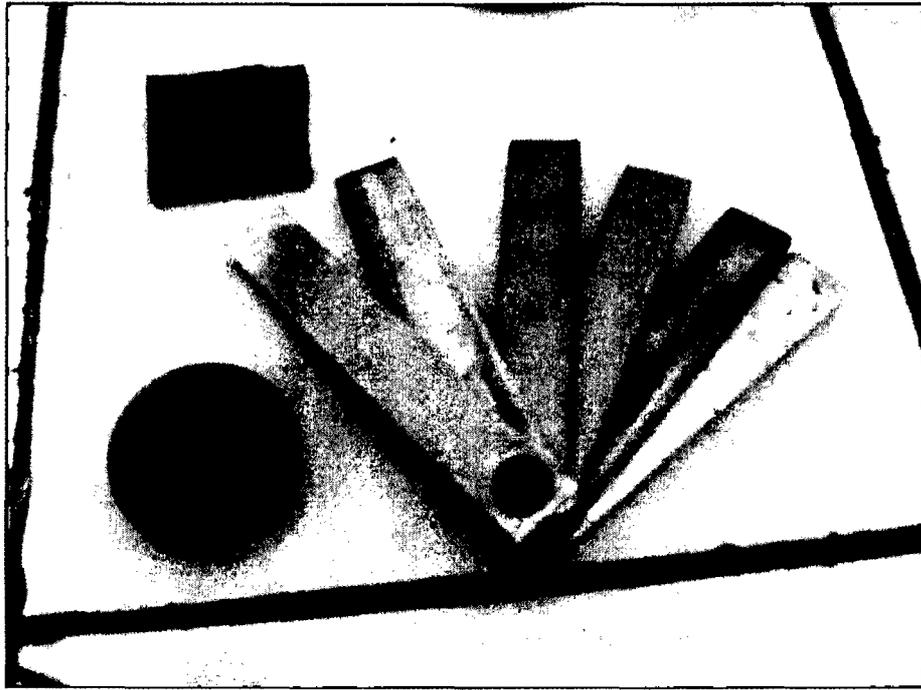
Pese con precisión  $W$  inicial a  $W$  final ensamble con una separación de 10 mm. En extremos adyacentes.

Sumerja el conjunto de tiras con alcohol.

Colocar 760 mL de muestra con 40 mL de agua destilada, sumerja las tiras, con el ensamble de cabeza y las tiras separadas en la boca del vaso, coloque el frasco a 100 °C por 120 horas, enfríe a 23 °C, Saque las tiras usando pinzas. Examine los cristales sedimentación, estratificación, Examine corrosión.

Coloque en el desecador por una hora, pese cada tira por aproximación a 0,1 mg.

Enfríe, pese, coloque en a centrifuga.



### **Resultados.**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = 0,056 mg/ cm<sup>2</sup>

Biodiésel (metanol + aceite usado) = 0,034

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = 0,045

Biodiésel (etanol + aceite usado) = 0,059

### **pH**

- Potenciómetro calibrado
- Vaso precipitado
- Bagueta

### **PROCEDIMIENTO**

Coloque 40 mL de muestra en el vaso y agite

Introduzca el electrodo a una profundidad de 2 cm.

Deje estabilizar y proceda a la lectura del pH.



**Resultados:**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = 7,5

Biodiésel (metanol + aceite usado) = 7,9

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = 8,0

Biodiésel (etanol + aceite usado) = 7,8

**DETERMINACION DE HUMEDAD CON EL REACTIVO KARL FISHER**

Titule la muestra accione tecla “Conf” y verifique el titulo del reactivo Fisher.

Con tecla “User meth” verifique método Kart Fisher.

Acondicione la solución del vaso con tecla Start

Mida o pese las siguientes cantidades.

Muestra (4 a 5 mL)

Introduzca la muestra en el vaso en forma rápida y directa.

Digite el peso de la muestra en gramos.

Presione enter y corra el ensayo.

Al finalizar aparecerá:

**% Agua = Resultado final**



### **Resultados:**

Biodiésel (metanol + aceite de soya) = 0,085 %

Biodiésel (metanol + aceite usado) = 0,092 %

Biodiésel (etanol + aceite de soya) = 0,076 %

Biodiésel (etanol + aceite usado) = 0,075 %

## BIODIESEL EN EL MOMENTO DE LA DECANTACIÓN.



BIODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL METÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL METÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)

## BIODIESEL LUEGO DE LOS ENJUAGUES



BIODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL METÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL METÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)

BIODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)

## BODIESEL (PRODUCTO TERMINADO)



**BODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL METÍLICO)**

**BODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL METÍLICO)**

**BODIESEL  
(ACEITE NUEVO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)**

**BODIESEL  
(ACEITE USADO  
+ ALCOHOL ETÍLICO)**

### APENDICE B: Tabla Comparativa de Resultados

ENSAYOS	BODIESEL CON METANOL + ACEITE NUEVO	BODIESEL CON METANOL + ACEITE USADO
Determinación del Índice de Yodo	119 Y/100 g	119 Y/100 g
Viscosidad Saybolt	4.5 cst	4.8 cst
Punto de Ebullición	220 ° C	215 ° C
Tolerancia al agua	No sedimenta – No estratifica	Ligeros sedimentos, luego del filtrado desaparece
Fluidez y Aspecto a bajas Temperaturas	No se aprecia Sedimento	No se aprecia Sedimento
Punto de Inflamación	153 ° C	150 ° C
Determinación para muestras de Corrosión	0,056 mg/ cm <sup>2</sup>	0,034 mg/cm <sup>2</sup>
pH	7.5	7.9
Determinación de Humedad con Reactivo Kart Fisher	0,085 %	0,092 %

ENSAYOS	BIODIESEL CON ETANOL + ACEITE NUEVO	BIODIESEL CON ETANOL + ACEITE USADO
Determinación del Índice de Yodo	121 mg Y/100 g	120 Y/100 g
Viscosidad Saybolt	4,83 cst	4,96 cst
Punto de Ebullición	258 °C	267 °C
Tolerancia al agua	No Sedimenta – No Estratifica	Ligeros Sedimentos, y algunas precipitaciones, luego del filtrado desaparecen
Fluidez y Aspecto a bajas Temperaturas	No se aprecia Sedimento	No se aprecia Sedimento
Punto de Inflamación	148 °C	146 °C
Determinación para muestras de Corrosión	0,045 mg/ cm <sup>2</sup>	0,059 mg/ cm <sup>2</sup>
pH	8,0	7,8
Determinación de Humedad con Reactivo Kart Fisher	0,076 %	0,075 %

## Glosario

- ❖ **Aceite:** Producto de origen mineral, animal o vegetal, líquido a 25 °Celsius. Constituido en el primer caso por hidrocarburos pesados, y en los otros por mezclas de glicéridos.
- ❖ **Ácidos grasos:** Nombre dado a un grupo de ácidos capaz de neutralizar un solo equivalente básico, por tener solo un hidrógeno sustituible. En la mayoría de los casos, se puede decir que la fórmula de un ácido graso es  $R - COOH$ . Entran en la composición de grasas y aceites, los más frecuentes son el oleico, palmítico, y esteárico.
- ❖ **Ácidos grasos libres:** También conocidos por sus siglas al inglés **FFA** (*free fatty acids*) son aquellos ácidos grasos que no se encuentran unidos a ningún glicérido. El contenido de estos en aceites y grasas se puede determinar mediante el índice de acidez y el pH.
- ❖ **Alcoholólisis:** Es la reacción química mediante la cual una molécula es desplazada por un alcohol.
- ❖ **Anhídrido:** Compuesto que no contiene agua.
- ❖ **Diglicérido:** Díester formado de un ácido graso y glicerol. Dicho de otra manera, molécula de glicerol en la cual dos de los tres grupos alcoholílicos (-OH) ha sido esterificado, es decir, dos de los grupos alcoholílicos han sido sustituidos por dos moléculas de ácidos grasos.
- ❖ **Ester:** Compuesto orgánico que se origina cuando se unen un ácido y un alcohol. Corresponde a la fórmula general  $R - COO - R'$ .
- ❖ **Esterificación:** Cuando un ácido se convierte en un ester en un medio alcoholílico mediante el uso de un catalizador ácido, generalmente es usado el ácido sulfúrico concentrado.
- ❖ **Etanol:** También conocido como alcohol etílico, es un alcohol liviano (peso molecular, PM: 46,1). Líquido incoloro, soluble en agua, inflamable. La presentación más común es al 96% libre de agua. Corresponde a la fórmula  $CH_3CH_2-OH$ .
- ❖ **Glicérido:** Ester de glicerol y un ácido graso.
- ❖ **Glicerol:** También conocido como propanotriol, es un alcohol con tres grupos hidroxilo (-OH). Alcohol pesado. Alcohol pesado (peso molecular, PM: 92,1). Líquido viscoso, soluble en agua.
- ❖ **Grasa:** Esteres de glicerol. Se caracteriza por ser sólido a 25 °Celsius.
- ❖ **Hidróxido de sodio:** Conocido como soda o sosa cáustica, es un sólido cristalino, que se disuelve en agua y alcoholes. Corresponde a la fórmula NaOH. Tiene tendencia a absorber agua y dióxido de carbono con facilidad.
- ❖ **Metanol:** Conocido también como alcohol metílico o alcohol de madera, es un alcohol liviano (peso molecular, PM: 32,0). Líquido incoloro, soluble en agua,

inflamable. Puede conseguirse fácilmente en el mercado al 99,9 % libre de agua. Corresponde a la fórmula **CH<sub>3</sub>-OH**.

- ❖ **Metóxido de sodio:** Compuesto formado de la disolución de hidróxido de sodio en metanol, corresponde a la fórmula **CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup>Na<sup>+</sup>**.
- ❖ **Monoglicérido:** Molécula de glicerol en la cual uno de los tres grupos alcohólicos (-OH) ha sido esterificado, es decir, un solo grupo alcohólico ha sido sustituido por una molécula de ácido graso.
- ❖ **Transesterificación:** Es el proceso de desplazamiento de un alcohol pesado por un alcohol liviano en un ester.
- ❖ **Triglicérido:** Molécula de glicerol en la cual los tres grupos alcohólicos (-OH) han sido esterificados, es decir, los tres grupos alcohólicos han sido sustituidos con moléculas de ácidos grasos.

# ANEXOS

## ANEXO I: Impacto Ambiental del Uso de Combustibles

---

El uso de combustibles derivados de productos vegetales renovables, tales como el alcohol y el éster de alquilo (biodiésel), reduce el aporte neto de los gases que provocan el efecto invernadero, así como la emisión de partículas y de gases tóxicos.

La vida sobre este planeta no existiría como la conocemos sin los gases de invernadero como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ), que crean un efecto invernadero natural. Pero la actividad humana está aportando en forma creciente un exceso de gases de invernadero con el consiguiente aumento de la temperatura media de la atmósfera, con consecuencias que implican cambios probablemente irreversibles y preocupantes en la biosfera. Una fracción importante de esta contribución proviene del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas.

La identificación de este problema ha inducido un movimiento internacional en defensa de este bien común y en acordar pautas encaminadas a realizar el nuevo paradigma: la sustentabilidad de los ecosistemas.

El uso de combustibles derivados de productos vegetales renovables, tales como el alcohol y el éster de alquilo (biodiésel), reduce el **aporte neto** de los gases que provocan el efecto invernadero, así como la emisión de partículas y de gases tóxicos. El éster derivado de aceite vegetal, o grasa animales, puro o apropiadamente combinado con el gasoil es una fuente energética que puede generar un aumento en la demanda por oleaginosos

El término biodiésel (ésteres de mono alquilo) se refiere a un conjunto de combustibles **oxigenados** basados en ésteres de fuentes biológicas renovables (aceites vegetales, aceites animales, aceites reciclados y grasas usadas), usado en motores diesel, puro o mezclado con gasoil. El biodiesel puro (B100) es biodegradable, no tóxico y esencialmente libre de azufre y aromáticos.

### **Ventajas Técnicas**

El biodiésel no es diferente del gasoil en términos de uso y desempeño del motor. Puede almacenarse en los mismos tanques que el diesel de petróleo (gasoil), excepto en tanques de concreto. No forma mezclas explosivas con el aire.

La mezcla entre el B100 y el gasoil puede hacerse en el momento de carga en estación de servicio, o previamente. La mezcla es estable y no se separa en sus componentes.

No requiere modificación de los motores, ni nueva infraestructura o adiestramiento. Mejoras en la lubricación del circuito, las condiciones anti-exposición e incendio y en la bomba de inyección.

### **Ventajas Ambientales y de Salud**

Es biodegradable y no tóxico. Su uso no presenta amenaza medioambiental. Reduce el nivel de partículas y otras emisiones de hidrocarburos. El biodiesel mezclado en un 20% con diesel de petróleo (B20) reduce en forma significativa el humo visible y olor, así como la emisión de partículas en un 14%. Si además se usa un catalizador de oxidación, las reducciones son: Cantidad de Partículas: 45%; Monóxido de carbono: 41%; Hidrocarburos totales: 65 %. El uso del biodiesel reduce a cero la emisión de azufre y sus compuestos, responsables directos de las lluvias ácidas.

El biodiesel reduce los riesgos de la salud. Sus emisiones mostraron niveles inferiores de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos nitrogenados (nPAH), compuestos identificados como aliados del cáncer. Reduce el aporte neto de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que provoca el efecto invernadero.

### **Otras características**

El biodiesel puede obtenerse a partir de recursos renovables, grasas, aceites vegetales nuevos y de desecho. El insumo básico es un aceite vegetal, extraído de las oleaginosas (soja, colza, girasol, o maní), o grasas animales. Sin embargo, razones de costo inducen a utilizar preferentemente el aceite de soja.

El uso de éster derivado de aceites vegetales ofrece notables ventajas en el transporte automotor de las grandes ciudades, así como en embarcaciones.

Si bien durante los últimos 10 años los bio-combustibles no han podido competir en precio con los combustibles fósiles, esta desventaja se ha reducido recientemente, al

punto que el biodiesel B100 puede competir con otros combustibles considerados "limpios".

Los biocombustibles pueden competir con otros combustibles alternativos. Su precio depende en gran medida de los costos del insumo básico, debido a que el procesamiento es relativamente fácil y no requiere insumos ni equipos sofisticados.

### **Desventajas del Biodiesel**

Los combustibles de biodiesel no proporcionan reducciones significantes de NOx (óxido de nitrógeno) y los costos de estos combustibles dependen de el valor de las materias primas de origen. El biodiesel se congela a temperaturas 2 a 3 grados más altas que la temperatura en que se congela el gasoil.

### **Usuarios actuales**

En España, Estados Unidos y Francia, el biodiesel está siendo usado en flotas de autobuses urbanos, después que rigurosos proyectos de investigación avalaron su viabilidad como carburante. Existe un numeroso registro de ensayos experimentales y bancos de prueba realizados antes de poner en marcha las pruebas pilotos en la propia calle.

En Estados Unidos, el biodiesel se está usando en flotas de autobuses, en flotas de camiones de carga pesada, en transbordadores de aeropuerto, en parques nacionales, en la marina, en el ejército y en la minería, así como en flotas federales y del estado

Austria, Alemania y Suiza han liberado las ventas del biodiesel de cualquier impuesto.

En Argentina no existen en la actualidad estos usos, pero la probabilidad de que sean viables en los próximos años es alta. Si este fuera el caso, la demanda de soja derivada de un franco aumento de la demanda de biocombustible puede generar ingresos adicionales en el sector agrícola y en la actividad agroindustrial. Si el uso se generalizara entre los principales países consumidores de combustibles, un aumento del precio relativo aceite/gasoil sería inevitable. Pero este aumento quedaría atenuado por una probable reducción en la proporción B100/gasoil.

Biodiesel es el primer y único combustible alternativo que posee una evaluación completa de emisiones y efectos potenciales sobre la salud de las personas,

aprobado por E.P.A. (Environmental Protection Agency) según lo dispuesto en el artículo 211(b) del Clean Air Act. Estos programas incluyen las más rigurosas pruebas sobre emisiones de combustibles y aditivos que hechas por E.P.A. en los EE.UU. Los datos recogidos a través de estas pruebas concluyen el más completo inventario sobre salud humana y medioambiental que la tecnología actual permite. Un resumen de los resultados se proporciona en el cuadro de abajo.

**Emisiones de Biodiesel respecto a diesel convencional.**

Tipo de Emisión	B100 (%)	B20 (%)
<b>Reguladas</b>		
Hidrocarburos totales sin quemar	-93	-30
Monóxido de carbono	-50	-13
Partículas en suspensión	-30	-22
Óxidos de Nitrógeno	+13	+2
<b>No Reguladas</b>		
Sulfatos	-100	-20
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH)	-80	-13
Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos nitrogenados.(nPAH)	-90	-50
Potencial de destrucción de la capa de Ozono	-50	-10

**\*Estimado del resultado de B100**

**\*\*Media de todos los compuestos medidos**

El potencial de destrucción de la capa de Ozono es notablemente menor, respecto al diesel de petróleo, sobre todo si se utiliza B100

Las emisiones de Sulfatos y óxidos de azufre (componentes esenciales de la lluvia ácida) son eliminados utilizando B100.

Los contaminantes críticos son notoriamente inferiores con Biodiesel:

Monóxido de carbono: Son 50% menores que el diesel convencional.

Partículas en suspensión: Estas partículas que constituyen un gran riesgo para la salud, con biodiesel se reducen en un 30%.

Hidrocarburos totales sin quemar: Las emisiones de hidrocarburos (un factor contribuyente en la formación localizada de smog y destrucción de la capa de ozono) es 93 por ciento mas baja para el biodiesel que el combustible diesel común.

Los Óxidos de nitrógeno: Las emisiones de NOx del biodiesel aumentan o disminuyen dependiendo de la tipo de motor y los procedimientos utilizados en los ensayos. Las emisiones de NOx (un factor contribuyente en la formación localizada de smog y destrucción de la capa de ozono) aumentan en un 13 por ciento. Sin embargo, la ausencia de azufre en el Biodiesel permite el uso de técnicas paramanejo de NOx que no pueden ser utilizadas en el diesel común. Así, las emisiones de NOx pueden ser dominadas y eliminadas para no generar una preocupación en la utilización del combustible.

Biodiesel reduce los riesgos de la salud respecto al diesel de petróleo: Las emisiones Biodiesel mostraron niveles inferiores de PAH y nPAH, compuestos identificados como riesgosos para el cáncer. En el ensayo, los compuestos de PAH disminuyeron entre 75 y 85 por ciento, con la excepción del benzo (a) antraceno, que disminuyó en aproximadamente el 50 por ciento. Respecto a los compuestos de nPAH también fueron menores con el biodiesel: 2-nitrofluoreno y 1-nitropireno se redujeron en un 90 por ciento, y el resto de los compuestos del nPAH se redujeron sólo en pequeños valores

### **Resumen características comparativas favorables del biodiesel**

En documentos anexos, se detallan específicamente las características principales comparativas que implican un beneficio importante para el *IMPACTO AMBIENTAL*, y uso del biodiesel en relación al gasoil de petróleo.

*Por contener 11% de oxígeno su combustión es "mas limpia".*

*No forma mezclas explosivas con el aire*

*Es degradable comparable al azúcar (95% en 28 días)*

*Es 10 veces menos toxico que el gas oil ante una ingesta accidental*

*No contiene azufre*

*Se puede almacenar en cualquier recipiente menos cemento*

ING. ENRIQUE LASGOITY <http://www.e-campo.com/media/news/nl/magnovedades24.htm>

## EL IMPACTO DEL BIODIÉSEL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

### **INNOVACIÓN** & Desarrollo Empresarial

El uso de bioetanol y biodiésel se expande rápidamente en todo el mundo gracias a las políticas que promueven las tecnologías de energía renovable.

El uso de los biocombustibles se implementa e incrementa en países como Alemania, Francia, Italia, Austria, Estados Unidos, Brasil y Colombia entre otros, impulsados por la disminución de las reservas probadas de petróleo, el incremento en su precio y la preocupación por el impacto de los combustibles fósiles sobre el medio ambiente.

Entre éstos, el bioetanol y el biodiésel son a corto plazo las alternativas más importantes para el reemplazo parcial de la gasolina y del diésel. Las políticas que promueven las tecnologías de energía Renovable incluyen leyes que obligan y reglamentan la adición de bioetanol a la gasolina y biodiésel al diésel, y eximen y/o reducen los impuestos asociados a la producción y comercialización de biocombustibles, para hacerlos competitivos frente a los derivados petroquímicos.

Las políticas que fomentan su uso se justifican por el impacto ambiental positivo de la adición de biocombustibles a los combustibles fósiles, la reducción de la dependencia energética del petróleo, que para los países importadores se traduce en la mejoría de la balanza comercial, y en el caso de Colombia, por ser una oportunidad social que dinamizará la producción agropecuaria y generará empleo

productivo tanto agrícola como industrial, y permitirá un ahorro significativo para las finanzas del país.

La balanza indica tener otras ópticas como los costos de producción y los efectos en el medio ambiente. En materia de precios, producir biocombustibles es más costoso que producir combustibles fósiles como petróleo, carbón o gas natural. El precio de las materias primas y el consumo de energía en el proceso de producción son mayores. Cerca del 50 por ciento del costo de producción del bioetanol está asociado al precio de la materia prima, y entre el 70 y el 85 por ciento del biodiésel depende del precio del aceite. La tonelada de aceite de palma crudo promedia los 650 dólares, y la de del aceite de soya los 775 dólares. Según informe de Fedepalma la tonelada de aceite de palma crudo pasó de enero a diciembre de 2006, de 424 dólares a 583 dólares.

Los efectos del uso de biocombustibles sobre el medio ambiente son investigados, analizados y discutidos por la comunidad científica, en algunos casos con álgidas diferencias. Así ocurre con el trabajo de los profesores Pimentel de la Universidad de Cornell y Patzek de la Universidad de California, que muestra que la energía requerida para producir bioetanol y biodiésel es mayor que la que puede generar en la combustión, mientras que John Van Gerpen, de la Universidad de Idaho, considera que se trata de erróneas suposiciones.

Entretanto Frondel y Peters de Instituto de Rin-Westfalia para la investigación económica afirman que, independiente de las suposiciones en torno al balance de energía, el biodiésel permite ahorrar alrededor de las dos terceras partes de la energía fósil contenida en el diésel. En cuanto al impacto ambiental del biodiésel comparado con el del diesel petroquímico, las publicaciones científicas muestran de una parte, que las emisiones de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático) disminuyen cuando se hace el balance sobre el ciclo de vida del carbono, incluyendo el que fija las plantas durante su crecimiento.

El CO<sub>2</sub> emitido en las combustiones igual al absorbido por las plantas cuando crecen, y por lo tanto, el biodiésel se considera neutro con respecto a este gas. Sin embargo, si la comparación se limita a la combustión, los estudios muestran efectos contrarios ya que algunos reportan disminución y otros, incremento. Por otra parte, las publicaciones muestran que el consumo de combustible se incrementa en un bajo

porcentaje. A pesar de que el poder calorífico del biodiésel es menor en un diez por ciento, los porcentajes de adición típicos son hasta del veinte por ciento.

Finalmente informan que las emisiones de material particulado disminuyen, con un consecuente efecto positivo en la salud. Pero a corto plazo, esta reducción podría incrementar la velocidad a la cual aumenta la temperatura del planeta por el efecto invernadero, la cual ha sido atenuada por la presencia de este material en la atmósfera, que ha disminuido la radiación solar en promedio entre un diez por ciento y un quince por ciento en las últimas cinco décadas.

Es claro entonces, que hacen falta más análisis ambientales. Y, aunque en primera instancia sus efectos parecen positivos, hay que ahondar para conceptuar mejor. Se requiere incluir aspectos como los impactos por el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas, el agotamiento del suelo por los monocultivos, el impacto social por cambios en el uso de ese suelo y en la tenencia de la tierra; el efecto sobre el precio de las materias y subproductos, por la presión que se ejercerá sobre los mercados, además de las repercusiones sobre la seguridad alimentaria.

**Paulo César Narváez Rincón Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá**

[http://zulia.colciencias.gov.co:8098/portacol/kernel/mod\\_medios/usuario\\_publico\\_libros/detalle\\_medio.jsp?id\\_medio=534&id\\_seccion=973](http://zulia.colciencias.gov.co:8098/portacol/kernel/mod_medios/usuario_publico_libros/detalle_medio.jsp?id_medio=534&id_seccion=973)

**ANEXO 3:**

**COMISIÓN TÉCNICA LEY 28054 PROMOCIÓN DEL MERCADO DE  
BIOCOMBUSTIBLES (CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE) REPÚBLICA  
DEL PERÚ – PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS**

---

*Informe Final Comisión Técnica Biocombustibles Ley 28054*

**REPÚBLICA DEL PERÚ  
PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS  
Consejo Nacional del Ambiente**

**COMISIÓN TÉCNICA LEY 28054  
PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES**

**INFORME FINAL**

**MAYO 2004**

**LIMA - PERÚ**

## Índice

I	INTRODUCCIÓN.....	1
I.1	PRESENTACIÓN.....	1
I.2	ALCANCES DEL TRABAJO.....	1
I.3	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	1
I.4	MIEMBROS DE LA COMISIÓN TÉCNICA.....	2
II	DEFINICIÓN DE LA GASOLINA MOTOR OXIGENADA CON ETANOL ANHIDRO.....	3
II.1	ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES.....	3
II.1.1	Gasolina Base.....	3
II.1.2	Etanol Anhidro.....	4
II.1.3	Gasolina Motor Oxigenada con Etanol Anhidro.....	5
II.2	DEFINICIÓN DEL PORCENTAJE DE MEZCLA.....	5
III	CRONOGRAMA PARA LA INCORPORACIÓN AL MERCADO DE LA GASOLINA MOTOR OXIGENADA CON ETANOL ANHIDRO DESNATURALIZADO.....	6
III.1	REQUISITOS PARA ELABORACIÓN DEL CRONOGRAMA.....	7
III.2	CRONOGRAMA.....	9
IV	LINEAMIENTOS Y PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN.....	11

### ANEXOS

## INFORME COMISIÓN TÉCNICA LEY 28054 PROMOCIÓN DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES

### I. INTRODUCCIÓN

#### I.1 PRESENTACIÓN

La Ley 28054 Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, en su segunda y tercera disposiciones complementarias, crea una Comisión Técnica (denominada en adelante como CT) con el encargo específico de proponer y recomendar las normas y disposiciones complementarias para el cumplimiento de la Ley, según los siguientes lineamientos básicos:

- ?? Elaborar el cronograma y porcentajes de la aplicación y uso del etanol anhidro como componente para la oxigenación de las gasolinas, así como el uso de biodiesel en el combustible diesel.
- ?? Proponer un programa de sensibilización a los usuarios y a las instituciones públicas hacia el uso de etanol anhidro y biodiesel.

#### I.2 ALCANCES DEL TRABAJO

Los alcances del trabajo de la CT se definieron en la propia Ley. En ella se contempló tratar lo relativo a la promoción del Etanol Anhidro y Biodiesel como biocombustibles para ser utilizados comercialmente en mezcla con gasolina y diesel, respectivamente. La CT inició sus actividades bajo dicha premisa, posteriormente determinó centrar su trabajo únicamente en lo concerniente al Etanol Anhidro. Tal decisión se basó en que el uso de Biodiesel en el plano internacional se encuentra en fase de introducción/experimentación a pequeña escala y los fabricantes de vehículos automotores aún no recomiendan plenamente su utilización como biocombustible en mezcla con diesel<sup>1</sup>.

#### I.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La información utilizada por la CT proviene de instituciones y personas del sector público y del sector privado vinculadas a las actividades de producción, comercialización y uso de combustibles, así como de entidades relacionadas con la actividad agrícola e industrial. La metodología de trabajo consistió en recolectar, consolidar y procesar la información proporcionada por las fuentes indicadas, a lo cual se agregó el material que aportaron especialistas a quienes se solicitó su colaboración. La CT llevó a cabo reuniones en forma periódica para revisar los avances del trabajo encomendado y coordinar las acciones futuras<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Ver Anexo 1

<sup>2</sup> Ver Actas en Anexo 4

#### I.4 MIEMBROS DE LA COMISIÓN TÉCNICA

La Comisión Técnica estuvo integrada por las siguientes instituciones y sus representantes:

INSTITUCIÓN	REPRESENTANTE	
Consejo Nacional del Ambiente- CONAM	Titular	Rosa Salas Aguilar
	Alternos (hasta Dic. 2003)	Dora Cortijo Herrera
Ministerio de Energía y Minas	Titular	Luis Zavaleta Vargas
	Alternos	Felix Bernabel Badillo
Ministerio de Economía y Finanzas	Titular	Hugo Oropeza Rosales
	Alternos	Javier Paucar Neira
Ministerio de Agricultura	Titular	Manuel Cabrera Sandoval
	Alternos	Rafael Millán García
Agencia de Promoción de la Inversión- PROINVERSIÓN	Titular	Carlos Luna Conroy
	Titular (desde 18-12-03)	Mario Hernández Rubiños
Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas-DEVIDA	Titular	Lucio Batallanos Rodríguez
	Alternos	Alfredo Barreto Macchiavello
Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía	Titular	Eduardo Landín Navarro
	Alternos	William Ojeda Urday
Asociación Peruana de Productores de Azúcar y Biocombustibles – APPAB	Titular	Carlos Andrade Villar
	Alternos	Freddy Flores Herrera
Consultor CONAM	Jaime Gianella Silva	
Consultor CONAM	Marnel Casado Piñeiro	

## II. DEFINICIÓN DE LA GASOLINA MOTOR OXIGENADA CON ETANOL ANHIDRO DESNATURALIZADO

La gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado, resulta de una mezcla en proporciones definidas de dos componentes; el que participa en mayor proporción se denomina gasolina base y cuya especificación corresponde a la empleada en el mercado peruano como gasolina motor en todos los grados, es decir 84, 90, 95 y 97 Octanos. El etanol anhidro es el otro componente, se utiliza como mejorador del número de octano y proporciona oxígeno al combustible para cumplir normas sobre emisiones y calidad del aire. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana (NTP) 321.102-2002, la oxigenación de la gasolina puede variar de cero hasta un máximo de 2.7% en peso de oxígeno, lo cual es equivalente a 7.8% en volumen para el caso de etanol anhidro. Las propiedades del etanol anhidro corresponden a la Norma ASTM D- 4806-03 referente a especificaciones estándar para combustible etanol desnaturalizado para mezclas con gasolinas de uso automotor y motores de combustión interna por bujías.

### II.1 ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES

#### II.1.1 Gasolina Base

Las gasolinas en el Perú se elaboran de acuerdo a las especificaciones aprobadas por el Ministerio de Energía y Minas, y tienen las siguientes características.<sup>3</sup>

Tabla I-1 Especificaciones de gasolinas producidas en el Perú

Características		Método IINTEC	Método ASTM
Aspecto	Transparente		
Presión de Vapor Reid, <sup>4</sup> kg/cm2 (lb/pulg.2) máx.	83 (12)	321.088	D- 323
Destilación			
-10% evaporado, °C (°F) máx.	70 (158)	321.023	D-86
-50% evaporado, °C (°F) máx.	140(284)		
-90% evaporado, °C (°F) máx.	200(392)		
-Punto Final, °C (°F) máx.	221(430)		
-Residuo % en volumen máx.	2		
Azufre, % en masa máx.	0.2		D-1266
Plomo <sup>5</sup> (elemento)g/l máx.	0.013		D-526

<sup>3</sup> La CT considera que el D.S. 019-98-MTC entrará en plena vigencia a partir del 01-01-2005 y por consiguiente el retiro de plomo de las gasolinas peruanas será un hecho consumado.

<sup>4</sup> Este valor debería ser revisado para la mezcla con etanol

<sup>5</sup> Contenido máximo de plomo propio del producto, no añadido intencionalmente

Corrosión al cobre 3 h a 50 °C (122 °F) máx.	Lámina 1	321.021	D-130
Estabilidad a la oxidación, minutos	240		D-525
Contenido de gomas mg/100 cm <sup>3</sup> máx.	5		D-381

Tabla I-2 Requisitos Particulares de Gasolinas producidas en el Perú

Tipo	Número de Octano Research mínimo	Método ASTM
Gasolina motor 84	84	D-2699
Gasolina motor 90	90	
Gasolina motor 95	95	
Gasolina motor 97	97	

El manejo, manipulación, transporte, almacenamiento y despacho de gasolinas combustibles está normado y reglamentado por dispositivos legales específicos.

### II.1.2 Etanol Anhidro .

El Etanol Anhidro que se elabore en el Perú para uso como carburante, deberá cumplir con las especificaciones internacionales previstas para tal fin, las cuales a su vez deberán ser oficializadas mediante la emisión de la correspondiente Norma Técnica Peruana.

En la Tabla I-3 se muestra, como referencia, las características principales del alcohol desnaturalizado para mezcla con gasolina contenidas en la Norma Internacional ASTM designada como: D-4806-03 Especificaciones estándar para combustible etanol desnaturalizado para mezclas con gasolinas de uso automotor, para motores de combustión interna, incluye el desnaturalizante.

Tabla I-3 Características del Etanol Combustible Desnaturalizado

Características	Valor
Etanol, % volumen, min	92.2
Metanol, % volumen, máx	0.5
Goma lavada-solvente mg/100mL, máx	5.0
Contenido de agua, % volumen, máx	1
Contenido de desnaturalizante, % volumen min - % volumen máx.	1.96 - 4.76
Contenido de cloruro inorgánico, masa ppm (mg/L) máx.	40 (32)

Contenido de cobre, mg/kg, máx	0.1
Acidez (como ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH); % masa (mg/L), máx	0.007 (56)
PHe	6.5 - 9.0
Apariencia	Visible libre de sólidos suspendidos o contaminantes precipitados (Claro y brillante)

### II.1.3 Gasolina Motor Oxigenada con Etanol Anhidro Desnaturalizado

En principio, la adición de Etanol Anhidro no crea otro tipo de combustible, y en este sentido las gasolinas seguirán manteniendo la nomenclatura de 84, 90, 95 y 97

Se requiere establecer una Norma Técnica Peruana referente a las especificaciones del combustible motor que resulte de la mezcla de los componentes gasolina - etanol anhidro, en la que se deberá incorporar precisiones sobre contenido de oxígeno y el % que ello representa en volumen de etanol anhidro desnaturalizado, y presión de vapor o RVP.

## II.2 DEFINICIÓN DEL PORCENTAJE DE MEZCLA

La generalidad de los principales fabricantes de autos del mundo, aceptan la posibilidad de utilizar el combustible gasolina en mezcla hasta con 10% en volumen de Etanol Anhidro desnaturalizado, sin que para ello se requiera modificación de los motores de los vehículos. En el Anexo 2. se muestra la tabla correspondiente a la recomendación de los fabricantes de autos. La CT solicitó opinión a ARAPER quienes manifestaron que la mezcla debería ser 8% considerando las condiciones de nuestro parque automotor.

En consecuencia, tomando en consideración la NTP 321.102-2002 referida anteriormente, la experiencia internacional, las características y la tendencia de renovación del parque automotor del país, se concluye que la incorporación de hasta 7.8% en volumen de Etanol Anhidro desnaturalizado en la gasolina constituye una opción técnicamente viable.

Sin embargo, la Comisión Técnica estima que para la adecuada adaptabilidad del uso de etanol como oxigenante en la gasolina y como un elemento que contribuirá a la reducción de emisiones contaminantes, se deberá normar sobre el uso de sistemas de control de emisiones en el escape de los vehículos y monitorear el impacto de las nuevas emisiones producto del uso de etanol como carburante en el parque automotor actual.

### **III. CRONOGRAMA PARA LA INCORPORACIÓN AL MERCADO DE LA GASOLINA MOTOR OXIGENADA CON ETANOL ANHIDRO DESNATURALIZADO**

En consideración a los lineamientos básicos establecidos en la Segunda Disposición Complementaria y Transitoria de la Ley N° 28054, la propuesta de normas y disposiciones complementarias debería incluir la elaboración de un cronograma y porcentajes para la aplicación y uso del etanol anhidro desnaturalizado, como componente para la oxigenación de las gasolinas, así como el uso de biodiesel en el combustible diesel.

La Comisión Técnica ha considerado que con la información disponible actualmente sobre el tema, dicho lineamiento será desarrollado estableciendo un conjunto de etapas secuenciales que, sujetas a supuestos y condiciones precisas, puedan llevar a las autoridades competentes a definir posteriormente los porcentajes de uso apropiados a partir de evidencia práctica y consecuentemente plazos puntuales y realistas de aplicación.

Las principales razones que sustentan el acuerdo de no establecer plazos/calendario para la ejecución de las etapas consideradas para la incorporación al mercado del etanol anhidro desnaturalizado como carburante para la oxigenación de gasolina motor, son las siguientes:

1. El Poder Ejecutivo deberá designar la instancia del sector público que asuma la responsabilidad para reglamentar la Ley 28054.
2. Un aspecto central a ser considerado en la reglamentación de la Ley 28054 es la definición del plazo para iniciar la comercialización en el mercado nacional de la gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado.
3. La definición del plazo indicado supone, por parte de la entidad encargada de reglamentar la Ley 28054, la previa evaluación sobre la viabilidad para el cumplimiento de los requisitos que aseguren la adecuada producción de etanol anhidro desnaturalizado y su correspondiente uso para oxigenar la gasolina que se comercializa en el Perú.
4. El tiempo que demande a la entidad encargada de reglamentar la Ley 28054 la evaluación de la viabilidad referente al cumplimiento de requisitos para la comercialización de gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado, será resultado de la prioridad que se otorgue a dicha función, selección de cuadros idóneos, además del monto de recursos financieros y el apoyo institucional que se proporcionen para tal fin.

### III.1 REQUISITOS PARA LA APLICACIÓN DEL CRONOGRAMA

La incorporación al mercado de la gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado, requiere de las siguientes condiciones mínimas para su implementación en cumplimiento de los objetivos ambientales y socio económicos previstos en la Ley, en un marco de libre competencia:

- a) **Plena vigencia del D.S 019-98-MTC en cuanto al retiro del Tetraetilo de Plomo de las gasolinas a partir del 01-01-2005**

Implica la verificación a partir del 1 de enero del 2005 de la suspensión del uso del Tetraetilo de Plomo en la elaboración de la gasolina que se comercializa en el Perú

- b) **Marco normativo que reglamente la manipulación, almacenamiento, transporte/distribución y venta final de etanol anhidro desnaturalizado y del combustible gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado**

Comprende la elaboración de un conjunto de especificaciones de orden técnico y legal tales como:

- Norma Técnica Peruana (NTP) sobre composición/calidad del etanol anhidro desnaturalizado,
- NTP referente a características de equipos/vehículos y criterios de operación-seguridad para el transporte del etanol anhidro desnaturalizado de la destilería a la planta de almacenamiento de combustibles,
- NTP referente a características de los equipos y criterios de operación para el almacenamiento del etanol anhidro desnaturalizado en las plantas de almacenamiento y distribución de combustibles y sobre los correspondientes sistemas de seguridad;
- NTP referente a características de los equipos y criterios de operación para el transporte de la gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado desde las plantas de almacenamiento a los puntos de venta al consumidor final y sobre los correspondientes sistemas de seguridad;
- NTP referente a características de los equipos para la recepción y venta al consumidor final, de la gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado en los puntos (grifos) de venta y sobre los correspondientes sistemas de seguridad para dicho expendio y recepción por parte del consumidor/comprador final.
- Definir los organismos competentes para la fiscalización, seguimiento y control en el ámbito nacional de las normas que se emitan para regular la producción, distribución y comercialización de etanol anhidro desnaturalizado, que estaría en el ámbito del Ministerio de la Producción; y del combustible motor gasolina oxigenada con etanol anhidro, que estaría en el ámbito del Ministerio de Energía y Minas y de OSINERG.

De acuerdo al ordenamiento legal vigente el INDECOPI es la entidad encargada del diseño y emisión de las NTP. Es usual que ésta labor demande para cada caso plazos de difícil predicción. Ello obedece, a la complejidad particular de cada tema considerado, a la necesaria convocatoria de los diversos actores involucrados, los cuales representan intereses heterogéneos y reúnen distinto nivel de conocimiento sobre el conjunto de los aspectos de orden técnico/económico/legal/ambiental relativos a la materia. Se deduce que la función del INDECOPI implica la aplicación de un criterio de flexibilidad en cuanto al plazo requerido para la elaboración de las NTP.

- c) Determinar la disponibilidad de infraestructura y equipamiento necesarios para la recepción de etanol anhidro desnaturalizado en las plantas de almacenamiento y distribución de combustibles y para la distribución y venta al consumidor final del combustible motor gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado.**

El desarrollo de este condicionamiento implica lo siguiente:

- Evaluar las características referentes a capacidad de adecuación, operación y versatilidad de uso de la infraestructura existente;
- Estimar el monto de inversión necesario para adecuar la infraestructura de recepción, almacenamiento, distribución y venta final de combustibles existente; a los requerimientos para la comercialización de gasolina oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado.

- d) Determinar la capacidad de la industria nacional para suministrar etanol anhidro desnaturalizado en volumen y calidad requeridos para su mezcla con gasolina motor a precio competitivo respecto de otros insumos para la oxigenación de gasolinas.**

Lo concerniente a este punto implica lo siguiente:

- Evaluar la condición actual de la industria nacional de etanol en cuanto a su capacidad instalada respecto de volumen de producción (tamaño de plantas y coeficientes de eficiencia fermentación–destilación) y respecto de la calidad/especificaciones concerniente a la canasta de productos que la tecnología instalada permite elaborar;
- Estimar el monto de inversión que eventualmente demandará la adecuación de la industria nacional de etanol para suministrar el volumen de etanol anhidro desnaturalizado necesario para oxigenar la gasolina que se comercializa en el mercado nacional;
- Estimar la capacidad de producción actual y futura de las actividades agrícolas existentes consideradas como factibles proveedoras de materia prima para la producción de etanol anhidro desnaturalizado;
- Estimar el monto de la inversión y plazo de ejecución para asegurar la capacidad de producción de las actividades agrícolas existentes y nuevas potenciales, consideradas como fuente de materia prima para la elaboración de etanol anhidro desnaturalizado;

Se considera que el desarrollo de los rubros descritos debe constituir parte de las tareas de la entidad que asuma la responsabilidad para reglamentar la Ley 28054; o bien, conformar las funciones bajo responsabilidad de PROBIOCOM. El plazo que demande su ejecución dependerá del monto y oportunidad de los recursos que se asigne para tal fin.

Cabe señalar que las Empresas Azucareras integrantes de APPAR han manifestado que asumen la responsabilidad de producir todo el etanol que requiera el mercado, ya que cuentan actualmente con una capacidad instalada capaz de producir entre 160 y 200 mil litros/día en las empresas Cartavio, Laredo, Casagrande, Pucallá y Tumbán, así como proyectos de inversión para incrementarla a 300 mil litros/día en cuanto se defina el Reglamento de la Ley y los instrumentos económicos que sean necesarios para incentivar el cultivo, la agroindustria y el uso de etanol en las gasolinas<sup>6</sup>.

- e) Definir los lugares en el territorio nacional para el almacenamiento de etanol anhidro desnaturalizado y para la mezcla de gasolina con este producto.

La definición de la localización de los lugares más apropiados para el almacenamiento de etanol anhidro desnaturalizado y preparación de la gasolina oxigenada con este producto, para su posterior distribución/comercialización, será función de la distancia de los centros de producción de etanol respecto de las existentes o futuras plantas de almacenamiento de combustibles.

A su vez, los centros de producción de etanol se definirán en función a la capacidad actual y previsible de materia prima según zonas/regiones y capacidad instalada de las plantas industriales que permitan escala/productividad competitiva.

## III.2 CRONOGRAMA

La incorporación al mercado nacional de la gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado, requiere un proceso gradual de implementación. Las etapas consideradas y correspondiente secuencia de ejecución son:

### Etapas 1 – Cumplimiento de pre requisitos

Desarrollar las actividades para determinar la disponibilidad de la capacidad y condiciones para la producción, comercialización y uso de etanol anhidro y de la gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado. También durante esta etapa se elaborarán las normas referentes a los aspectos de orden técnico y legal, según los requisitos señalados en III.1.

Etapas 2 – Implementación de uso de etanol anhidro desnaturalizado en una localidad que reúna las siguientes condiciones:

- ?? distancia no mayor de 100 Km. de la planta de almacenamiento y distribución de combustibles;

---

<sup>6</sup> Carta de APPAR de fecha 4 de mayo cuya copia se adjunta al presente informe como parte del Anexo 3

- ?? distancia no mayor de 100 Km. de unidades de producción de etanol anhidro;
- ?? parque automotriz conformado por un mínimo de 40% de vehículos a gasolina; para lo cual requerirá un estudio previo que cuantifique y caracterice al parque automotor, por no existir dicha información
- ?? ubicación comprendida en el trazo o ámbito de influencia de alguna de las principales carreteras longitudinales y/o de penetración del país.

La Asociación Peruana de Productores de Azúcar por la ubicación de las plantas de procesamiento de etanol ubicadas mayormente en Chiclayo y Trujillo recomienda una de estas dos ciudades como centro donde se desarrollaría esta etapa.

Etapa 3 De acuerdo con los resultados de la etapa anterior, se incorporará progresivamente otras ciudades al mercado de la gasolina motor oxigenada con etanol anhidro desnaturalizado

#### **IV. LINEAMIENTOS Y PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN**

La Comisión Técnica considera que la elaboración y ejecución de un programa de sensibilización debe considerar como objetivo tanto al sector público como al sector privado; y la ejecución de un programa de sensibilización para la promoción del uso de biocombustibles debe ser responsabilidad compartida por ambos sectores. En lo que respecta al sector público, PROINVERSION, a través del Programa de Promoción del Uso de Biocombustibles – PROBIOCOM, creado por la misma Ley 28054, deberá promover la campaña de sensibilización en concordancia con las etapas de desarrollo delineadas en el Cronograma; para lo cual deberá ser provista de los recursos necesarios.

En todo caso, para el desarrollo adecuado de un programa de sensibilización, es necesario tener definidas todas las condiciones de implementación del uso de biocombustibles que serán fijadas por el respectivo reglamento de la Ley.

Se recomienda asimismo que los organismos y dependencias públicas que estén realizando actividades relacionadas con biocombustibles, incorporen la promoción del uso de la mezcla gasolina-etanol anhidro desnaturalizado en sus actividades de difusión dirigidas a la colectividad y público en general.

## **ANEXOS**

**Anexo 1 Factores que limitan la posibilidad de considerar al biodiesel como opción de combustible comercial en el corto plazo**

**Anexo 2 Tabla de recomendaciones de fabricantes de vehículos automotores**

**Anexo 3 Bibliografía de referencia**

- "Informe Propuesta para la Promoción del Uso de Biocombustibles Líquidos en el Perú", Grupo Técnico de Biocombustibles Decreto 024-01-CD/CONAM. Octubre 2002, Lima, Perú.
- Oxy-Fuel News, July 15, 2002
- Oxy-Fuel News, July 22, 2002
- Oxy-Fuel News August 12, 2002
- Carta de The Maple Gas Corporation, del 06-01-04
- Carta de Repsol YPF, del 08-01-04
- Carta PP-GOTL-007-2004 de Petróleos del Perú, del 12-01-04
- Carta de Mobil Oil del Perú SRL, del 13-01-04
- Carta de The Maple Gas Corporation 13-01-04
- Carta s/n de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, del 14-01-04
- Carta GG-011/2004, Vopak-Serlipa, del 29-01-04
- Carta ARAPER-DE-018-04 de la Asociación de Representantes Automotrices del Perú, del 05-02-04
- Carta de APPAR, del 04-05-94
- Normas Legales de la República de Colombia: Leyes 180887, 693, 180836, 181710
- Resolución 0447 de 2003 de la República de Colombia
- Presentación Normas de Combustibles (DGH-MEM)
- DS 045-2001-EM
- Estudio de la Mezcla de Gasolina con 10% en la República de Colombia.

**Anexo 4 Actas de Reuniones**