



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE SEMILLAS  
OLEAGINOSAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**ING. EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR**

**YULENE ARANTZAZÚ ARANCIBIA SORIA  
TATIANA ALEXANDRA CALERO VACACELA**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2011**

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas por formarnos como personas y futuras profesionales.

A los docentes en particular a la Ing. Rosa Elena Pinos, Dr. Celso Recalde, Ing. Rosa Castro, Dra. Marcia Pesantez, Ing. Fernando Rivas y Lic. Melba Castro que guiándonos con sus conocimientos y paciencia han colaborado y apoyado con la investigación y desarrollo de este trabajo.

Al proyecto COMUNIDEC, I. CONSEJO PROVINCIAL DE CHIMBORAZO, ESPOCH, CLIMATE AND DEVELOPMENT (CDS), por haber apoyado y dado facilidades necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

A nuestros compañeros y amigos que a través de estos años han ido formando parte de nuestras vidas y han llenado nuestros corazones con alegría haciendo de cada año una experiencia inolvidable.

*En primer lugar quiero dar gracias a Dios por haberme permitido recorrer todo este camino.*

*Dedico ésta tesis a mis padres, pilares fundamentales en mi vida ya que sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora, a usted mamita porque a pesar de sus dolencias ha tenido tenacidad para salir adelante y darnos todo lo necesario a mis hermanos y a mí, sin descuidar el amor y la paciencia hacia nosotros, a usted papito por su apoyo incondicional, por su amor y su ejemplo de responsabilidad.*

*A mi ñaño mayor Jorge por ser siempre mi soporte en especial en estos últimos años que juntos hemos superado momentos difíciles en nuestras vidas y a mi ñaño Manu que aunque estas lejos siempre te he sentido junto a mí, ñaños ustedes han sido y serán siempre lo más importante en mi vida, gracias por su apoyo y cariño.*

*A mis queridos amigos y amigas por brindarme su amistad durante todos estos años y hacer de cada uno de ellos momentos inolvidables, siempre van a permanecer en mi corazón y le pido a Dios que me siga bendiciendo con su amistad, los quiero mucho a todos.*



*Si lloras por haber perdido el Sol, las lágrimas te impedirán ver las Estrellas.....*

*TATIANA C.*

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE SEMILLAS OLEAGINOSAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, de responsabilidad de las Srtas. Egresadas Yulene Arantzazú Arancibia Soria y Tatiana Alexandra Calero Vacacela ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz  
DECANA DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. José Vanegas  
DIRECTOR DE LE ESCUELA  
DE CIENCIAS QUIMICAS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Rosa Pinos  
DIRECTOR DE TESIS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Celso Recalde  
MIEMBRO DE TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

.....  
DIRECTOR DPTO.  
DE DOCUMENTACIÓN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

NOTA DE TESIS ESCRITA

\_\_\_\_\_

Yo, Yulene Arantzazú Arancibia Soria, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

---

YULENE ARANTZAZÚ ARANCIBIA SORIA

Yo, Tatiana Alexandra Calero Vacacela, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

---

TATIANA ALEXANDRA CALERO VACACELA

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°API:	Grados API (Gravedad API)
°APIc:	Grados API corregidos
°C:	Grados Celsius o Centígrados
API:	American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo)
ASTM:	American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Verificación de Materiales).
B100:	Biodiesel al 100%
B20:	Biodiesel al 20%
B15:	Biodiesel al 15%
B10:	Biodiesel al 10%
B5:	Biodiesel al 5%
cm:	Centímetros
cm <sup>3</sup> :	Centímetro Cúbicos
g:	Gramos
h:	Hora
ha:	Hectárea
I.A:	Índice de Acidez
I.C:	Índice de Cetano
I.C.c:	Índice de Cetano corregido
I.E:	Índice de Éster
I.R:	Índice de Refracción
I.S:	Índice de Saponificación
I.Y:	Índice de Yodo
K:	Constante
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar
m:	Masa
min.	Minutos
mL:	Mililitros
mm:	Milímetros
N:	Normalidad
η:	Viscosidad
nm:	Nanómetro
°T	Temperatura
Pa	Pascal

P:	Peso de la muestra
P mmHg:	Presión en milímetros de Mercurio (Presión Barométrica)
P.E:	Punto de Ebullición
P.E.c:	Punto de Ebullición corregido
P.I:	Punto de Inflamación
P.I.c:	Punto de Inflamación Corregido
P.M:	Peso Molecular
pH:	Potencial de Hidrógeno
Poise:	gramos /centímetros x segundos
R:	Refracción
R`:	Refracción Experimental
$\rho_{19}$ :	Densidad a 19°C
$\rho_{25}$ :	Densidad a 25°C
s:	Segundos
$\rho$ :	Densidad
$\rho_e$ :	Densidad Específica
t:	Tiempo
Tn:	Toneladas
U.E:	Unión Europea
USAID:	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
Vol.:	Volumen

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> MAPA REPRESENTATIVO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	6
<b>FIGURA 2:</b> SEMILLAS DE COLZA.....	8
<b>FIGURA 3:</b> FLOR DE COLZA.....	8
<b>FIGURA 4:</b> SEMILLAS DE HIGUERILLA EN SU ÁRBOL.....	13
<b>FIGURA 5:</b> SEMILLAS DE HIGUERILLA.....	13
<b>FIGURA 6:</b> PLANTA DE VICIA.....	17
<b>FIGURA 7:</b> SEMILLA DE VICIA.....	17
<b>FIGURA 8:</b> PLANTA DE LLÍN-LLÍN.....	21
<b>FIGURA 9:</b> SEMILLA DE LLÍN-LLÍN.....	21
<b>FIGURA 10:</b> REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	29
<b>FIGURA 11:</b> REACCIONES IMPLICADAS EN LA TRANSESTERIFICACIÓN.....	30
<b>FIGURA 12:</b> REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	32
<b>FIGURA 13:</b> RECOLECCIÓN DE SEMILLAS.....	41
<b>FIGURA 14:</b> PRENSA HIDRÁULICA.....	49
<b>FIGURA 15:</b> ARRASTRE CON HEXANO.....	50
<b>FIGURA 16:</b> SEPARACIÓN DEL BIODIESEL DE LA GLICERINA.....	51
<b>FIGURA 17:</b> COMPARACIÓN DEL VOL. DE ACEITE EXTRAÍDO POR LOS DOS MÉTODOS.....	54
<b>FIGURA 18:</b> COMPARACIÓN DE LA $\rho_{25}$ ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE....	56
<b>FIGURA 19:</b> COMPARACIÓN DE LA $p_e$ ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE....	58

<b>FIGURA 20:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	60
<b>FIGURA 21:</b> COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD ( $\eta$ ) ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	62
<b>FIGURA 22:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	66
<b>FIGURA 23:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	68
<b>FIGURA 24:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO ENTRE LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	71
<b>FIGURA 25:</b> VOL. DE BIODIESEL OBTENIDO EN BASE A LA CONCENTRACIÓN DE METÓXIDO.....	73
<b>FIGURA 26:</b> VARIACIÓN DEL pH AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	75
<b>FIGURA 27:</b> VARIACIÓN DE LOS °API AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	76
<b>FIGURA 28:</b> VARIACIÓN DE LOS °API <sub>c</sub> AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	78
<b>FIGURA 29:</b> VARIACIÓN DEL P.E AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	79
<b>FIGURA 30:</b> VARIACIÓN DEL P.E <sub>c</sub> AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	81
<b>FIGURA 31:</b> VARIACIÓN DE LA $\rho_{25}$ AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	83
<b>FIGURA 32:</b> VARIACIÓN DE LA $\rho_e$ AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	84
<b>FIGURA 33:</b> VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	86
<b>FIGURA 34:</b> VARIACIÓN DEL I.C AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	88
<b>FIGURA 35:</b> VARIACIÓN DEL P.I AL SUSTITUIR BIODIESEL.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	9
<b>TABLA 2:</b> COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ).....	14
<b>TABLA 3:</b> COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE LA VICIA ( <i>Vicia villosa</i> ).....	18
<b>TABLA 4:</b> COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL LLÍ LLÍN ( <i>Cassia canescens</i> ).....	22

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1:</b> COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA PRESENTE EN LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) MEDIANE EL MÉTODO SOXLHET.....	52
<b>CUADRO 2:</b> EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS POR EL MÉTODO DE COMPRESIÓN (con una presión de 2Tn por 5min).....	53
<b>CUADRO 3:</b> EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS POR EL MÉTODO DE ARRASTRE CON HEXANO.....	53
<b>CUADRO 4:</b> COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	55
<b>CUADRO 5:</b> COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	55
<b>CUADRO 6:</b> COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	57
<b>CUADRO 7:</b> COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	57

<b>CUADRO 8:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (R) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	59
<b>CUADRO 9:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (R) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	59
<b>CUADRO 10:</b> COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD ( $\eta$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN A 25 °C.....	61
<b>CUADRO 11:</b> COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD ( $\eta$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO A 25 °C.....	62
<b>CUADRO 12:</b> COMPARACIÓN DEL COLOR DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	62
<b>CUADRO 13:</b> COMPARACIÓN DEL COLOR DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	64
<b>CUADRO 14:</b> COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	65

<b>CUADRO 15:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	65
<b>CUADRO 16:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	67
<b>CUADRO 17:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	67
<b>CUADRO 18:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ÉSTER DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	69
<b>CUADRO 19:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ÉSTER DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	69
<b>CUADRO 20:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN.....	70
<b>CUADRO 21:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EXTRAÍDO POR HEXANO.....	71
<b>CUADRO 22:</b>	OBTENCIÓN DE BIODIESEL CON METÓXIDO DE SODIO....	73

<b>CUADRO 23:</b>	COMPARACIÓN DEL pH DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	74
<b>CUADRO 24:</b>	COMPARACIÓN DE LA GRAVEDAD API (°API) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	77
<b>CUADRO 25:</b>	COMPARACIÓN DE LA GRAVEDAD API CORREGIDA (°API <sub>c</sub> ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	77
<b>CUADRO 26:</b>	COMPARACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN (P.E) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	79
<b>CUADRO 27:</b>	COMPARACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN CORREGIDO (P.E <sub>c</sub> ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	80
<b>CUADRO 28:</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	82
<b>CUADRO 29:</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL BIODIESEL DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	82

<b>CUADRO 30:</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	84
<b>CUADRO 31:</b>	COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL BIODIESEL DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	86
<b>CUADRO 32:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO (I.C) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	87
<b>CUADRO 33:</b>	COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO (I.C) DEL BIODIESEL DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	88
<b>CUADRO 34:</b>	COMPARACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN (P.I) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.....	90
<b>CUADRO 35:</b>	CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS ASTM D PARA BIODIESEL Y LOS VALORES DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	92
<b>CUADRO 36:</b>	CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS ASTM D PARA BIODIESEL Y LOS VALORES DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A BIODIESEL DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.....	93

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b>	NANOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO...	113
<b>ANEXO 2:</b>	NANOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ).....	114
<b>ANEXO 3:</b>	NANOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO DEL BIODIESEL DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	115
<b>ANEXO 4:</b>	TABLAS PARA CORRECCIÓN DE °API A 60°F.....	116
<b>ANEXO 5:</b>	TABLA PARA CORRECCIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN A 760 mm Hg.....	116
<b>ANEXO 6:</b>	PRENSA HIDRÁULICA DE 2Tn DE PRESIÓN.....	117
<b>ANEXO 7:</b>	SEMILLAS DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) EN LA BANDEJA DE LA PRENSA HIDRÁULICA.....	117
<b>ANEXO 8:</b>	PISTÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA COLOCADO SOBRE LAS SEMILLAS DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	118
<b>ANEXO 9:</b>	ACEITE DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) OBTENIDO LUEGO DEL PRENSADO.....	118
<b>ANEXO 10:</b>	SEMILLAS DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) COLOCADAS EN LA BANDEJA DE LA PRENSA HIDRÁULICA.....	119
<b>ANEXO 11:</b>	PISTÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA COLOCADO SOBRE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ).....	119
<b>ANEXO 12:</b>	ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) OBTENIDO LUEGO DEL PRENSADO.....	120

<b>ANEXO 13:</b> OBTENCIÓN DEL ACEITE DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ) POR HEXANO.....	120
<b>ANEXO 14:</b> OBTENCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) POR HEXANO.....	121
<b>ANEXO 15:</b> DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS ACEITES DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ), COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	121
<b>ANEXO 16:</b> MUESTRA DE ACEITE EN EL ESPECTOFOTÓMETRO.....	122
<b>ANEXO 17:</b> DETERMINACIÓN DEL COLOR PARA LOS ACEITES MEDIANTE LA GRÁFICA DEL ESPECTOFOTÓMETRO.....	122
<b>ANEXO 18:</b> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ PARA EL ACEITE DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	123
<b>ANEXO 19:</b> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ PARA EL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ).....	123
<b>ANEXO 20:</b> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN PARA LAS MUESTRAS DE ACEITE.....	124
<b>ANEXO 21:</b> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO PARA EL ACEITE DE COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	124
<b>ANEXO 22:</b> DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO PARA EL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ).....	125
<b>ANEXO 23:</b> ACEITE MÁS METÓXIDO DE SODIO EN BAÑO MARIA.....	125
<b>ANEXO 24:</b> ACEITE MÁS METÓXIDO DE SODIO REPOSANDO EN UN EMBUDO DE SEPARACIÓN.....	126
<b>ANEXO 25:</b> SEPARACIÓN DE LAS DOS FASES: BODIESEL Y GLICERINA.....	126

<b>ANEXO 26:</b>	<b>BIODIESEL FORMADOS.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 27:</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL pH DE LOS BIODIESEL.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 28:</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA °API DE LOS BIODIESEL CON AYUDA DE UN HIDRÓMETRO.....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO 29:</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN CON AYUDA DEL EQUIPO DE COPA CERRADA.....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO 30:</b>	<b>DENSIDAD RELATIVA.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO 31:</b>	<b>VISCOSIDAD.....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO 32:</b>	<b>ÍNDICE DE REFRACCIÓN.....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO 33:</b>	<b>TEST DE ESTABILIDAD.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXO 34:</b>	<b>COLOR.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO 35:</b>	<b>ÍNDICE DE ACIDEZ.....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO 36:</b>	<b>ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXO 37:</b>	<b>ÍNDICE DE ÉSTER.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO 38:</b>	<b>ÍNDICE DE YODO POR EL MÉTODO WIJS.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO 39:</b>	<b>ANÁLISIS DE GRASA POR EL MÉTODO SOXLHET.....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO 40:</b>	<b>EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA TORTA DEL PRENSADO MEDIANTE HEXANO.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO 41:</b>	<b>RECUPERACIÓN DEL ACEITE.....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO 42:</b>	<b>OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO 43:</b>	<b>GRAVEDAD API.....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO 44:</b>	<b>PUNTO DE EBULLICIÓN.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO 45:</b>	<b>ÍNDICE DE CETANO.....</b>	<b>152</b>

<b>ANEXO 46:</b> PUNTO DE INFLAMACIÓN.....	153
<b>ANEXO 47:</b> DENSIDAD RELATIVA.....	155
<b>ANEXO 48:</b> VISCOSIDAD.....	157
<b>ANEXO 49:</b> pH.....	159

## ÍNDICE GENERAL

### ÍNDICE DE ABREVIATURAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE TABLAS

### ÍNDICE DE CUADROS

### ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO I.....	5
1.    PARTETEÓRICA.....	5
1.1    CARACTERÍSTICAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	5
1.1.1    CULTIVOS.....	5
1.2    SEMILLAS OLEAGINOSAS.....	7
1.2.1    INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSITCAS DE LLAS SEMILLAS OLEAGINOSAS.....	8
1.3    BIOCOMBUSTIBLES.....	24
1.3.1    BIOCOMBUSTIBLES MÁS CONOCIDOS.....	24
1.3.2    PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BIODIESEL.....	27
1.3.3    MATERIA PRIMA NECESARIA PARA LA FABRICACIÓN DEL BODIESEL.....	27

1.3.4	REACCIONES DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	29
1.3.5	POSIBLES REACCIONES SECUNDARIAS EN EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	31
1.3.6	VARIABLES QUE AFECTAN A LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	33
1.3.7	TIPOS DE MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.....	34
1.3.8	EMPLEO DEL BIODIESEL.....	37
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>40</b>
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
2.1	LUGAR DE INVESTIGACIÓN.....	40
2.2	MATERIALES Y REACTIVOS.....	40
2.2.1	MATERIAL VEGETAL.....	40
2.2.2	EXTRACCIÓN DE ACEITE.....	42
2.2.3	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES EXTRAÍDOS....	43
2.2.4	ELABORACIÓN DEL BIODIESEL.....	44
2.2.5	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS BIODIESEL OBTENIDOS.....	45
2.3	METODOLOGÍA.....	46
2.3.1	FASE DE CAMPO.....	46
2.3.2	FASE DE LABORATORIO.....	46
2.4	PROCEDIMIENTO.....	47

2.4.1	OBTENCIÓN DEL ACEITE.....	47
2.4.2	OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	48
2.5	MÉTODOS.....	48
2.5.1	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.....	48
2.5.2	MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL.....	51
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>52</b>
3.	RESULTADOS.....	52
3.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GRASA PRESENTE EN LAS SEMILLAS.....	52
3.2	RESULTADOS DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES DE SEMILLAS.....	53
3.3	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	54
3.3.7	COMPARACIÓN DEL TEST DE ESTABILIDAD DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	61
3.4	PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ACEITES DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	65
3.4.9	PESO MOLECULAR DEL ACEITE DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	72
3.5	OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	73
3.6	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BIODIESEL.....	74
3.7	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	94

3.7.1	MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS.....	94
3.7.2	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	94
3.7.3	OBTENCIÓN DE BIODIESEL.....	97
3.7.4	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA ( <i>Ricinus comunnis</i> ) Y COLZA ( <i>Brassica napus</i> ).....	97
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>98</b>
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
4.1	CONCLUSIONES.....	98
4.2	RECOMENDACIONES.....	100
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>101</b>
	RESUMEN.....	101
	SUMMARY.....	103
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>105</b>
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	113

## INTRODUCCIÓN

Al analizar el impacto ocasionado en el ambiente por el uso de hidrocarburos y combustibles fósiles, surge la necesidad de buscar energías sostenibles a largo plazo. La relevancia de emplear tecnologías y fuentes alternativas de recursos radica en la contemplación de dos aspectos: minimización del impacto ambiental y capacidad de renovación (2).

El reto para cualquier país o región consiste en la implementación de procesos de producción basados en materias primas con disponibilidad local, como se menciona la provincia de Chimborazo posee buena disponibilidad en cuanto a materia prima ya que los cultivos de las semillas en estudio: Higuierilla (*Ricinus communis*), Colza (*Brassica napus*), Vicia (*Vicia villosa*) y Llin Llin (*Cassia canescens*) han demostrado buena adaptabilidad a las condiciones agroecológicas que posee esta provincia.

Tras la aplicación de los dos métodos de extracción de aceite establecidos en esta investigación (por compresión y por arrastre con hexano) se seleccionaron a las materias primas (Higuierilla (*Ricinus communis*) y Colza (*Brassica napus*)) basándonos en el volumen que las mismas proporcionan de aceite extraído.

En la obtención de biodiesel a partir de los aceites de las semillas mencionadas se realizó la reacción de transesterificación básica utilizando metanol al 98 % (metanólisis) con NaOH como catalizador; para demostrar la calidad del producto elaborado se analizó ciertos aspectos fisicoquímicos como el pH, densidad relativa, viscosidad, índice de cetano, °API, punto de inflamación y comparando estos valores con las normas aplicadas a

biocombustibles ( Norma ASTM D) dio resultados satisfactorios. Dichos procedimientos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Fitopatología y microorganismos benéficos “MIKROBEN” conjuntamente con los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”.

Es importante mencionar que este proceso de investigación fue realizado de manera artesanal, lo que encarece un tanto la producción, pero si este proceso se lo lleva a nivel industrial sería más rentable.

## **JUSTIFICACIÓN**

A diario se observa que la contaminación ambiental es obra principal del hombre, sobre todo a partir de la revolución industrial; generando de ésta manera un empobrecimiento de los recursos naturales. Por lo que es imperiosa la necesidad de buscar alternativas, con el fin tanto de preservar estos recursos como de evitar el incremento de dicha contaminación.

A nivel mundial se han buscado alternativas para la disminución del consumo de combustibles convencionales basándose en el desarrollo de cultivos energéticos. Ecuador posee un gran potencial en la agroindustria, razón por la cual es factible la búsqueda de semillas que puedan ser fuente de extracción de aceites y a partir de las cuales se pueda generar biodiesel. La provincia de Chimborazo posee buenas condiciones agroecológicas para la producción de oleaginosas, lo que crea puestos de trabajo y beneficia a sectores pobres como las comunidades campesinas de esta provincia, es por esto que es indispensable conocer las potencialidades que tiene este tipo de cultivos aprovechando las variedades nativas y adaptadas que existen en la zona.

Es por esto que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo "ESPOCH" ha dado importancia a este proyecto de investigación en el cual se brinda información de una nueva alternativa donde se utilizan materiales disponibles a nivel nacional o internacional para generar cambios ambientales, industriales y económicos; no reduciéndolos totalmente pero sí ayudando a que estos no se incrementen, para ello la propuesta de investigación es la producción de un biocombustible como es el biodiesel, que cuente con las características necesarias para mejorar la calidad del ambiente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Obtener biodiesel, a partir del aceite de semillas oleaginosas de la provincia de Chimborazo.

### **Objetivos Específicos:**

- 1.** Determinar la eficiencia de los métodos de extracción (estrujamiento y arrastre con solvente) de aceite de las semillas oleaginosas utilizadas como materia prima.
- 2.** Cuantificar el aceite obtenido de las semillas oleaginosas
- 3.** Caracterizar mediante análisis fisicoquímicos los aceites extraídos
- 4.** Elaborar biodiesel a partir de los aceites de semillas oleaginosas obtenidos.
- 5.** Determinar las características fisicoquímicas de los biocombustibles elaborados.

## CAPÍTULO I

### 1. PARTE TEÓRICA

#### 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

La Provincia de Chimborazo, está situada en la zona central del pasillo interandino (Figura 1). En la cordillera occidental se encuentra el volcán Chimborazo, que da nombre a la provincia, con una altura de 6.310 msnm. Tiene una población total de 513.225 habitantes y una superficie cercana a los 6.000 km<sup>2</sup>. Encontramos un clima mesotérmico seco, en las zonas cercanas a la costa predomina un clima de tipo mesotérmico húmedo y semi-húmedo. La temperatura promedio es de 13°C. La capital de la provincia es Riobamba. Se encuentra a una altitud de 2.754 msnm.

##### 1.1.1 CULTIVOS

Una de las principales actividades económicas en la provincia es la agrícola y entre los principales cultivos que se dan son:

**Pastos como:** trébol (*Trifolium pratense* L), pasto azul (*Poa Annua* L), rey grass (*Lolium multiflorum*).

**Cereales como:** cebada (*Hordeum distichon* L.), maíz (*Zea mays* L), centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum aestivum*).

**Leguminosas como:** chocho (*Lupinus mutabilis*), haba (*Vicia faba* L), lenteja (*Lens esculenta*), arveja (*Pisum sativum*).

**Tubérculos como:** papa (*Solanum tuberosum* L) (3)

**Fig.1 Mapa Representativo de la Provincia de Chimborazo**



FUENTE: WIKIPEDIA

## 1.2 SEMILLAS OLEAGINOSAS

Son semillas o frutos de plantas oleaginosas de las cuales puede extraerse aceite, en algunos casos comestibles y en otros casos de uso industrial. Las oleaginosas más sembradas en la provincia de Chimborazo son el maíz (*Zea mays*), la colza (*Brassica napus*), el llín llín (*Cassia canescens*), la vicia (*Vicia villosa*), la higuera (*Ricinus communis*), el nogal (*Juglans regia*).

Cada planta, a su vez, puede tener otros usos económicos como el maíz cuyos frutos o semillas también pueden ser comidos, o el nogal, del que puede extraerse también madera, la colza es utilizada como planta forrajera para alimento de animales y la higuera se la utiliza como cercas vegetales. Otras plantas oleaginosas son el olivo y el sésamo. (4)

Las semillas oleaginosas o también llamadas frutos secos están recubiertos de cáscara más o menos dura, según las especies, y todas ellas se caracterizan por incluir en su composición menos de 50% de agua, por su bajo contenido de hidratos de carbono y por su riqueza en grasas. Actualmente, los frutos secos constituyen una excelente alternativa a las proteínas animales. (5)

## 1.2.1 INFORMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS

### 1.2.1.1 Colza o Canola

#### 1.2.1.1.1 Clasificación Botánica

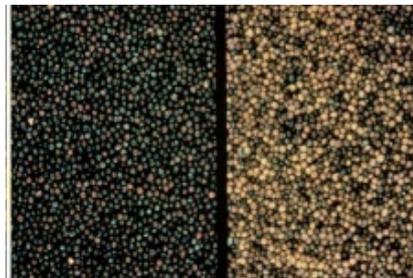
**Nombre científico:** *Brassica*

**Familia:** Crucíferas (*Cruciferae*)

**Especie:** *Brassica napus*

**Variedad:** Oleífera.

**Fig. 2 Semillas de Colza**



**Fig. 3 Flor de Colza**



FUENTE: OLEAGINOSAS.ORG

#### 1.2.1.1.2 Descripción

Es una planta anual que alcanza de 0,3 a 1 m de altura, las hojas tienen de 5 a 40 cm, posee flores amarillas (Figuras 2 y 3), el fruto es una silicua de 5 a 7 cm con varias semillas de 1,5 a 2 mm de diámetro. (7)

#### 1.2.1.1.3 Ácidos grasos presentes en el aceite

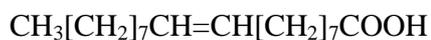
El aceite de colza (*Brassica napus*) se encuentra compuesto por los siguientes ácidos grasos:

**Tabla 1. Composición de Ácidos grasos del Aceite de Colza (*Brassica napus*)**

Ácido Graso	Saturación	Porcentaje
Ácido oleico	Monoinsaturado	52 – 67 %
Ácido linoléico	Polinsaturado	16 – 25 %
Ácido linolénico	Polinsaturado	6 – 14 %
Ácido palmítico	Saturado	3,3 – 6 %
Ácido esteárico	Saturado	1.1 – 2.5 %

FUENTA: Copyright 2008 - Antonio Zamora

Debido a que el ácido oleico es el predominante en su composición, el aceite de colza toma su fórmula química:



El aceite de colza, en estado natural además contiene ácido erúico y glucosinolatos que son medianamente tóxicos en dosis altas (8).

#### 1.2.1.1.4 Origen

La colza no es propia del Ecuador ya que el origen de su cultivo probablemente tuvo lugar en Asia Menor; más tarde practicado en el Mediterráneo, de tal forma que, griegos y romanos cultivaban ésta planta con fines alimenticios y medicinales. Originalmente era una planta de uso exclusivamente forrajero, en los años 50 en China la colza forrajera fue transformada en colza oleaginosa, y a partir de los años 70 y 80 con los cambios en sus características tecnológicas logradas en Canadá, se le dio el nombre de Canola (Canadian Oil Low Acid), gracias a los cuales en poco tiempo se ubica en el segundo lugar como planta oleaginosa cultivada en el mundo y actualmente tiene gran producción en la provincia de Chimborazo. (7)

#### 1.2.1.1.5 Usos

Se cultiva por todo el mundo para producir forraje, aceite vegetal para consumo humano y biodiesel. La periodicidad en la producción de miel en las regiones tropicales y subtropicales está directamente relacionada con la presencia de la flor de planta de canola(9).

#### 1.2.1.1.6 Cultivo

Se adapta a zonas desde los 1000 hasta los 3500 m.s.n.m obteniéndose excelentes resultados.

No soporta temperaturas inferiores a los 2 ó 3 °C bajo cero desde la germinación hasta el estado de roseta; en este estado puede aguantar hasta los 15 ° C bajo cero (incluso el frío le favorece pues desarrolla más la raíz). En la floración no conviene temperaturas altas para que no se acorte el ciclo y se produzca mejor cantidad de granos.

La colza se puede desarrollar a partir de los 400 mm de lluvia si éstos están bien distribuidos. Tiene resistencia a la sequía y sufre con los encharcamientos.

Una disponibilidad del 50% de la humedad en el suelo es adecuada para el desarrollo del cultivo. La zona radicular requiere 300 a 400 mm de agua, cuando se mantiene un alto % de humedad se favorece la germinación. La falta de humedad en período vegetativo incide en una menor producción de materia seca durante la floración.

Este cultivo prefiere suelos profundos y con buen drenaje, aunque se adapta a diferentes tipos de suelos, soportando incluso acidez, es deseable un intervalo de pH de 5 a 7. La temperatura óptima del suelo para la siembra varía entre 8 a 10 °C.

Tolera la salinidad moderadamente en suelos con niveles de conductividad 5 a 6, afectándose algo el rendimiento. (6)

En los últimos años se ha observado el incremento de cultivos de semillas de Colza (*Brassica napus*) transgénicos, especialmente en países de la U.E y Estados Unidos promovido por la USAID quienes están introduciendo este tipo semillas a países en vías de

desarrollo como Ecuador, dichas semillas han sido causa de polémica y discusión ya que en estudios realizados se ha demostrado que por su alta resistencia a herbicidas ultrapotentes que éstas semillas manipuladas son capaces de tolerar acelerarían la degradación del medio rural, ya que eliminan una serie de flores silvestres que constituyen una dieta importante de ciertos pájaros. En los estudios realizados se contaron menos abejas y mariposas en los campos cultivados con semillas de colza transgénica que en los cultivos normales, lo que ha demostrado que dichos cultivos no son benéficos para la estabilidad ambiental del sector donde se los produzca (46).

### **1.2.1.2 Higuera**

#### **1.2.1.2.1 Clasificación Botánica**

**Nombre Científico:** *Ricinus communis*

**Reino:** Plantae

**Subreino:** Traqueobionta (plantas vasculares)

**Superdivisión:** Spermatophyta (plantas con semillas)

**División:** Magnoliophyta (plantas con flor)

**Clase:** Magnoliopsida (dicotiledóneas)

**Subclase:** Rosidae

**Orden:** Euphorbiales

**Fig. 4 Semillas de Higuera en árbol**



**Fig. 5 Semillas de Higuera**



FUENTE: HIGUEROIL

#### 1.2.1.2.2 Descripción

Planta herbácea alta a veces algo arbustiva, de color verde claro a azul grisáceo, en ocasiones rojiza mide hasta 6 m de alto, su tallo es engrosado y ramificado, sus hojas son lámina casi orbicular de 10 a 60 cm de diámetro profundamente palmatilobada, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas, agudas o acuminadas, borde irregular dentado-glanduloso; pecíolo tan largo o más largo que la lámina. Glándulas entre la lámina y el pecíolo y sus flores rojas son masculinas con un perianto de 6 a 12 *mm* de largo, el de las flores femeninas de 4 a 8 *mm* de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos, frutos y semillas es una (Figura 4 y 5) cápsula subglobosa, de uno 1.5 a 2.5 *cm* de largo, con espinas cortas y gruesas; semillas elipsoides, algo aplanadas, de 10 a 17 *mm* de largo, lisas brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris carunculadas. (10)

#### 1.2.1.2.3 Ácidos grasos presentes en el aceite

El aceite de Higuera (*Ricinus communis*) se encuentra compuesto por los siguientes ácidos grasos:

**Tabla 2. Composición de Ácidos grasos del Aceite de Higuera (*Ricinus communis*)**

Ácido Graso	Saturación	Porcentaje
Ácido ricinoleico	Insaturado	70 %
Ácido oleico	Monoinsaturado	12 %
Ácido ricínico	Saturado	12 %
Otros	---	6 %

FUENTA: Copyright 2008 - Antonio Zamora

Posee una densidad a 15°C de 0,964. g /mL. El ácido graso predominante es el ricinoleico del cual depende su fórmula química:



Debido a su composición química, el aceite de higuera conserva su viscosidad a altas temperaturas y resiste muy bajas sin congelarse, razón por la cual se emplea para motores con altas revoluciones.

#### 1.2.1.2.4 Origen

Es originaria de África de donde se extendió al Medio Oriente como planta silvestre. En la India y la China fue conocida hace unos 3000 años probablemente se introdujo en América

después del descubrimiento. Los egipcios hace más de 4000 años, empleaban la higuera en la iluminación o alumbrado de sus casas, parece que era una planta altamente estimada porque en algunas tumbas egipcias se ha encontrado sus semillas.

#### 1.2.1.2.5 Usos

En la antigüedad se usó para repeler los insectos de los cultivos por los principios tóxicos que tiene. Se utiliza para la protección de las riberas de los ríos y quebradas, por su adaptabilidad a los suelos arenosos. Es utilizado además como verjas vegetales para delimitar áreas de cultivo.

El uso más común es como purgante, llamado aceite de ricino, se considera un vermífugo drástico, que no irrita el intestino, es antirreumático, cura los orzuelos incipientes con una gota y sirve para eliminar las verrugas aplicándolo a mañana y tarde sobre ellas. El aceite es adecuado contra las úlceras de la piel, alivia los ojos cuando están enrojecidos o irritados, aplicando una gota a cada uno. Con aplicaciones constantes de aceite se suaviza y hace que vuelvan a su posición normal, las hemorroides cuando salen de su orificio anal. Elimina los grandes lunares que aparecen en el cuerpo y las manchas de la cara. También es usado en la preparación del paciente para las radiografías estomacales. El principal uso que en la actualidad se le da a este aceite es la producción de biocombustible. (11)

#### 1.2.1.2.6 Cultivo

Se desarrolla entre los 1000 y 3500 msnm, lo que indica la extraordinaria capacidad de adaptación de esta especie.

Crece en estado silvestre con temperaturas medias de 21 a 27 ° C, es una especie resistente a heladas ligeras, pero no resiste las heladas severas o muy prolongadas.

Es una planta resistente que tolera varias condiciones de suelo ya sea como cultivo o arbusto de ornato, soporta suelos pobres en nutrientes pero para su mejor desarrollo requiere suelos con materia orgánica y buen drenaje.

La higerilla requiere una época seca definida después de la floración y su requerimiento de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 800 mm.

Prospera bien en suelos de mediana o alta fertilidad, profundos, permeables, aireados, bien drenados, con altas cantidades de elementos nutritivos y con pH sobre 5,5 (óptimo 6-7), aunque no soporta la alcalinidad. (12)

### 1.2.1.3 Vicia

#### 1.2.1.3.1 Clasificación Botánica

**Nombre Científico:** *Vicia*

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Subclase:** Rosidae

**Orden:** Fabales

**Familia:** Fabaceae

**Subfamilia:** Faboideae

**Tribu:** Fabeae

**Género:** *Vicia*

**Especie:** *V. villosa* (13)

**Fig. 6 Planta de Vicia**



**Fig. 7 Semilla de Vicia**



FUENTE: UNAVARRA

#### 1.2.1.3.2 Descripción

Se trata de una hierba trepadora normalmente, con hojas pinnadas provistas de zarcillo terminal dividido, vellosa y perenne. La flor de 15-17 mm de longitud, amarillenta al principio, blanco azulada después y con colores diferentes en sus partes durante la madurez (Figura 6 y 7). Estandarte azulado con nervios más intensos, una de color púrpura o rosado, alas y quilla de azul muy claro, blanquecinas. El doble pico de la quilla de color púrpura o morado intenso. Cáliz inflado en la base, con 5 dientes vellosos, puntiagudos y soldados, los 2 dientes del dorso pequeños y juntándose como una cornamenta, los 3 inferiores más largos y separados.

El fruto es una vaina de 2x1 cm, sin pelos, con un pie estrecho más largo que el cáliz. Hojas de longitud igual o menor que el racimo floral, con zarcillo dividido, largo y enrollado. (14)

#### 1.2.1.3.3 Ácidos grasos presentes en la semilla

La semilla de vicia (*Vicia villosa*) se encuentra compuesto por los siguientes ácidos grasos:

**Tabla 3. Composición de Ácidos grasos de la Vicia (*Vicia villosa*)**

<b>Acido Graso</b>	<b>Saturación</b>	<b>Porcentaje</b>
Ácido oleico	Insaturado	55 – 60 %
Ácido linoléico	Insaturado	30 – 40 %
Ácido palmítico	Saturados	6 – 8 %
Ácido esteárico	Saturados	10 – 15 %

FUENTA: Copyright 2008 - Antonio Zamora

El ácido graso predominante es el oleico del cual depende su fórmula química:



#### 1.2.1.3.4 Condiciones Agroecológicas

Es más resistente y rústica que *Vicia sativa*. Su límite pluviométrico anual se sitúa en torno a los 450 mm. Presenta buena resistencia a las heladas. Se adapta bien a distintos tipos de suelos incluso los salinos, aunque no tolera los suelos encharcados.

#### 1.2.1.3.5 Origen

Las leguminosas están presentes en nuestra alimentación desde la aparición de la agricultura. En la actualidad se desconoce cuál es el lugar exacto de su origen. Uno de los lugares de origen conocido de la vicia es el continente americano, procedente de Mesoamérica y Los Andes, desde donde se extendió a diversos lugares. La forma silvestre sufrió ciertos cambios en sus características físicas, morfológicas y genéticas, que dieron lugar a la vicia que conocemos actualmente.

#### 1.2.1.3.6 Usos

Tiene gran atractivo para las abejas (melíferas y bombus) por el alto contenido de néctar. Se la utiliza como cultivo forrajero y como cultivo de cobertura ya que tiene la capacidad de fijar nitrógeno al suelo donde la plantan.

#### 1.2.1.3.7 Cultivo

Espontánea en el centro y sur de Europa, suroeste de Asia y Cáucaso. En la Península Ibérica se cultiva en el norte y centro peninsular, aunque en menor proporción que su congénere.

Se siembra asociada con una gramínea que ejerce de tutor en la mezcla. Pueden realizarse diferentes ciclos de cultivo. Su ciclo es más largo que el de la vicia común. (15)

#### 1.2.1.4 Llín – Llín o Chanchilva

##### 1.2.1.4.1 Clasificación Botánica

**Nombre común:** Llín llín o chanchilva

**Nombre científico:** *Cassia canescens* L.f.

**Familia:** Leguminosae

**Fig. 8 Planta de Llín – Llín**



**Fig. 9 Semilla de Llín – Llín**



FUENTE: ALIBABA

#### 1.2.1.4.2 Descripción

Es un arbusto de buen crecimiento (Figura 8). Al moverse su fruto maduro, las semillas (Figura 9) producen un sonido característico, de allí su nombre común de Llín Llín.

**Hojas:** Color verde oscuro en el haz y en el envés más claro y afelpadas; limbo compuesto paripinnado, folíolos ovalados y débilmente peciolados, borde de folíolos liso y entero, nervadura pinatinervia, inserción en la rama esparcida.

**Flores:** Cáliz formado por 5 sépalos de color verde amarillento, corola de 5 pétalos amarillos y vistosos, estambres amarillos con anteras de color café, pistilo piloso, inflorescencia simple, 4 a 5 flores pediculadas sobre un receptáculo común, flores amariposadas.

**Semillas:** Es una legumbre larga (aprox. De 12 a 15 cm) dehiscente y producido en abundancia, contiene más o menos 40 semillas por cada legumbre.

#### 1.2.1.4.3 Ácidos grasos presentes en la semilla

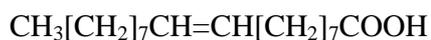
La semilla de Lín Lín (*Cassia canescens*) se encuentra compuesto por los siguientes ácidos grasos:

**Tabla 4. Composición de Ácidos grasos del Lín Lín (*Cassia canescens*)**

Acido Graso	Saturación	Porcentaje
Ácido láurico	Saturado	2,18 %
Ácido mirístico	Saturado	4,22 %
Ácido palmítico	Saturado	26,48 %
Ácido esteárico	Saturado	7,81 %
Ácido araquídico	Saturado	3,67 %
Ácido oleico	Insaturado	27 %
Ácido linoléico	Insaturado	7 %
Ácido linolénico	Insaturado	4,81 %

FUENTA: Copyright 2008 - Antonio Zamora

El ácido graso predominante es el oleico del cual depende su fórmula química:



#### 1.2.1.4.4 Origen

Existen más de 100 especies de *Cassia* (Lín Lín), pero se cree que su origen se da en Brasil.

#### 1.2.1.4.5 Usos

Por su rápido crecimiento y buen desarrollo del follaje esta especie puede ser aprovechada para la formación de cortinas rompe vientos en las labores pre forestales. La madera sirve como combustible. Por su abundante floración amarilla también es utilizable como planta ornamental.

#### 1.2.1.4.6 Cultivos

Se la encuentra hasta los 3600 m.s.n.m, en el páramo de Urbina (Prov. de Chimborazo), y de acuerdo a menor o mayor altitud, su desarrollo varía entre la forma de un pequeño árbol (a nivel de 2500m) y la de arbusto a mayor nivel altitudinal. Aparentemente soporta temperaturas bajas y retoña al ser cortado.

La semilla tiene una buena germinación, por lo tanto esta especie se adapta a suelos de diversa calidad (16).

### **1.3 BIOCOMBUSTIBLES**

Biocombustible es un combustible de origen biológico. No obstante, más exactamente los biocombustibles son aquellos combustibles obtenidos de una fuente biológica, de manera renovable a partir de restos orgánicos.

Los **biocarburantes**, son biocombustibles susceptibles de ser empleados en un motor de combustión interna. Dado que en buena medida estos motores se instalan en los vehículos, los biocarburantes se identifican como los biocombustibles para el transporte.

A los biocarburantes se los puede definir como el combustible líquido o gaseoso para transporte producido a partir de la biomasa, entendiendo por biomasa la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas sustancias de origen vegetal y animal), silvicultura e industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. (18)

#### **1.3.1 BIOCOMBUSTIBLES MÁS CONOCIDOS**

##### **1.3.1.1 Aceite vegetal**

En determinados motores, es posible la utilización de aceites vegetales en un porcentaje variable junto con diesel o biodiesel.

Los principales aceites vegetales utilizados para este fin son los desechados por el sector gastronómico que generalmente utiliza aceite de maíz, soja y girasol, estos al ser sometidos a un previo proceso son mezclados en distintas concentraciones con diesel convencional en dependencia del uso al cual se va a destinar este combustible (19).

En el caso del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) extraído por compresión el cual es uno de los aceites que empleamos en la presente investigación es difícil utilizarlo como anteriormente se menciona ya que tiene una viscosidad un tanto elevada lo que dificulta su movilidad dentro del sistema. Es importante mencionar en base a experiencias de este proyecto de investigación que los aceites vegetales tienen mayor rendimiento cuando se los transforma en biodiesel que al utilizarlos como aceite directamente.

### **1.3.1.2 Biodiesel**

El biodiesel es un éster metílico que se obtiene principalmente a partir de aceites vegetales, en el caso de ésta investigación se ha elaborado biodiesel a partir de los aceites de las semillas de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y Colza (*Brassica napus*), también se pueden utilizar los aceites de fritura usados y las grasas animales. Los aceites extraídos de las plantas oleaginosas se transforman en biodiesel mediante un proceso denominado transesterificación. Este biocombustible se utiliza como sustituto del gasóleo en los motores de compresión (Diesel), aunque también puede ser empleado para la combustión en calderas de calefacción. Sus propiedades son parecidas a las del gasóleo de automoción en

cuanto a densidad y al número de cetano. Además su punto de inflamación es superior al del gasóleo, lo que implica una mayor seguridad en su utilización (20).

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing Material, Sociedad Americana para Verificación de Materiales) lo describe como éteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales (45).

A diferencia de otros combustibles el biodiesel presenta la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima. Esto es la causa de que sea preciso tener en cuenta las características de los mercados agrícolas junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En éste sentido cabe destacar que el desarrollo de la industria de los biocombustibles no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima sino de la existencia de demanda suficiente.

Al asegurar la demanda de biocombustibles el desarrollo de su mercado puede aprovecharse para potenciar otras políticas como la agrícola, favoreciendo la creación de empleo en el sector primario, la fijación de población en el sector rural, el desarrollo industrial y de actividades agrícolas y reduciendo a su vez los efectos de la desertización gracias a la plantación de cultivos energéticos (20).

### 1.3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BIODIESEL

El Biodiesel se produce gracias a una reacción química denominada transesterificación, lo que significa que el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador. En este caso utilizaremos Metanol al 98% y NaOH (sosa cáustica). Éste es sólo un método posible para la elaboración de biodiesel, pero existen otras formas para preparar biodiesel de buena calidad, hemos escogido ésta forma de obtención debido a la disponibilidad de dichos reactivos en nuestro entorno de investigación (Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, "ESPOCH").

### 1.3.3 MATERIA PRIMA NECESARIA PARA LA FABRICACIÓN DEL BIODIESEL

#### 1.3.3.1 Aceite

La primera materia prima es el aceite o la grasa. El aceite vegetal utilizado como ya se ha mencionado es el aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y de Colza (*Brassica napus*) que han sido obtenidos por el método de estrujamiento.

Las semillas las hemos recolectado de sembríos ya existentes en el caso de la Colza (*Brassica napus*) mientras que la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) se la recolecto de plantas que han crecido de manera silvestre, además de éstas dos plantas que se ha mencionado se

puede sembrar también el girasol (*Helianthus annuus L*) o soja (*Glycine max.*) y luego cosecharlos para extraer su aceite (21).

### **1.3.3.2 Alcohol**

La segunda materia prima es el alcohol, para la alcoholisis se puede utilizar metanol o etanol, en la presente investigación se ha utilizado como ya lo hemos mencionado metanol al 98%. Hay que aclarar que tanto el metanol como el etanol son materiales muy peligrosos y por ello se debe evitar inhalarlos y el contacto con la piel y los ojos (21).

### **1.3.3.3 Catalizador**

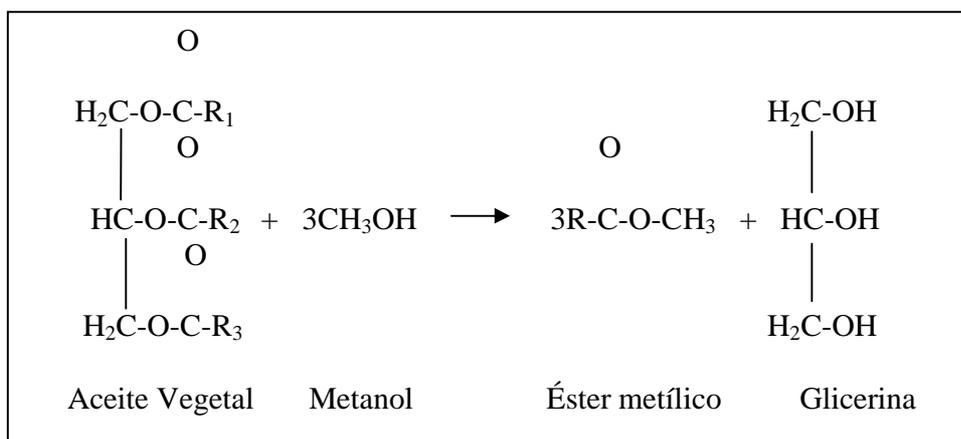
La última materia prima es el catalizador. Se pueden utilizar tanto el KOH (hidróxido de potasio) como el NaOH (hidróxido de sodio o sosa cáustica). La ventaja del KOH es que la glicerina que queda del proceso es mucho menos tóxica que cuando se utiliza NaOH. Sin embargo hemos utilizado NaOH ya que la ventaja de éste es que es muy simple y barato de conseguir porque se lo utiliza normalmente como destapador de cañerías y a su vez es fácil de manipular, pero hay que asegurarse de utilizar NaOH con una pureza de por lo menos del 96% (21).

### 1.3.4 REACCIONES DE TRASESTERIFICACIÓN

Se basa en la reacción de moléculas de triacilglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.)(21).

La reacción de transesterificación (Figura 10) se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triacilglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de triacilglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). El triacilglicerol es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal (21).

**Fig. 10 Reacción de Transesterificación**



FUENTE: BIODISOL

Luego se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triacilglicérido



En la reacción de transesterificación (Figura 11) se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, aun que sin él no sería posible ésta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $H_3PO_4$ ,  $RSO_3$ ), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas,  $SO_4/ZrO_2$ ,  $WO_3/ZrO_2$ ), básicos heterogéneos ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na/NaOH/Al_2O_3$ ), básicos homogéneos ( $KOH$ ,  $NaOH$ ) o enzimáticos (Lipasas: *Candida*, *Penicillium*, *Pseudomonas*); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos (21).

#### 1.3.5 POSIBLES REACCIONES SECUNDARIAS EN EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

- Reacción de saponificación
- Reacción de neutralización de Ácidos grasos libres

El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación Figura 12) (21).



## 1.3.6 VARIABLES QUE AFECTAN A LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

### 1.3.6.1 Acidez y Humedad

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres menores al 3%. Cuanto más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón. Además, la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones (22).

Actualmente, la mayor parte del biodiesel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiesel usando catalizadores alcalinos. En estos casos es necesario hacer la esterificación en dos etapas: inicialmente debe realizarse un pre tratamiento para convertir los ácidos grasos libres en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción (22).

### **1.3.6.2 Tipo de Catalizador y Concentración**

Si el aceite tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador alcalino (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados, aunque en esta investigación proporcionó mejores resultados al emplear una concentración del 2%(22).

### **1.3.6.3 Efecto del Tiempo de Reacción y Temperatura**

La conversión de la reacción de transesterificación aumenta con el tiempo de reacción y se puede producir a diferentes temperaturas, dependiendo del tipo de aceite utilizado (22). En la presente investigación la temperatura a la cual se produjo la reacción fue a 70°C.

## **1.3.7 TIPOS DE MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

La producción de biodiesel es una ventaja que aumenta el desarrollo rural que está más orientada al cultivo de productos energéticos y surge el mejoramiento en el aumento del empleo y genera un rédito en el sector agrícola (23).

Cualquier materia que contenga triacilglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel como:

#### **1.3.7.1 Aceites Vegetales Convencionales**

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol (*Helianthus annus L*) y la colza o canola (*Brassica napus*), la soja (*Glycine max.*) y el coco (*Cocos nucifera*) (23).

#### **1.3.7.2 Aceites Vegetales Modificados Genéticamente**

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol (*Helianthus annus L*), mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir ésta proporción, como el aceite de girasol (*Helianthus annus L*) de alto contenido de ácido oleico (23).

### **1.3.7.3 Aceites de Fritura Usados**

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo (23).

### **1.3.7.4 Grasas Animales**

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de inferior calidad en la formulación de los alimentos de animales (23).

### **1.3.7.5 Aceites de Otras Fuentes**

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de micro algas. (23)

### 1.3.8 EMPLEO DEL BIODIESEL

El biodiesel se levanta como una opción agroindustrial, por su capacidad de estimular la producción agrícola, crear nuevas actividades industriales, generar nuevos puestos de trabajo e ingresos adicionales para el Estado. Su principal uso es como combustible para motores de combustión interna, máquinas reciprocantes, funcionamiento de calderos y generar energía. El biodiesel es un instrumento muy útil para cumplir las políticas de lucha contra el cambio climático. Por todo ello, el futuro a corto plazo de los biocombustibles como el biodiesel se presenta prometedor, siendo necesario incrementar de manera significativa la producción de éstos mediante el uso de procesos innovadores, tecnologías y materias primas que sean competitivas y respetuosas con el ambiente. (24)

#### **1.3.8.1 Beneficios del Empleo de Biodiesel como Combustible**

Menor contribución al calentamiento global de la atmósfera, el CO<sub>2</sub> de la combustión del éster no contribuye a aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, ya que el CO<sub>2</sub> liberado por los motores corresponde al que es retirado de la atmósfera en la fase de cultivos por el proceso de fotosíntesis. El biodiesel se encuentra libre de compuestos azufrados, posibilitando el uso de catalizadores oxidativos que eliminan el material particulado de los gases de la combustión. Los materiales particulados son aspirados al respirar, depositándose en los alvéolos pulmonares, favoreciendo el desarrollo de tumores.

Éste es un aspecto muy importante al difundirse los vehículos diesel para su uso en las ciudades. Las emisiones de dióxido de nitrógeno no se ven disminuidas al usar biodiesel(23).

### **1.3.8.2 Comparación entre las Propiedades del Biodiesel Frente al Diesel**

Las propiedades de ambos combustibles no presentan grandes diferencias; sin embargo, el biodiesel muestra las siguientes ventajas:

- Prácticamente no tiene compuestos aromáticos, ni azufre.
- Contiene oxígeno que permite una adecuada combustión con menor relación de aire/combustible.
- La temperatura de inflamación mayor reduce el peligro de incendios durante su manejo y almacenamiento.
- La biodegradabilidad es una característica del biodiesel que incentiva su uso, desapareciendo en menos de 21 días, con una degradación 4 veces más rápida que con el diesel del petróleo.
- No es soluble en agua; con una toxicidad inferior a la del diesel del petróleo (25).

### **1.3.8.3 Desventajas del Biodiesel al ser Utilizado como Combustible**

- Tiene un menor poder calorífico, con un mayor consumo de combustible.
- Pérdida de un 5% de potencia.
- Mayor viscosidad y densidad con posibles problemas de fluidez en climas fríos, requiriendo anticongelantes especiales.
- Los ácidos grasos no saturados presentan inestabilidad (por lo que debe utilizarse rápidamente).
- Las temperaturas de inflamación del biodiesel son mayores, por lo que en lugares fríos o durante el invierno, se pueden presentar problemas en el arranque.
- Con el B100 se deben cambiar con mayor frecuencia los filtros de combustible (cada 130 hrs. en lugar de cada 200 hrs.).
- Deterioro rápido de los elementos de caucho, debe sustituirse por otro material (teflón u otro).
- Es disolvente de pinturas, por lo que deben utilizarse a base de poliuretano.
- Modificaciones que se recomiendan en el motor para la utilización de biodiesel a concentraciones mayores al 20%:
- Cambio del filtro de combustible después del primer tanque de biodiesel.
- Modificación del tiempo de inyección. (25)

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología del Departamento de Sanidad Vegetal de la Facultad de Recursos Naturales "MIKROBEN", en colaboración con Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, "ESPOCH".

#### 2.2 MATERIALES Y REACTIVOS

##### 2.2.1 MATERIAL VEGETAL

La selección y recolección de las cuatro semillas en estudio se la hizo de manera aleatoria, en el caso de la Colza (*Brassica napus*) se las recolecto en las instalaciones del campus experimental Tunshi perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo "ESPOCH" gracias a la apertura que la institución proporcionó, las semillas de Higuierilla (*Ricinus comunis*) se recolectaron de plantas que han crecido de manera silvestre a orillas de terrenos ubicados junto a la carretera que dirige a la parroquia Quimiag perteneciente a la Provincia de Chimborazo localizada a 25 min de la ciudad de Riobamba debido a la facilidad de recolección y su disponibilidad, las semillas de Lín Lín (*Cassia canescens*) fueron recolectadas en las plantaciones del vivero de la ESPOCH, mientras que las semillas de Vicia (*Vicia villosa*) fueron adquiridas comercialmente.

Debido a que cada semilla viene dentro de vainas como es característico de las semillas leguminosas, se procedió al desenvainado de las mismas, en el caso de las semillas de Llin Llin (*Cassia canescens*) este proceso fue rápido y sencillo, mientras que para las semillas de Colza (*Brassica napus*) por su diminuto tamaño el proceso de desenvainado fue muy laborioso, para la Higuera (*Ricinus comunis*) aunque sus semillas son grandes dicho proceso también fue dificultoso ya que su vaina está provista de pequeños espinos, además en esta semilla fue necesario su descascarado, teniendo en cuenta que todo el proceso ha sido realizado manualmente.

**Fig. 13 Recolección de Semillas**



FUENTE: PROPIA

## 2.2.2 EXTRACCIÓN DE ACEITE

### 2.2.2.1 Extracción de Aceite por Compresión

#### 2.2.2.1.1 Materiales

Semillas de Llin Llin (*Cassia canescens*), Vicia (*Vicia villosa*), Higuera (*Ricinus communis*), Colza (*Brassica napus*), Tubos de ensayo, Recipientes de vidrio.

#### 2.2.2.1.2 Equipos

Prensa Hidráulica de 2Tn, Balanza Analítica.

### 2.2.2.2 Extracción de Aceite por Arrastre con Solvente

#### 2.2.2.2.1 Materiales

Semillas de Llin Llin (*Cassia canescens*), Vicia (*Vicia villosa*), Higuera (*Ricinus communis*), Colza (*Brassica napus*), Balón Esmerilado de 250 mL, Tubo Refrigerante, Mangueras, Mechero, Codo, Termómetro, Soporte Universal, Pinzas Universales, Tubos de Ensayo, Vaso de precipitación de 250 mL.

#### 2.2.2.2.2 Equipos

Balanza Analítica

#### 2.2.2.2.3 Reactivos

Hexano.

### 2.2.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITE EXTRAÍDOS

#### 2.2.3.1 Materiales de Laboratorio

Aro Metálico, Pinza Universal, Termómetro, Balones de 250 mL, Pinzas, Tamiz de malla de 1 mm, Mangueras, Pipetas de 10 mL, Tapón de Caucho Perforado, Mechero, Probeta de 250 mL, Tubos de ensayo, Papel filtro, Recipientes, Vasos de Precipitación de 250 mL, Piceta con agua, Tubo Refrigerante, Picnómetro, Soporte Universal, Pinza de Bureta.

#### 2.2.3.2 Sustancias y Reactivos

Muestras de Aceite de Higuera (*Ricinus communis*) y Colza (*Brassica napus*), Cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), Agua destilada, Yoduro de potasio (KI), Tiosulfato de sodio

( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), Agua, Solución de almidón al 1%, NaOH, Éter etílico, KOH, Éter de petróleo, HCl, Yodo Wijs, Fenolftaleína. Todos los reactivos fueron de grado analítico.

### **2.2.3.3 Equipos**

Balanza Analítica, Baño María, Cronómetro, Espectrofotómetro, Estufa, Refractómetro, Reverbero, Sistema extractor Soxhlet, Viscosímetro.

## **2.2.4 ELABORACIÓN DE BIODIESEL**

### **2.2.4.1 Materiales de Laboratorio**

Aro Metálico, Termómetro, Balones de 250 mL, Recipientes, Vasos de Precipitación de 250 mL, Embudo de separación.

### **2.2.4.2 Sustancias y Reactivos**

Muestras de Aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*), Colza (*Brassica napus*), Agua, NaOH, Metanol al 98%.

### **2.2.4.3 Equipos**

Balanza Analítica, Baño María, Reverbero, Agitador Magnético.

## **2.2.5 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS BIODIESEL OBTENIDOS**

### **2.2.5.1 Materiales de Laboratorio**

Probeta de 1000 mL, Hidrómetro, Potenciómetro, Termómetro, Picnómetro, Recipientes de Vidrio, Vasos de Precipitación de 250 mL.

### **2.2.5.2 Sustancias y Reactivos**

Muestras de Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y Colza (*Brassica napus*).

### **2.2.5.3 Equipos**

Balanza Analítica, Baño María, Cronómetro, Espectrofotómetro, Estufa, Refractómetro, Reverbero, Sistema extractor Soxhlet, Viscosímetro, Equipo de copa cerrada.

## 2.3 METODOLOGÍA

### 2.3.1 FASE DE CAMPO

Las semillas de Vicia (*Vicia villosa*) fueron adquiridas en el mercado comercialmente, las semillas de Colza (*Brassica napus*), Higuera (*Ricinus communis*), y Llin Llin (*Casia canescens*) fueron recolectadas manualmente en costales, los cuales fueron transportados al lugar de acopio donde se los vacio disponiendo su contenido lo más suelto posible para eliminar la humedad presente exponiéndolos a los rayos solares lo que facilita su posterior desenvainado y descascarado, las semillas ya listas se las traslado al laboratorio de Fitopatología de la facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH” para realizar la extracción de su aceite y la posterior fabricación del Biodiesel.

### 2.3.2 FASE DE LABORATORIO

- Extracción del aceite de las semillas por compresión
- Extracción del aceite de las semillas por arrastre con hexano.
- Determinación de la eficiencia de cada método de extracción.
- Caracterización de los aceites mediante sus propiedades fisicoquímicas.
- Elaboración del Biodiesel.
- Caracterización del Biodiesel mediante sus propiedades fisicoquímicas.

## 2.4 PROCEDIMIENTO

### 2.4.1 OBTENCIÓN DEL ACEITE

Las semillas de las cuales se obtuvo el aceite son procedentes de:

- Higuierilla (*Ricinus communis*) de plantas que han crecido de manera silvestre a orillas de terrenos ubicados junto a la carretera que dirige a la parroquia Quimiag.
  - Llín Llín (*Cassia canescens*) de las plantaciones del vivero de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, "ESPOCH".
  - Colza (*Brassica napus*) de las instalaciones del campus experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, "ESPOCH".
  - Vicia (*Vicia villosa*) fueron adquiridas comercialmente.
- Con estas semillas se procedió a la extracción del aceite mediante una prensa de 2 Tn de presión y mediante arrastre con hexano.
  - Se realizó la caracterización de los aceites mediante análisis fisicoquímicos (índice de acidez, índice de éster, índice de yodo, pH, densidad relativa, color, viscosidad, test de estabilidad, determinación de grasas por el método SOXLHET).

## 2.4.2 OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

- Se comparó las características de los aceites extraídos por presión y por arrastre con hexano.
- Con el aceite que presentó mejor calidad se procedió a realizar el Biodiesel, usando como intermediario metóxido de sodio al 2%.
- El biodiesel obtenido fue caracterizado mediante procesos fisicoquímicos (pH, gravedad API, punto de ebullición, densidad relativa, viscosidad, índice de cetano y punto de inflamación). Para determinar su calidad como biocombustible.

## 2.5 MÉTODOS

### 2.5.1 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

La extracción de aceite de las semillas oleaginosas: Vicia (*Vicia villosa*), Llin Llin (*Cassia canescens*), Colza (*Brassica napus*), Higuera (*Ricinus communis*), se realizó con la aplicación de dos métodos:

### 2.5.1.1 Por Compresión

Esta técnica consiste en aplicar presión sobre la semilla con el fin de extraer el aceite de su interior, al cual se lo denomina aceite crudo o virgen. En esta investigación se ha utilizado una prensa hidráulica de 2 Tn de presión, luego de varias pruebas se determinó que el tiempo más adecuado al que las semillas deben estar sometidas a esta presión es de 5 minutos para extraer así una cantidad considerable de aceite de las semillas, a través de este método ya pudimos ir seleccionando los aceites de las semillas que en adelante servirán como materia prima para la elaboración de los biodiesel ya que las semillas de Higuera (*Ricinus communis*) y Colza (*Brassica napus*) proporcionaron una buena cantidad de aceite mientras que por lo contrario las semillas de Vicia (*Vicia villosa*) y Llin Llin (*Cassia canescens*) no lo hicieron.

Cabe resaltar que este proceso es de manera artesanal ya que dicha prensa ha sido elaborada con fines experimentales basados en las necesidades de la presente investigación, por lo que deja un remanente de aceite un tanto alto en la torta de prensado, pero si éste proceso se lo lleva a nivel industrial los resultados serán mucho mejores debido a la optimización del proceso.

**Fig. 14 Prensa Hidráulica**



FUENTE: PROPIA

### 2.5.1.2 Por Arrastre con Solvente

Para aumentar el rendimiento de extracción y rebajar el remanente de aceite en las semillas se ha visto necesario extraer el aceite mediante el uso de un solvente adecuado. Para éste fin se utilizó en ésta investigación el método de extracción con hexano.

**Fig. 15 Arrastre con Hexano**



FUENTE: PROPIA

A diferencia del primer método, con éste se logro extraer aceite de las cuatro semillas propuestas, cabe resaltar que el rendimiento en la extracción de aceite de las semillas de Llín Llín (*Cassia canescens*) y Vicia (*Vicia villosa*) no fue suficiente para la realización de las pruebas posteriores por lo que se decidió únicamente realizar las extracciones de las semillas de Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus comunnis*), las cuales proporcionaron suficiente cantidad de aceite para los siguientes procesos.

## 2.5.2 MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

Aunque los aceites extraídos por compresión no presentaron el mismo rendimiento de extracción que los extraídos por hexano han sido utilizados como materia prima para la elaboración del biodiesel debido a que presentaron mejores propiedades fisicoquímicas tanto los aceites de las semilla de Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus comunnis*), los biocombustibles se obtuvieron mediante la reacción de transesterificación básica (Figura 16) usando como intermediario metóxido de sodio a diferentes concentraciones (1, 2, 3 %).

**Fig. 16 Separación del Biodiesel de la Glicerina**



FUENTE: PROPIA

Posteriormente a la obtención de los biodiesel se realizaron las pruebas consiguientes para determinar la calidad de los mismos como biocombustibles.

### CAPÍTULO III

#### 3. RESULTADOS

##### 3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GRASA PRESENTE EN LAS SEMILLAS

##### 3.1.1 CUADRO 1. COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA PRESENTE EN LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) MEDIANTE EL MÉTODO SOXLHET

MUESTRA DE ACEITE	PESO DEL CONTENEDOR (g)	PESO CONTENEDOR Y MUESTRA (g)	PESO DE LA MUESTRA (g)	GRASA (%)
HIGUERILLA	79,44	80,78	5	26,80
		80,82		27,60
	<b>Media</b>	<b>80,80</b>	<b>Media</b>	<b>27,20</b>
COLZA	79,44	80,57	5	22,60
		80,60		23,20
	<b>Media</b>	<b>80,56</b>	<b>Media</b>	<b>22,90</b>

Para la comparación de análisis de grasa por el método SOXLHET las semillas de las dos leguminosas (Higuerilla (*Ricinus comunnis*) y Colza (*Brassica napus*)), se determinó que la Higuerilla (*Ricinus comunnis*) se ubica en primer lugar con un promedio de 27,20% de grasa y la Colza (*Brassica napus*) alcanza un promedio de 22,90%.

### 3.2 RESULTADOS DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES DE SEMILLAS

#### 3.2.1 CUADRO 2. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS POR EL MÉTODO DE ESTRUJAMIENTO (con una presión de 2 Tn por 5 minutos)

MUESTRA DE SEMILLA	TAMAÑO DE LA SEMILLA (mm)	PESO DE SEMILLA POR PENSADO (g)	VOLUMEN DE ACEITE EXTRAÍDO (mL)
LLÍN - LLÍN	4-5	10	-----
COLZA	2-2,5	2,78	1
HIGUERILLA	8-10	1,67	1
VICIA	5-6	10	-----

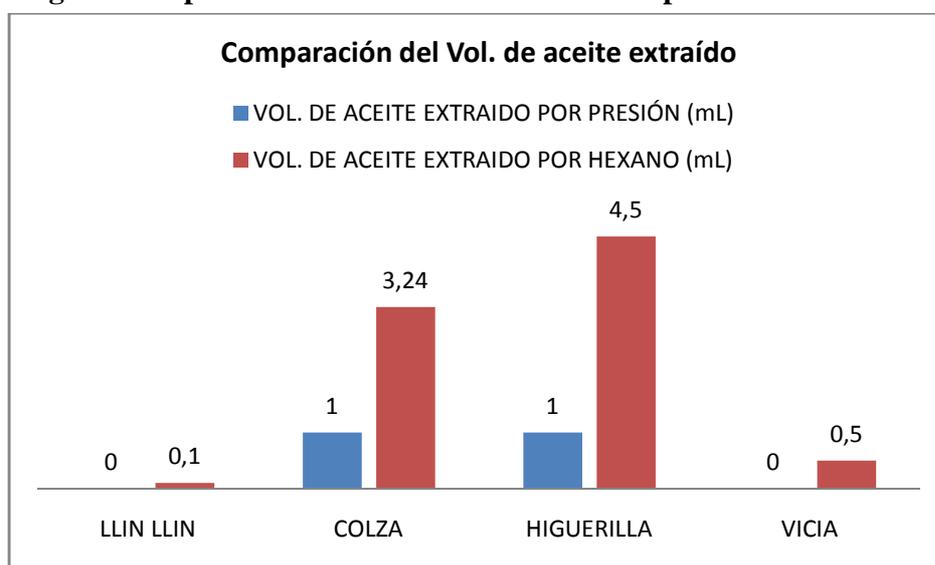
De acuerdo a los datos obtenidos para la variable extracción de aceite por el método de estrujamiento (cuadro 2), la presión ejercida para todas las semillas fue de 2 Tn. y un tiempo de prensado de 5 min., obteniéndose 1 mL de aceite extraído tanto para Colza (*Brassica napus*), como para Higuierilla (*Ricinus comunnis*), con una cantidad de prensado de 2,78 g y 1,67 g respectivamente.

#### 3.2.2 CUADRO 3. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS POR EL MÉTODO DE ARRASTRE CON HEXANO

MUESTA DE SEMILLA	PESO DE SEMILLA UTILIZADO (g)	VOL. HEXANO UTILIZADO (mL)	VOL. ACEITE EXTRAÍDO (mL)
HIGUERILLA	5	7	4,50
COLZA	5	7	3,24
LLÍN LLÍN	5	7	0,1
VICIA	5	7	0,5

Para la misma variable pero por el método de arrastre con Hexano (Cuadro 3), se obtuvo mayores cantidades, así tenemos que para Colza (*Brassica napus*) 3,24 mL, Higuierilla (*Ricinus comunnis*) 4,50 mL, Llín Llín (*Cassia canescens*) 0,1 mL y Vicia (*Vicia villosa*) 0,5 mL; demostrándose que este método optimiza la extracción, aumentando el volumen de aceite obtenido en comparación que con el método anterior.

**Fig. 17 Comparación del Vol. de aceite extraído por los dos métodos**



FUENTE: PROPIA

### 3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*)

Para las propiedades físicas únicamente se consideraron aquellas semillas que presentaron mejor rendimiento de aceite, esto es Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus comunnis*), no así Llín Llín (*Cassia canescens*) y Vicia (*Vicia villosa*) que por los dos métodos de extracción no proporcionaron cantidades significativas de aceite.

**3.3.1 CUADRO 4. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

MUESTRA DE ACEITE DE HIGUERILLA					MUESTRA DE ACEITE DE COLZA				
R	m (g)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$	R	m (g)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$
R1	20,19	29,74	30,04	0,969	R1	20,19	29,21	30,04	0,915
R2	20,19	29,74	30,04	0,969	R2	20,19	29,21	30,04	0,915
R3	20,18	29,73	30,03	0,968	R3	20,18	29,20	30,03	0,914
<b>Media</b>	<b>20,19</b>	<b>29,74</b>	<b>30,04</b>	<b>0,969</b>	<b>Media</b>	<b>20,19</b>	<b>29,21</b>	<b>30,04</b>	<b>0,915</b>

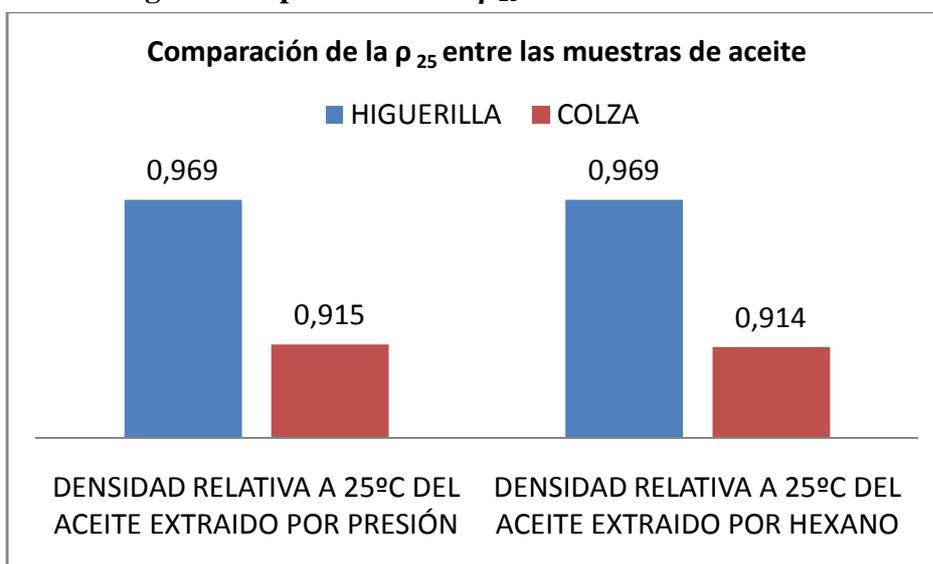
Vol. del picnómetro= 10mL; m= peso del picnómetro vacío; m2=peso del picnómetro con agua; m1=peso del picnómetro con aceite

**3.3.2 CUADRO 5. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE DE HIGUERILLA					MUESTRA DE ACEITE DE COLZA				
R	m (g)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$	R	m (g)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$
R1	20,19	29,74	30,04	0,969	R1	20,19	29,21	30,04	0,915
R2	20,19	29,74	30,04	0,969	R2	20,18	29,20	30,03	0,914
R3	20,19	29,74	30,04	0,969	R3	20,18	29,20	30,03	0,914
<b>Media</b>	<b>20,19</b>	<b>29,74</b>	<b>30,04</b>	<b>0,969</b>	<b>Media</b>	<b>20,18</b>	<b>29,20</b>	<b>30,03</b>	<b>0,914</b>

Vol. del picnómetro= 10mL; m= peso del picnómetro vacío; m2=peso del picnómetro con agua; m1=peso del picnómetro con aceite

**Fig. 18 Comparación de la  $\rho_{25}$  entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

Para la densidad (Cuadro 4) por compresión, la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) presenta una densidad relativa de 0,969, mientras que la Colza (*Brassica napus*) tiene una densidad relativa de 0,915 a 25°C, al compararla con la densidad del aceite extraído por hexano, existe una ligera diferencia para el caso de la Colza (*Brassica napus*) que tiene una densidad relativa de 0,914, mientras que en el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) es la misma (Cuadro 5).

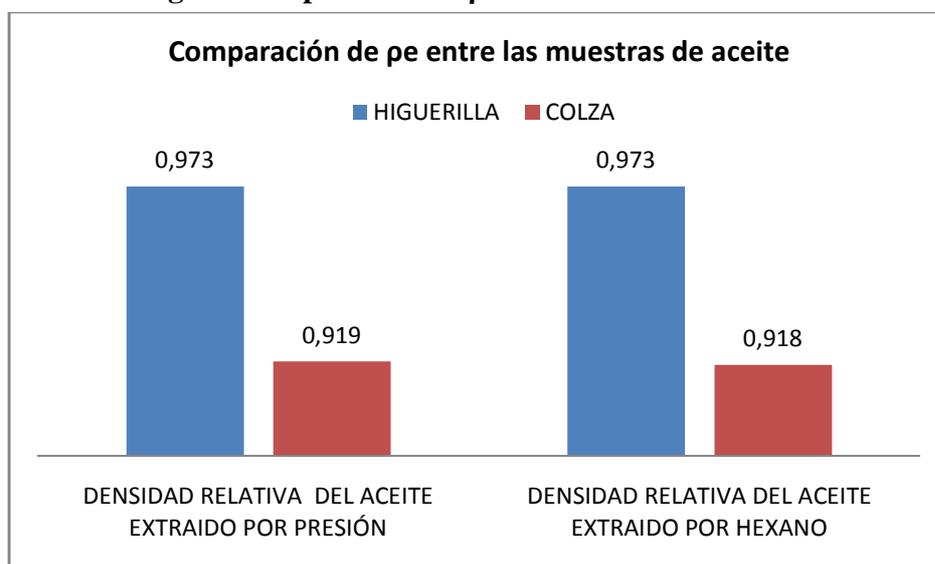
**3.3.3 CUADRO 6. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

	MUESTRA DE ACEITE DE HIGUERILLA				MUESTRA DE ACEITE DE COLZA		
R	$\rho_{25}$	Temperatura (°C)	$\rho_e$	R	$\rho_{25}$	Temperatura (°C)	Pe
R1	0,969	19	0,973	R1	0,915	19	0,919
R2	0,969		0,973	R2	0,915		0,919
R3	0,968		0,972	R3	0,914		0,918
<b>Media</b>	<b>0,969</b>		<b>0,973</b>	<b>Media</b>	<b>0,915</b>		<b>0,919</b>

**3.3.4 CUADRO 7. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

	MUESTRA DE ACEITE DE HIGUERILLA				MUESTRA DE ACEITE DE COLZA		
R	$\rho_{25}$	Temperatura (°C)	$\rho_e$	R	$\rho_{25}$	Temperatura (°C)	Pe
R1	0,969	19	0,973	R1	0,915	19	0,919
R2	0,969		0,973	R2	0,914		0,918
R3	0,969		0,973	R3	0,914		0,918
<b>Media</b>	<b>0,969</b>		<b>0,973</b>	<b>Media</b>	<b>0,914</b>		<b>0,918</b>

**Fig. 19 Comparación de  $\rho$  entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

Para la densidad relativa corregida con la temperatura de prueba a 19 °C (Cuadro 6) por compresión, la Higuierilla (*Ricinus comunis*) presenta una densidad relativa de 0,973, mientras que la Colza (*Brassica napus*) tiene una densidad relativa de 0,919, al compararla con la densidad del aceite extraído por hexano, existe una ligera diferencia para el caso de la Colza (*Brassica napus*) que tiene una densidad relativa de 0,918, mientras que en el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunis*) es la misma (Cuadro 7). Como observamos los resultados son menores a 1 afirmándonos las características propias de los aceites, es decir que son más livianos que el agua.

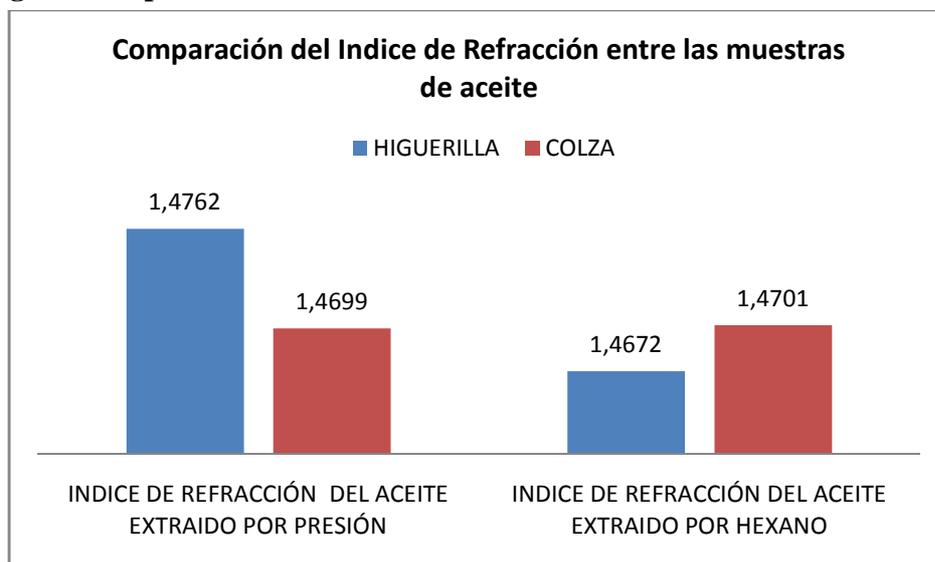
**3.3.5 CUADRO 8. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (R) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

MUESTRA DE ACEITE	R´	TEMPERATURA (°C)	R	° BRIX
HIGUERILLA	1,4783	19	1,4760	75,3
	1,4790		1,4767	
	1,4782		1,4759	
<b>Media</b>	<b>1,4785</b>	<b>Media</b>	<b>1,4762</b>	
COLZA	1,4725	19	1,4702	73
	1,4723		1,4699	
	1,4720		1,4697	
<b>Media</b>	<b>1,4723</b>	<b>Media</b>	<b>1,4699</b>	

**3.3.6 CUADRO 9. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (R) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	R´	TEMPERATURA (°C)	R	°BRIX
HIGUERILLA	1,4655	19	1,4760	70,2
	1,4654		1,4630	
	1,4652		1,4628	
<b>Media</b>	<b>1,4653</b>		<b>1,4672</b>	
COLZA	1,4725	19	1,4702	73,05
	1,4724		1,4700	
	1,4726		1,4703	
<b>Media</b>	<b>1,4725</b>		<b>1,4701</b>	

**Fig. 20 Comparación del Índice de Refracción entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

En el índice de refracción tanto para Higuierilla (*Ricinus comunis*) como para Colza (*Brassica napus*) por compresión, (Cuadro 8), tenemos una media de 1,4762 y 1,4699 para cada aceite respectivamente, mientras que el índice de refracción del aceite extraído por hexano para Higuierilla (*Ricinus comunis*) tenemos una media de 1,4672 y para Colza (*Brassica napus*) 1,4701, (Cuadro 9). Los valores del índice de refracción para los aceites extraídos por los dos métodos son bajos lo que indica que no son turbios lo cual demuestra una buena calidad de aceite.

### 3.3.7 COMPARACIÓN DEL TEST DE ESTABILIDAD DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*)

Para la variable Test de estabilidad tanto la Higuierilla (*Ricinus comunnis*), como la Colza (*Brassica napus*) arrojaron un resultado positivo, es decir luego de ser sometidos a baños de hielos por 5 h. permanecieron limpias y brillantes sin ninguna traza de turbidez o cristales blancos. Lo que indica que los aceites pueden soportar temperaturas bajas sin cambiar su estado físico.

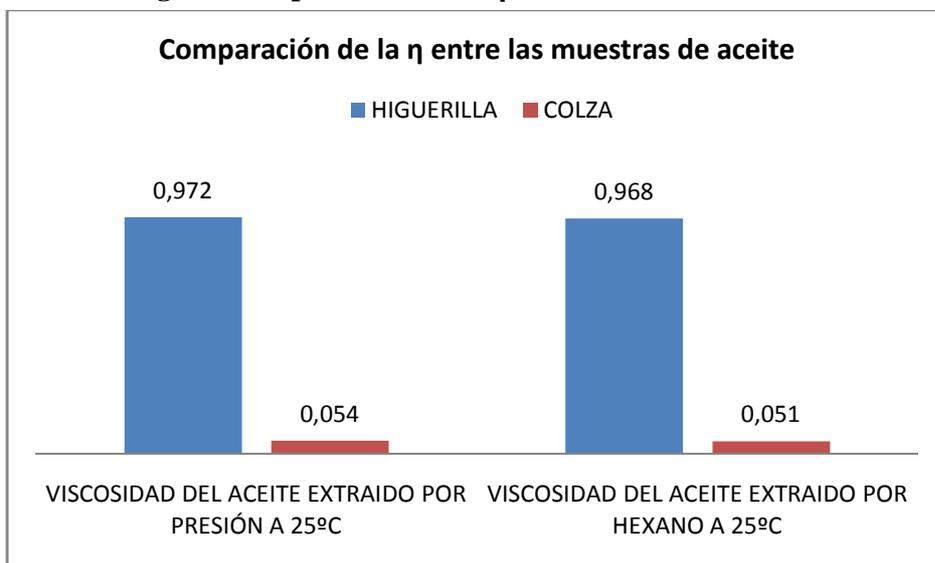
### 3.3.8 CUADRO 10. COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD ( $\eta$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN A 25°C

MUESTRA DE ACEITE	$\rho_{25}$	VISCOSIDAD $\eta$ (Pa/s)
HIGUERILLA	0,969	0,970
		0,974
		0,972
	<b>Media</b>	<b>0,972</b>
COLZA	0,915	0,053
		0,054
		0,054
	<b>Media</b>	<b>0,054</b>

**3.3.9 CUADRO 11. COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD ( $\eta$ ) DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO A 25 °C**

MUESTRA DE ACEITE	$\rho_{25}$	VISCOSIDAD $\eta$ (Pa*s)
HIGUERILLA	<b>0,969</b>	0,968
		0,968
		0,967
	<b>Media</b>	<b>0,968</b>
COLZA	<b>0,914</b>	0,050
		0,052
		0,052
	<b>Media</b>	<b>0,051</b>

**Fig. 21 Comparación de la  $\eta$  entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

En el cuadro 10, se presentan los datos para la viscosidad del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y Colza (*Brassica napus*) extraídos por compresión, determinándose para la Colza (*Brassica napus*) un valor de 0,054 Pa\*s de viscosidad y para Higuierilla (*Ricinus comunnis*) un valor de 0,972 Pa\*s; mientras que en el caso del aceite extraído por Hexano (Cuadro 11) la Colza (*Brassica napus*) tiene un valor de 0,051Pa\*s y la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) presenta un valor de 0,968 Pa\*s.

### 3.3.10 CUADRO 12. COMPARACIÓN DEL COLOR DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN

MUESTRA DE ACEITE	LONGITUD DE ONDA (nm)	ABSORBANCIA	COLOR
HIGUERILLA	539	2,942	verde amarillento
	538	2,937	
	539	2,942	
<b>Media</b>	<b>539</b>	<b>2,940</b>	
COLZA	483	0,969	azul verdoso
	483	0,969	
	482	0,967	
<b>Media</b>	<b>483</b>	<b>0,968</b>	

**3.3.11 CUADRO 13. COMPARACIÓN DEL COLOR DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	LONGITUD DE ONDA (nm)	ABSORBANCIA	COLOR
HIGUERILLA	538	0,560	verde amarillento
	534	0,555	
	534	0,555	
<b>Media</b>	<b>535</b>	<b>0,556</b>	
COLZA	543	0,682	verde amarillento
	543	0,682	
	543	0,682	
<b>Media</b>	<b>543</b>	<b>0,682</b>	

Para la característica color (Cuadro 12) del aceite extraído por compresión, de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y Colza (*Brassica napus*) con una longitud de onda de 539 nm y una absorbancia promedio de 2,940 el aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) muestra un color verde amarillento y la Colza (*Brassica napus*) con una longitud de onda promedio de 483 nm, una absorbancia de 0,968, su aceite muestra una apariencia azul verdosa; en tanto que en el aceite extraído por hexano (Cuadro 13), la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) muestra un valor de 535 nm de longitud de onda y una absorbancia de 0,556 manteniendo un color verde amarillento y la Colza (*Brassica napus*) con una longitud de onda de 543 nm, y absorbancia de 0,682 presenta un color verde amarillento.

**3.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ACEITES DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*)**

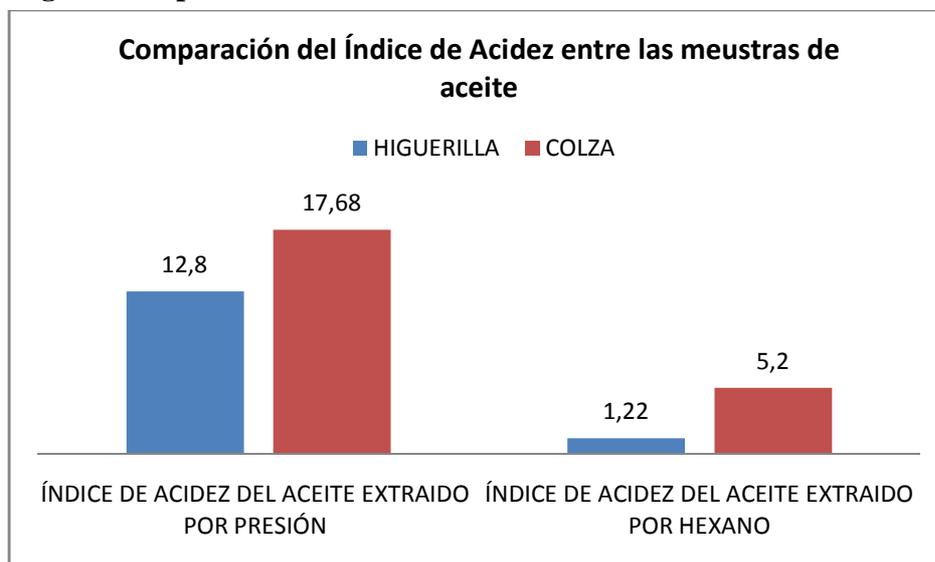
**3.4.1 CUADRO 14. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

MUESTRA DE ACEITE	VOL. DE NaOH GASTADO (mL)	PESO DE MUESTRA (g)	ÍNDICE DE ACIDEZ
HIGUERILLA	16,00	5	12,80
	15,70		12,60
	16,20		13,00
	<b>Media 15,97</b>		<b>Media 12,80</b>
COLZA	22,00	5	17,60
	22,00		17,60
	22,30		17,80
	<b>Media 22,33</b>		<b>Media 17,68</b>

**3.4.2 CUADRO 15. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	VOL. DE NaOH GASTADO (mL)	PESO DE MUESTRA (g)	ÍNDICE DE ACIDEZ
HIGUERILLA	1,50	5	1,20
	1,30		1,04
	1,70		1,40
	<b>Media 1,50</b>		<b>Media 1,22</b>
COLZA	6,50	5	5,20
	6,60		5,30
	6,50		5,20
	<b>Media 6,50</b>		<b>Media 5,20</b>

**Fig. 22 Comparación del Índice de Acidez entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

En el cuadro 14, se presentan los datos para el índice de Acidez del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunis*) y Colza (*Brassica napus*) extraídos por compresión, determinándose para la Colza (*Brassica napus*) un valor de 17,68 y para Higuierilla (*Ricinus comunis*) un valor de 12,8; mientras que en el caso del aceite extraído por Hexano (Cuadro 15) la Colza (*Brassica napus*) presenta un valor de 1,22 y la Higuierilla (*Ricinus comunis*) presenta un valor de 5,20.

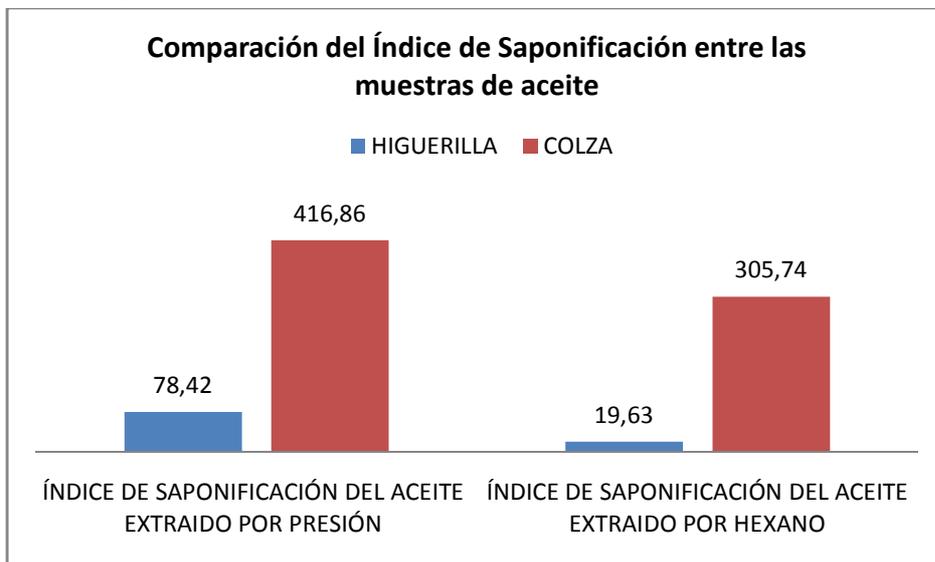
**3.4.3 CUADRO 16. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

MUESTRA DE ACEITE	VOLUMEN DE HCL (mL)	MASA DEL ACEITE (g)	ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN
HIGUERILLA	44.03	3	79,48
	44.47		77,89
	44.47		77,89
	<b>Media 78,42</b>		
COLZA	8.20	3	417,01
	8,15		417,48
	8,30		416,08
	<b>Media 416,86</b>		

**3.4.4 CUADRO 17. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	VOLUMEN DE HCL (mL)	MASA DEL ACEITE (g)	ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN
HIGUERILLA	50,80	3	18,70
	50,50		21,50
	50,80		18,70
	<b>Media 19,63</b>		
COLZA	20,00	3	306,68
	20,00		306,68
	20,30		303,87
	<b>Media 305,74</b>		

**Fig. 23 Comparación del Índice de Saponificación entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

En el cuadro 16, se presentan los datos para el Índice de Saponificación del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunis*) y Colza (*Brassica napus*) extraídos por compresión, determinándose para la Colza (*Brassica napus*) un valor de 416,86 y para Higuierilla (*Ricinus comunis*) un valor de 78,42; mientras que en el caso del aceite extraído por Hexano (Cuadro 17) la Colza (*Brassica napus*) presenta un valor de 305,74 y la Higuierilla (*Ricinus comunis*) presenta un valor de 19,63. Para determinar el Índice de Saponificación se gasto un volumen en la titulación blanco de (KOH) para los aceites extraídos por compresión 52,8 mL y para los aceites extraídos por hexano 52,8 mL.

**3.4.5 CUADRO 18. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ÉSTER DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN**

MUESTRA DE ACEITE	ÍNDICE DE SAPONIFICACION	INDICE DE ACIDEZ	ÍNDICE DE ÉSTER
HIGUERILLA	79,48	12,80	66,68
	77,89	12,60	65,29
	77,89	13,00	64,89
<b>Media</b>			<b>65,62</b>
COLZA	417,01	17,60	399,41
	417,48	17,60	399,88
	416,08	17,84	398,24
<b>Media</b>			<b>399,15</b>

**3.4.6 CUADRO 19. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE ÉSTER DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	ÍNDICE DE SAPONIFICACION	INDICE DE ACIDEZ	ÍNDICE DE ÉSTER
HIGUERILLA	18,70	1,20	17,50
	21,50	1,04	21,46
	18,70	1,40	17,30
<b>Media</b>			<b>18,75</b>
COLZA	306,68	5,20	301,48
	306,68	5,30	301,38
	303,87	5,20	298,67
<b>Media</b>			<b>300,51</b>

En el índice de Éster tanto para Higuierilla (*Ricinus comunnis*) como para Colza (*Brassica napus*) por compresión, (Cuadro 18), tenemos una media de 65,62 y 399,15 para cada aceite respectivamente, mientras que el índice de Éster del aceite extraído por hexano para Higuierilla (*Ricinus comunnis*) tenemos una media de 18,75 y para Colza (*Brassica napus*) 300,51, (Cuadro 19).

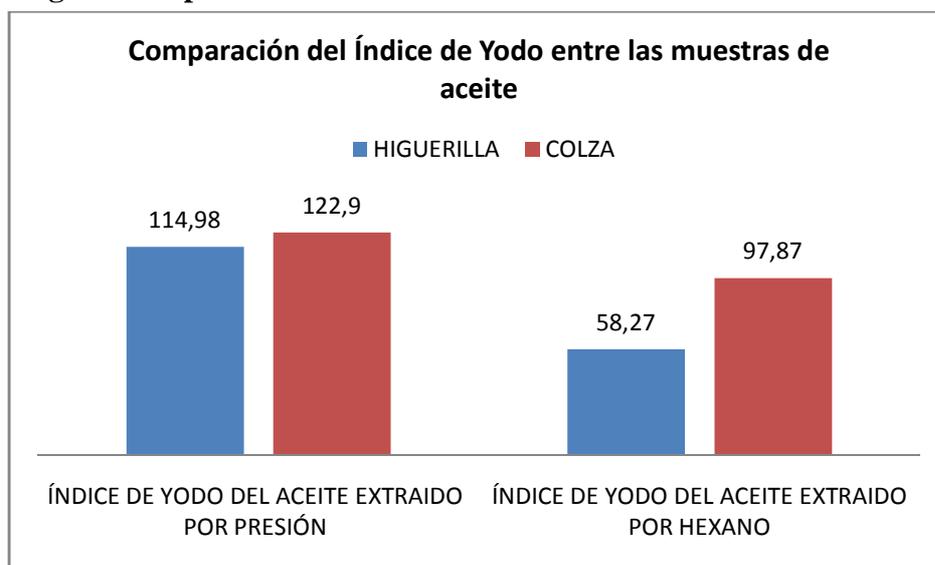
### 3.4.7 CUADRO 20. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR COMPRESIÓN

MUESTRA DE ACEITE	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	PESO DE MUESTRA (g)	ÍNDICE DE YODO (mL/g)
HIGUERILLA	6,80	0,2	114,03
	6,50		115,93
	<b>Media</b>		<b>114,98</b>
COLZA	5,50	0,2	122,27
	5,30		123,53
	<b>Media</b>		<b>122,90</b>

**3.4.8 CUADRO 21. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*) EXTRAÍDO POR HEXANO**

MUESTRA DE ACEITE	VOLUMEN DE MUESTRA (mL)	PESO DE MUESTRA (g)	ÍNDICE DE YODO (mL/g)
HIGUERILLA	15,50	0,2	58,91
	15,70		57,64
	<b>Media</b>		<b>58,27</b>
COLZA	9,40	0,2	97,55
	9,30		98,19
	<b>Media</b>		<b>97,87</b>

**Fig. 24 Comparación del Índice de Yodo entre las muestras de aceite**



FUENTE: PROPIA

En el índice de yodo tanto para Higuierilla (*Ricinus comunnis*) como para Colza (*Brassica napus*) por compresión, (Cuadro 20), tenemos una media de 114,98 mL/g y 122,90

mL/ g para cada aceite respectivamente, mientras que el índice de yodo del aceite extraído por hexano para Higuierilla (*Ricinus comunnis*) tenemos una media de 58,27 mL/g y para Colza (*Brassica napus*) 97,87 mL/g (Cuadro 21). En el caso de los aceites extraídos por compresión tenemos valores altos lo que nos demuestra que la pureza de los aceites empleados es buena, ya que el índice de yodo es una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa. Será tanto mayor cuanto mayor sea el número del índice de yodo, utilizándose por ello para comprobar la pureza y la identidad de las grasas. Para determinar el Índice de Yodo se utilizó un volumen en la titulación blanco de 24,8 mL.

### **3.4.9 PESO MOLECULAR DEL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*)**

El peso molecular de la Higuierilla ha sido tomado del ácido ricinoléico ya que este se encuentra en un 70% en la composición de la misma, y siendo éste el ácido predominante su peso molecular es 298,496 g/mol; de igual manera el peso molecular de la Colza ha sido tomado del ácido oleico ya que este se encuentra en un 60% en la composición de la misma, y siendo éste el ácido predominante su peso molecular es 282 g/mol.

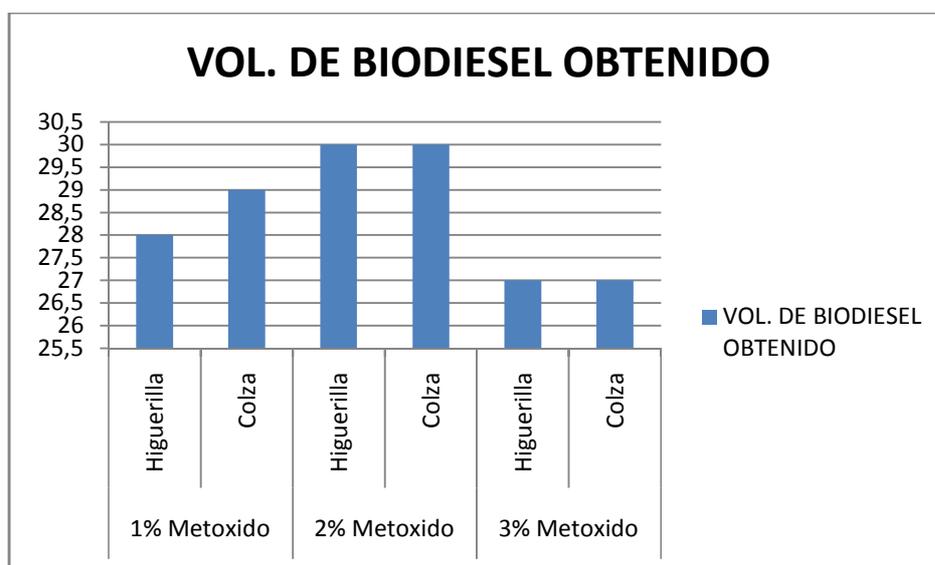
### 3.5 OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

#### 3.5.1 CUADRO 22. OBTENCIÓN DE BIODIESEL CON METÓXIDO DE SODIO

El biodiesel se obtiene a partir de una reacción de 30 ml de aceite con 20 ml de metóxido de sodio y se obtiene los siguientes resultados:

MUESTRA DE ACEITE	CONCENTRACIÓN DE METOXIDO DE SODIO (%)	VOLUMEN BIODIESEL (mL)	VOLUMEN GLICERINA (mL)
HIGUERILLA	1	28	22
	2	30	20
	3	27	23
COLZA	1	29	21
	2	30	20
	3	27	23

Fig. 25 Vol. de Biodiesel Obtenido en base a la concentración de Metoxido



FUENTE: PROPIA

Como se puede observar en el cuadro 22 se utilizó 3 concentraciones diferentes de metóxido de sodio 1, 2 y 3% para la reacción de transesterificación obteniendo mejores resultados al emplear una concentración al 2% de metóxido.

### 3.6 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BIODIESEL

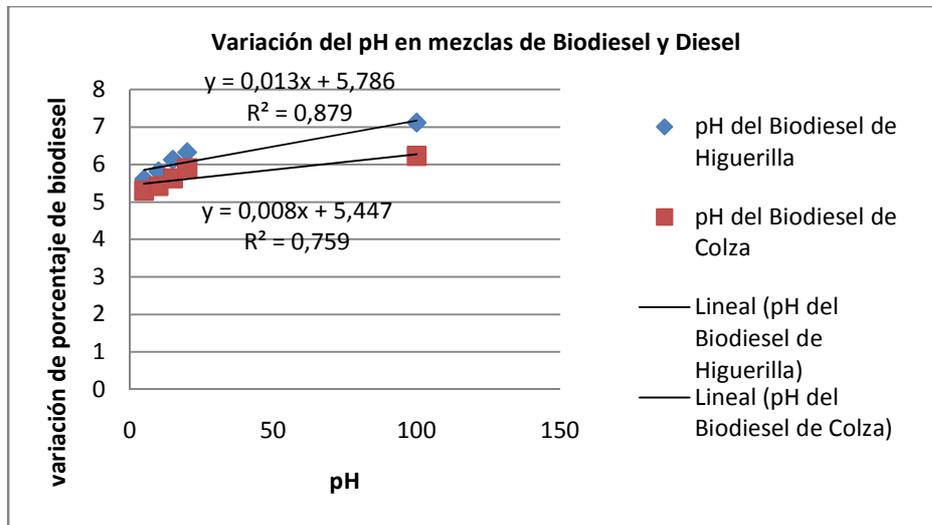
Las propiedades del biodiesel dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se han elaborado los biocombustibles. Para realizar los análisis se utilizan mezclas de biodiesel con diesel convencional para determinar cuan eficiente son los biocombustibles elaborados en comparación al diesel.

#### PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIODIESEL

##### 3.6.1 CUADRO 23. COMPARACIÓN DEL pH DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.

<b>BIODIESEL</b>	<b>pH</b>
<b>B. HIGUERILLA 100</b>	<b>7,12</b>
B. HIGUERILLA 20	6,33
B. HIGUERILLA 15	6,13
B. HIGUERILLA 10	5,82
B. HIGUERILLA 5	5,61
<b>B. COLZA 100</b>	<b>6,23</b>
B. COLZA 20	5,90
B. COLZA 15	5,63
B. COLZA 10	5,42
B. COLZA 5	5,30

**Fig.26 Variación del pH al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación del pH al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus communis*) con Diesel es:

$$\text{pH} = 0,0138(\text{variación del \% de biodiesel}) + 5,7868$$

El cálculo lineal para la variación del pH al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

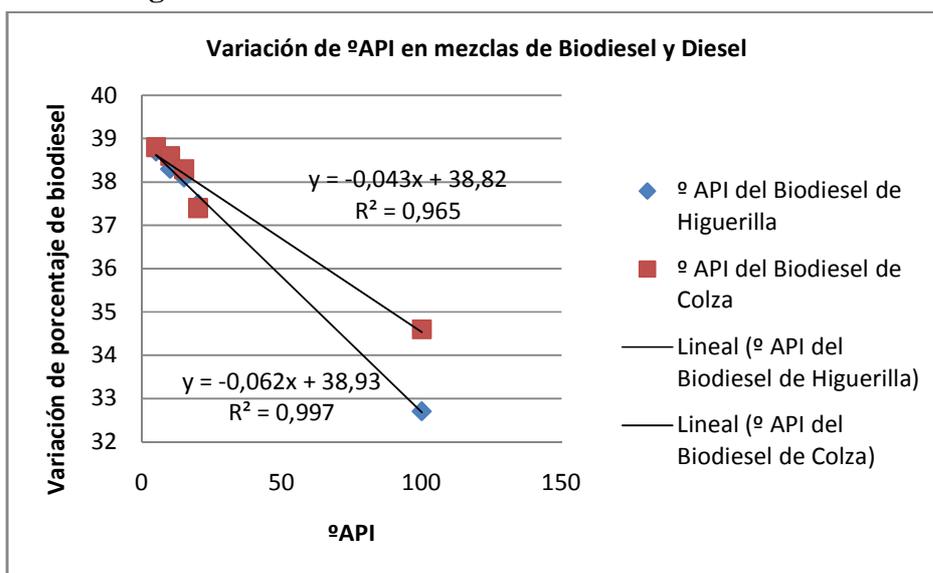
$$\text{pH} = 0,0083(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,7596$$

A medida que el porcentaje de Biodiesel tanto de Colza (*Brassica napus*) como de Higuierilla (*Ricinus communis*) aumentan en la mezcla con Diesel, el pH también aumenta y viceversa, teniendo en cuenta que el valor óptimo de pH para el Diesel va de 5 a 6, mientras que para el Biodiesel puede ir de 6 a 7. (Cuadro 23).

**3.6.2 CUADRO 24. COMPARACIÓN DE LA GRAVEDAD API (°API) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunis*), COLZA (*Brassica napus*), Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.**

BODIESEL	TEMPERATURA (°F)	°API	BODIESEL	TEMPERATURA (°F)	°API
B. HIGUERILLA100	66	32,7	B. COLZA100	66	34,6
B. HIGUERILLA 20		37,5	B. COLZA 20		37,4
B. HIGUERILLA 15		38,1	B. COLZA 15		38,3
B. HIGUERILLA 10		38,3	B. COLZA 10		38,6
B. HIGUERILLA 5		38,7	B. COLZA 5		38,8

**Fig. 27 Variación de los °API al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación de los °API al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$^{\circ}\text{API} = -0,0626(\text{variación del \% de biodiesel}) + 38,937$$

El cálculo lineal para la variación de los °API al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

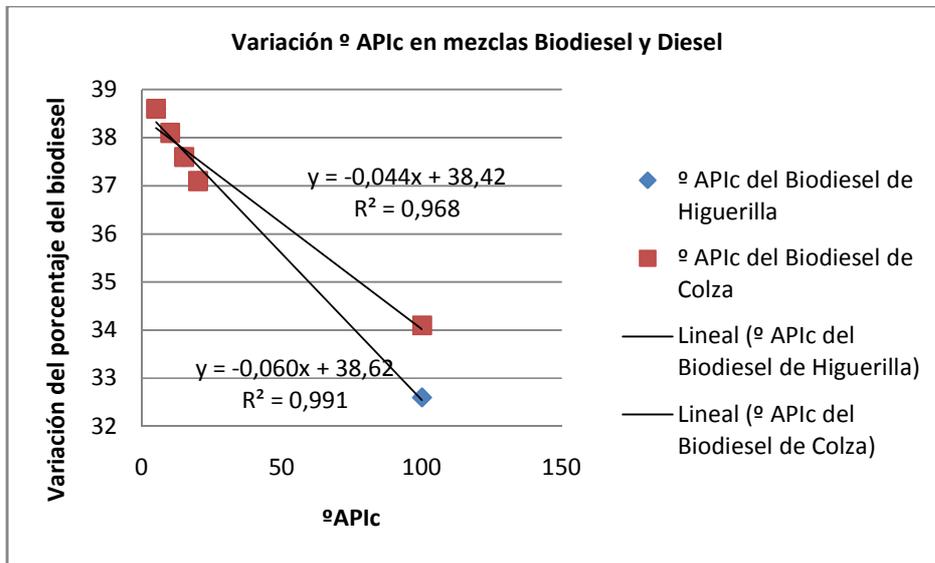
$$^{\circ}\text{API} = -0,043(\text{variación del \% de biodiesel}) + 38,829$$

La gravedad API es una medida de densidad que describe cuán pesado o liviano es el combustible comparándolo con el agua. Si los °API son mayores a 10 es más liviano que el agua, los valores de los biodiesel obtenidos están por encima de 30 y se incrementan conforme se disminuye la concentración de Biodiesel. Como se observa en el cuadro 24.

**3.6.3 CUADRO 25. COMPARACIÓN DE LA GRAVEDAD API CORREGIDA (°APIc) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.**

BIODIESEL	TEMPERATURA A CORREGIR (°F)	°APIc	BIODIESEL	TEMPERATURA A CORREGIR (°F)	°APIc
B. HIGUERILLA 100	60	32,6	B. COLZA 100	60°	34,1
B. HIGUERILLA 20		37,1	B. COLZA 20		37,1
B. HIGUERILLA 15		37,6	B. COLZA 15		37,6
B. HIGUERILLA 10		38,1	B. COLZA 10		38,1
B. HIGUERILLA 5		38,6	B. COLZA 5		38,6

**Fig. 28 Variación de los °APIc al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación de los °APIc al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus communis*) con Diesel es:

$$^{\circ}\text{APIc} = -0,0608(\text{variación del \% de biodiesel}) + 38,624$$

El cálculo lineal para la variación de los °APIc al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

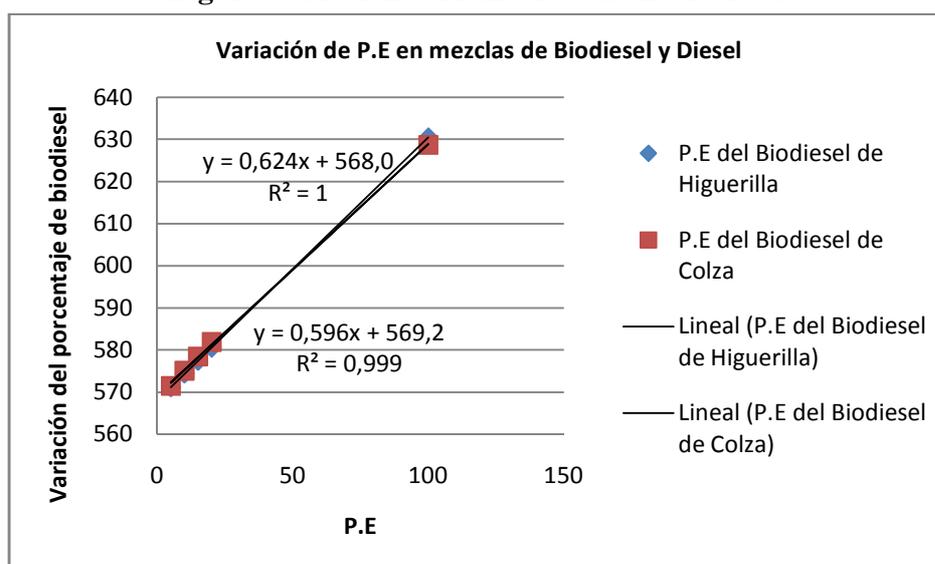
$$^{\circ}\text{APIc} = -0,044(\text{variación del \% de biodiesel}) + 38,42$$

En el cuadro 25 se pueden observar los valores corregidos de °API siguiendo la norma ASTM D-287.

**3.6.4 CUADRO 26. COMPARACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN (P.E) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.**

BIODIESEL	PRESIÓN (mmHg)	P.E (°F)	BIODIESEL	PRESIÓN (mmHg)	P.E (°F)
B. HIGUERILLA100	543	630,50	B. COLZA100	543	628,70
B. HIGUERILLA 20		580,50	B. COLZA 20		581,90
B. HIGUERILLA 15		577,40	B. COLZA 15		578,48
B. HIGUERILLA 10		574,34	B. COLZA 10		575,06
B. HIGUERILLA 5		571,10	B. COLZA 5		571,46

**Fig. 29 Variación del P.E al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación del P.E al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\text{P.E} = 0,6248(\text{variación del \% de biodiesel}) + 568,03$$

El cálculo lineal para la variación del P.E al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

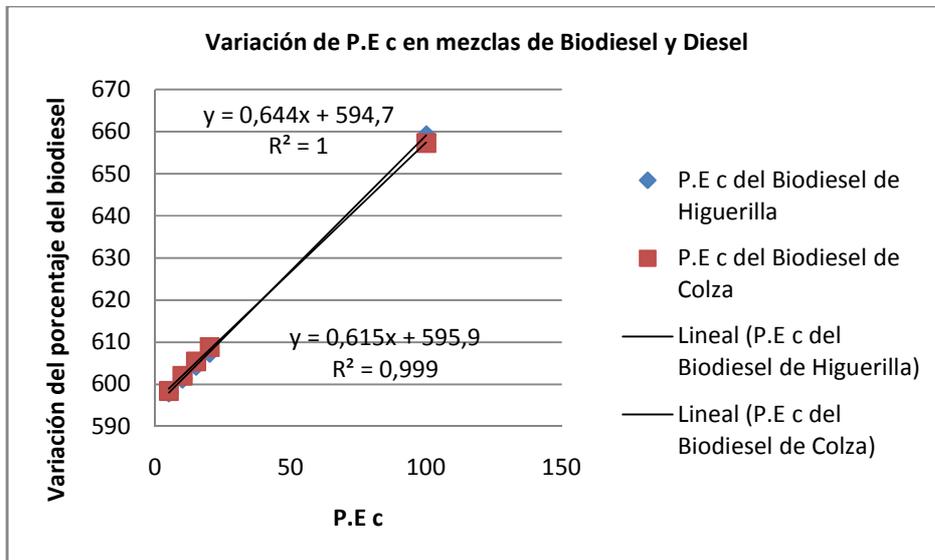
$$P.E = 0,596(\text{variación del \% de biodiesel}) + 569,24$$

El punto de ebullición del Diesel es más bajo que el del Biodiesel por tanto a medida que la concentración del Diesel aumenta en la mezcla, el punto de ebullición disminuye (Cuadro 26).

**3.6.5 CUADRO 27. COMPARACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN CORREGIDO (P.Ec) DEL BODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BODIESEL Y DIESEL.**

BIODIESEL	PRESIÓN (mmHg)	P.E.c (°F)	BIODIESEL	PRESIÓN (mmHg)	P.E.c (°F)
B. HIGUERILLA100	760	659,14	B. COLZA100	760	657,34
B. HIGUERILLA 20		607,41	B. COLZA 20		608,81
B. HIGUERILLA 15		604,31	B. COLZA 15		605,39
B. HIGUERILLA 10		601,25	B. COLZA 10		601,97
B. HIGUERILLA 5		598,00	B. COLZA 5		598,37

**Fig. 30 Variación del P.E c al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación del P.E c al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\text{P.E c} = 0,6442(\text{variación del \% de biodiesel}) + 594,7$$

El cálculo lineal para la variación del P.E c al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

$$\text{P.E c} = 0,6154(\text{variación del \% de biodiesel}) + 595,91$$

El cuadro 27, muestra la misma relación que la anterior (Cuadro 26), con la diferencia que los valores han sido corregidos a una presión barométrica de 760 mm Hg.

**3.6.6 CUADRO 28. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.**

BIODIESEL	m (g)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$
B. HIGUERILLA 100	11,39	21,14	21,71	0,945
B. HIGUERILLA 20		19,81		0,816
B. HIGUERILLA 15		19,73		0,808
B. HIGUERILLA 10		19,66		0,801
B. HIGUERILLA 5		19,58		0,793

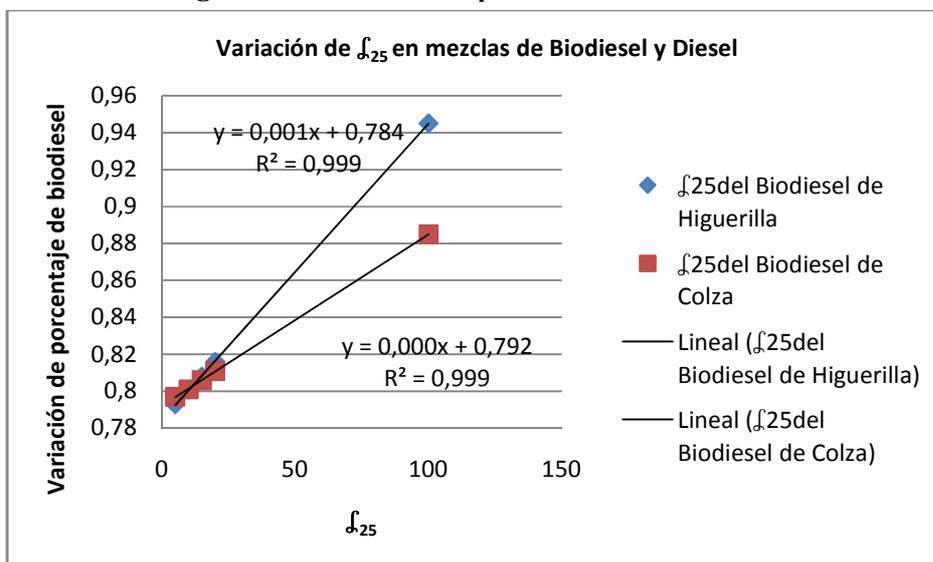
Vol. del picnómetro= 10mL; m= peso del picnómetro vacío; m2=peso del picnómetro con agua; m1=peso del picnómetro con aceite

**3.6.7 CUADRO 29. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_{25}$ ) DEL BIODIESEL DE COLZA (*Brassica napus*) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.**

BIODIESEL	m (g)	Vol. picnómetro (mL)	m2 (g)	m1 (g)	$\rho_{25}$
B. COLZA 100	11,39	10	20,52	21,71	0,885
B. COLZA 20			19,76		0,811
B. COLZA 15			19,71		0,806
B. COLZA 10			19,66		0,801
B. COLZA 5			19,62		0,797

Vol. del picnómetro= 10mL; m= peso del picnómetro vacío; m2=peso del picnómetro con agua; m1=peso del picnómetro con aceite

**Fig. 31 Variación de la  $\rho_{25}$  al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación de la  $\rho_{25}$  al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus communis*) con Diesel es:

$$\rho_{25} = 0,0016(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,7845$$

El cálculo lineal para la variación de la  $\rho_{25}$  al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

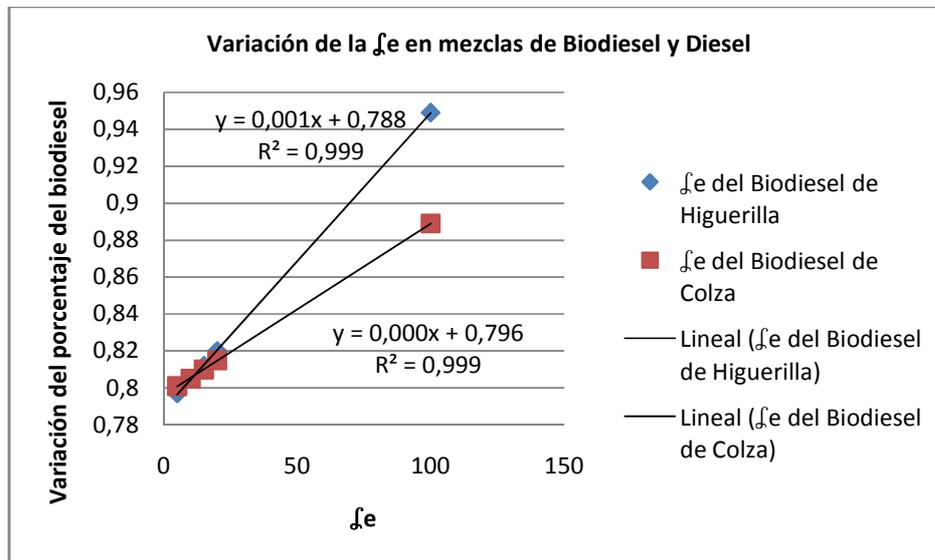
$$\rho_{25} = 0,0009(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,7921$$

A medida que la concentración del Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus communis*), aumentan en la mezcla con Diesel, la densidad de ésta también aumenta (Cuadro 28 y Cuadro 29).

**3.6.8 CUADRO 30. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA ( $\rho_e$ ) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.**

BIODIESEL	$\rho_{25}$	TEMPERATURA (°C)	$\rho_e$
<b>B. HIGUERILLA100</b>	<b>0,945</b>	19	<b>0,949</b>
B. HIGUERILLA 20	0,816		0,820
B. HIGUERILLA 15	0,808		0,812
B. HIGUERILLA 10	0,801		0,805
B. HIGUERILLA 5	0,793		0,797
<b>B. COLZA 100</b>	<b>0,885</b>		<b>0,889</b>
B. COLZA 20	0,811		0,815
B. COLZA 15	0,806		0,810
B. COLZA 10	0,801		0,805
B. COLZA 5	0,797		0,801

**Fig. 32 Variación de la  $\rho_e$  al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación de la  $\rho_e$  al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\rho_e = 0,0016(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,7885$$

El cálculo lineal para la variación de la  $\rho_e$  al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

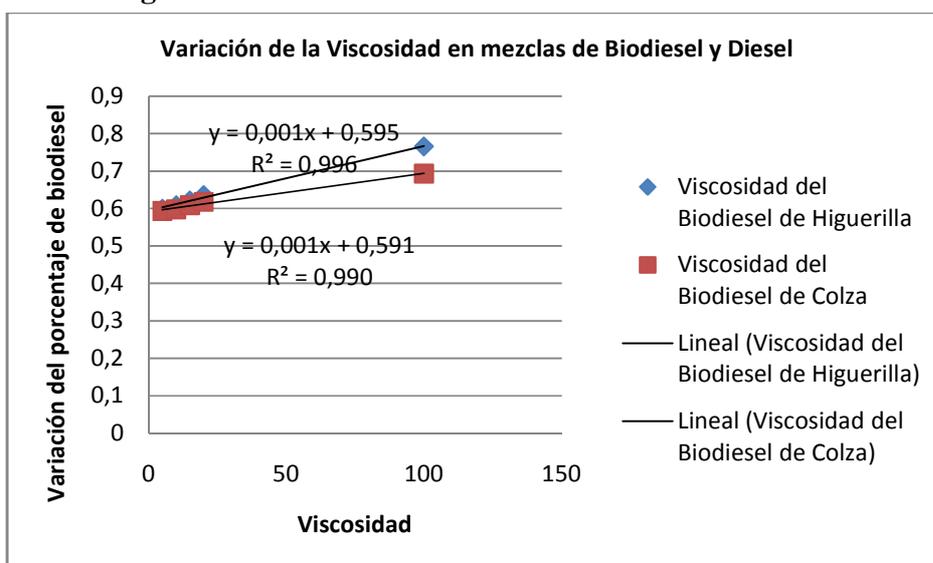
$$\rho_e = 0,0009(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,7961$$

El cuadro 30, muestra la misma relación que la anterior (Cuadro 28 y 29), con la diferencia que los valores han sido corregidos a una temperatura de medición de 19 ° C.

**3.6.9 CUADRO 31. COMPARACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.**

<b>BIODIESEL</b>	<b>DENSIDAD</b> $\rho_{25}$	<b>VISCOSIDAD</b> $\eta$ (Pa*s)
<b>B. HIGUERILLA100</b>	<b>0,945</b>	<b>0,766</b>
B. HIGUERILLA 20	0,816	0,636
B. HIGUERILLA 15	0,808	0,622
B. HIGUERILLA 10	0,801	0,609
B. HIGUERILLA 5	0,793	0,600
<b>B. COLZA 100</b>	<b>0,885</b>	<b>0,693</b>
B. COLZA 20	0,811	0,618
B. COLZA 15	0,806	0,609
B. COLZA 10	0,801	0,598
B. COLZA 5	0,797	0,594

**Fig. 33 Variación de la Viscosidad al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación de la Viscosidad al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\text{Viscosidad} = 0,0017(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,595$$

El cálculo lineal para la variación de la Viscosidad al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

$$\text{Viscosidad} = 0,001(\text{variación del \% de biodiesel}) + 0,5918$$

Como se indica en el cuadro 31 la viscosidad de las mezclas es mayor a medida que el porcentaje de Biodiesel aumenta.

## PROPIEDADES QUÍMICAS

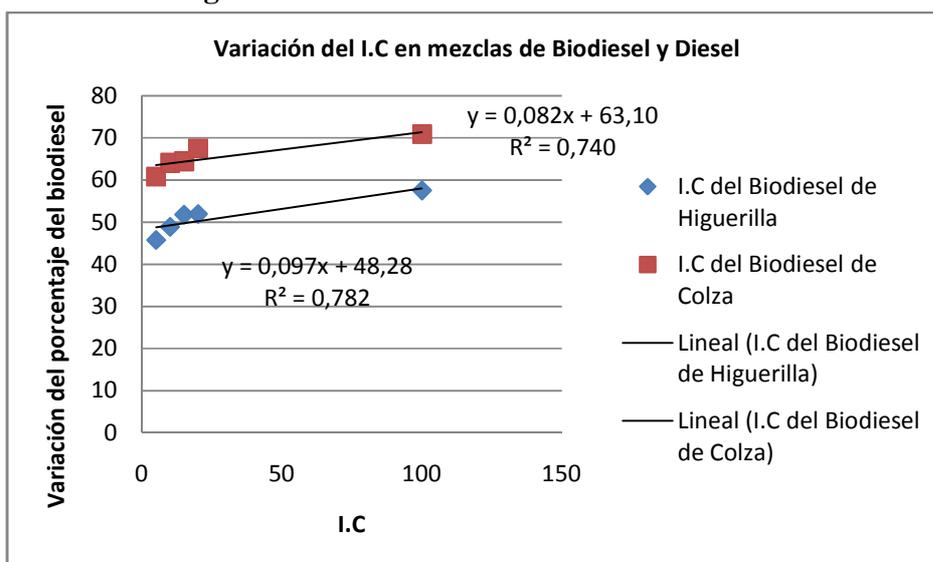
### 3.6.10 CUADRO 32. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO (I.C) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL.

BIODIESEL	°APIc	P.E.c (°F)	I. C. Fórmula	I. C. Nanograma
B. HIGUERILLA100	33,6	593,5	57,57	57,5
B. HIGUERILLA 20	33,6	552,8	51,97	51,9
B. HIGUERILLA 15	34,6	537,6	51,82	51,8
B. HIGUERILLA 10	34,6	517,8	48,91	49
B. HIGUERILLA 5	34,6	497,1	45,79	45,7

**3.6.11 CUADRO 33. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO (I.C) DEL BIODIESEL DE COLZA (*Brassica napus*) Y SUS MEZCLAS CON DIESEL**

BIODIESEL	°APIc	P.E.c (°F)	I. C. Fórmula	I. C. Nanograma
B. COLZA100	39,6	598,9	70,92	<b>71</b>
B. COLZA 20	40,6	560	67,54	67,5
B. COLZA 15	40,6	539,4	64,49	64,5
B. COLZA 10	41,6	523,2	64,12	64
B. COLZA 5	41,6	502,5	60,86	60,8

**Fig. 34 Variación del I.C al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación del I.C al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\text{I.C} = 0,0976(\text{variación del \% de biodiesel}) + 48,284$$

El cálculo lineal para la variación del I.C al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

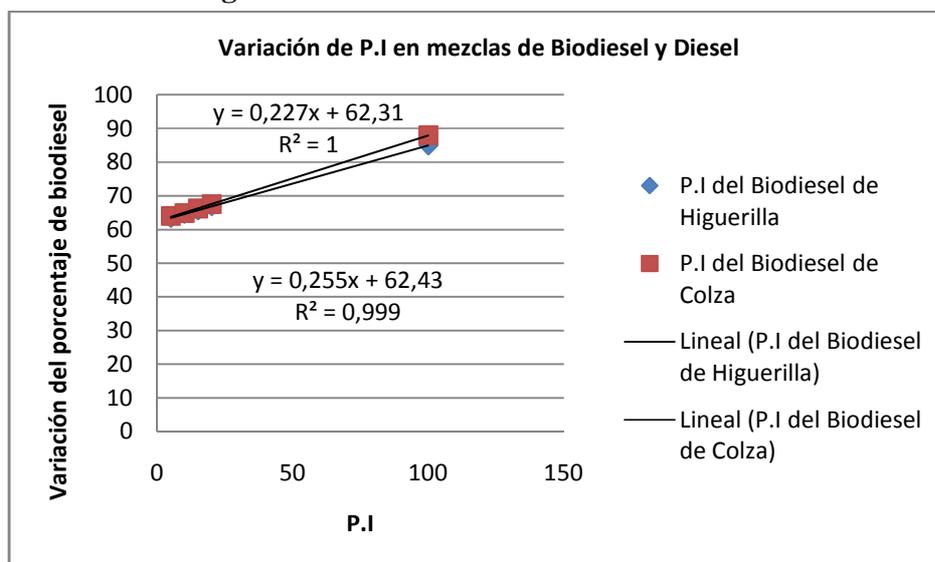
$$\text{I.C} = 0,0828(\text{variación del \% de biodiesel}) + 63,101$$

El valor del índice de cetano es bajo para el Diesel puro y a medida que su porcentaje disminuye en las mezclas con Biodiesel dicho valor va aumentando como se indica en los cuadros 32 y 33, también debemos mencionar que no existe mayor diferencia entre los valores del índice de cetano calculado y los valores del índice de cetano del nanograma. El alto valor del índice de cetano de los B 100 permite reducir el tiempo de encendido, gracias a esto se dispondrá de mayor tiempo para completar la combustión y reducir los niveles de las emisiones, lo que ayuda al motor. Los valores de índice de cetano son altos en los biodiesel con respecto al diesel debido a que éstos poseen ácidos grasos saturados y se constituyen en buenos aditivos para mejorar el índice de cetano.

**3.6.12 CUADRO 34. COMPARACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN (P.I) DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL**

BIODIESEL	PRESIÓN (mmHg)	PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	PUNTO DE INFLAMACIÓN CORREGIDO (°C)
<b>B. HIGUERILLA100</b>	543	<b>85</b>	<b>91,51</b>
B. HIGUERILLA 20		66,9	73,41
B. HIGUERILLA 15		65,7	72,21
B. HIGUERILLA 10		64,6	71,11
B. HIGUERILLA 5		63,4	69,91
<b>B. COLZA100</b>		<b>88</b>	<b>94,51</b>
B. COLZA 20		67,5	74,01
B. COLZA 15		66,2	72,71
B. COLZA 10		64,8	71,31
B. COLZA 5		64	70,51

**Fig. 35 Variación del P.I al sustituir biodiesel**



FUENTE: PROPIA

El cálculo lineal para la variación del P.I al sustituir Biodiesel de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) con Diesel es:

$$\mathbf{P.I} = 0,227(\text{variación del \% de biodiesel}) + 63,331$$

El cálculo lineal para la variación del P.I al sustituir Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) con Diesel es:

$$\mathbf{P.I} = 0,2554(\text{variación del \% de biodiesel}) + 62,439$$

Los B 100 tanto de Colza (*Brassica napus*) como de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) presenta un punto de inflamación alto pero mientras va disminuyendo la concentración de éstos en la mezcla con diesel su punto de inflamación también disminuye (Cuadro 34). El punto de inflamación del biodiesel es más alto que el del diesel por lo que su manejo es más seguro.

**3.6.13 CUADRO 35. CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS ASTM D PARA BIODIESEL Y LOS VALORES DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A BIODIESEL DE HIGUERILLA Y SUS MEZCLAS CON DIESEL**

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	VALORES SEGÚN LA NORMA ASTM	VALORES OBTENIDOS				
				B100	B20	B15	B10	B5
GRAVEDAD API A 60°F	°API	D-287	REPORTAR	33,60	33,60	34,60	34,60	34,60
ÍNDICE DE CETANO CALCULADO (C.I)	-----	D-976	47 mínimo	57,57	51,97	51,82	48,91	45,79
PUNTO DE INFLAMACIÓN (P.I)	°C	D-93	93 mínimo	91,51	73,41	72,21	71,11	69,91

Según los valores que indica la Norma ASTM D, el Biodiesel de Higuierilla al 5 % (B5), no cumple con dicha Norma en cuanto al I.C, mientras que para el P.I ninguno cumple con la Norma (Cuadro 35).

**3.6.14 CUADRO 36. CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS NORMAS ASTM D PARA BIODIESEL Y LOS VALORES DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A BIODIESEL DE COLZA Y SUS MEZCLAS CON DIESEL**

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	VALORES SEGÚN LA NORMA ASTM	VALORES OBTENIDOS				
				B100	B20	B15	B10	B5
GRAVEDAD API A 60°F	°API	D-287	REPORTAR	39,60	40,60	40,60	41,60	41,60
ÍNDICE DE CETANO CALCULADO (C.I)	-----	D-976	47 mínimo	70,92	67,54	64,49	64,12	60,86
PUNTO DE INFLAMACIÓN (P.I)	°C	D-93	93 mínimo	94,51	74,01	72,71	71,31	70,51

Según los valores que indican la Norma ASTM D, únicamente el Biodiesel de Colza al 100 % (B100), cumple con todos los valores de la Norma, mientras que los otros porcentajes de Biodiesel cumplen con el I.C.

### 3.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.7.1 MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS.

Los mecanismos de extracción fueron elegidos basándose en la facilidad de construcción en el caso de la prensa hidráulica y la disponibilidad en el caso de la extracción con solvente (hexano); sin embargo existen otros mecanismos de extracción más costosos que optimizan el proceso de extracción del aceite como el caso de la prensa de expulsor (*Expeller* , también denominada de tornillo (*Screw*) o extrusor (*extruder*), molino de martillos, molino de rulos y centrifugas, que proveen un porcentaje mayor de aceite en comparación con la prensa hidráulica y además la alimentación de semilla es continua y no por lotes como ocurre con la prensa hidráulica optimizando el tiempo de extracción.

#### 3.7.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE EXTRAÍDO DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) Y COLZA (*Brassica napus*)

Al utilizar los métodos de extracción los valores de densidad fueron de 0,973 en el caso del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) extraído tanto por compresión como por hexano, y de 0,919 para el aceite de Colza (*Brassica napus*) extraído por compresión y de 0,918 para el aceite extraído por hexano, estos resultados fueron comparados con bibliografía (44) que reporta para el caso del aceite de Colza (*Brassica napus*) valores de densidad a 20°C entre 0,916 – 0,923 y para el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) valores de 0,955 - 0,968;

lo que indica que los valores de la densidad de los biodiesel obtenidos se encuentran dentro del rango de densidad registrado en bibliografía.

El índice de refracción tomado a 19 °C en el caso del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) por compresión fue de 1,4762 y del extraído por hexano 1,4672; del aceite de Colza (*Brassica napus*) extraído por compresión fue de 1,4699 y del extraído por hexano 1,4701; en bibliografía (43) se reporta valores de 1,473 – 1,477 a 20 °C en el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunnis*), y de 1,470 – 1,474 a 20 °C en el caso de la Colza (*Brassica napus*) datos que se encuentran dentro de los rangos de investigación bibliográfica.

El valor de la viscosidad calculada para los aceites coincide con los encontrados en bibliografía (44), en donde los valores del aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*), están dentro del rango de 0,980 – 0,990 Pa\*s, y la Colza (*Brassica napus*) están dentro de 0,053 – 0,060 Pa\*s, como se puede observar en los cuadros 10 y 11.

Los valores de índice de acidez calculados en el aceite de Colza (*Brassica napus*) obtenido por compresión es de 17,68 y extraído por hexano es de 5,20; en el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunnis*) los valores fueron de 12,8 en el aceite obtenido por compresión y de 1,22 para el aceite extraído con hexano. El índice de acidez se lo realiza para determinar la cantidad de ácidos grasos libres presentes en una muestra de aceite, mientras más bajo es el índice de acidez de los aceites mejores características poseen para la fabricación de biodiesel debido a que evitará la formación de jabones en la transesterificación, y basándonos en este fundamento el aceite que presento menor índice de acidez fue extraído

por hexano tanto en el caso de Colza (*Brassica napus*) como de Higuierilla (*Ricinus comunnis*), esto debido a que el solvente refina el aceite crudo y por lo tanto disminuye la cantidad de ácidos grasos libres en el mismo.

El índice de yodo obtenido en el aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) extraído por compresión fue de 114,98 mL/g y de 58,27 mL /g para el aceite extraído por hexano, en el caso de el aceite de Colza (*Brassica napus*) obtenido por compresión fue de 122,90 mL/g y de 97,87 mL /g para el aceite extraído con hexano; valores que al compararlos con los de bibliografía (43), donde el índice de yodo para el aceite de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) se encuentra en un rango de 91 – 110 mL/g , y el aceite de Colza (*Brassica napus*) va desde 102 – 128 mL/g, observando que los valores obtenidos se encuentran dentro o cercanos a estos.

Mediante todas las comparaciones realizadas en esta investigación con los encontrados en bibliografías (43) (44) sobre la calidad de los aceites podemos determinar que presentan buenas propiedades fisicoquímicas y que son aptos para la elaboración de un biocombustible.

### 3.7.3 OBTECIÓN DE BIODIESEL

Como se observa en el cuadro 22, se ha elaborado el biodiesel por transesterificación básica utilizando metóxido de sodio, investigaciones en bibliografía (42) indican que la mejor concentración para la transesterificación es empleando 1% de metóxido de sodio; para el caso de las semillas de Higuierilla (*Ricinus comunis*) y Colza (*Brassica napus*) los mejores resultados se obtuvieron al emplear un 2% de metóxido de sodio.

### 3.7.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunis*), COLZA (*Brassica napus*) Y MEZCLAS DE BIODIESEL Y DIESEL.

En las Normas ASTM D (45) se indican especificaciones que garantiza la calidad del biocombustible para ser considerado aceptable y de buena calidad como: pH no menor a 5, °API no menor a 10, Índice de Cetano Calculado mínimo de 47 y Punto de Inflamación no menor a 93 °C. A partir de estas especificaciones el Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) (B100) obtenido presenta un pH de 6,23; °API de 34,1; Índice de Cetano Calculado de 70,92 y Punto de Inflamación de 94,51; En el caso de la Higuierilla (*Ricinus comunis*) (B100) presenta un pH de 7,12; °API de 32,6; Índice de Cetano Calculado de 57,57 y Punto de Inflamación 91,51; demostrando así que los productos obtenidos cumplen con las normas reguladoras de calidad de este tipo de biocombustible.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

1. En base al rendimiento obtenido durante la extracción de aceite (por compresión y por arrastre con hexano) las semillas que mejores resultados proporcionaron constituyen las semillas de Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus communis*).
2. Los dos métodos de extracción de aceite utilizados proporcionan aceite de buena calidad desde el punto de vista fisicoquímico.
3. Para obtener mayor eficiencia en la extracción de aceite es mejor utilizar el método de arrastre con hexano.
4. Los biodiesel de Higuierilla (*Ricinus communis*) y de Colza (*Brassica napus*) fueron elaborados de los aceites extraídos por compresión a través del método de transesterificación básica en donde los mejores rendimientos se obtuvieron al emplear metóxido de sodio al 2%

5. Al determinar las características fisicoquímicas de los biodiesel elaborados (B100 de Higuierilla (*Ricinus comunnis*) y B100 de Colza (*Brassica napus*)), se demostró que los valores obtenidos en la investigación se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM D con excepción del Punto de Inflamación en el B100 de Higuierilla (*Ricinus comunnis*).
  
6. Mediante resultados obtenidos de los análisis de las mezclas de Diesel convencional con los B 100 elaborados se demostró que los Biodiesel obtenidos tienen mayor eficiencia frente al Diesel convencional. Sin olvidarnos del menor impacto que estos biocombustibles generan.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- 1.** Durante la elaboración del biodiesel es importante evitar la presencia de agua en el aceite ya que esto afectará la reacción de transesterificación.
- 2.** Al realizar el proceso de transesterificación es importante mantener las temperaturas adecuadas (70°C) para que ésta se realice en su totalidad.
- 3.** Los restos de metóxido deben ser eliminados por completo del biodiesel elaborado para evitar alteraciones en las pruebas de calidad a realizar.
- 4.** Seguir con una siguiente etapa de investigación para realizar este proceso en una escala mayor y buscar la probabilidad de elaborar biodiesel a partir de otras materias primas que sean de fácil manipulación y accesibilidad.
- 5.** Incentivar y difundir el uso de estos combustibles alternativos entre la población para contribuir con la disminución de la contaminación ambiental provocada por los combustibles fósiles.

## CAPÍTULO V

### RESUMEN

Obtención de biodiesel a partir del aceite de semillas oleaginosas de la provincia de Chimborazo con el fin de reducir el impacto ambiental que producen las emisiones de gases y con ellas el efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles.

Para la obtención de los aceites de las semillas oleaginosas de: Higuierilla (*Ricinus comunnis*), Colza (*Brassica napus*), Vicia (*Vicia villosa*) y Llín Llín (*Cassia canesens*); se aplicaron dos métodos por compresión utilizando una prensa y por arrastre con hexano (solvente); la elaboración del Biodiesel la llevamos a cabo mediante la reacción de transesterificación con ayuda de Metóxido de Sodio y materiales de laboratorio.

Tanto las características de los aceites obtenidos como las de los Biodiesel elaborados se pudieron determinar mediante parámetros físicos y químicos.

En la extracción de aceite por compresión se utiliza una prensa de 2 toneladas de presión durante 5 minutos, obteniéndose una cantidad significativa de aceite en las semillas de Colza (*Brassica napus*) e Higuierilla (*Ricinus comunnis*), mientras que en la extracción con hexano se utiliza un 10 % más de solvente que la cantidad de semilla utilizada y en presencia de calor mostró mayor eficacia en relación al método antes mencionado.

La cantidad de aceite extraída con hexano supera al obtenido mediante compresión, en una relación de 2:1 en la Colza (*Brassica napus*) y de 4:1 en la Higuera (*Ricinus communis*), sin embargo en la realización del Biodiesel el aceite escogido fue el obtenido mediante compresión debido a que mostró mejores características físico – químicas como: densidad relativa, viscosidad, índice de refracción, índice de acidez, test de estabilidad, color, índice de saponificación, índice de éster, índice de yodo, peso molecular y método soxhlet.

Los Biodiesel de Colza (*Brassica napus*) e Higuera (*Ricinus communis*) se obtuvieron mediante la reacción de transesterificación utilizando como intermediario el Metóxido de Sodio al 2% dándonos como resultado un mayor volumen de biodiesel a esta concentración, de igual manera sus características fueron determinadas mediante parámetros físicos y químicos aplicables a biocombustibles, algunos de estos indicados en la Norma ASTM D como el punto de inflamación, índice de cetano calculado y °API.

Con la investigación realizada se pretende proveer de información sobre nuevas energías alternativas como estos Biocombustibles, para una posible aplicación y con ello disminuir el impacto ambiental que producen los combustibles fósiles.

## SUMMARY

This thesis deals with the obtainment of biodiesel from oleaginous seed oil of Chimborazo Province to reduce the environmental impact by the gas emission and the greenhouse effect caused by the use of fossil fuels. To obtain oils from oleaginous seeds of Higuierilla, Colza, Vicia and Llín Llín two compression methods were applied using a press and a drag with hexane (solvent). The biodiesel elaboration was carried out through the trans-esterification reaction with help of Sodium Methoxide and lab materials. Both the characteristics of the obtained oils and chemical parameters. In the oil extraction by compression a 2 ton pressure press is used during 5 minutes, yielding a significant oil quantity in the Colza and Higuierilla seeds, while with the hexane extraction 10% more of solvent than the quantity of used seed is used and in the presence of heat it showed a major efficacy as related to the above method. The oil quantity extracted with hexane surpasses the one obtained through compression at a 2:1 relationship in Colza and 4:1 in Higuierilla; however in the biodiesel, the selected oil was obtained through compression because it showed better physical and chemical characteristics such as relative density, viscosity, refraction index, acidity index, stability test, color, saponification index, ester index, iodine index, molecular weight and soxhlet method. The Colza and Higuierilla biodiesel were obtain through the trans-esterification reaction using as an intermediary the Sodium Metoxide at 2% resulting in a major biodiesel volume at this concentration; likewise its characteristics were determined through physical and chemical parameters applicable to bio-fuels, some of these indicated in the ASTM D Norm such as he inflammation point, calculated cethane index and °API.

Whit this investigation it is hoped to provide information on the new energy alternatives such as these fuels for a possible application so as diminish the environmental impact produced by the fossil fuels.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

- (1) **1.** JIMENEZ, L. y YESID, H., El Inchi la oleaginosa mas promisoría de la subregión andina., 2a. ed., Bogotá – Colombia., Guadalupe LTDA., 1992., pp. 91, 130, 226, 227, 234.
- (16) **2.** SPIER, P. y BIEDERBICK, C., Árboles y leñosas para reforestar las tierras altas de la región interandina del Ecuador., 2a. ed., Quito – Ecuador., C.A.A.P., 1980., pp. 74 – 76.
- (42) **3.** ZHININ, E., Elaboración de un Biocombustible a partir del aceite de palma virgen (rojo), por trans-esterificación., Tesis de Doctorado en Química., Riobamba - Ecuador., Escuela de ciencias Químicas., Facultad de Ciencias., Escuela . Superior Politécnica de Chimborazo., 2008., pp. 85 – 90.

## INTERNET

(9) **1. ACEITE DE COLZA**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite\\_de\\_colza](http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite_de_colza)

(2010-11-10)

(43) **2. ACEITES Y GRASAS INDUSTRIALES POR EL Dr. ALTON BAILEY**

<http://books.google.com.ec/books>

(2010-04-14)

(23) **3. BIOCOMBUSTIBLES**

<http://www.miliarium.com/monografias/Biocombustibles/Welcome.asp>

(2010-11-16)

(12) **4. BIOCOMBUSTIBLE DE HIGUERILLA**

<http://www.karisma.org.co/documentos/biocombustible/tec-higuerilla.pdf>

(2010-11-13)

(19) **5. BIODIESEL**

[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/712/biodiesel.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biodiesel.htm)

(2009-06-05)

(5) **6. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL Y SUS MATERIAS PRIMAS**

<http://www.miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Biodiesel/.asp>

(2009-07-25)

(14) **7. CARACTERÍSTICAS DE LA VICIA**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia\\_villosa](http://es.wikipedia.org/wiki/Vicia_villosa)

(2010-11-15)

(7) **8. CARACTERÍSTICAS DE SEMILLAS OLEAGINOSAS**

[http://www.oleaginosas.org/cat\\_61.shtml](http://www.oleaginosas.org/cat_61.shtml)

(2010-11-10)

(46) **9. CULTIVO DE COLZA TRANSGENICA**

<http://www.cbgnetwork.org/156.html>

(2011-04-25)

(8) **10. CULTIVO DE CANOLA**

<http://www.grupoinformador.com/canolacultivo>

(2010-11-10)

(11) **11. CULTIVO DE HIGUERILLA**

<http://pucei.edu.ec:1640/ecaa/documentos/libros/cultivos/9-24.pdf>

(2010-11-13)

(41) **12. DETERMINACIÓN DE pH**

<http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/Determinacion%20del%20pH.pdf>

(2011-01-19)

(25) **13. DIESEL Y BIODIESEL**

<http://www.energiaadebate.com/articulosnoviembre2009imagenesnov/Sarmiento2.jpg>

(2010-11-19)

(24) **14. EMPLEO DEL BIODIESEL**

<http://www.monografias.com/trabajos28/biodiesel/biodiesel.shtml>

(2010-11-20)

(2) **15. ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

<http://miaudeabiodiesel.blogspot.com/2008/10/justificacin.html>

(2009-06-15)

(17) **16. ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

<http://miaudea-biodiesel.blogspot.com/2008/10/justificacin.html>

(2009-06-15)

(18) **17. ENERGÍA VERDE**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_verde](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_verde)

(2009-07-05)

(29) **18. ESPECTROSCOPIA**

<http://www.heurema.com7Espectroscopio/.pdf>

(2010-11-20)

(35) **19. EXTRACCIÓN CON HEXANO**

<http://docs.google.com/recuperacion+del+aceite+de+almendras.pdf>

(2010-11-20)

(37) **20. GRAVEDAD API**

<http://www.monografias.com/gravedad-api-densidad.shtml>

(2010-11-20)

(6) **21. GUÍA EN EL CULTIVO DE COLZA**

<http://www.gotaverde.org/Guiaparaelcultivodecolza.pdf>

(2010-11-10)

(10) **22. HIGUERILLA**

<http://www.higueroil.com/>

(2009-06-21)

(30) **23. ÍNDICE DE ACIDEZ**

<http://www.scribd.com/doc/38187921/Determinacion-del-indice-de-acidez>

(2010-11-20)

(32) **24. ÍNDICE DE ESTHER**

[www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-K-395-1972.PDF](http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-K-395-1972.PDF)

(2010-11-20)

(20) **25. IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

<http://www.otrasenergias.com/Biodiesel>

(2009-06-13)

(28) **26. ÍNDICE DE REFRACCIÓN**

<http://www.ucm.es/info/giboucm/Download/INDREF.pdf>

(2010-11-20)

(31) **27. ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

<http://www.xtec.cat/~ffernan5/castellano/13006.htm>

(2010-11-20)

(15) **28. INFORMACIÓN VICIA**

<http://www.inta.gov.ar/.pdf>

(2010-11-15)

(33) **29. ÍNDICE DE YODO**

<http://www.scribd.com/doc/16515883/INDICE-DEYODO>

(2010-11-20)

(21) **30. MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

<http://www.biodisol.com/materias-primas-mas-comunes/>

(2010-11-16)

(34) **31. MÉTODO SOXLHET**

[http://www.ispch.cl/lab\\_amb/met\\_analitico/doc/ambiente%20pdf/GrasSoxhlet.pdf](http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente%20pdf/GrasSoxhlet.pdf)

(2010-11-20)

(45) **32. NORMAS ASTM D**

<http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/ASTM/IndiceASTM.htm>

(2011-04-09)

(36) **33. OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

[www.biodisol.com/produccion-de-biodiesel- materias-primas-procesos-calidad/](http://www.biodisol.com/produccion-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/)

(2010-11-25)

(44) **34. OLEOCHEMISCHE ERZEUGNISSE**

<http://www.gustavheess.com/pdf/2144seg.pdf>

(2010-04-14)

(26) **35. PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

[www.monografias.com/prácticasobretécnicasbásicasdelaboratorio](http://www.monografias.com/prácticasobretécnicasbásicasdelaboratorio)

(2010-11-20)

(3) **36. PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Chimborazo](http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Chimborazo)

(2010-11-02)

(38) **37. PUNTO DE EBULLICIÓN**

[http://www.angelfire.com/hi/odeon/Laboratorio\\_8.PDF](http://www.angelfire.com/hi/odeon/Laboratorio_8.PDF)

(2010-11-20)

(39) **38. PUNTO DE EBULLICIÓN**

<http://materias.fi.uba.ar/6756/Propiedades%20combustibles%201C%2007.pdf>

(2010-11-20)

(40) **39. PUNTO DE INFLAMACIÓN**

<http://oilworld2008.blogspot.com/2009/06/punto-de-inflamacion-y-calor-de.html>

(2010-11-20)

(4) **40. TURISMO CHIMBORAZO**

[www.explored.com.ec/.../conozca-el-ecuador-provincia-del-chimborazo.html](http://www.explored.com.ec/.../conozca-el-ecuador-provincia-del-chimborazo.html)

(2010-11-02)

(22) **41. VARIABLES QUE AFECTAN LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN**

<http://nobiodiesel.blogspot.com/2009/11/variables-que-afectan-la-reaccion-de.html>

(2010-11-16)

(13) **42. VICIA**

[http://www.unavarra.es/servicio/herbario/htm/Vicia\\_sati.htm](http://www.unavarra.es/servicio/herbario/htm/Vicia_sati.htm)

(2009-06-21)

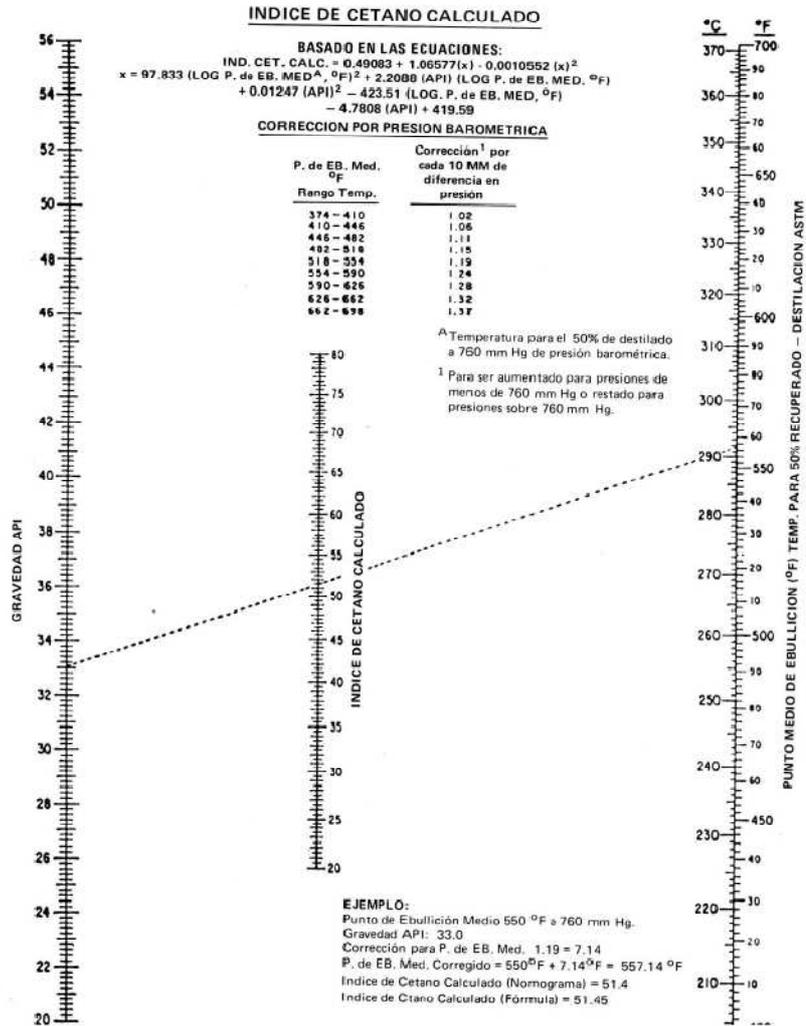
(27) **43. VISCOSIDAD**

[http://html.rincondelvago.com/viscosidad\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/viscosidad_2.html)

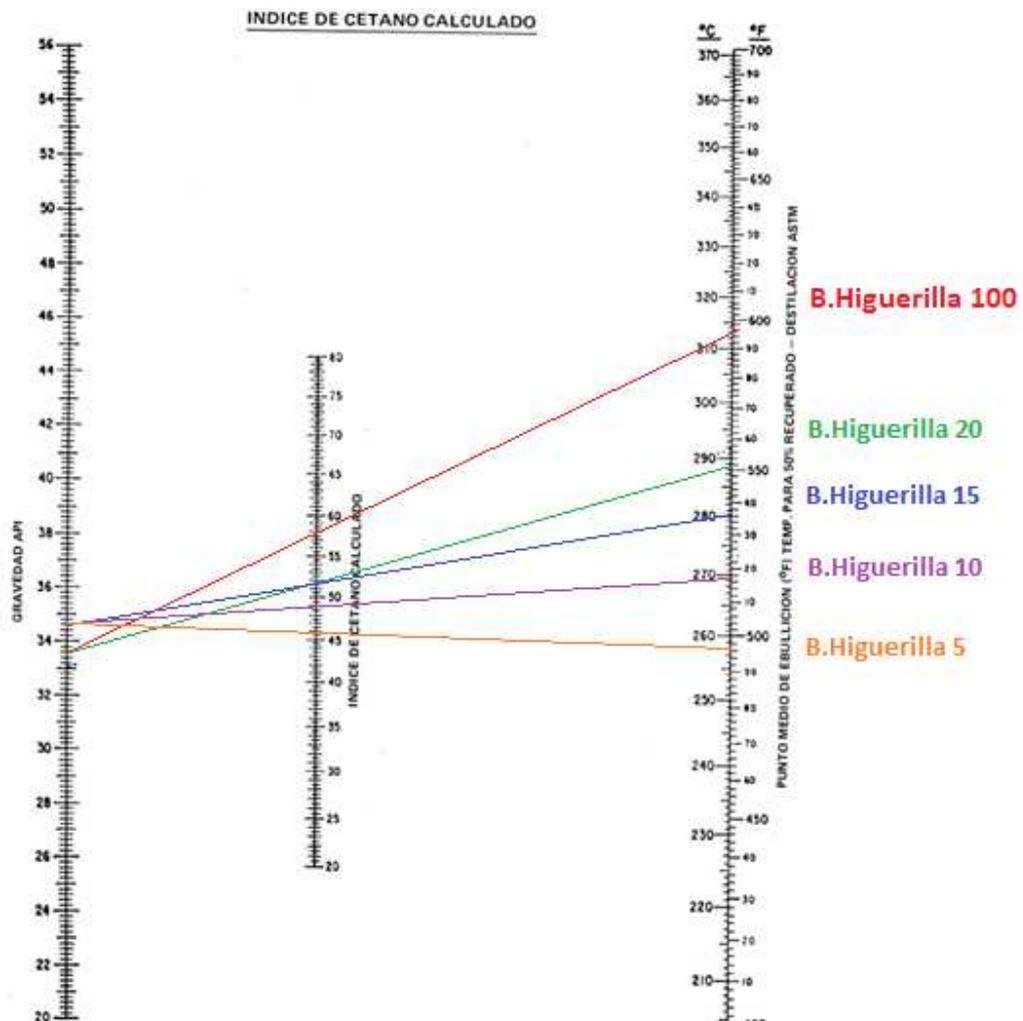
(2010-11-23)

## ANEXOS

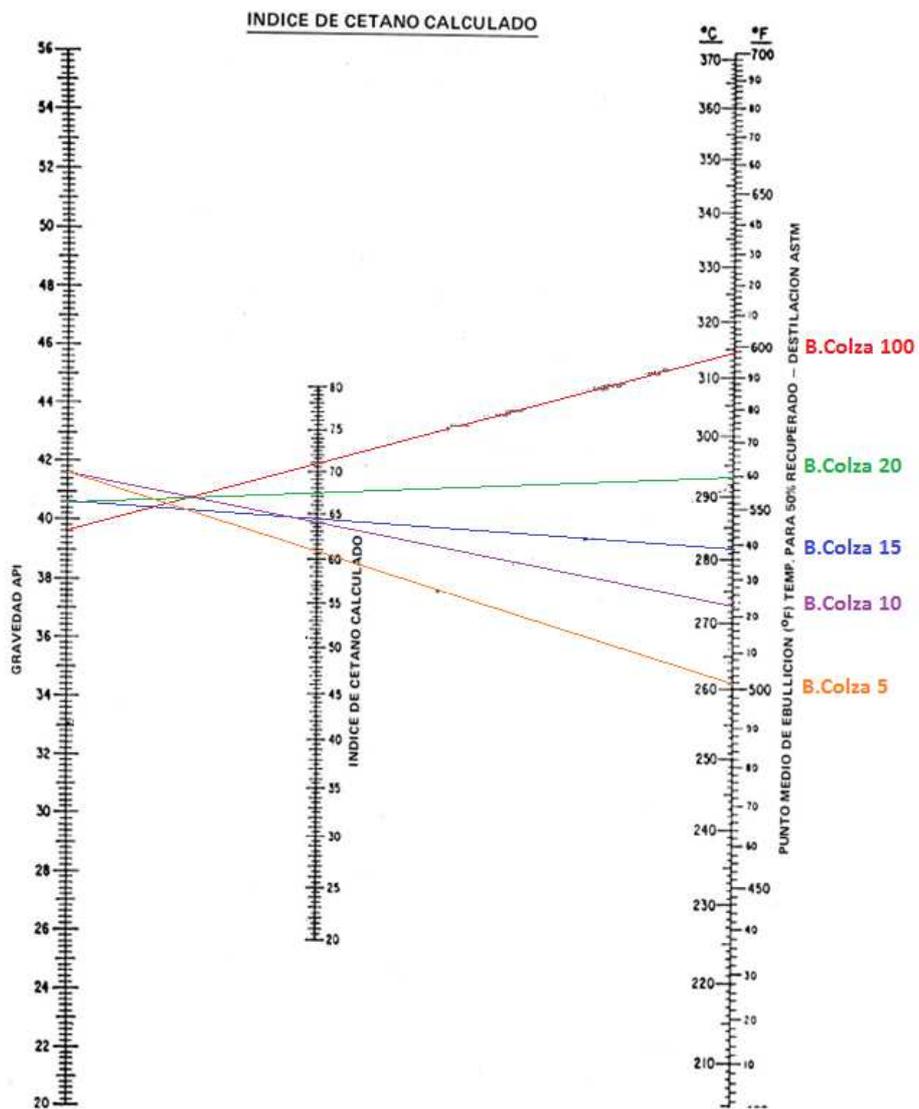
### ANEXO 1: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO



**ANEXO 2: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO DEL BIODIESEL DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*)**



**ANEXO 3: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CETANO DEL BIODIESEL DE COLZA (*Brassica napus*)**



**ANEXO 4: TABLAS PARA CORRECCIÓN DE °API A 60°F**

°T medición	°API corregidos a 60°F											
<b>66 °F</b>	<b>30</b>	<b>30,5</b>	<b>31</b>	<b>31,5</b>	<b>32</b>	<b>32,5</b>	<b>33</b>	<b>33,5</b>	<b>34</b>	<b>34,5</b>	<b>35</b>	<b>35,5</b>
<b>66 °F</b>	29,6	30,1	30,6	31,1	31,6	32,1	32,6	33,1	33,6	34,1	34,6	35,1

°T medición	°API corregidos a 60°F												
<b>66 °F</b>	<b>36</b>	<b>36,5</b>	<b>37</b>	<b>37,5</b>	<b>38</b>	<b>38,5</b>	<b>39</b>	<b>39,5</b>	<b>40</b>	<b>40,5</b>	<b>41</b>	<b>41,5</b>	<b>42</b>
<b>66 °F</b>	35,6	36,1	36,6	37,1	37,6	38,1	38,6	39,1	39,6	40,1	40,6	41,1	41,6

**ANEXO 5: TABLA PARA LA CORRECCIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN A  
760 mm Hg**

<b>Punto de Ebullición °F</b>	<b>*Corrección por c/10 mm de diferencia en Presión</b>
<b>Rango de °T</b>	
374 – 410	1,02
410 – 446	1,06
446 – 482	1,11
482 – 518	1,15
518 – 554	1,19
554 – 590	1,24
590 – 626	1,28
626 – 662	1,32
662 – 698	1,37

\*El factor de corrección se suma a presiones menores a 760 mm Hg y se resta a presiones mayores a 760 mm Hg

**ANEXO 6: PRENSA HIDRÁULICA DE 2Tn. DE PRESIÓN**



**ANEXO 7: SEMILLAS DE COLZA (*Brassica napus*) COLOCADAS EN LAS BANDEJA DE LA PRENSA HIDRÁULICA**



**ANEXO 8: PISTÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA COLOCADO SOBRE LAS SEMILLAS DE COLZA (*Brassica napus*)**



**ANEXO 9: ACEITE DE COLZA (*Brassica napus*) OBTENIDO LUEGO DEL PRENSADO**



**ANEXO 10: SEMILLAS DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) COLOCADAS EN LAS BANDEJA DE LA PRENSA HIDRÁULICA**



**ANEXO 11: PISTÓN DE LA PRENSA HIDRÁULICA COLOCADO SOBRE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*)**



**ANEXO 12: ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*) OBTENIDO LUEGO DEL PRENSADO**



**ANEXO 13: OBTENCIÓN DE ACEITE DE COLZA (*Brassica napus*) POR HEXANO**



**ANEXO 14: OBTENCIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunis*)  
POR HEXANO**



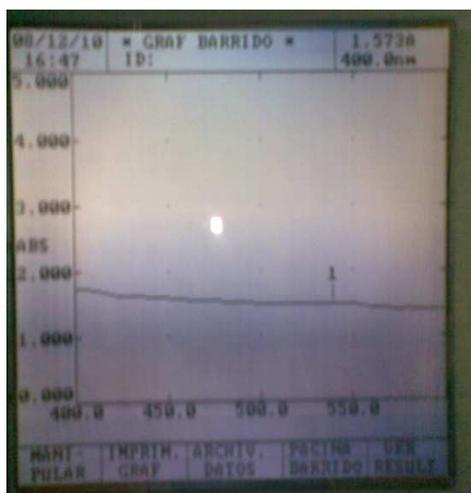
**ANEXO 15: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS ACEITES DE  
HIGUERILLA (*Ricinus comunis*) Y COLZA (*Brassica napus*)**



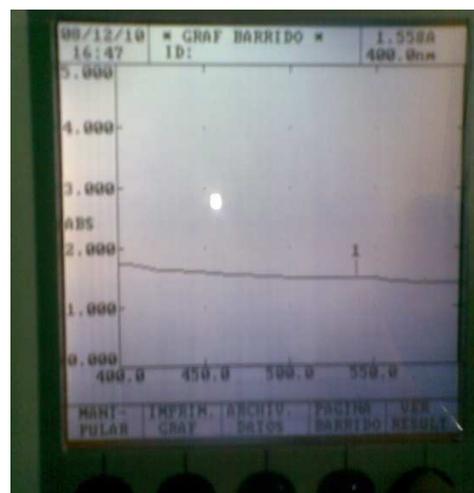
## ANEXO 16: MUESTRA DE ACEITE EN EL ESPECTOFOTÓMETRO



## ANEXO 17: DETERMINACIÓN DEL COLOR PARA LOS ACEITES MEDIANTE LA GRÁFICA DEL ESPECTOFOTÓMETRO



COLZA (*Brassica napus*)



HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*)

**ANEXO 18: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ PARA EL ACEITE DE COLZA (*Brassica napus*)**



**ANEXO 19: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ PARA EL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*)**



**ANEXO 20: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN PARA  
LAS MUESTRAS DE ACEITE**



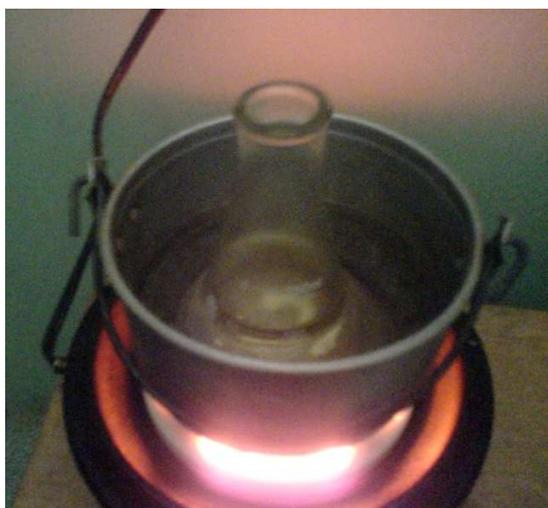
**ANEXO 21: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO PARA EL ACEITE DE  
COLZA (*Brassica napus*)**



**ANEXO 22: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO PARA EL ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*)**



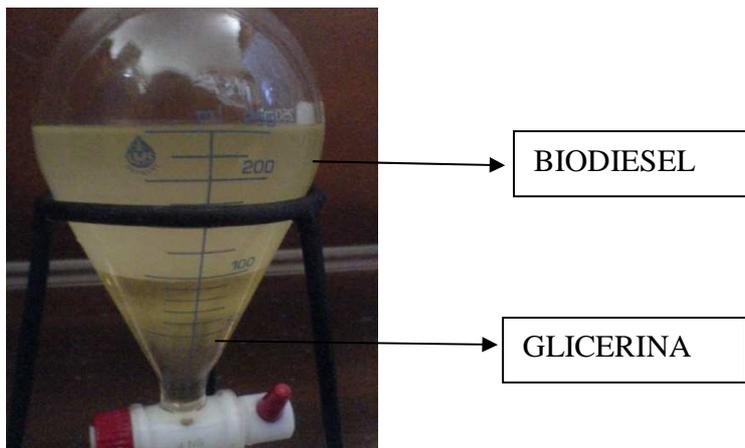
**ANEXO 23: EL ACEITE JUNTO AL METÓXIDO DE SODIO A BAÑO MARIA**



**ANEXO 24: MEZCLA DE ACEITE MAS METÓXIDO REPOSANDO EN UN EMBUDO DE SEPARACIÓN**



**ANEXO 25: SEPARACIÓN DE LAS DOS FASES: BIODIESEL Y GLICERINA**



## ANEXO 26: BIODIESEL FORMADOS



## ANEXO 27: DETERMINACIÓN DEL pH DE LOS BIODIESEL



**B. de COLZA (*Brassica napus*)**

**B. de HIGUERILLA (*Ricino comunnis*)**

**ANEXO 28: DETERMINACIÓN DE LA °API DE LOS BIODIESEL CON LA AYUDA DE UN HIDRÓMETRO**



**B. de COLZA (*Brassica napus*)**



**B. de HIGUERILLA (*Ricinus comunnis*)**

**ANEXO 29: DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN CON AYUDA DEL EQUIPO DE COPA CERRADA**



## **ANEXO 30: DENSIDAD RELATIVA**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la densidad relativa por medio de un picnómetro

### **FUNDAMENTO**

La densidad relativa es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. La densidad relativa es adimensional (sin unidades), ya que queda definida como el cociente de dos densidades.

### **MATERIALES**

- Picnómetro
- Balanza Analítica
- Piceta con agua
- Recipiente con la muestra de aceite

### **PROCEDIMIENTO**

- Limpiar y secar el picnómetro
- Pesar el picnómetro seco
- Colocar agua en el picnómetro utilizando la piceta y pesar
- Retirar el agua y secar el picnómetro
- Colocar la muestra de aceite en el picnómetro y pesar

### **CÁLCULOS**

$$\rho_{25} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

**m**= peso del picnómetro

**m2**= peso del picnómetro + muestra de aceite

**m1**= peso del picnómetro + agua

### **Corrección de la Densidad:**

$$\rho_e = \rho_{25} - 0,00064(t - 25)$$

**t**= temperatura de la determinación

**$\rho_e$**  = densidad relativa a la temperatura de la prueba

**$\rho_{25}$**  = densidad relativa a 25°C (26) (42)

## **ANEXO 31: VISCOSIDAD**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la viscosidad de muestras de aceites a una temperatura determinada.

### **FUNDAMENTO**

El método más sencillo para medir viscosidades es mediante un viscosímetro de Ostwald.

En este tipo de viscosímetros, se determina la viscosidad de un líquido midiendo el tiempo de flujo de un volumen dado V del líquido en un tubo capilar bajo la influencia de la gravedad. (27) (42)

## **MATERIALES**

- Baño María
- Termómetro
- Viscosímetro de Ostwald.
- Pipeta de 10 ml.
- Cronómetro.
- Vaso de 50 ml
- Muestra de aceite de colza e higuera

## **PROCEDIMIENTO**

- Llenar el viscosímetro limpio y seco con 10 ml de la muestra de aceite, a través del tubo de mayor diámetro.
- Introducir el viscosímetro en el baño María y esperar unos 5 minutos para que el aceite alcance la temperatura de medida (25°).
- Succionar aceite por encima de la marca superior del viscosímetro (tubo de menor diámetro) y medir a continuación el tiempo de paso del mismo entre las marcas A y B.
- Hacer para cada aceite un mínimo de 3 medidas independientes.
- Cuando se termine la serie de medidas con un aceite, limpiar el viscosímetro primero con agua y luego con alcohol y por último secar con aire.

## CÁLCULOS

$$\frac{\eta}{\rho} = K x t$$

$$\eta = K x t x$$

**t** = tiempo en que el menisco superior cae de la marca superior del viscosímetro a la inferior (de A a B)

**K** = constante del aparato que debe determinarse por calibración con un líquido de viscosidad conocida (por ejemplo, agua).

**ρ** = densidad de muestra de aceite

**η** = viscosidad (42)

## ANEXO 32: ÍNDICE DE REFRACCIÓN

### OBJETIVO:

- Determinar el índice de refracción de las muestras de aceite en el refractómetro.

### FUNDAMENTO

El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo.

## **MATERIALES**

- Refractómetro
- Pipeta
- Piceta
- Recipiente con la muestra

## **PROCEDIMIENTO**

- Limpiar y secar el refractómetro
- Calibrar el refractómetro con una gota de agua destilada
- Colocar una gota de cada una de las muestras de aceite en el prisma del refractómetro
- Medir el índice de refracción

## **CÁLCULOS**

$$R = R' + K (t - 25^{\circ}\text{C})$$

### **Corrección del Índice de Refracción**

$$R = R' + 0,000385(t - 25^{\circ}\text{C})$$

**R**= Índice de Refracción a los 25°C

**R'**= Índice de Refracción experimental

**t**= Temperatura a la cual se determino el Índice de Refracción en °C (28) (42)

## **ANEXO 33: TEST DE ESTABILIDAD**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la estabilidad de cada una de las muestras de aceite a bajas temperaturas

### **MATERIALES**

- Recipiente grande y hermético
- Hielos
- Tubo de ensayo

### **PROCEDIMIENTO**

- Llenar completamente el tubo de ensayo limpio y seco con la muestra
- Tapar herméticamente y colocarlo en un baño de hielo de manera que el tubo quede totalmente sumergido y reponer el hielo a medida que se funde
- Dejar el tubo sumergido en los hielos por aproximadamente 5 horas
- Transcurrido el tiempo retirar el tubo del baño de hielos y observar, la prueba es positiva es decir estable al frío si la muestra permanece limpia y brillante, sin ninguna traza de turbidez o cristales blancos (42)

## **ANEXO 34: COLOR**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la longitud de onda y la absorbancia de las muestras de aceite

### **FUNDAMENTO**

Los espectrofotómetros son útiles debido a la relación de la intensidad del color en una muestra y su relación a la cantidad de soluto dentro de la muestra. Nos da información sobre la naturaleza de la sustancia en la muestra. Esto podemos lograrlo midiendo la absorbancia (Abs) a distintos largos de onda.

### **MATERIALES**

- Espectrofotómetro
- Muestras de aceite

### **PROCEDIMIENTO**

- Llenar completamente la celda limpia y seca con la muestra de aceite
- Colocar la celda en el espectrofotómetro para su lectura
- Primero se realiza un barrido con la muestra en el espectrofotómetro para determinar el pico más alto de la longitud de onda
- Luego se coloca otra celda llena de agua destilada en el espectrofotómetro para encerrarlo
- Por último se vuelve a colocar la celda con la muestra de aceite en el espectrofotómetro para medir su absorbancia

- Anotar los valores dados. (29)

## **ANEXO 35: ÍNDICE DE ACIDEZ**

### **OBJETIVO:**

- Determinar el índice de acidez en las muestras de aceite

### **FUNDAMENTO**

Se define como la cantidad de ácidos grasos libres. Determina el deterioro lipolítico de las muestras de aceite con NaOH que se consume en un gramo de grasa.

### **MATERIALES**

- Balanza Analítica
- Erlenmeyer
- Bureta
- Pinza de Bureta
- Soporte Universal

### **REACTIVOS**

- NaOH (0,1N)
- Fenolftaleína
- Alcohol

- Éter

### **PROCEDIMIENTO**

- Pesar entre 5 y 10 g de muestra en un erlenmeyer
- Añadir 10 ml de una mezcla de alcohol y éter
- Titular con NaOH en presencia de fenolftaleína
- Determinar el volumen gastado de NaOH
- Calcular

### **CÁLCULOS**

$$IA = \frac{(40xVxN)}{p}$$

IA= Índice de Acidez en mg/g

V= volumen del álcali empleado por la muestra en ml

N= normalidad del álcali empleado por la muestra

p= peso de la muestra (30) (42)

### **ANEXO 36: ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

#### **OBJETIVO:**

- Valorar el KOH consumido al saponificar el aceite

#### **FUNDAMENTO**

El **índice de saponificación** es la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio, que se necesita para saponificar un gramo de determinado aceite o grasa.

## **MATERIALES**

- Balanza Analítica
- Erlenmeyer
- Bureta
- Pinza de Bureta
- Soporte Universal

## **REACTIVOS**

- HCl 0,5N
- KOH 0,5N
- Fenolftaleína

## **PROCEDIMIENTO**

- Pesar 3 g de muestra
- Añadir 25 ml de KOH
- Reflujar por una hora
- Titular el exceso de KOH con HCl 0,5N en presencia de fenolftaleína
- Medir el volumen gastado

## **CÁLCULOS**

$$I.S = \frac{56,1(V1 - V2)N}{m}$$

**m**= masa de aceite

**V1**= volumen gastado en la titulación blanco

**V2**= volumen gastado en titulación de la muestra

**N**= normalidad (31) (42)

### **ANEXO 37: ÍNDICE DE ÉSTER**

#### **OBJETIVO:**

- Determinar el índice de éster de cada una de las muestras de aceite

#### **CÁLCULOS**

$$IE = IS - IA$$

**IE**= Índice de Éster

**IS**= Índice de Saponificación

**IA**= Índice de Acidez (42)

### **ANEXO 38: ÍNDICE DE YODO POR EL MÉTODO WIJS**

#### **OBJETIVO:**

- Usar la técnica de Wijs, para determinar en forma cuantitativa el grado de insaturación de una grasa

## FUNDAMENTO.

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa. Será tanto mayor cuanto mayor sea el número de dobles enlaces por unidad de grasa, utilizándose por ello para comprobar la pureza y la identidad de las grasas (Por ejemplo el índice de yodo del ácido oleico es 90, del ácido linoléico es 181 y del ácido linolénico 274).

A la vez que los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados se determinan también las sustancias acompañantes insaturadas, por ejemplo, los esteroides.

### Tabla de índices de Yodo en ácidos grasos comunes:

Ácidos Grasos	Índice de Yodo
Ácido Esteárico	0
Ácido Linoléico	181
<b>Grasas:</b>	
Mantequilla	25-40
Manteca	45-90
<b>Aceites:</b>	
De Oliva	75-95
De Linaza	175-205

## MATERIALES

- Vaso de precipitación de 250 ml
- Bureta de 50 ml
- Frasco con tapón de vidrio
- Pipeta de 10 ml

## REACTIVOS

- Solución de yodo de Hanus (O Wijs)
- Cloroformo (CHCl<sub>3</sub>)
- Yoduro de potasio (KI) al 15 %
- Tiosulfato de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) al 0,1 N
- Solución de almidón al 1%

## PROCEDIMIENTO

- Pesar alrededor de 4 gotas de aceite en un frasco con tapón de vidrio.
- Disolver en 10 ml de cloroformo. Añadir con una pipeta 10 ml de la solución Hanus (o Wijs) y dejar reposar exactamente 30 minutos en la oscuridad agitando ocasionalmente (el exceso de yodo debe ser mayor o igual al 60% de la cantidad añadida).
- Añadir 5 ml de solución de KI al 15%, agitar vigorosamente y añadir 100 ml de agua recién hervida y enfriada, lavando cualquier cantidad de yodo libre de la tapa.
- Titular el yodo con tiosulfato 0,1 N añadiéndolo gradualmente, con agitación constante, hasta que el color amarillo de la solución casi desaparezca.
- Añadir 1 ml del indicador. Continuar la titulación hasta que el color azul desaparezca completamente.
- Hacia el fin de la titulación, tapar el erlenmeyer y agitar vigorosamente de manera que todo el yodo remanente en la capa de cloroformo pase a la capa de yoduro de potasio.
- Correr un blanco con la muestra.

## CÁLCULOS

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{(V_B - V_M) * N * 12,67}{\text{peso de la muestra}}$$

$V_B$ = El número de mililitros de tiosulfato 0,1 N requeridos por el blanco.

$V_M$ = El número de mililitros de tiosulfato 0,1 N requeridos por la muestra.

$N$ = Concentración del tiosulfato utilizado. (33)

## ANEXO 39: ANÁLISIS DE GRASA POR EL MÉTODO SOXHLET

### OBJETIVO:

- Determinar la concentración de la materia grasa cruda presente en las semillas.

### FUNDAMENTO

Una cantidad previamente homogeneizada y seca, medida o pesada del alimento se somete a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por soxhlet.

### MATERIALES

- Sistema extractor Soxhlet
- Balanza analítica
- Papel filtro o dedal de celulosa
- Baño María

- Estufa
- Tamiz de malla de 1 mm

### **REACTIVOS**

- Éter etílico P.E. 40-60°C
- Éter de petróleo P.E. 40-60°C

### **PROCEDIMIENTO**

- En muestras con mucha humedad homogeneizar y secar a 103+ °C en la estufa considerando el tipo de muestra.
- Moler y pasar por tamiz de malla de 1 mm
- Pesar en duplicado 2 a 5 gramos de muestra preparada en el dedal de extracción o papel filtro previamente pesado y tapado con algodón desgrasado. Registrar el peso de la muestra (m)
- Secar el matraz de extracción por 30 min a 103+ 2°C.
- Pesar el matraz de extracción Registrar el peso de la muestra (m1)
- Poner el matraz de extracción en el sistema soxhlet el dedal en el tubo de extracción y adicionar el solvente al matraz.
- Extraer la muestra con el solvente por 6 a 8 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/seg.

- Una vez terminada la extracción eliminar el solvente por evaporación en baño María bajo campana. Hasta que no se detecte olor a éter.
- Secar el matraz con la grasa en estufa a 103+ 2°C por 10 min, enfriar en desecados y pesar. Registrar el peso (m2).

### **CÁLCULOS**

$$\% \text{ grasa cruda} = \frac{m2 - m1}{m} \times 100$$

#### **Donde:**

**m** = peso de la muestra

**m1** = tara del matraz solo

**m2** = peso matraz con grasa. (34)

### **ANEXO 40: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA TORTA DEL PRENSADO MEDIANTE HEXANO**

#### **OBJETIVO:**

- Extraer aceite de la torta del prensado con la utilización de hexano

## **FUNDAMENTO**

Las prensas expeller pueden dejar un remanente de aceite en la torta de hasta el 8%, el cual es muy difícil de retirar usando solamente la fuerza de expresión de la prensa. Para aumentar el rendimiento en aceite y rebajar el contenido de este en las tortas es necesario extraerlo mediante el uso de un solvente adecuado. Para este fin se ha venido usando el método de extracción con hexano, como alternativo a la extracción por prensado.

Por medio de este proceso logramos optimizar la extracción aumentando el rendimiento en aceite y bajando el costo de producción unitario.

## **MATERIALES**

- Balón de 250 ml
- Balanza Analítica
- Refrigerante
- Mangueras
- Soporte Universal
- Termómetro
- Reverbero
- Pinza Universal
- Torta del Prensado

## **REACTIVOS**

- Hexano

## **PROCEDIMIENTO**

- Pesar 30 g de la muestra de la torta del prensado en un balón de 250 ml
- Añadir 40 ml de hexano
- Adaptar el equipo refrigerante en posición de reflujo
- Conectar las mangueras al refrigerante, permitir la circulación de agua dentro del mismo
- Iniciar el reflujo de la muestra y el hexano agitando manualmente con un calentamiento suave hasta llegar a la temperatura de reflujo del hexano (p. eb hexano=69°C)
- Mantener estas condiciones por 15 min.
- Dejar enfriar y filtrar la torta del prensado y lavar con 10 ml de hexano
- Reservar el extracto hexánico resultante para la posterior recuperación del aceite(35)

## **ANEXO 41: RECUPERACIÓN DEL ACEITE**

### **MATERIALES**

- Balón de 250 ml
- Probeta

- Refrigerante
- Mangueras
- Soporte Universal
- Reverbero
- Pinza Universal
- Extracto hexánico

### **REACTIVOS**

- Hexano

### **PROCEDIMIENTO**

- Trasvasar el extracto hexánico al balón de 250 ml
- Adaptar el refrigerante en posición de destilación
- Conectar las mangueras al refrigerante y permitir la circulación de agua dentro del mismo
- Iniciar la destilación del extracto hexánico para separar el disolvente del aceite de la torta del prensado
- Pesar y medir el aceite que queda como residuo en el balón (35)

## **ANEXO 42: OBTECIÓN DEL BIODIESEL**

### **OBJETIVO:**

- Obtener biodiesel a partir del aceite de higuera y colza por transesterificación

### **FUNDAMENTO**

La transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

### **MATERIALES**

- Reverbero
- Termómetro
- Vaso de precipitación
- Probeta
- Embudo de separación

### **REACTIVOS**

- Muestra de aceite de higuera y de colza
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Metanol 99%
- Agua destilada

## **PROCEDIMIENTO**

- Medir la cantidad de la muestra de aceite a utilizar
- Colocar el aceite en un vaso de precipitación
- Calentar los aceites a 70°C en el reverbero a baño maría.
- Preparar el Metóxido de Sodio mezclando el NaOH con el Metanol. (Al ser estas sustancias tóxicas no se deben respirar bajo ningún concepto)
- Mezclar el Metóxido de sodio y el aceite agitando de forma vigorosa
- Agitar la mezcla anterior de forma vigorosa por 1 hora.
- Dejar que la mezcla repose durante 12 horas
- Separar las dos fases con la ayuda de un embudo de separación
- Dejar que la glicerina se deposite en el fondo del embudo de separación.
- Lavar el biodiesel utilizando agua destilada aplicando en forma de lluvia, agitamos con el fin de eliminar cualquier resto de glicerina u otras impurezas
- Dejamos que el agua añadida anteriormente se asiente en el fondo del embudo de separación para su posterior eliminación (36)

## **ANEXO 43: GRAVEDAD API**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la gravedad API del biodiesel por el método hidrométrico

## **FUNDAMENTO**

Es una medida de densidad que describe cuán pesado o liviano es el aceite comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en ésta.

## **MATERIALES**

- Hidrómetro
- Frasco para recolección de muestra
- Probeta de 50 ml
- Termómetro

## **PROCEDIMIENTO**

- Colocar 50 ml de la muestra de aceite en el frasco de recolección bien etiquetado
- Colocar el hidrómetro y dejar que flote libremente
- Anotar la densidad API que indica la escala del hidrómetro
- Introducir el termómetro en la probeta
- Anotar la temperatura (37)

## **ANEXO 44: PUNTO DE EBULLICIÓN**

### **OBJETIVO:**

- Determinar el punto de ebullición de cada muestra de biodiesel.

## **FUNDAMENTO**

Cuando un compuesto líquido se deposita en un recipiente abierto, se calienta y se produce un progresivo aumento de la presión de vapor de dicho líquido; al prolongar su calentamiento llega un momento en el cual la presión de vapor del líquido se hace igual a la presión atmosférica. La temperatura a la cual se produce este equilibrio de presiones se constituye en el **punto de ebullición** de este líquido. El punto de ebullición de un líquido depende de la presión exterior y es mayor entre mayor sea dicha presión.

## **MATERIALES**

- Soporte metálico
- Pinzas
- Tapón de Caucho Perforado
- Termómetro
- Malla de Calentamiento (o Placa )
- Aro Metálico
- Mechero
- Núcleos de Ebullición
- Balón de Fondo Plano de 250 ml

## **SUSTANCIAS**

- 20 ml de muestra de biodiesel

## **PROCEDIMIENTO**

- Deposite 20 ml de líquido en un balón de fondo plano de 250 ml
- Introduzca algunos núcleos de ebullición para regular la misma y evitar proyecciones bruscas de líquido.
- Tape el balón con un tapón de caucho atravesado con un termómetro (**no presione el tapón, solo dejarlo descansar sobre la boca del balón**)
- Coloque el conjunto anterior sobre un aro o trípode y sujetar al soporte con una llave o pinza.
- Caliente suavemente a una temperatura moderada hasta conseguir que el líquido entre en ebullición, y la temperatura en el termómetro ya no suba es decir se mantenga estable, en este momento leer la temperatura en el termómetro, este será el punto de ebullición del líquido. (38) (39)

## **ANEXO 45: ÍNDICE DE CETANO**

### **OBJETIVO:**

- Determinar el índice de cetano del biodiesel.

### **FUNDAMENTO**

El número de cetano, contrariamente al número de octano, es un índice que se utiliza para caracterizar la volatilidad y facilidad de inflamación de los combustibles utilizados en los motores Diesel.

## PROCEDIMIENTO

- Obtener el valor de la °API corregido de cada muestra
- Obtener el valor del punto de ebullición (P.E) corregido de cada muestra
- Calcular el Índice de Cetano (I.C) utilizando el nanograma o la fórmula

## CÁLCULOS

$$I.C = 0,49083 + 1,06577(X) - 0,0010552(X)^2$$

$$X = 97,833(\log P.E. ^\circ F)^2 + 2,208(^{\circ}API)(\log P.E. ^\circ F) + 0,01247(^{\circ}API)^2 \\ - 423,51(\log P.E. ^\circ F) - 4,7808(^{\circ}API) + 419,59$$

**Donde:**

**I.C** = Índice de Cetano

**P.E. °F** = Punto de Ebullición en grados Fahrenheit

**°API** = grados API (39)

## ANEXO 46: PUNTO DE INFLAMACIÓN

### OBJETIVO:

- Determinar el punto de inflamación del biodiesel mediante la copa cerrada  
PENSKY MARTENS

## **FUNDAMENTO**

Es la temperatura a la que debe calentarse el combustible, para que desprenda suficiente vapor y forme una mezcla inflamable con el aire, después de exponerlo a una llama.

## **MATERIALES**

- Equipo para copa cerrada PENSKY MARTENS
- Termómetro

## **SUSTANCIAS**

- Biodiesel

## **PROCEDIMIENTO**

- Se coloca la muestra en la copa hasta en enrase
- Colocar la copa en el equipo y calentar el recipiente
- Regular la llama a una altura de 4 mm.
- Cada dos grados centígrados poner en contacto la mecha con ayuda del mecanismo de la copa hasta escuchar la detonación
- Anotar los resultados

## **CÁLCULOS**

**Ecuación de corrección:**

$$P.Ic = P.I + 0,03(760 - P)$$

**Donde:**

**P.Ic** = Punto de Inflamación Corregido

**P.I** = Punto de Inflamación Observado

**P** = Presión Barométrica en mm Hg (40)

## **ANEXO 47: DENSIDAD RELATIVA**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la densidad relativa por medio de un picnómetro

### **FUNDAMENTO**

La densidad relativa es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. La densidad relativa es adimensional (sin unidades), ya que queda definida como el cociente de dos densidades.

### **MATERIALES**

- Picnómetro
- Balanza Analítica
- Piceta con agua
- Recipiente con la muestra de biodiesel

### **PROCEDIMIENTO**

- Limpiar y secar el picnómetro
- Pesar el picnómetro seco

- Colocar agua en el picnómetro utilizando la piceta y pesar
- Retirar el agua y secar el picnómetro
- Colocar la muestra de biodiesel en el picnómetro y pesar

## CÁLCULOS

$$\rho_{25} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

**m**= peso del picnómetro

**m<sub>2</sub>**= peso del picnómetro + muestra de biodiesel

**m<sub>1</sub>**= peso del picnómetro + agua

### Corrección de la Densidad:

$$\rho_e = \rho_{25} - 0,00064(t - 25)$$

**t**= temperatura de la determinación

**$\rho_e$**  = densidad relativa a la temperatura de la prueba

**$\rho_{25}$**  = densidad relativa a 25°C (26) (42)

## **ANEXO 48: VISCOSIDAD**

### **OBJETIVO:**

- Determinar la viscosidad de las muestras de biodiesel a una temperatura determinada.

### **MATERIALES**

- Baño María
- Termómetro
- Viscosímetro de Ostwald.
- Pipeta de 10 ml.
- Cronómetro.
- Vaso de 50 ml
- Muestra de biodiesel de colza e higuera

### **PROCEDIMIENTO**

- Llenar el viscosímetro limpio y seco con 10 ml de la muestra de biodiesel, a través del tubo de mayor diámetro.

- Introducir el viscosímetro en el baño María y esperar unos 5 minutos para que el biodiesel alcance la temperatura de medida (25 °C).
- Succionar biodiesel por encima de la marca superior del viscosímetro (tubo de menor diámetro) y medir a continuación el tiempo de paso del mismo entre las marcas A y B.
- Cuando se termine la serie de medidas con un biodiesel, limpiar el viscosímetro primero con agua y luego con alcohol y por último secar con aire.

## CÁLCULOS

$$\eta = K \rho t$$

**t** = tiempo en que el menisco superior cae de la marca superior del viscosímetro a la inferior (de A a B)

**K** = constante del aparato que debe determinarse por calibración con un líquido de viscosidad conocida (por ejemplo, agua).

**$\rho$**  = densidad de muestra de aceite

**$\eta$**  = viscosidad (27)(42)

## **ANEXO 49: pH**

### **OBJETIVO:**

- Determinar el pH del biodiesel

### **MATERIALES**

- Tiras de pH
- Rangos de pH para verificar su valor

### **SUSTANCIAS**

- Biodiesel

### **PROCEDIMIENTO**

- Sumergir la tira de pH en las muestras de biodiesel
- Verificar el rango de pH obtenido en los valores de la caja de la tira medidora de pH
- Anotar su valor (41)