



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE  
MANABI MANUEL FÉLIX LÓPEZ REPUBLICA DE ECUADOR**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
UNIVERSIDAD DE ORIENTE**

**SANTIAGO DE CUBA-REPÚBLICA DE CUBA**

**PONENCIA: SIMPOSIO 1**

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN IDÓNEA EN LOS  
DIFERENTES PROCESOS DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL  
ACEITE DE HIGUERILLA PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL.**

**AUTOR:**

**Ing. Manuel Ricardo Saltos Giler, Msc.**

**TUTOR:**

**Ing. Ángel Luis Brito Sauvanell, Dr.**

## INTRODUCCIÓN

El estudio investigativo comprende el análisis de la transesterificación del aceite de higuera y poderlo estabilizar en el proceso más idóneo que se puede plantear con diferentes combinaciones por tales motivos se plantea para el segundo objetivo específico el cual cuenta con tres fases de estudio Fase 1.- Determinación de la estabilización de los procesos de transesterificación para la obtención de biocombustible, Fase 2.- Análisis de los procesos de transesterificación realizados con diferentes mezclas, Fase 3.- Evaluación económica de los procesos de transesterificación para la obtención de biocombustible, con estas tres fases de estudio se desarrolla para el proceso de transesterificación equilibrio en la obtención de biodiesel con base del aceite de higuera con diferentes reacciones y combinaciones en la obtención de biodiesel.

Donde Benavides a., Benjumea P. y Pashova V.(2008), establecen que la relación molar metano aceite es de 9:1 y con una concentración de catalizador del 0.8% y a temperatura ambiente con sola la utilización de aceite de higuera, metanol y hidróxido de sodio.

EL cuarto objetivo del Plan del Buen Vivir de la República del Ecuador señala: *Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable.* Ya que la aplicación de las fuentes de energía renovable proveniente de la biomasa se puedan desarrollar sostenible y sustentablemente sin que se afecte a la naturaleza de nuestro país. De ahí la necesidad de impulsar la generación de proyectos de fuentes alternativas con el desarrollo de las tecnologías y de las áreas como un potencial.

La presente investigación se estableció en 3 Fases en la cual se describe: **Fase 1.- Determinación de la estabilización de los procesos de transesterificación para la obtención de biocombustible.** Se determina la estabilización del proceso de transesterificación a partir del aceite de higuera, con mezclas de alcoholes de etanol, metanol, y reactivos químicos como el Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Hidróxido de Potasio (KOH) para la obtención de biodiesel. **Fase 2.- Análisis de los procesos de transesterificación realizados con diferentes mezclas.** Se analizan, en laboratorio, los diversos tipos de biodiesel producidos en los procesos de transesterificación, con diferentes mezclas de las reacciones químicas. **Fase 3.- Evaluación económica de los procesos de transesterificación para la obtención de biocombustible.** Se realiza un análisis económico de cada proceso de transesterificación en la obtención del biocombustible evaluando económicamente los diferentes procesos para la obtención de biodiesel.

El agotamiento de los combustibles fósiles líquidos, su alto costo en el mercado internacional y las consideraciones ambientales respecto a la contaminación por dióxido de carbono y otros gases contaminantes genera una preocupación social

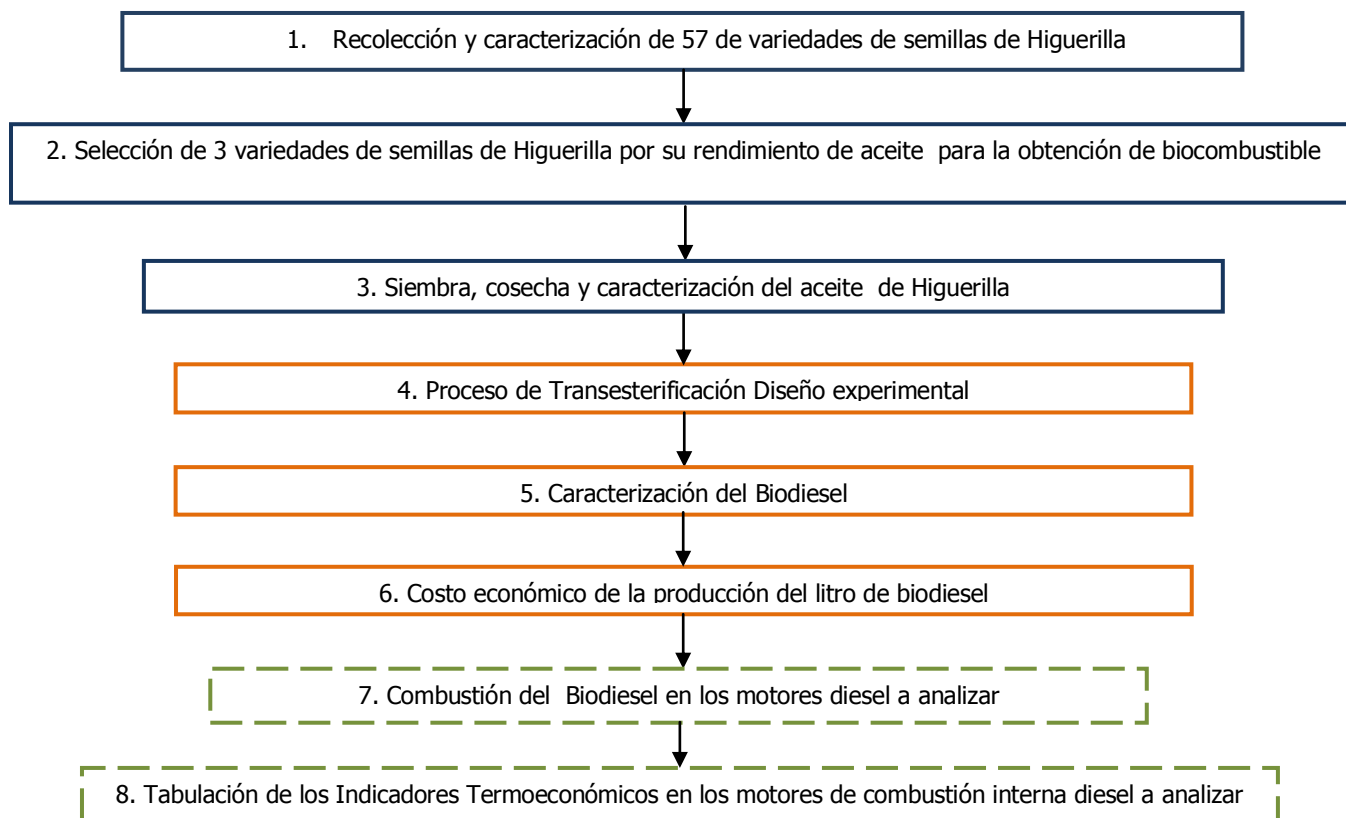
que conduce a la búsqueda del estudio de especies proveedoras de combustibles alternativos como la *HIGUERILLA (Ricinus communis L)*, además como nueva política Energética Ecuatoriana para el desarrollo de métodos y soluciones en el área de las energías alternativas la cual constituye el centro de atención de este trabajo de tesis.

Los países a nivel mundial y el Ecuador están desarrollando las tecnologías de fuentes de energías renovables la cual se observa en las biomásas como un gran potencial energético y especialmente en los biocombustibles obtenidos en los productos agrícolas no comestibles y estos estén asociados a los productos agrícolas comestibles en la no afectación de la seguridad alimentaria. Ecuador estableció de las METAS del Plan del Buen Vivir encontramos en el artículo 4.3.3. alcanzar el 6% de participación de energías alternativas en el total de la capacidad instalada hasta el 2013 y la utilización de un 5% de los biocombustibles como Política de Estado, además la disminución de los gases de efecto invernadero, es por tales motivos que se está desarrollando la investigación de la utilización del aceite de higuera como base del proceso de transesterificación para la obtención de biocombustible y la utilización en la mezcla diesel-biodiesel para los motores de combustión interna, por lo cual establecemos los indicadores termoeconómicos de este biocombustible.

## **DESARROLLO**

En el diseño metodológico establecido para el estudio de investigación se han realizado tres etapas, la primera consistió desde la caracterización de la semilla hasta la caracterización del aceite, en esta parte el diseño consiste en la determinación de la estabilización del proceso de transesterificación con un solo tipo de aceite, dos tipos de alcoholes desde la relación molar 5:1 hasta 12:1 o desde 9 a 20% del volumen del aceite y dos reactivos diferentes en dependencia de relación desde 0,8 a 1,5% del volumen total del aceite, con temperatura variables en 29, 45 y 65 °C., para la obtención del biocombustible, después de haber obtenido el producto con varias mezclas de las se analizarán en laboratorio cada una de las muestras y se analizará económicamente los procesos, el mejor de este se procesará para la producción y realizar la combustión del mismo en el cual se obtendrán los indicadores termoeconómicos de la investigación deseada, esto se detalla en la gráfica 1:

## Gráfico 01 Diagrama del procedimiento experimental en la obtención de biocombustible



**EXPERIMENTO 1 Estabilización del proceso de Transesterificación con aceite de higuierilla.-** para la realización del experimento 1 está comprendido en tres fases de estudio para la investigación la cual se establece por la gráfica 1.

En los diferentes estudios realizados por Jorge A. Ardila J. y Adriana N. Leon N. (2010), una concentración del catalizador entre 0.3 – 1,5 % en peso de aceite según el tipo de aceite y el contenido de ácidos grasos libres.

Benavides a., Benjumea P. y Pashova V., (2007), establecen que la relación molar metano aceite es de 9:1 y con una concentración de catalizador del 0.8%, a temperatura ambiente, con la utilización de aceite de higuierilla, metanol e hidróxido de sodio.

Montoya, (2008), una concentración del catalizador entre 0.3 – 1 % en peso de aceite según el tipo de aceite y el contenido de ácidos grasos libres.

Del mismo modo, Srivastava y Prasad (2000) así como Fukuda *et al.* (2001), aseguran en “Evaluación integral de la eficiencia económica y ambiental de procesos para la obtención de biodiesel” que la transesterificación básica procede 4000 veces más rápido que cuando se usa la misma cantidad de catalizador ácido Montoya, (2008).

Por tales motivos se toma para el proceso de Transesterificación Diseño experimental como base el aceite de higuierilla y con los estudios ya mencionados parámetros de transesterificación en la cual se tomó en porcentaje

de dos tipos de alcoholes desde la relación molar 5:1 hasta 12:1 o desde 9 a 20% del volumen del aceite como es el Metanol y el Etanol; y dos reactivos diferentes como el Hidróxido de sodio y el Hidróxido de potasio, en dependencia de relación de 0,8 a 1,5% del volumen total del aceite, con tres temperaturas variables en 302.14, 318.15 y 318.15 °K o (29, 45 y 65 °C)., para la obtención del biocombustible, después de haber obtenido el producto con varias mezclas de las se analizaran en laboratorio cada una de las muestras y se analizará económicamente los procesos.

**FASE 1.-** Determinación de la estabilización a partir del aceite de higuierilla con mezclas de alcoholes de etanol, metanol, y reactivos químicos como el Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Hidróxido de Potasio (KOH) para la obtención de biodiesel.

**FACTORES EN ESTUDIO**

**FACTOR A:** Tipos de mezclas (A)

**NIVELES**

**A1:** Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio

**A2:** Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de sodio

**A3:** Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de potasio

**A4:** Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de potasio

Los niveles y el factor de estudio, da como resultado los siguientes tratamientos

**Tabla 1. Niveles de actores de estudio.**

Tratamientos	Tipos de medios de transesterificación
1	Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio
2	Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de sodio
3	Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de potasio
4	Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de potasio

**Fuente:** Saltos Giler, M. (2013)

Para los diferentes factores de estudio que son A1, A2, A3 y A4, en la parte del reactivo químico que se necesita conocer el nivel de pH del aceite antes de comenzar para tener una mejor reacción química y se pueda establecer con mejor precisión la estabilización en el proceso de transesterificación y se tiene a consideración las siguientes cantidades no se entiende, redacta mejor usa comas:

- ❖ Con pH de 6 la cantidad de reactivo es 0,530 kg en  $1 \times 10^{-1} \text{ m}^3$
- ❖ Con pH de 6,5 la cantidad de reactivo es 0,480 kg en  $1 \times 10^{-1} \text{ m}^3$
- ❖ Con PH de 7 la cantidad de reactivo es 0,450 kg en  $1 \times 10^{-1} \text{ m}^3$

Se lo referencia en la tabla 2 y se toma los rangos de estudio para el reactivo:

**Tabla 2. Valores de Hidróxido de sodio para el proceso de transesterificación**

VEGETABLE OIL pH	MIIMUN NaOH/LITRE OF VEGETABLE OIL gr	ADDITIONAL NaOH/LITRE OF VEGETABLE OIL gr	TOTAL NaOH/LITRE OF VEGETABLE OIL gr
7,00	4,00	0,50	4,50
6,50	4,00	0,82	4,82
6,00	4,00	1,32	5,32
5,50	4,00	2,12	6,12
5,00	4,00	3,72	7,72

**Fuente:** Ricardo G. Caristein-abril (2009)

Además, se puede tener en consideración en los ensayos de los procesos de transesterificación en un rango entre 0.6 al 1.5 % del reactivo químico en función del volumen total del aceite a transesterificar, pero se tuvo que observar las condiciones químicas del aceite a tratar para el proceso de transesterificación pero con volúmenes y no con pesos molecular.

**FACTOR DE ESTUDIO A1.-** Determinación de la estabilización a partir del aceite de higuera con mezclas de alcoholes de etanol, metanol, y reactivos químicos como el Hidróxido de Sodio (NaOH) y el Hidróxido de Potasio (KOH) para la obtención de biodiesel en los diferentes procedimientos o técnicas para la estabilización de las mezclas.



**Fotografía 1** Diferentes contenidos de aceite en temperatura en los Factores de estudio



**Fotografía 2** biodiesel obtenido de los diferentes procesos propuestos.

### **ANÁLISIS GENERAL DE LOS DIFERENTES FACTORES DE ESTUDIO REALIZADOS CON DIFERENTES TEMPERATURAS**

De 43 pruebas diferentes de procesos de transesterificación, se obtuvieron 24 validas es decir que se realizaron hasta la obtención del biodiesel, pues 19 de estas pruebas no se concluyeron debido a la saponificación de las sustancias en reacción química y a la formación de goma en los diferentes procesos de

transesterificación realizados a diferentes temperaturas y reacción, por este motivo se tuvieron que realizar pruebas adicionales de reacciones químicas, para poder completar lo establecido en la parte de laboratorio y a continuación se describen las pruebas adicionales realizadas o lo que sea **A1**: Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio, **A2**: Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de sodio, **A3**: Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de Potasio, **A4**: Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de Potasio, en donde las variables dependientes, estuvieron en función del aceite de higuera, la temperatura ambiente a 302.15 °K.

Se observaron pocos problemas en los procesos de transesterificación en los factores de estudio **A1 y A2** con las reacciones químicas, el aceite tiene pocas dificultades en la agitación para la metodología de estos procesos, se tuvo una adecuada homogenización en el agitador magnético de la mezcla que se estaba realizando.

Se trabajó con dos diferentes temperaturas adicionales de 318.15 y 338.15 °K., para tener una mejor fluidez o mezcla adecuada, con los mismos tiempos para cada uno de ellos y se encontró que los todos los tratamiento mejoraron pero con mayor eficiencia los tratamientos **A1 y A2**, mientras que el **A3 y A4** presentaron saponificación dentro del proceso si no tenía cuidado mayor cuidado.

En el transcurso del procedimiento para la obtención de biodiesel se observó adicionalmente que cuando se utiliza el agitador magnético influye negativamente en dos puntos importantes:

En la temperatura 318.15 y 338.15 °K., en los procesos **A3 y A4** cuando se precalentaba la mezcla de la reacción química para tener una mejor disolución del hidróxido tomaba coloración rojiza amarillenta a una temperatura de 333.15 °K, ya que el proceso de transesterificación se realizaba a 318.15 y 338.15 °K.

Además los factores de estudios **A3 y A4**, en el proceso de transesterificación se presentaba el inicio de la saponificación cuando se estaba vertiendo progresivamente la mezcla de metóxido, constantemente esta reacción química en el aceite precalentado y con una agitación en equipo a 750 rpm, se tomaba una coloración amarillenta blanquinosa con mayor densidad de la mezcla del proceso en estos factores de estudio, que se estaba realizando. Para mejorar esta agitación se realizó un movimiento adicional con varilla agitadora hasta que la mezcla que se estaba realizando tomara una mejor homogenización de todo el volumen de la masa en transformación, cuando se equilibraba la temperatura de toda la masa comenzaba a fluir adecuadamente y se terminaba de realizar el proceso establecido.

#### **FACTOR DE ESTUDIO CON UN REACTOR DE BIOCOMBUSTIBLE B1.-**

Las diferentes variables de los factores de estudio anteriormente realizado, con los procesos establecidos, se plantea realizar pruebas con el mejor factor de estudio anteriormente realizado con un reactor de biocombustible (este se encuentra en la Universidad Pontificia de Ibarra), con las especificaciones técnicas como la capacidad del reactor es de  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$  (100 litros), utilizando resistencia de 1500 v., a una corriente alterna de 120 v., como fuente de poder,

a 60 Hz, de frecuencia, con dos bombas para recirculación de la mezcla del reactivo como para la recirculación en el proceso de transesterificación con una potencia de 1 hp., con una presión de diseño de 5 atm., del tanque reactor.

Para realizar el proceso de transesterificación con el factor de estudio **A1**: Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio, para poder tener una comparación de la utilización de las cantidades de las materias primas en el proceso de transesterificación, temperaturas ya determinadas y adicional la presión que es una variable para este proceso en el reactor de biocombustible que se observa en las fotografías 7 y 8.



**Fotografía 3 y 4 Central de Biodiesel con una capacidad de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{-día}$**

### **ANÁLISIS GENERAL DEL PROCESO B1**

Con el análisis del aceite a transesterificar con su base del pH inicial y cuantificar la cantidad exacta de hidróxido de sodio para este equipo diseñado con una data técnica a seguir para este proceso se calculó en un menor porcentaje dicho reactivo en 0,446% y está bajo el rango de las normas.

Donde Montoya, (2008) plantea que la concentración del catalizador puede estar en el rango de 0.3 al 1 % en peso del aceite según su tipo de aceite y el contenido de ácidos grasos libres. Aunque la cantidad de metanol fue el doble del producto de la base establecida que es el 10 % del peso del aceite el cual se estableció en un 20% de este para que la reacción estuviera óptima.

La temperatura de la mezcla en el reactor de metóxido inició en 19 °C hasta 60 °C para establecer la temperatura de mezcla entre la reacción y el aceite con una duración del proceso de transesterificación en función de la elevación de la temperatura desde la mezcla hasta los 90 °C en su punto final. Después del enfriamiento y la centrifugación se obtuvo el biodiesel con menor tiempo de transesterificación y sin utilizar agua para el lavado del biodiesel.

Como el equipo está diseñado para aceite de colza y de girasol para la producción de biodiesel, se tenía preocupación que se saponificara, es decir los 70 litros de toda la mezcla por la presión dentro del reactor que era de 1 atmósfera, esta influiría la velocidad de reacción del proceso y esta lograría saponificarse ya que habían utilizado otros aceites como base para la obtención



de biodiesel y se les saponificaba la reacción a los pocos minutos después de mezclarse, sin poder rectificar su mezcla, temperatura y presión dentro del reactor, pero no ocurrió con nuestro aceite y se obtuvo el biodiesel después del proceso realizado.

## **FASE 2 Análisis de los biodiesel obtenidos realizados por los diferentes factores de estudio.-**

En esta fase se analizó en laboratorio los diferentes biodiesel producidos en los procesos de transesterificación con diferentes mezclas ya antes establecidas y además con el proceso en el reactor o central de biodiesel.

### **NIVELES DE FACTOR DE ESTUDIO**

**A1:** Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio

**A2:** Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de sodio

**A3:** Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de potasio

**A4:** Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de potasio

En esta fase también se analizó el aceite teniendo como dependencia el tiempo de almacenamiento, en la utilización de este fluido en el futuro para el proceso de transesterificación, donde se realizó para cuatro factores de estudio en diferentes procesos y estos son los resultados establecidos:

### **ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS PARA LOS TRATAMIENTOS.-**

El análisis del aceite en diferente tiempo para el uso del proceso de transesterificación se determinan diferentes parámetros en los cuales podemos observar claramente en cada uno de ellos: para las muestras de aceite **1,2,3,4** con el **pH** tiene una tendencia hacia a la parte ácida con el transcurrir el tiempo de almacenamiento como se indica en la tabla 13, estos tienen que tomar algunos factores en consideración al almacenaje, como temperatura del sitio con variaciones de las mismas según las condiciones climáticas, tanque de almacenamiento, de que material se ha construido.

**La Densidad** se encuentra casi en los mismos parámetros del fluido, **Turbidez** se encuentra en parámetros acordes y no se decantó el aceite para estos procesos, **Viscosidad Cinemática** se realizó spindle no 64 a 50 revoluciones por minutos donde se encuentra en parámetros establecidos, **Calor Total** aunque los valores se encuentran un poco bajos de lo normal son resultados muy óptimos para los procesos, **Grado de Acidez** la acidez está un poco elevada por el tiempo de almacenamiento del aceite es decir desde la extracción hasta la utilización al proceso de transesterificación, donde se puede bajar por medio de tratamiento.

Análisis	Unidad	Aceite de Higuierilla.			
		1	2	3	4
pH		6,40	6,32	6,20	5,80
Turbidez NTU	NTU	1,65	1,66	1,74	1,76
Densidad	(kg/m <sup>3</sup> )	0,97	0,96	0,96	0,97
Viscosidad	cp	1.130,00	1.131,00	1.130,00	1.130,00
Sulfatos SO <sub>4</sub>	PPM	180,00	182,00	185,00	188,00
Nitritos NO <sub>2</sub>	PPM	0,090	0,092	0,092	0,092
Nitratos NO <sub>3</sub>	PPM	12,40	12,08	12,09	12,22
Calor Total	Kcal/kg	8.907,27	8.898,52	8.901,70	8.892,80
Índice de Acidez	%	0,86	0,90	1,10	1,35
Grado de Acidez	%	0,48	0,51	0,54	0,68

Fuente: Salto Giler, M. (2013)

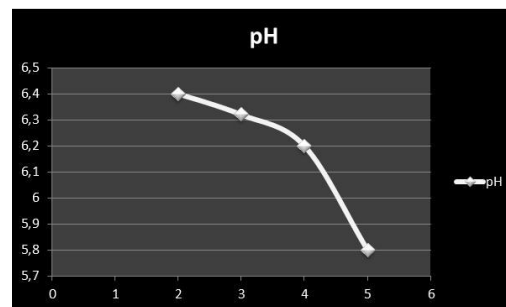


Tabla 3. Análisis de Aceite de Higuierilla para diferentes procesos

Gráfico 1 Curva del pH en los diferentes análisis

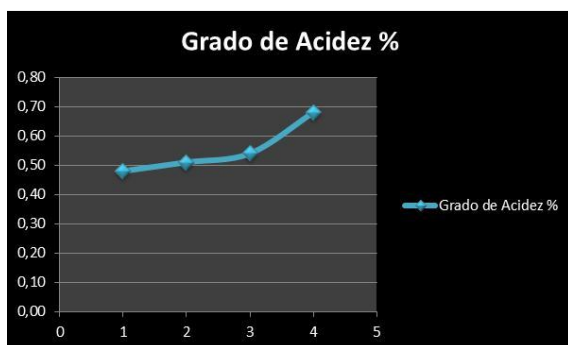


Gráfico 2 Curva del Grado de acidez en los diferentes análisis

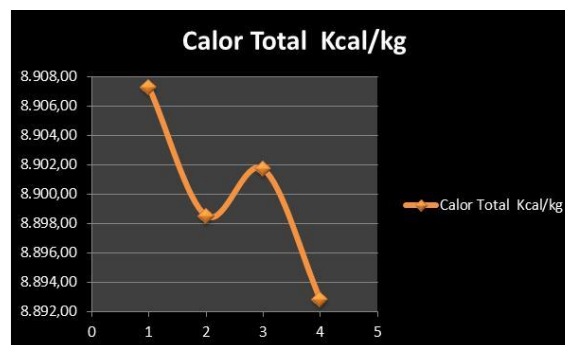


Gráfico 3 Curva del Calor Total en los diferentes análisis

Tabla 4. Análisis del Biodiesel de Higuierilla

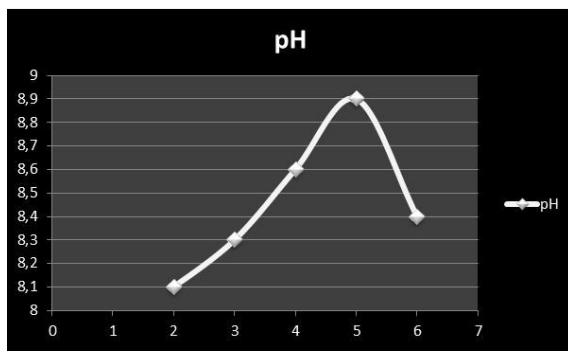
Análisis	Unidad	Biodiesel de Higuierilla.				
		A1	A2	A3	A4	B1
pH		8,10	8,30	8,60	8,90	8,40
Turbidez NTU	NTU	1,98	2,36	2,22	2,25	2,53
Densidad	(kg/m <sup>3</sup> )	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
Viscosidad	cp	55,10	55,70	56,80	58,00	55,20
Sulfatos SO <sub>4</sub>	PPM	171,00	176,00	179,00	180,00	173,00
Nitritos NO <sub>2</sub>	PPM	0,090	0,092	0,092	0,092	0,62
Nitratos NO <sub>3</sub>	PPM	12,40	12,08	12,09	12,22	17,60
Calor Total	Kcal/kg	8.560,30	8.498,73	8.450,70	8.413,12	8553,62
Índice de Acidez	%	0,40	0,43	0,48	0,49	0,45
Grado de Acidez	%	0,19	0,24	0,26	0,26	0,23

Fuente: Salto Giler, M. (2013)

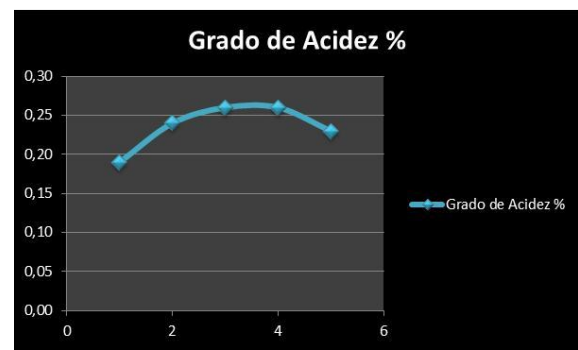
**ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE BIODIESEL DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.-** dentro de los de los análisis del biodiesel obtenido en los diferentes procesos aceite en diferente tiempo para el uso del proceso de transesterificación se determinan diferentes parámetros en los cuales podemos observar claramente en cada uno de ellos: para las muestras A1, A2, A3, A4 y

**B1**, el **pH** tiene una tendencia hacia a la parte alcalina con el transcurrir el tiempo de almacenamiento del biodiesel y este tiene que tomarse algunos factores y además poderlo estabilizar para tener parámetros acordes para poderlos utilizar en la combustión, **La Densidad** se encuentra casi en los mismos parámetros del fluido, **Turbidez** se encuentra en parámetros acordes y a este se tuvo que decantar en las 36 horas a los procesos **A1, A2, A3, A4** y 24 horas para el proceso **B1** para los análisis, **Viscosidad Cinemática** se realizó spline no 64 a 10 revoluciones por minutos donde se encuentra en parámetros establecidos, **Calor Total** aunque los valores se encuentran un poco bajos de lo normal son resultados muy óptimos para los procesos, ya que los tratamientos **A1 y B1** son los de mayor consideración del valor **Grado de Acidez** la acidez está un poco elevada por el tiempo de almacenamiento del aceite es decir desde la extracción hasta la utilización al proceso de transesterificación, pero el proceso **A1** se encuentra un poco mejor en su valor, donde se puede bajar por medio de tratamiento.

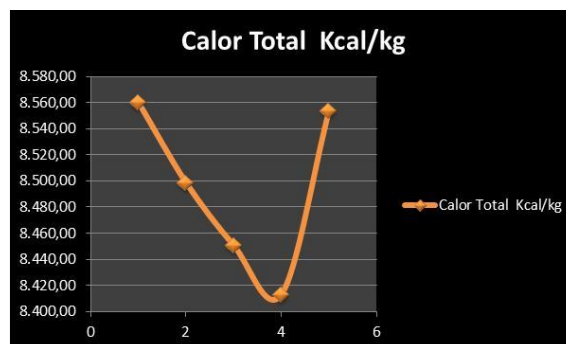
**Gráfico 4 Curva del pH del Biodiesel en los diferentes análisis**



**Gráfico 5 Curva del Grado de acidez del Biodiesel en los diferentes análisis**



**Gráfico 6 Curva del Calor Total del Biodiesel en los diferentes análisis**



#### 2.4.- FASE 3 análisis económicos de los diferentes factores de estudio.-

En la evaluación económica de los diferentes factores de estudio para los procesos de transesterificación para la obtención de biodiesel se obtiene valores de la materia prima con los volúmenes correspondientes para cada uno de ellos.

- a) El Aceite obtenido fue por una selección de semilla, siembra del cultivo, cosecha y extracción de aceite el costo de este proceso se establecido en

0,583/100 dólares americanos por  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup> (litro) de aceite para el proceso de transesterificación.

- b) El coste de cada Kg, de los Hidróxido de sodio y Hidróxido de Potasio para laboratorio al 99,99 % de pureza se encuentra a 29 dólares americanos.
- c) El coste de cada  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup> (litro) de Metanol para laboratorio al 99,99 % de pureza se encuentra a 3 dólares americanos con 42/100.
- d) El coste de cada  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup> (litro) de Metanol es de para laboratorio al 99,99 % de pureza se encuentra a 14 dólares americanos con 81/100.

Con estos valores de inicio de la materia prima para los diferentes procesos de transesterificación.

### **ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.**

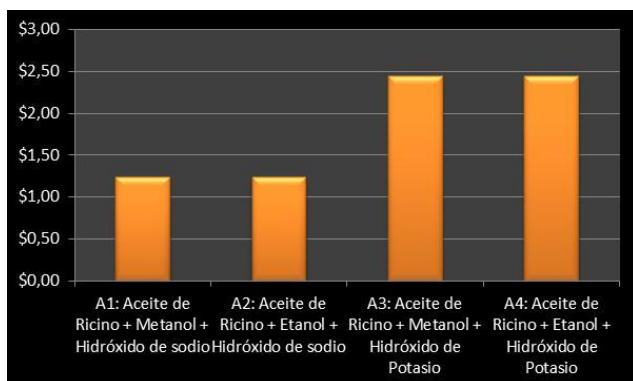
Los diferentes procesos de transesterificación las muestras **A1, A2, A3, A4** se encuentran valores correspondiente para estos aunque los procesos **A1 y A2** son los de menor coste de producción y hay que observar que estos son establecidos en laboratorio y se tiene que tomar en cuenta algunas consideraciones para la implementación de plantas metiléstres con la tecnología adecuada y un proceso de consideración, como se muestra en la tabla 5, con los valores en función del volumen de aceite, volumen de alcohol y peso de los hidróxidos.

**Tabla 5. Costo de Producción para cada proceso**

Procesos	Aceite	Alcohol	Reactivo	Costo Total del proceso*lt.	Costo Total del proceso*Gl.
<b>A1:</b> Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio	\$0,583	\$0,34	\$0,319	<b>\$1,24</b>	<b>\$4,71</b>
<b>A2:</b> Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de sodio	\$0,583	\$0,34	\$0,319	<b>\$1,24</b>	<b>\$4,71</b>
<b>A3:</b> Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de Potasio	\$0,583	\$1,48	\$0,377	<b>\$2,44</b>	<b>\$9,24</b>
<b>A4:</b> Aceite de Ricino + Etanol + Hidróxido de Potasio	\$0,583	\$1,48	\$0,377	<b>\$2,44</b>	<b>\$9,24</b>

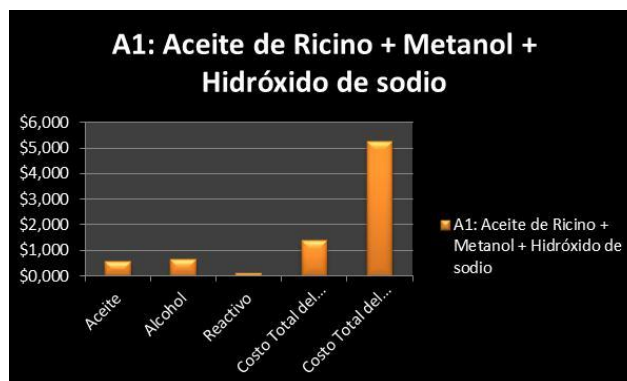
**Fuente:** Saltos Giler, M. (2013)

**Gráfico 7 Tabla de costo de los diferentes procesos**



Fuente: Saltos Giler, M. (2013)

**Gráfico 8 Tabla de costo de los diferentes procesos**



Fuente: Saltos Giler, M. (2013)

## EVALUACIÓN ECONOMICA POR MEDIO DEL REACTOR

**Tabla 6. Costo de Producción del reactor**

Procesos	Aceite	Alcohol	Reactivo	Costo Total del proceso*lt.	Costo Total del proceso*Gl.
<b>A1:</b> Aceite de Ricino + Metanol + Hidróxido de sodio	\$0,583	\$0,69	\$0,128	\$1,40	\$5,29

Fuente: Saltos Giler, M. (2013)

## CONCLUSIONES

1. Después de haber realizado 43 pruebas de transesterificación, de ellas 24 válidas se concluye que los procesos A1 y A2 son los mejores en rendimiento para la transesterificación, con sus respectivas mezclas en los volúmenes y temperaturas establecidas u obtenidas.
2. En los procesos A3 y A4 se tuvo que tener en cuenta que el proceso sea de mayor cuidado con sus reacciones en la mezcla del proceso de transesterificación y además el tiempo adicional de 85 minutos que los procesos A1 y A2.
3. El costo de producción de los procesos A1 y A2 fue de 1 dólar con 24/100 por litro en laboratorio, con un valor considerable en la producción cuál valor, ya que se podrá mejorar en grandes producciones de biocombustible.
4. El costo de producción de los procesos A3 y A4 es un poca más alta que los procesos A1y A2, con una diferencia de 1 dólar con 20/100 por litro.
5. Para el proceso B1 se puede considerar muy atractivo por su data técnica en producción, pero el costo de producción es un poco más alto, por la utilización de mayor de metanol en la relación de volumen y menor cantidad de hidróxido de sodio sin utilizar el lavado.

6. Para el mejor factor de estudio A1, el proceso de transesterificación la variable en función de la temperatura se tomó en tres puntos 302.14, 318.15 y 318.15 °K o (29, 45 y 65 °C), con el mejor proceso de 318.15 °K
7. Para el mejor factor de estudio A1, el proceso de transesterificación la variable en función de la relación aceite metanol fue de 10 % del volumen total.
8. Para el mejor factor de estudio A1, el proceso de transesterificación la variable en función de la reacción aceite hidróxido de sodio fue de 1,1 % del volumen total.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Andaluza de la Energía. 2009. Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción. (En línea). EC. Consultado, 14 de May. 2013. Formato PDF. Disponible en <http://www.agenciaandaluzadelaenergia>.
2. ASTM International publica nuevas especificaciones sobre el biodiesel 07 de noviembre de 2008. [www.astmbiodieselfuel.com](http://www.astmbiodieselfuel.com).
3. J. W. Goodrum. "Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oils and tallow". Biomasa Bioenergy. <http://www.biodiesel.com>, <http://aspen.jyu.fi/~kokaol/leonardo/rtz/rme-1.html> (Manual sobre biodiesel).
4. Arango M., A. P. et al: La higuierilla como alternativa de sombrero de zonas bajas. 1990. Tesis. Armenia. Universidad del Quindío. Tecnología Agropecuaria. 71 p.
5. Benabides, A. Benjumea, P. Pashova, V. 2007. Redalyc. El biodiésel de aceite de higuierilla como combustible alternativo para motores diésel. Col. Revista Dyna (Universidad Nacional de Colombia). Vol 74. P 141-150
6. Cardona, Carlos Ariel. Biodiesel de Higuierilla: Una alternativa de desarrollo rural. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2007. 75 p.
7. Colciencias. Eventos de ciencia y tecnología: boletín. [En línea] [www.colciencias.com](http://www.colciencias.com) [Consultado el 20 enero de 2009]
8. Colombia. ministerio de agricultura y ganadería. Aspectos técnicos sobre 45 cultivos agrícolas de Costa Rica. San José de Costa Rica: Dirección general de investigación y extensión agrícola. 1991.
9. Corpoica. Agro: Energía más allá de los biocombustibles. Medellín: Primer congreso del cultivo, procesamiento y aplicación de la Higuierilla. Abril de 200. Avances en investigación sobre higuierilla como alternativa energética e industrial. [En línea]. [http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Noticias/vernoticia.asp?id\\_noticia=863](http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Noticias/vernoticia.asp?id_noticia=863) . [Consultado el 02 de Febrero 2009].
10. Delgado S., Federico: Extracción y refinación de aceite de Higuierilla, Tesis de grado. 2003.
11. Flores, A. Rojas, A. 2009. Redalyc. Efecto de la proporción de mezclas biodiésel/petrodiésel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. Col. Revista de Ingeniería y Competitividad. Vol 11. P 63-78
12. Figeroa, Alberto: El Árbol milagroso que sirve para todo: la Higuierilla. Palmira-Valle . Universidad Nacional de Colombia, 2003.

13. García, J y García J. 2006. Biocarburantes líquidos: Biodiesel y bioetanol. (En línea). EC. Consultado, 14 de May. 2013. Formato PDF. Disponible en <http://www.madrimasd.org>
14. Giraldo, Víctor Manuel: Control de plagas y enfermedades de las plantas. Recopilación. 1999
15. Higueroil de colombia. Cultivo de la Higuera. [En Línea]. <http://www.karisma.org.co/Fresno/socializacionPG/docreferencia/biocombustibles/Documento%20Higuera.doc>. [Consultado el 10 de Octubre de 2008]
16. Lizana, D. 2008. Antecedentes generales sobre biodiesel. (En línea). Ec. Consultado, 28 de may. 2013. Formato PDF. Disponible en [http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/Antecedentes\\_Biodiesel\\_D.pdf](http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/Antecedentes_Biodiesel_D.pdf)
17. Palomino, A; Bocanegra, C; Lopez, J; Flores, Luz. 2009. Biodiesel a partir de aceite de higuera utilizando lipasa inmovilizada Ingeniería y Competitividad. Col. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol 12. P10
18. Rodríguez, R; Sierens, R; Verhelst, S; Ferrer, N. 2008. Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel. (En línea). CU. Consultado, 29 de may. 2013. Formato PDF. Disponible en [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-11/3-2008/06\\_2008\\_03\\_33\\_38.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-11/3-2008/06_2008_03_33_38.pdf)