

Obtención de biodiesel a partir de jaboncillo proveniente de la producción de aceite vegetal de soya

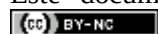
Biodiesel obtaining from soapstock derived from soybean oil refining industry

Rafael Sánchez Perdomo^{1,*}

¹Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.

*Correspondencia: renia@tesla.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Resumen

El biodiesel es uno de los combustibles alternativos más utilizados como sustituto del diesel. El mismo puede obtenerse a partir de aceites vegetales, grasa animal, algas y fuentes ricas en ácidos grasos. A partir del proceso de refinación de aceites vegetales se obtiene como subproducto el jaboncillo; el mismo es uno de los candidatos más prometedores para la producción del biodiesel debido a su colección fácil y a su bajo costo. Este residuo tiene un elevado contenido de ácidos grasos libres por lo que constituye una fuente contaminante al medio ambiente. El objetivo del presente trabajo es obtener biodiesel a partir de jaboncillo como vía de tratamiento a dicho residuo. Para ello se desarrollaron tres etapas, separación de aceite ácido, esterificación y transesterificación. El rendimiento de la primera etapa fue de 35,47%. Se aplicó un diseño factorial 2^2 en la etapa de esterificación para conocer la influencia de parámetros de operación en la reducción del grado de acidez. La relación molar (alcohol:aceite) y concentración de catalizador influyeron significativamente en la variable respuesta (grado de acidez) para los niveles estudiados. La mayor reducción del grado de acidez se logró para un 5% de ácido sulfúrico y una relación molar 105:1. Posterior a la reacción de transesterificación se alcanzó un rendimiento de biodiesel de 35,4% respecto a la masa de jaboncillo inicial.

Palabras clave: biodiesel, jaboncillo, esterificación, transesterificación

Abstract

Biodiesel is one of the most used biofuels as substitution of diesel. It can be obtained from vegetable oils, animal fats, algae and sources rich in fatty acids. From the vegetable oil refining process, soapstock is one of the byproducts obtained, which is a good candidate to be converted in a useful biodiesel source due to its easy sampling and low cost. This byproduct is reach in free fatty acids and it is a potential hazard to the environment. The scope of this work is to obtain biodiesel form soapstock. For this, three step of the research were developed, separation of the acid oil, esterification and transesterification. The first step yield was 35.47%. A factorial design of experiments 2^2 for the esterification step was developed. The molar ratio (alcohol:oil) and catalyst concentration significantly influenced on the response factor (acidity). The highest reduction in acidity was obtained for 5% of sulfuric acid and a molar ratio of 105:1. After the transesterification reaction, a biodiesel yield of 35.4% was obtained.

Keywords: biodiesel, soapstock, esterification, transesterification

1. Introducción

La principal fuente de contaminación de ríos, bahías, lagunas y acuíferos es el vertido incontrolado de residuales, los cuales proceden en su mayoría del sector industrial [1]. El consumo de hidrocarburos tanto en las industrias como en los vehículos, produce una variedad de efectos nocivos para el medio ambiente, tanto local como global. Dicho consumo contribuye a las emisiones netas de dióxido de carbono, principal gas responsable del llamado efecto invernadero. La mayor parte de los automóviles utilizan combustibles no renovables como, el combustible diesel y la gasolina, ya que tardaron millones de años en formarse y una vez que son quemados no se pueden recuperar.

La sustitución de los combustibles denominados fósiles o tradicionales derivados del petróleo, por otros de origen vegetal, cobra una gran importancia en la actualidad por varias razones como; el hecho de provenir de una fuente renovable, ser un instrumento de lucha contra el deterioro medioambiental, además de un factor de desarrollo de la agricultura e industrias derivadas. La creciente demanda de combustibles fósiles (petróleo y carbón) y su futuro agotamiento ha creado la necesidad de encontrar sustitutos renovables de estos combustibles, y como alternativas se han realizado investigaciones encaminadas al empleo de los aceites vegetales.

Los aceites vegetales están compuestos principalmente por triglicéridos (TG) y numerosos compuestos no comestibles que deben ser eliminados mediante un proceso de refinación para que puedan ser consumidos. A partir de este proceso se obtienen algunos subproductos de bajo valor comercial que de no ser usados en beneficio de la actividad industrial, pueden resultar perjudiciales para el medio ambiente [2-4]. Sin embargo, debido a su composición pueden ser utilizados en la industria de los biocombustibles. Numerosos estudios están encaminados al empleo del jaboncillo obtenido en la etapa de neutralización del proceso de refinación química como materia prima para la producción de biodiesel [5]. Este subproducto se acidifica para obtener aceite ácido [5] para luego ser transformado en ésteres metílicos o etílicos (biodiesel) mediante reacciones químicas de esterificación y transesterificación. Este proceso es una alternativa de solución para el daño que ocasiona desde el punto de vista medioambiental el vertimiento de este residual; es un residual extremadamente riesgoso que en algunos contextos e industrias se desecha sin ningún tratamiento previo que cumpla con las normas de vertimientos.

Para resolver el problema medioambiental que provoca el vertimiento de este residual, se pretende dar valor de uso desde el punto de vista energético. Esto pudiera ser beneficioso para las propias instalaciones industriales y de servicios que lo generan. Mediante este trabajo se propone una solución para el tratamiento del jaboncillo proveniente de la refinación de aceites vegetales mediante su conversión a biodiesel.

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló con jaboncillo proveniente de una planta de producción de aceite vegetal de soya. Esta sustancia es un subproducto de la etapa de refinación del aceite de soya. Su elevado contenido de ácidos grasos libres (otra característica) lo convierten en un desecho altamente contaminante. Se conoce a partir de reportes en la literatura [6] que el jaboncillo es una fuente rica en ácidos grasos. Por esta razón es posible realizar un tratamiento de varias etapas que permita transformar

dichos ácidos a ésteres. De esta manera se reduce la carga contaminante que posee este producto y se dispone de una mezcla de ésteres con un potencial energético apreciable.

El tratamiento se divide en tres etapas tal y como se reporta por [7, 8]. Las etapas son:

1. Separación del aceite ácido del jaboncillo
2. Esterificación de los ácidos grasos libres presentes en el aceite ácido
3. Transesterificación de los triglicéridos presentes en el aceite ácido

La etapa de obtención del aceite ácido a partir del jaboncillo se realiza para eliminar cualquier tipo de material no deseado que pueda presentar el residuo. El proceso de esterificación se realiza mediante catálisis ácida para eliminar los ácidos grasos libres. La transesterificación se realiza mediante catálisis alcalina con relativa rapidez. En este proceso los aceites orgánicos son combinados con un alcohol de bajo peso molecular y en presencia del catalizador para obtener ésteres metílicos y glicerina como subproducto [9].

Equipamiento y Reactivos

A continuación, se detallan las principales características y propiedades de los equipos y los reactivos que se emplean en la investigación.

Agitador magnético: El agitador magnético es del modelo IKA® RH Basic 1, con una frecuencia de 50/60 Hz; este se emplea para separar el aceite ácido del jaboncillo, preparar la disolución de hidróxido de sodio (NaOH) y el metanol (MeOH). También se utiliza en la reacción de esterificación y transesterificación.

Reactor: Se emplea erlenmeyer de 250 mL para propiciar las reacciones asociadas a cada etapa.

Centrífuga: La centrífuga (High Speed Centrifuge), de modelo Neofuge 15 tiene una velocidad máxima de 16 000 rpm. Se utiliza en la etapa de extracción del aceite ácido del jaboncillo.

Balanza analítica digital: La balanza analítica Sartorius modelo BS 124S utilizada tiene un peso máximo de 120 g, posee una precisión de 0,1 mg. La misma se utiliza para pesar las cantidades exactas de catalizador en la transesterificación (NaOH).

Balanza digital: La balanza digital Sartorius modelo BSA 2201 con un peso máximo de 2 200 g y una precisión de $\pm 0,1$ g, se emplea para pesar las cantidades exactas de la materia prima principal. Es decir, cantidades de jaboncillo, necesarios para llevar a cabo el experimento.

Plancha de calentamiento: La plancha de calentamiento de modelo IKA C-MAG HP 10, utilizada para la etapa de secado de las muestras.

La lista de reactivos necesarios, algunas de sus propiedades y su utilización se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades y utilización de los reactivos

Reactivos	Características	Utilidad
Metanol	pureza $\geq 99,5\%$	Se utiliza para la esterificación y la transesterificación
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	Se encuentra en estado líquido con un 95-97% de pureza	Se utiliza para la acidulación del jaboncillo y como catalizador en la esterificación
Hidróxido de sodio (NaOH)	Se encuentra en forma de perlas con un 95% de pureza	Se utiliza como catalizador en la reacción de transesterificación
Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$)	pureza de 99,95%	Se utiliza como indicador en la determinación del índice de acidez
Etanol	pureza de 95%	Se utiliza como disolvente en la determinación del índice de acidez
Éter dietílico ($(C_2H_5)_2O$)	95% de pureza	Se utiliza como disolvente en la determinación del índice de acidez

Se pesan 100 g de jaboncillo en un vaso de precipitado, se adiciona 60 g de agua destilada y se agita a 25°C. Posteriormente se va adicionando muestras de 1 mL de una disolución de H_2SO_4 al 20% hasta que la mezcla se separe en dos fases. La capa superior es una fase rica en lípidos y la inferior es una fase acuosa que incluye sustancias solubles y cantidades pequeñas de lípidos.

La fase acuosa se desecha y la rica en lípidos se trasvasa a unos viales plásticos de 250 mL para centrifugar. El centrifugado se lleva a cabo a una temperatura de 25°C con una velocidad de 3 000 rpm durante 7 minutos. Con la centrifugación se separan tres fases. La superior es el aceite ácido, la intermedia es una emulsión que contiene lípidos, sales y agua y la inferior en general contiene agua con sales.

En el reactor, con agitación, se mezcla el aceite ácido con metanol y ácido sulfúrico. Se mantiene en agitación durante 2 horas, a 60°C. El producto esterificado, posteriormente se pone a reposar en un embudo decantador, donde luego de 24 horas existe una separación de fases, siendo la fase superior la de interés.

Esterificación

Esta etapa es muy importante pues se pretende disminuir la presencia de los ácidos grasos libres que predominan en el aceite ácido y de esta manera garantizar que en la etapa posterior (transesterificación) se logre un mayor rendimiento de ésteres. Para los experimentos se fijan las siguientes variables: Relación molar (cantidad de metanol/aceite ácido) y la concentración de catalizador. Para la selección de estos valores se tiene en cuenta los reportes en la literatura [10].

Determinación de los niveles para la Relación molar y la concentración de catalizador

Las variables de operación seleccionada fueron: Relación molar y Concentración de catalizador. La variable de respuesta es el contenido de ácidos grasos libres (Grado de acidez). Se trabajaron estas dos variables (factores) de operación a dos niveles cada una, obteniéndose un diseño factorial 22 con una réplica para un total de 8 experimentos. A continuación, en tablas 2 y 3 se muestran las condiciones del diseño factorial.

Tabla 2. Niveles de variación de los factores

Variables	Niveles	
Variables codificadas	-1	+1
Relación molar	35:1	49:1
Concentración de catalizador (%)	5	10

Tabla 3. Condiciones de reacción del diseño factorial

Exp.	Relación molar (metanol: aceite ácido)	Cantidad de catalizador (%)
1	35:1	5
2	35:1	10
3	49:1	5
4	49:1	10
5	35:1	5
6	35:1	10
7	49:1	5
8	49:1	10

La etapa posterior es la transesterificación. En esta etapa se trata el producto esterificado con una cantidad de MeOH por mol de triglicéridos presentes. En este se disuelve además 1% de NaOH respecto al peso del aceite ácido esterificado. Se mantiene en agitación a 60°C durante un tiempo de 1,3 h. Posteriormente, el producto obtenido se deja reposar en un embudo decantador, donde luego de 24 horas se separa la fase glicerina de la fase de ésteres metílicos de ácidos grasos. Para eliminar impurezas de la fase ésteres metílicos se realiza un lavado por aspersión, empleando agua a 50°C. Por último, se seca esta fase.

Como el objetivo principal de este trabajo es obtener biodiesel a partir de jaboncillo procedente del proceso de refinación de aceite de soya, lo recomendable es determinar el rendimiento conociendo qué parte del jaboncillo se transformó en ésteres metílicos de ácidos grasos.

3. Resultados y Discusión

El jaboncillo que se utiliza en el trabajo contiene una elevada cantidad de ácidos grasos libres. Por esta razón se convierte en un residuo perjudicial para el medioambiente, siendo necesaria su transformación previa a su disposición final. Una alternativa atractiva resulta la conversión a ésteres metílicos, disminuyéndose así su carga contaminante y generando un portador energético.

Separación del aceite ácido del jaboncillo

El jaboncillo tiene un contenido de agua de aproximadamente un 50% [11], por lo que se hace necesario extraer el contenido lipídico (aceite ácido) existente en la muestra. En la Tabla 4 se muestran los resultados que se alcanzan durante el proceso de obtención del aceite ácido a partir del jaboncillo.

Tabla 4. Obtención de aceite ácido a partir del jaboncillo

Muestras	1	2	3	4
Jaboncillo (g)	101,6	101,7	100,6	100,1
H₂O (g)	60,7	60,9	60,2	60,6
H₂SO₄ (mL)	25,0	25,0	30,0	30,0
Aceite ácido (g)	17,5	22,6	17	14,6
Rendimiento (%)	34,45	44,44	33,80	29,20

Para corroborar los resultados obtenidos, se llevan a cabo cuatro experimentos. Se parte de 100 g de jaboncillo para desarrollar el proceso; sin embargo, teniendo en cuenta que según la literatura consultada

el jaboncillo presenta un contenido de agua alrededor del 50%, la masa inicial de cada muestra se reduce a 50 g aproximadamente. El rendimiento de aceite ácido después de la centrifugación varía entre 29,20 y 44,44%, reportando un rendimiento de $35,47\% \pm 6,42$. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Zhong-Ming Wang [8] quien desarrolló estudios bajo condiciones experimentales similares y alcanza rendimientos que varían entre 46 y 47%.

Las determinaciones del índice y el grado de acidez se muestran en la Tabla 5. El ácido graso que predomina en el aceite ácido es el linoleico [12, 13]; por esta razón el grado de acidez se estima en función de ese ácido. Se aprecia que existe una cantidad elevada de ácidos grasos libres. El valor promedio del grado de acidez de las muestras de aceite ácido es $64,08\% \pm 2,28$. Este valor es superior al reportado por Haas [12] de 55,6%. Sin embargo, otros autores reportan valores más bajos como Zhong-Ming Wang [8] 35%. El uso de este residual directamente es perjudicial, debido a la relación directa entre acidez y corrosión en los equipos. De esta manera se demuestra la necesidad de esterificar el aceite ácido con la finalidad de disminuir los ácidos grasos libres hasta valores inferiores al 3%. Este es un requerimiento de gran importancia que permite prevenir posibles afectaciones en el rendimiento de la reacción de transesterificación (reacción donde se obtiene el portador energético).

Tabla 5. Índice de acidez

Muestra	Índice de acidez (mg NaOH/g de aceite)	Grado de acidez (% ácido linoleico)
1	90,19	63,23
2	95,08	66,66
3	88,91	62,34
Valor promedio	$91,39 \pm 3,25$	$64,08 \pm 2,28$

Reacción de esterificación

El primer experimento se realiza con 5% de ácido sulfúrico y una relación molar metanol/aceite 7:1, acorde a experiencias establecidas para destilados de ácidos grasos [5,7,12-15]. Los resultados que se obtienen no son satisfactorios lográndose que el grado de acidez se reduzca solo en un 12%. Para conocer la influencia de factores como: Concentración de catalizador y Relación molar en la reducción del Grado de acidez (variable respuesta) se desarrolla un diseño de experimentos 2^2 con una réplica. La Tabla 6 muestra la matriz ortogonal del diseño.

Tabla 6. Matriz ortogonal del diseño

	Factores		Variable Respuesta
	Relación molar	Concentración de catalizador (%)	Grado de acidez (%)
1	1	1	15,70
2	-1	-1	11,66
3	1	-1	10,15
4	-1	1	24,90
5	1	1	15,45
6	1	-1	10,30
7	-1	-1	11,50
8	-1	1	25,20

Se obtienen en todos los casos reducciones del grado de acidez. Los valores están entre 10,15 y 25,20%, tal y como se muestra en la matriz ortogonal del diseño de experimentos para valores codificados de los factores.

El procesamiento del diseño de experimentos permite analizar el comportamiento del Grado de acidez ante la variación de los factores seleccionados. El modelo codificado que se obtiene se muestra a continuación en la ecuación (1).

$$GA = 15,6075 - 5,415A + 9,41B - 4,06AB \quad (1)$$

Donde:

GA: Grado de acidez (%)

A: Relación molar

B: Concentración de catalizador (%)

AB: Interacción entre la Relación molar y la Concentración de catalizador

Para corroborar el modelo, se analizan las pruebas de bondad de ajuste. Se hace énfasis en las tres posibles de explicar a partir del diseño de experimentos.

1. Coeficiente de determinación R^2
2. Significación estadística de los coeficientes del modelo
3. Análisis de los residuos

El estadígrafo R-Cuadrado (R^2) indica que el modelo, así ajustado, explica 99,96% de la variabilidad en el Grado de acidez. Los efectos se analizan a partir del diseño, donde se ha particionado la variabilidad del grado de acidez para cada uno de los mismos. De esta manera se prueba la significación estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. La Tabla 7 muestra el análisis de varianza.

Tabla 7. Análisis de varianza para el Grado de acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Relación molar	58,6444	1	58,6444	1757,58	0,0000
B:Concentración de catalizador	177,096	1	177,096	5307,58	0,0000
AB	32,9672	1	32,9672	988,03	0,0001
Error total	0,1001	3	0,0333667		

En este caso, los factores Relación molar, Concentración de catalizador y la interacción entre ambos tienen un Valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%. Estos factores para los niveles establecidos en el estudio inciden de manera significativa en la variable respuesta. El diagrama de Pareto (Figura 1) concuerda y expone tal comportamiento.

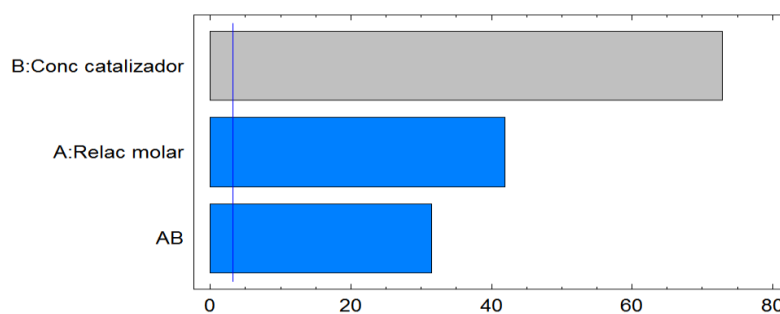


Fig.1 Diagrama de Pareto

A partir del análisis de varianza para la variable respuesta Grado de acidez se obtiene el valor del coeficiente de Durbin-Watson. Este estadígrafo permite comprobar si existe independencia de los errores (este es uno de los requerimientos para la aplicación del método de los mínimos cuadrados). El estado deseado es un valor en el entorno de 2 y esto ocurre cuando la probabilidad es mayor que 0,05; en el diseño tiene un valor de 1,4867 asociado a una probabilidad (Valor-P=0,1107). De esta manera se puede afirmar que no existe correlación alguna en los errores.

Después de analizar las tres pruebas de bondad de ajuste del modelo se procede a obtener la ecuación (2) que lo representa.

$$GA = 15,6075 - 2,7075A + 4,705B - 2,03AB \quad (2)$$

Donde:

GA: Grado de acidez (%)

A: Relación molar

B: Concentración de catalizador (%)

AB: Interacción entre la Relación molar y la Concentración de catalizador

Se reporta además el mejor valor del diseño en términos de minimizar el Grado de acidez. Esta condición está asociada a: la mayor Relación molar y menor Concentración de catalizador. A partir del gráfico de superficie respuesta (Figura 2) se observa la región donde se encuentra el mejor valor.

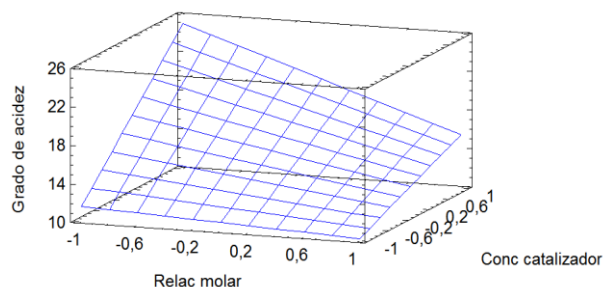


Fig.2 Superficie respuesta para variable Grado de acidez

Se debe resaltar que en el intervalo de estudio de los niveles asociados a cada factor se ha obtenido una tendencia lineal decreciente de la variable respuesta hacia el mejor valor. Sin embargo, este resultado puede ser interpretado como punto de partida para extender estos niveles con el objetivo de obtener mejores resultados. Por todo lo antes expuesto se demuestra de manera estadística que con la Relación molar (49:1) y 5% de catalizador, se obtienen valores más bajos del Grado de acidez. Este resultado también se puede apreciar en la Figura 3, donde se analiza la influencia de cada efecto en la variable respuesta.

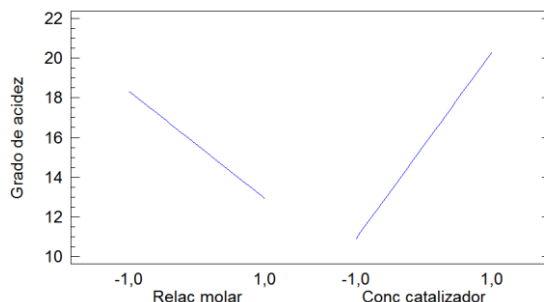


Fig.3. Influencia de cada factor en la variable respuesta

Para las condiciones estudiadas en el diseño de experimentos no se logra una reducción adecuada del contenido de ácidos grasos libres lo que constituye una limitación ante la necesidad de realizar la

transesterificación para obtener un producto final menos agresivo al medioambiente y con un valor energético considerable. Meisam [16] reporta varias investigaciones donde se logra una reducción considerable del grado de acidez durante la esterificación de aceite ácido (proveniente de jaboncillo de aceite de soya) (ver Tabla 8).

Tabla 8. Reducción del Grado de acidez

Concentración de catalizador (%)	Relación molar	T (°C)	Tiempo (h)	AGL inicial	AGL final
2	24:1	60	1,5	45,51	1,2
20	35:1	40	1	53	1,2
2	12:1	60	1	38	4,8
1	9:1	60	1	13,7	2,3
2	16:1	60	2	11	0,6

Se debe tener en cuenta que posterior a la primera etapa de tratamiento del jaboncillo (separación del aceite ácido) solo se mide el contenido de ácidos grasos libres (grado de acidez). Sin embargo, no se puede determinar en el laboratorio qué contenido de agua y ácido sulfúrico contiene el aceite ácido. La presencia de estas sustancias puede afectar el proceso de esterificación cuando se incrementa la concentración del catalizador (ácido sulfúrico).

Transesterificación

La reacción de transesterificación se desarrolla para la muestra en la que se logra una reducción del grado de acidez a 4,65. La fase superior se corresponde con la fase que contiene los ésteres. En la parte inferior se encuentra la glicerina. Sin embargo, en ambas fases existe presencia de catalizador, metanol y pequeñas cantidades de jabón (este último debido a los ácidos grasos libres). Posteriormente la fase ésteres se somete a un lavado por aspersión con agua a 50°C hasta que se logra un pH igual a siete para eliminar las impurezas. Para terminar, se seca la muestra eliminando así restos de humedad remanentes de la etapa de lavado. El porcentaje de transformación es de 35,40%, bajo en comparación a lo reportado en la literatura que oscilan entre 94 y 96% [78, 79]. Este es un resultado sobre el cual se puede incidir en la medida que cada una de las etapas sea estudiada con mayor profundidad. De esta manera se pueden definir los mejores valores para los parámetros de operación. Sin embargo, queda demostrado que es posible obtener biodiesel como vía de tratamiento para el jaboncillo proveniente de la refinación del aceite vegetal.

Caracterización del biodiesel

Actualmente existen dos normas internacionales que rigen las características de calidad del biodiesel. La ASTM (*American Society of Testing and Materials*) es una de las organizaciones voluntarias de estándares más grande del mundo. Esta establece estándares para materiales, productos, sistemas y servicios. Las especificaciones son para mezcla B100 (biodiesel puro). También existen los estándares

Europeos que describen los requerimientos para FAME (ésteres de metanol). Estas especificaciones fueron hechas por el CEN (Comité Europeo de Normalización).

El resultado de la viscosidad para el biodiesel es de $0,79 \text{ mm}^2/\text{s}$ (determinado por la NC ASTM D445: 2009). Según las normas este valor se encuentra por debajo del límite inferior de ambas normas. La viscosidad del biodiesel que se obtiene generalmente se encuentra comprendida en los intervalos que se reportan en las normas. Por esta razón los valores que se encuentren fuera de lo especificado no son adecuados. Sin embargo, ante las dos posibilidades de estar fuera de los límites (por encima y por debajo), lo que menos afecta es lo segundo que precisamente se corresponde con los resultados de la presente investigación. Cuando se emplea en el motor de combustión interna un biocombustible cuyo valor de viscosidad está fuera de norma, entonces el sistema de atomización se ve afectado (se modifican todos los parámetros). El fabricante ha diseñado dicho sistema para inyectar combustible en determinada cantidad, durante un tiempo y bajo cierto régimen de trabajo. Estas afectaciones inciden directamente en el proceso de combustión específicamente en el tiempo de retardo de la ignición. El retardo de la ignición se define como el tiempo transcurrido, desde el comienzo de la inyección hasta el comienzo de la combustión.

El tiempo de retardo de la ignición tiene una componente química y una física. La componente química depende del número de cetano (mide la disposición del combustible a autoinflamarse cuando se inyecta en el motor). El biodiesel tiene un número de cetano mayor que el diesel (justificado a partir de la estructura química del biocombustible). Mientras mayor sea el número de cetano menor es el tiempo de retardo de la ignición o sea el combustible comienza a autoinflamarse más rápido. Para el caso de la componente física que está relacionada con la viscosidad, se conoce que al modificarse los parámetros en la inyección como consecuencia de la atomización de un combustible menos viscoso, la combustión se retrasa. Este efecto es el que permite explicar que en este caso se presenta un efecto de compensación, debido a que el tiempo de retardo de la ignición cuando se usa biodiesel debe ser más corto, pero al atomizar el portador con la viscosidad baja se incrementa dicho tiempo. En esencia ambos fenómenos se contraponen y se espera que el tiempo de retardo de la ignición sea muy parecido al del diesel. Por esta razón es posible utilizar el biodiesel sin que se produzcan alteraciones acentuadas en el proceso de combustión. No obstante, se puede tomar como criterio utilizar el biodiesel que se obtiene mezclado con diesel. [9,17-20]

4. Conclusiones

El biodiesel es uno de los combustibles alternativos más utilizados como sustituto del diesel. El mismo puede obtenerse a partir de aceites vegetales, grasa animal, algas y fuentes ricas en ácidos grasos. A partir del proceso de refinación de aceites vegetales se obtiene como subproducto el jaboncillo; el mismo es uno de los candidatos más prometedores para la producción del biodiesel debido a su colección fácil y a su bajo costo. Este residuo tiene un elevado contenido de ácidos grasos libres por lo que constituye una fuente contaminante al medio ambiente. El objetivo del presente trabajo es obtener biodiesel a partir de jaboncillo como vía de tratamiento a dicho residuo. Para ello se desarrollaron tres etapas, separación de aceite ácido, esterificación y transesterificación. El rendimiento de la primera etapa fue de 35,47%. Se aplicó un diseño factorial 22 en la etapa de esterificación para conocer la influencia de parámetros de operación en la reducción del grado de acidez. La relación molar (alcohol:aceite) y concentración de catalizador influyeron significativamente en la variable respuesta (grado de acidez) para los niveles estudiados. La mayor reducción del grado de acidez se logró para un

5% de ácido sulfúrico y una relación molar 105:1. Posterior a la reacción de transesterificación se alcanzó un rendimiento de biodiesel de 35,4% respecto a la masa de jaboncillo inicial.

Referencias

1. Abalos, A., et al., *Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL*. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 2007. **38**(3): p. 220-223.
2. Cristina, I., Cuéllar, M., *Productos derivados de la industria de la palma de aceite. Usos*. Palmas, 1997. **18**(1): p. 33-48.
3. Fan, X., Burton, R., *Recent Development of Biodiesel Feedstocks and the Applications of Glicerol: a Review*. The Open Fuels & Energy Science, 2009. **2**: p. 100-9.4.
4. Dumont, M., Narine, S., *Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization*. Food Research International, 2007. **40**: p. 957-974.
5. Piloto-Rodríguez, R., Melo, E.A., Goyos, L., Verhelst, S., *Conversion of by-products from the vegetable oil industry into biodiesel and its use in internal combustion engines: a review*. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2014. **31**(2): p. 287-301.
6. García, L., et al., *Oleins as a source of estolides for biolubricant applications*. Grasas y Aceites, 2010. **61**(2): p. 171-174.
7. Pereda, J., Barriga, F., Álvarez, P., *Aprovechamiento de las oleinas residuales procedentes del proceso de refinado de los aceites vegetales comestibles, para la fabricación de biodiesel*. Grasas y Aceites, 2003. **54**(2): p. 130-137.
8. Wang, Z., et al., *Novel biodiesel production technology from soybean soapstock*. Korean J. Chem. Eng, 2007. **24**(6): p. 1027-1030.
9. Colectivo de Autores, *Biocombustibles para su uso en motores diesel*, 2014. Ed. IDICT: La Habana. ISBN: 978-959-234-095-4
10. Tabatabaei, M., et al., *Recent trends in biodiesel production*. Biofuel Research Journal, 2015. **7**: p. 258-267.
11. Park, J., et al., *Production of biodiesel from soapstock using an ion-exchange resin catalyst*. Korean J. Chem. Eng, 2008. **25**(6): p. 1350-1354.
12. Haas, M., *Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock*. Fuel Processing Technology, 2005: p. 1087-1096.
13. Dumont, M., Narine, S., *Characterization of soapstock and deodorizer distillates of vegetable oils using gas chromatography*. Lipid Technology, 2008. **20**(6): p. 136-138.
14. Piloto-Rodríguez, R., Melo, E.A., Tobío, I., Goyos, L., Verhelst, S., *By-products from the vegetable oil industry as a feasible source for biofuels production and pollution reduction*. Renewable Energy & Power Quality Journal, 2014. **10**(12): p. 1-6.
15. Melo, E.A., Piloto-Rodríguez, R., Tobío, I., Goyos, L., Verhelst, S., *Performance of a single cylinder diesel engine fueled with emulsified residual oleins and standard diesel fuel*. Renewable Energy & Power Quality Journal, 2014. **10**(12): p. 1-6.
16. Tabatabaei, M., et al., *Recent trends in biodiesel production*. Biofuel Research Journal, 2015. **7**: p. 258-267.
17. Piloto-Rodríguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., *Ignition delay in a palm oil and rapeseed oil fuelled engine and predictive correlations for the ignition delay period*. Fuel, 2011. **90**: p. 766-772.

18. Piloto-Rodriguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., *Investigation on biodiesel obtained from different feedstocks: chemical analysis and engine performance*, 2011. 13th Automotive Congress, EAEC 2011.
19. Piloto-Rodríguez, R., Ortiz-Alvarez, M., Suárez-Hernández, J., Tobío-Pérez, I., Melo-Espinosa, E.A., Díaz, Y., Sotolongo, J.A., *Data on combustion chamber measurements of a diesel engine fuelled with biodiesel of Jatropha curcas and fatty acid distillates*. Data in Brief, 2020. 31: 105799.
20. Piloto, R., *Determinación de la influencia en el funcionamiento de motores diesel del uso de biodiesel*, 2010. ISBN: 978-90-8578-362-6.