

OBTENCION DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DOMESTICO RESIDUALIvet V. Falcón Ramírez¹, Tania E. Guerrero Vejarano²

Recepción: 23 de febrero de 2018

Aceptado: 30 de mayo de 2018

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por objeto la obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual; el cual fue recolectado de diversas fuentes y realizándole un pretratamiento, posteriormente se determinó el índice de acidez obteniendo como resultado 0.3976 mg de NaOH/g de aceite; a ello se aplicó la ecuación establecida (1), con el fin de determinar la cantidad de catalizador necesaria para la reacción, siendo ésta 0.3861 g de NaOH por 100 mL de aceite doméstico residual. Así, se procedió a evaluar cada tratamiento empleándose diferentes cantidades de metanol (20, 30, 40, 50 y 60 mL) y temperaturas diferentes (45, 55 y 65°C). Posterior a ello, se realizó un proceso de reacción denominado *transesterificación* para cada tratamiento por un tiempo de dos horas obteniéndose biodiesel, para luego pasar un proceso de lavado y secado. De los resultados se pudo concluir que, la temperatura óptima para un mayor rendimiento de biodiesel se encuentra en un rango de 45°C a 65°C, la cantidad óptima de metanol necesaria es de 40 mL, con un rendimiento de 79.4 %. Asimismo, el tratamiento 8 obtuvo la combinación más eficiente entre los factores temperatura y metanol, el mismo que fue evaluado a 55° C y 40 mL de metanol, obteniéndose un rendimiento de 86 %. Finalmente, cabe precisar que a todos los tratamientos se les realizó pruebas de calidad, tales como pH, densidad y viscosidad.

Palabras Clave: transesterificación, biodiesel.

Abstract

The present research aimed to produce biodiesel from waste cooking oil, which was collected from various sources and realizing it a pretreatment, later we determined the acid index resulting in 0.3976 mg of NaOH/g oil, it was applied to the equation (1), to determine the amount of catalyst needed for the reaction, this being 0.3861 g NaOH in 100 mL of domestic residual oil. Thus were assessed each treatment being used amounts of methanol (20, 30, 40, 50 and 60 mL) and different temperatures (45, 55 and 65°C). Following this, there was a process called transesterification for a time of two hours yielding biodiesel, and then go through a process of washing and drying. From the results it can be deduced that the optimum temperature for performance of biodiesel is in a range from 45° C to 65° C, the optimal amount of methanol required is 40 mL, with a yield of 79.4%. Likewise, treatment 8 won the most efficient combination between temperature and methanol, the same was evaluated at 55° C and 40 mL of methanol to give a yield of 86%. Finally, it should be noted that all treatments were tested quality, tested such as pH, density and viscosity.

Keywords: transesterification, biodiesel.

1 Ingeniero Ambiental, Ministerio de Energía y Minas. falvira@hotmail.com. Cel. 951611982.

2 Doctora en Ingeniería Química. Docente del Departamento Académico de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria de la Selva. tania.guerrero@unas.edu.pe. Cel. 962965107.

Introducción

El uso de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero vienen creando serios problemas de contaminación en nuestro ecosistema aéreo; siendo así, que en los últimos años esta situación ha empeorado debido al incremento del parque automotor abastecido por diésel a nivel mundial, afectando nuestro ambiente y la salud de las personas. Así mismo, la disminución de las reservas mundiales de petróleo y el incremento de diferentes problemas ambientales relacionados con el uso de este tipo de combustibles, ha incentivado la búsqueda de nuevas fuentes de energía provenientes de materias primas renovables, como el biodiesel, que es obtenido a partir de aceites vegetales o de grasas de animales, mediante un proceso de transesterificación, donde el aceite reacciona con un alcohol en un medio catalizado, produciendo éster etílico o metílico, recibiendo finalmente el nombre de biodiesel. Estas moléculas resultantes están compuestas por un ácido graso de cadena larga y un alcohol (2). Por otro lado; un problema ambiental es la contaminación del agua por aceites domésticos, que son vertidos directamente al sistema de alcantarillado sin un previo tratamiento, llegando a cuerpos naturales de agua, formando una película superficial que afecta el intercambio de oxígeno y produce altos niveles de contaminación. Ante esta problemática, en el presente trabajo de investigación se plantea obtener biodiesel a partir de aceite doméstico residual, con el fin de aminorar problemas ambientales mediante el uso de estos aceites, como la reducción de la contaminación de las aguas, reducción de emisiones de anhídrido carbónico aproximadamente en un 80% y casi 100% de dióxido de azufre. Por lo expuesto se plantea como objetivo obtener biodiesel a partir de aceite doméstico residual y asimismo caracterizarlo.

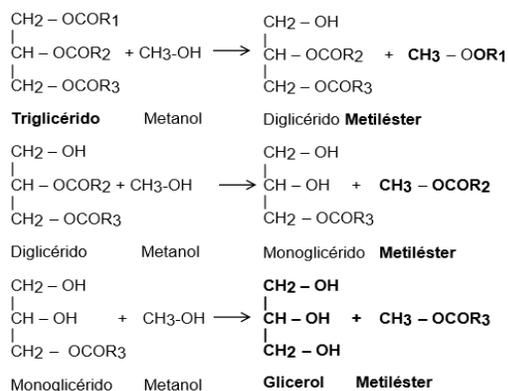


Figura 1.
Reacción global de la transesterificación

Materiales y métodos

Materiales y reactivos: Se utilizó material de uso común de laboratorio y así mismo Agitador Magnético, Balanza Analítica SARTORIOUS, Estufa MERMONT, Baño María, embudos de decantación, Peachimetro.

Metodología

Recolección del aceite doméstico residual: El aceite doméstico residual que se empleó en el desarrollo del presente trabajo de investigación provino de domicilios, pollerías y comedor universitario de la Universidad Nacional Agraria de la selva; siendo recolectados en distintos recipientes y posteriormente mezclados para poder continuar con el pretratamiento.

Pre tratamiento del aceite doméstico residual: El pretratamiento que se realizó al aceite doméstico residual, consistió en hacer reposar el aceite por un período aproximado de una semana, para poder así decantar en la base del envase todas las impurezas sólidas de mayor peso, se filtró con un tamiz de 50 micras para retener las impurezas aún existentes, posteriormente calentándose a una temperatura aproximada de 145°C, hasta que se eliminó toda cantidad existente de agua.

Determinación del índice de acidez del “aceite doméstico residual” Se preparó una solución etanólica (96°) de hidróxido de sodio (NaOH) de 0.1 N para su valoración. En un matraz se añadió 5g de aceite doméstico residual, Seguidamente se disolvió en un matraz, 50 mL de la solución alcohol-éter, previamente con fenolftaleína al 1%. Continuación a esto se añadió 5mL de solución fenolftaleína al 1%, continuamente se realizó la valoración con la solución alcali utilizado (NaOH 0.1 N). La fórmula utilizada para determinar el índice de acidez, se detalla: (3)

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

Donde:

V = Volumen en mililitros de solución de álcali utilizado

N = Normalidad de la solución de NaOH

P = Peso en gramos de muestra utilizada

40 = Peso molecular del NaOH

Se realizaron cuatro repeticiones, para obtener un resultado con un menor grado de error.

Determinación de la cantidad de catalizador: La cantidad de catalizador empleado para el proceso

de transesterificación se determinó de acuerdo a la ecuación establecida, el cual se detalla a continuación (1)

$$(IA + 3,5)g \text{ de NaOH} \rightarrow 1L \text{ de aceite}$$

Como la muestra a emplearse en el trabajo de investigación es de 100 mL, se calculó por regla de tres simples la cantidad de catalizador para tal volumen.

$$X = IA + 0,35 \text{ g}$$

$$X = IA + 0,35 \text{ g}$$

$$X = 0,0361 + 0,35 \text{ g}$$

$$X = 0,3861 \text{ g NaOH}$$

Por lo tanto, para neutralizar 100 mL de aceite doméstico residual, se necesitó 0,3861 g de NaOH.

Transesterificación de los ácidos grasos del aceite doméstico residual.

Preparación del metóxido de sodio: Se procedió a colocar el hidróxido sodio en una fiola de 100 mL totalmente seco sin contacto con la humedad ambiental. Posteriormente se agregó 20 mL volumen determinado de metanol de acuerdo a los tratamientos. Se activó el agitador magnético hasta que se disuelva totalmente el hidróxido de sodio, formando el metóxido. Se cubrió totalmente la fiola donde se encuentra el metóxido, para evitar su hidratación con la humedad ambiental y la evaporación del metanol, (4).

Obtención del biodiesel del aceite doméstico residual. En un frasco se calentó 100 mL de aceite doméstico residual sobre una cocina eléctrica en un rango de 50 a 55 °C. Se añadió el metóxido de sodio de acuerdo a cada tratamiento. a) Luego se agitó durante 2 horas, procurando que el medio de reacción se encuentre a una temperatura constante, según el tratamiento. Controlando la temperatura de la cocina, utilizando un termómetro de 0-100°C. Pasando las dos horas se dejó enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se colocó la mezcla en una pera de decantación por un lapso mínimo de 8 horas para su separación respectiva (4).

Separación de biodiesel y glicerina: Pasado el lapso de tiempo, el biodiesel obtenido se encuentra en la parte superior de la pera de decantación, presentando un color similar al aceite crudo, pero con una tonalidad más clara y cristalina que el aceite normal; mientras que la glicerina con otras impurezas se encuentra en la parte inferior con un color marrón oscuro. Se separó las dos fases,

como mencionamos anteriormente, el biodiesel impuro y la glicerina impura (4).

Lavado del biodiesel: De la pera de decantación, se retiró la glicerina quedando el volumen de biodiesel impuro variando para cada tratamiento, se agregó agua destilada en un 40% al volumen de biodiesel obtenido (biodiesel crudo), agitando hasta que no haya liberación de jabones. A esta mezcla se colocó un embudo de separación, dejándose reposar durante un día (primer lavado). Transcurriendo un día se pudo observar en la parte inferior de la pera de decantación una fase acuosa que contiene gran cantidad de impurezas, mostrando un color blanco lechoso. Se repitió este mismo procedimiento del lavado hasta obtener en la parte inferior el agua incolora, indicando que el biodiesel se encuentra sin impurezas. Se realizó tres lavados por cada tratamiento, el primer lavado duro un día de reposo, mientras que el segundo y el tercer lavado se realizó en un tiempo de reposo de 1 hora (4).

Secado de biodiesel: Se calentó a 48°C manteniéndose hasta la evaporación y el secado total del agua, repitiendo el mismo procedimiento para todos los tratamientos.

Prueba de rendimiento de producción de biodiesel: Se determinó el rendimiento de producción del biodiesel por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, para ello se empleó la siguiente fórmula (4).

$$\text{Rendimiento de Biodiesel} = \frac{\text{Volumen de biodiesel} * 100}{\text{Volumen de aceite domestico residual}}$$

Pruebas de calidad: Se realizaron tres pruebas de calidad de (pH, densidad a 27 °C y viscosidad a 40 °C).

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

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

Con la ayuda del programa SAS 9.0; se realizó un análisis de varianza con un diseño factorial completamente al azar (DCA) para determinar si existe diferencia estadística entre los tratamientos, corroborando los resultados del análisis de varianza con la prueba TUKEY para determinar cuál de ellos es el de mayor significancia, lo cual determinará el tratamiento donde se obtendrá el mayor rendimiento del biodiesel.

Tratamientos: Factor temperature: (T1 = 45 °C; T2 = 55 °C ; T3 = 65 °C), Factor cantidad de methanol: a= 20 mL, b=30 mL, c=40 mL, d=50 mL, e= 60 mL.

Resultados

Determinación del índice de acidez. Se determinó el índice de acidez del aceite doméstico residual, realizando 4 repeticiones, donde el volumen de la solución álcali utilizado oscilaba de 0.44mL a 0.5 mL, empleándose 5 gr de la muestra en estudio, con una normalidad de la solución de 0.1 y un peso molecular de 40 (NaOH); desarrollándose para cada muestra y empleando la fórmula que se menciona en la metodología, mostrándose los resultados en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Determinación del índice de acidez del aceite doméstico residual.

Numero de repeticiones	Indice de acidez (mg de NaOH/g de aceite)
1	0.3936
2	0.3965
3	0.3976
4	0.4027
Promedio	0.3976

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para la neutralización de los ácidos grasos libres de 1g de aceite doméstico residual es necesario 0.3976 mg de NaOH.

La temperatura óptima necesaria para obtener mayor rendimiento de biodiesel

Cuadro 2. Prueba TUKEY para el factor temperatura.

Temperatura (°C)	Promedio de Biodiesel (mL)	Rendimiento (%)	Sig.
45	75.7	75.7	a
55	72.8	72.8	a
65	70.9	70.9	A

a, no hay diferencia significativa entre las temperaturas.

En el análisis de varianza realizado, muestra que el factor temperatura no es significativo. Realizando la prueba Tukey para el factor temperatura en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, se puede apreciar que estadísticamente no hay diferencia significativa a las temperaturas que fueron evaluadas (45 °C, 55 °C, 65 °C), presentando promedios de rendimiento de 75.7%; 72.8% y 70.9% respectivamente

Se realizó la prueba Tukey para el factor metanol en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites domésticos residuales, observándose que

Cuadro 3. Cantidad óptima necesario de metanol para obtener mayor rendimiento de biodiesel

Metanol (mL)	Promedio de Biodiesel (mL)	Rendimiento (%)	Sig.
20	73.1	73.1	ba
30	76.0	76.0	ba
40	79.4	79.4	a
50	69.5	69.5	b
60	67.6	67.6	B

a,b, hay diferencia significativa entre las cantidades de metanol empleado. En el análisis de varianza realizado, muestra que el factor metanol es significativo

estadística y experimentalmente hay diferencias significativas entre las cantidades de metanol evaluadas, indicando así que hay una mayor significancia a una cantidad de 40 mL de metanol con un rendimiento de 79.4%, el cual al comparar con las cantidades de 30 mL y 20 mL de metanol hay una menor diferencia significativa, obteniendo un rendimiento de 76.0% y 73.1% respectivamente; por otro lado las diferencias significativas que hay entre 40 mL de metanol con 50 mL y 60 mL son mayores, siendo el rendimiento para éstos 69.5% y 67.6% respectivamente, mencionándose la reacción de conversión fue menor para éstas dos últimas cantidades.

Interacción del factor temperatura y del factor metanol para obtener mayor rendimiento de biodiesel

Cuadro 4. Análisis de varianza del diseño factorial 3A x 5B completamente al azar.

FV	GL	SC	CM	F-valor
Metanol	4	822.09	205.52	4.89 *
Temperatura	2	174.02	87.01	2.07 N.S
M x T	8	1836.40	229.55	5.47 **
Error	30	1259.90	42.00	
Total	44	4092.41	564.08	

CV: 8.9 %. *: Significativo estadísticamente a un 95 % de probabilidad. **: Altamente significativo a un 95 % de probabilidad. N.S.: No significativo estadísticamente a un 95 % de probabilidad.

Se desarrolló la prueba Tukey interaccionando la temperatura con el metanol, dando como resultado que estadísticamente la temperatura no es significativa (N.S) a un 95% de probabilidad, encontrándose por encima de 0.05 (indicando el riesgo aceptable de falla en la prueba Tukey), para el caso del metanol éste si es significativo con un 95 % de probabilidad, al estimar el grado de significancia en la interacción que hubo entre la

Cuadro 5. Prueba TUKEY para la combinación del factor temperatura y metanol.

Trat.	Vol. de aceite (mL)	Factores		Biodies el puro (mL)	Promedio del rendimiento (%)	Orden de mérito	Significancia
		T (°C)	Metanol (mL)				
T1	100	45	20	75	75	8	ab
T2	100	45	30	78.5	78.5	5	ab
T3	100	45	40	81	81	2	a
T4	100	45	50	69	69	12	abc
T5	100	45	60	75	75	7	ab
T6	100	55	20	75.76	75.76	6	ab
T7	100	55	30	69	69	11	abc
T8	100	55	40	86	86	1	a
T9	100	55	50	79	79	4	ab
T10	100	55	60	54	54	15	c
T11	100	65	20	68.5	68.5	13	abc
T12	100	65	30	80.5	80.5	3	a
T13	100	65	40	71.27	71.27	10	abc
T14	100	65	50	60.5	60.5	14	bc
T15	100	65	60	73,87	73,87	9	ab

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

temperatura y metanol, éste resultó altamente significativo a un 95 % de probabilidad.

Pruebas de calidad al biodiesel obtenido a partir del aceite doméstico residual: Al biodiesel obtenido a partir de aceites domésticos residuales, se realizó análisis de pH, densidad y viscosidad a cada tratamiento con sus respectivas repeticiones para determinar si éstas se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma peruana y extranjera, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 6. Pruebas de calidad realizadas al biodiesel a partir del aceite doméstico residual.

TRAT	BIODIESEL PURO (mL)	PROMEDIO DEL RENDIMIENTO (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	pH	VISCOSIDAD (mm ² /s)
T1	75	75	0.866	7.005	4.05
T2	78.5	78.5	0.86	5.820	4.25
T3	81	81	0.86	5.875	3.75
T4	69	69	0.86	6.005	3.60
T5	75	75	0.86	6.493	3.75
T6	75.76	75.76	0.86	7.003	3.65
T7	69	69	0.86	6.535	3.80
T8	86	86	0.86	6.615	3.85
T9	79	79	0.86	7.155	3.90
T10	54	54	0.86	6.470	3.65
T11	68.5	68.5	0.86	6.465	3.60
T12	80.5	80.5	0.86	7.705	3.65
T13	71.26	71.26	0.86	6.088	3.60
T14	60.5	60.5	0.86	6.243	3.55
T15	73.867	73.867	0.86	6.960	3.80

Discusión y conclusiones

En la determinación de índice de acidez (5) hacen referencia que el índice de acidez es la parte más importante del proceso y debe ser lo más exacto posible ya que de ello depende la cantidad de catalizador básico (hidróxido) que ha de utilizarse para el proceso de transesterificación. Así mismo (6) menciona que los aceites crudos y los usados previamente en frituras, comúnmente tienen un contenido de ácidos grasos libres significativamente superior al 2%, en el caso de nuestra muestra en estudio el nivel de ácidos grasos libres fue menor al 2%, indicando que no presenta una alta cantidad de ácidos grasos libres y que no es necesario que el aceite pase un proceso de neutralización previo. En otras investigaciones (7) se determinó el índice de acidez para aceite de soya crudo un valor de 2.22 mg KOH/g aceite y para el refinado un valor de 0.16 mg KOH/g aceite, para aceite de palma crudo obtuvo un valor de 4.13 mg KOH/g aceite y para el refinado 0,27 mg KOH/g aceite; Se reporta un índice de acidez distinto para cada especie como: para el Aguaje siendo de 10 g NaOH/ L aceite, Umari 2.0 g NaOH/ L aceite, lempate 8 g NaOH/ L aceite, Sacha Inchi 6.0 g NaOH/ L aceite, Palmiste 6.5 g NaOH/ L aceite, Castaña 0.6 g NaOH/ L aceite, Girasol 1.7 g NaOH/ L aceite, Soya 1.3 g NaOH/ L aceite, Palma 5.0 g NaOH/ L aceite; (8). Otras investigaciones reportan 4g de NaOH como catalizador en 300 mL de aceite de soya usado. Por lo tanto, al realizar comparaciones de los resultados de ésta investigación con otras, se establece que el índice de acidez va a depender de la cantidad de ácidos grasos libres que se encuentran en el aceite a evaluar, en el caso de la

muestra en estudio, como se mencionaba líneas arriba, éste presenta una baja cantidad de ácidos grasos libres y por ello el índice de acidez es menor en comparación a los resultados de las otras investigaciones (9).

De los resultados obtenidos con respecto a la temperatura óptima para obtener un mayor rendimiento de biodiesel, se puede apreciar en el Cuadro 1, que estadísticamente no hay diferencia significativa a las temperaturas que fueron evaluadas (45°C, 55°C, 65°C); siendo así, que a una temperatura de 45°C hubo un rendimiento de 75.7%, de biodiesel, siendo el mayor de éstas en comparación a T^o de 55°C que tuvo un rendimiento de 72.8% y por último a una T^o de 65°C con un rendimiento de 70.9% de biodiesel, siendo el más bajo. Varios autores mencionan que para lograr una buena reacción en el proceso de transesterificación, se requiere temperaturas que oscilan entre 40 y 60 °C (1, 8, 10,); como la presencia de un catalizador, obtuvo rendimientos para distintas especies en el intervalo de 40-60°C, los cuales fueron por encima del 77% su rendimiento siendo del aceite de palma 87.2% y de soya 95.3% (8). La temperatura que se empleó en el proceso de transesterificación para aceite crudo y refinado de soya y de palma fue de 60°C, obteniendo un rendimiento de 87.8% para aceite de soya crudo y para el refinado un rendimiento de 98.17%, para aceite de palma crudo obtuvo un rendimiento de 85.49 % y para el refinado un rendimiento de 96,8%; por lo tanto, cabe indicar que la temperatura es un factor importante en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, coincidiendo así en esta investigación y en otras realizadas por diferentes profesionales, el cual los más altos rendimientos de biodiesel se obtiene en un rango de temperatura de 40- 60°C (11).

En la determinación de la cantidad óptima necesaria de metanol en el proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites domésticos residuales; en el Cuadro 2 se observa que estadística y experimentalmente hay diferencias significativas entre las cantidades de metanol que fueron evaluadas, indicando así que hay un mayor rendimiento a una cantidad de 40 mL de metanol con un rendimiento de 79.4%, seguido por 30 mL y 20 mL (no presentaron diferencias significativas) con un rendimiento de 76.0% y 73.1% respectivamente, y por último a 50 mL y 60 mL (no presentaron diferencias significativas) con un rendimiento de 69.5% y 67.6% respectivamente, mencionándose que la reacción de conversión fue menor para éstas dos últimas cantidades. Una proporción de 30 mL de metanol para producir biodiesel a partir de aceite residual doméstico, en nuestra investigación ésta cantidad produjo un

rendimiento de similar al de 40 mL de metanol, indicándose que también se pueden emplear estas cantidades para obtener mayores rendimientos (11); Otro reporte empleó para el proceso de transesterificación un 17-18 % de volumen de metanol (8); En un proceso de transesterificación se empleó un 20% en volumen de metanol (95% de pureza) referente al volumen del aceite empleado (8); en este caso al comparar con los dos investigaciones mencionadas, se muestra que a esta cantidad los rendimientos se encuentran por debajo de la cantidad óptima de metanol, presentando estadísticamente una menor diferencia significativa a ello, así mismo se hace referencia que a 20mL y 30 mL de metanol no se encontraron diferencia significativa a estas dos volúmenes de metanol, mostrándose estadísticamente iguales,. La proporciones de 1:8 metanol/aceite se presenta un mayor rendimiento de reacción con un rendimiento de 92.046±0.641% y en la proporción de 1:10 con un porcentaje de rendimiento del 91.310 ±0.712 % indicando que no justifica el mayor gasto de metanol, ya que se disminuye el rendimiento de la reacción, debido a que el exceso de metanol dificulta la separación del glicerol por decantación (12); podemos corroborar con lo mencionado por dicho autor, ya que en nuestra investigación también los resultados indican que a mayores cantidades de metanol (50 mL y 60 mL) va a disminuir el rendimiento de la reacción, como se visualiza en el Cuadro 3, presentando estadísticamente una diferencia significativa mayor en relación a 40 mL de metanol, siendo el que obtuvo un mayor rendimiento.

Se realizó la prueba estadística Tukey a los 15 tratamientos para determinar la influencia que tiene el factor temperatura y cantidad metanol en el proceso de transesterificación para cada tratamiento, resultando así que hay estadísticamente diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al rendimiento de biodiesel. En el Cuadro 5 se puede identificar las diferencias significativas que hay entre los tratamientos y sus rendimientos; el tratamiento 8 (temperatura 55 °C y metanol 40 mL) obtuvo un mayor rendimiento de 86 %, el tratamiento 3 (temperatura 45 °C y metanol 40 mL) un rendimiento de 81 % y por último el tratamiento 12 (temperatura 65 °C y metanol 30 mL) un rendimiento de 80.5 %, donde estos tres tratamientos (T8, T3, T12) no presentaron diferencias significativas indicando que estadísticamente son iguales y obtuvieron los porcentaje de rendimientos más altos; analizando y comparando con otros reportes (1, 10,) menciona que para lograr la reacción de transesterificación se requieren temperaturas entre 40 y 60°C, así como la presencia de un catalizador, por ello visualizando el Cuadro 3 y

Cuadro 5, se determina que la cantidad de metanol necesario para obtener un alto rendimiento es de 40 mL, y con respecto a la temperatura en el cuadro 2 representa que estadísticamente son iguales, entonces se tendrá que tomar referencia de la Cuadro 5, siendo el más óptimo a 55 °C corroborando así con lo mencionado por dicho autor. En el caso del tratamiento 1 (temperatura 45 °C y metanol 20 mL), tratamiento 2 (temperatura 45 °C y metanol 30 mL), tratamiento 5 (temperatura 45 °C y metanol 60 mL), tratamiento 6 (temperatura 55 °C y metanol 20 mL), tratamiento 9 (temperatura 55 °C y metanol 50 mL) y el tratamiento 15 (temperatura 65 °C y metanol 60 mL) nos indican que éstos tratamientos (T1, T2, T5, T6, T9, T15) estadísticamente son iguales, porque no presentaron diferencias significativas entre ellos; además, el tratamiento 4 (temperatura 45 °C y metanol 50 mL), el tratamiento 7 (temperatura 55 °C y metanol 30 mL), el tratamiento 11 (temperatura 65 °C y metanol 20 mL) y el tratamiento 13 (temperatura 65 °C y metanol 40 mL) tampoco presentaron diferencias significativas entre ellos siendo estadísticamente iguales (T4, T7, T11, T13). Así mismo, el tratamiento 10 (temperatura 55 °C y metanol 60 mL) y el tratamiento 14 (temperatura 65 °C y metanol 60 mL) son independientemente diferentes estadísticamente y obtuvieron los rendimientos de 54 % y 60,5 % respectivamente. Al biodiesel obtenido a partir de aceites domésticos residuales, se realizó análisis de pH, densidad y viscosidad a cada tratamiento con sus respectivas repeticiones para determinar si éstas se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma peruana y extranjera, el cual al evaluar la densidad a las muestras en estudio, se obtuvo valores entre 0,86 y 0,87 g/cm³; indicando que todas las muestras se encuentran dentro de lo establecido por las distintas normas; para el caso de la viscosidad los resultados oscilaron entre 3.55 – 4.55 mm²/s, donde las muestras de biodiesel analizados están dentro del rango establecido por la norma Europea EN14214 (0.86 – 0.90 g/cm³), la norma Austrian Standard C1190 y la norma técnica peruana (NTP) (1,9 -6,0); La viscosidad del biodiesel viene determinada por el aceite de origen, y por su contenido en mono, di y triglicéridos; una transesterificación completa es necesaria para asegurar el cumplimiento de este parámetro; un combustible muy viscoso puede causar una mala atomización, que lleva a mala combustión y formación de depósitos, la alta viscosidad también puede facilitar la contaminación del combustible con el aceite lubricante (2). De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que:

- El índice de acidez del aceite doméstico residual en promedio es 0.3976 mg de NaOH/g de aceite.

- Evaluando independientemente, la temperatura óptima necesario para obtener un mayor rendimiento en la obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual se encuentra en el rango de 45 - 65 °C, siendo estadísticamente iguales; y la cantidad óptima de metanol para obtener un mayor rendimiento (79.4 %) en la obtención de biodiesel es de 40 mL.
- El porcentaje de rendimiento más alto en la producción de biodiesel fue del 86%, correspondiente al tratamiento 8, que fue evaluado a una temperatura de 55 °C y a una cantidad de metanol de 40 mL.
- Al biodiesel obtenido a partir de aceite doméstico residual se realizaron tres pruebas de calidad, encontrándose así dentro de los parámetros establecidos por la norma Europea EN14214, la norma Austrian Standard C1190 y la norma técnica peruana (NTP), ajustándose a este rango todos los tratamientos.

Referencias bibliográficas

1. Tickell, J. 2000. From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel. 3rd ed. Covington (USA): Tickell Energy Consultants. Covington, U.S.A.
2. Castro, P., Coello, J., Castillo, L. 2007. Opciones para la producción y uso del biodiesel en Perú. Soluciones Prácticas-ITDG. Lima, Perú. 173 p
3. A.O.A.C. Official Methods of Analysis. Analisis de grasas y aceites. Washintong , D.C. U.S.A
4. Calero, W., Chicaiza, E., Chicaiza, W., Vizuete, D. 2007. Síntesis y refinación de biodiesel y glicerina obtenidos a partir de grasa vegetal. [En línea] Universidad Central de Ecuador Facultad de Ciencias Químicas. (<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sintesis-refinacion-biodiesel/sintesis-refinacion-biodiesel.pdf>, 28 de julio de 2012
5. Mota, D. 2007. Evaluación del método base – base con etanol para la obtención de biodiesel a partir de aceite oxidado de piñón (*Jatropha curcas* L.) A nivel laboratorio. Tesis Ing. Químico. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 113 p
6. Zapata C., Martines I., Arenas E., Enero, C. 2007. Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: segunda evaluación económica [En línea]: Medellín, Colombia <http://www.scielo.org.co/scielo>, 14 de junio del 2012).
7. Cesare M Castillo L., Beteta, V., Calle J. Leon J. 2009. Evaluación de la purificación de biodiesel en la etapa final de producción. Lima, Perú. 9 p
8. Calle, J., Coello, J., Castro, P., 2005. Opciones para la producción de biodiesel en el Perú. Lima, Perú. 8 p.

9. Recinos G., Rodriguez A., Hernandez C., Yeomans J. 2005. Metodología para la fabricación de biodiesel a partir del aceite de palma africana (*Elais guineensis*) y aceite de soya usado. Las Mercedes de Guacimo, Limo, Costa Rica. Universidad EARTH. 9 p
10. Zhang, Y.; Dubé A.; Mclean.D.; Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. En: Bioresource Technology. Vol. 89: 1-16
11. Herrera R. 2008. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Tesis tecnólogo Químico. Universidad Tecnológica de Pereira. 91 P.
12. Lafont J. 2011. Análisis químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diésel por espectroscopia infrarroja. Tesis Ing. Químico. Argentina. Universidad de Córdoba. 8 p.