

Obtención de combustible alternativo para motores diésel por clarificación de aceite de cocina usado

Obtaining alternative fuel for diesel engines by clarification of used cooking oil

Edwin Ramírez Vásquez¹, Cristian Andrés Camayo¹

1. Centro de Formación Agroindustrial, SENA, eramirezv@sena.edu.co <https://orcid.org/0009-0009-3098-717X>
1. Centro de Formación Agroindustrial, SENA, camayoc67@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-7937-5922>
Autor para correspondencia: eramirezv@sena.edu.co

Como citar:

Ramírez Vásquez, E., & Camayo, C. A. (2024). Obtención de combustible alternativo para motores diésel por clarificación de aceite de cocina usado. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 10(2), 13-34.



Resumen

Este artículo presenta un método alternativo que busca reutilizar el aceite de cocina usado (considerado como un desecho común) transformándolo en un combustible de motores diésel. La metodología propuesta para lograr el objetivo fue el método de clarificación del aceite de cocina usado, empleando materias primas renovables y asequibles. En dicho proceso se utilizan aloe vera e hidróxido de sodio que combinados forman una solución clarificadora, evaluando tres porcentajes de mezcla del 7,5%, 10% y 12,5% de NaOH en relación a la masa de aloe vera. Se realizaron mediciones de densidad y pH para caracterizar las materias primas y el producto obtenido, se efectuaron ensayos respecto al diésel convencional de origen fósil, midiendo en ambos casos el consumo de combustible en un lapso de tiempo y las revoluciones generadas por el motor medidas en el eje de transmisión. Se estableció que el mejor porcentaje de mezcla

se encuentra al 10% y la temperatura óptima del aceite es de 105°C. La puesta a prueba del combustible alternativo permitió realizar un paralelo comparativo en dónde se evidenció que, con el uso de este combustible, el motor experimenta un incremento del consumo y de las revoluciones del motor. Los resultados obtenidos a partir del método por clarificación demuestran que el aceite de cocina usado tiene potencial para convertirse en una alternativa promisorio de combustible para motores diesel.

Palabras clave: Combustible alternativo, aceite usado, aloe vera, motores diésel, clarificación de aceite

Abstract

This article presents an alternative method that seeks to reuse used cooking oil (considered a common waste) by transforming it into a fuel for diesel engines. The proposed methodology to achieve this objective was the clarification method of used cooking oil, employing renewable and affordable raw materials. In this process, aloe vera and sodium hydroxide are used, which combined form a clarifying solution, evaluating three mixing percentages of 7.5%, 10%, and 12.5% of NaOH in relation to the mass of aloe vera. Density and pH measurements were taken to characterize the raw materials and the obtained product. Tests were conducted regarding conventional fossil diesel, measuring fuel consumption over a period and the revolutions generated by the engine measured at the transmission shaft in both cases. It was established that the best mixing percentage is at 10% and the optimal temperature for the oil is 105°C. The testing of the alternative fuel allowed for a comparative parallel where it was evident that, with the use of this fuel, the engine experiences an increase in consumption and engine revolutions. The results obtained from the clarification method demonstrate that used cooking oil has the potential to become a promising alternative fuel for diesel engines.

Key words: Alternative fuel, used oil, aloe Vera, diesel engines, oil clarification

Introducción

En los últimos años, la constante búsqueda de alternativas sostenibles sobre los combustibles convencionales ha adquirido especial relevancia, en primer lugar, por la preocupación en términos de mitigación ambiental y en segundo lugar por el incremento progresivo que han venido experimentando los precios de los combustibles. (Steinvorth Álvarez, 2013).

Hoy en día es frecuente escuchar el término “biocombustibles”, que son combustibles no fósiles, portadores de energía que almacenan la energía derivada de materias orgánicas (biomasa), incluso materias vegetales (GreenFacts, 2023). Por su parte, el biodiesel resulta ser una alternativa renovable, biodegradable y amigable con el medio ambiente (De Oliveira & Coelho, 2017). Se obtiene a partir de aceites vegetales, el método más habitual es la transformación de estos aceites vegetales a través de un proceso de combinación con alcohol metílico e hidróxido de sodio (NaOH), conocido como reacción de transesterificación, produciendo un compuesto que se puede utilizar directamente en un quemador o en un motor diésel sin modificar, obteniendo glicerina como subproducto.

De acuerdo con Tejada Tovar et al (2013) las personas llaman “biodiesel” a cualquier combustible para motores diésel que sea de origen vegetal o animal, como el aceite usado para freír, sin algún tratamiento. Sin embargo, las definiciones de “biodiesel” que poseen mayor consistencia técnica son aquellas que caracterizan su composición química (mono-alquil ésteres de ácidos grasos), su origen (vegetal, animal), su empleo y sus características técnicas (Castellar Ortega et al., 2014).

En efecto, el producto que se obtiene no se puede definir como “biodiesel”, cuando no se ha determinado la composición química que lo pueda caracterizar como tal, toda vez que el proceso de obtención no se realiza por el método de transesterificación, sino por clarificación lo que supone una composición distinta y por tanto unas características diferentes (Castellar Ortega et al., 2014). En Colombia la materia prima más usada para la producción de biodiesel es el aceite de cocina (Rojas, 2021). Este es producido mayormente en restaurantes y hogares colombianos, sin embargo, no le dan un manejo adecuado (Acevedo et al., 2017). Si bien las cantidades de aceite residual que se generan dentro del hogar no son las suficientes para cubrir la demanda de una unidad productiva agropecuaria, esto se deduce a partir de la investigación realizada por Granados Suárez (2015), que determina que la cantidad promedio de residuo de aceite en el hogar se encuentra en 296 ml* individuo/mes, siendo así, estas cantidades

contribuyen a la mitigación del impacto ambiental, al hacer una disposición adecuada de este producto residual, que además ayuda a la reducción de los costos inherentes en la producción y el aumento de la rentabilidad (Tacias Pascacio et al., 2016).

El trabajo consiste en retirar las impurezas del aceite de cocina que ya ha cumplido su ciclo de uso, considerando que el aceite vegetal en sí es un potencial combustible en las condiciones adecuadas (Stratta, 2000), no obstante, el aceite ya usado contiene un sin número de pequeñas partículas denominadas coloides, producto de las frituras que se encuentran en suspensión dentro del líquido y que son difíciles de eliminar por medio de un método de filtrado normal (López et al., 2015). Por esta razón es conveniente realizar el proceso denominado clarificación por el método de floculación.

En este contexto la obtención de un combustible alternativo para motores diésel, a partir de la reutilización de un producto de desecho por medio del proceso de clarificación del aceite de cocina usado, se presenta como una opción prometedora y responsable desde el punto de vista ambiental y económico, promoviendo de esta manera la economía circular y la sostenibilidad energética, dirigido principalmente a poblaciones que comprenden el sector productivo rural.

Materiales y métodos

Ubicación: La obtención del combustible alternativo a partir del aceite de cocina usado, se efectuó en los laboratorios de Ciencias Básicas del Centro de Formación Agroindustrial del SENA ubicado en el municipio de Campoalegre, en el departamento del Huila.

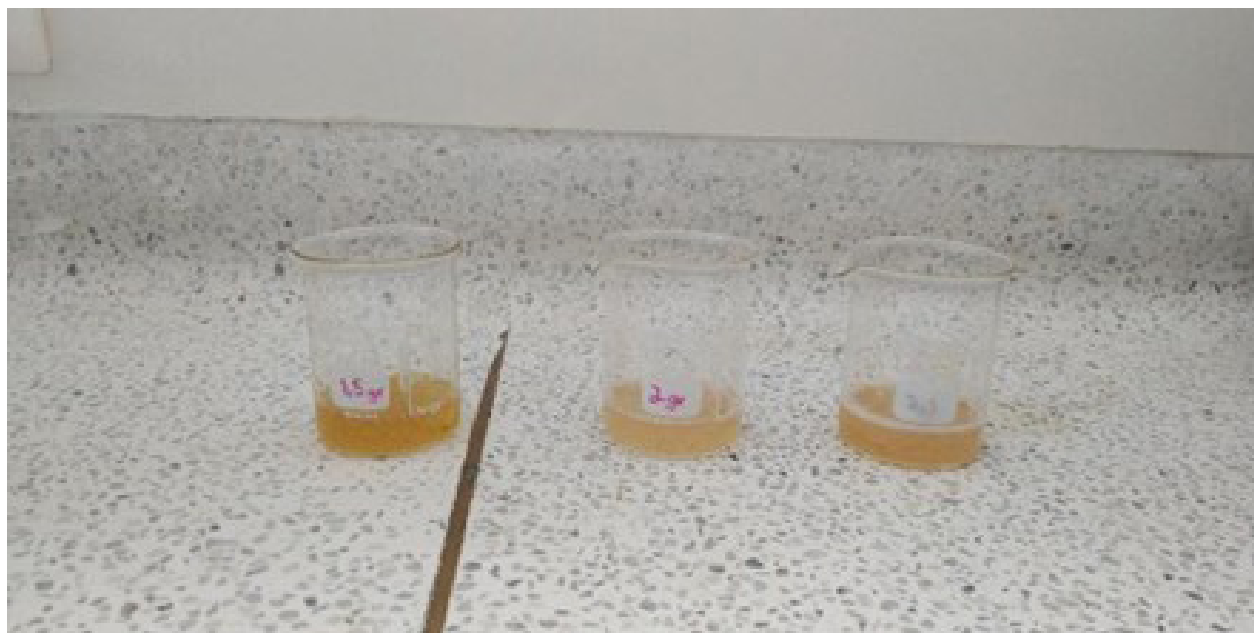
Caracterización del aceite: El aceite se caracterizó a partir de los parámetros de pH y densidad. La densidad se determinó en el laboratorio después de medir la masa de un volumen de aceite llevada a 20°C y el resultado obtenido es el cociente entre la masa sobre el volumen, con un protocolo de tres repeticiones. Por su parte el pH se determinó por medio de tiras indicadoras de pH.

Caracterización del combustible alternativo: De la misma forma en que se realizó la medición de la densidad y el pH en el aceite, se efectuó el procedimiento para el combustible alternativo.

Concentraciones evaluadas: se realizaron pruebas en tres concentraciones definidas por la relación porcentual, masa-volumen, siendo el hidróxido de sodio (NaOH) el soluto, de este elemento, disuelto en 1,5 g, 2,0 g y 2,5 g respectivamente en un volumen de 2,5 ml de jugo de aloe vera, esto para determinar la concentración más apropiada para ser usada como solución clarificadora y obtener el mejor rendimiento en términos de obtención del combustible alternativo.

Figura 1.

Solución con 3 tipos de concentraciones.



Nota. Elaboración propia

Selección de las materias primas: Las materias primas empleadas en el proceso, están compuestas principalmente por el aceite comestible de cocina usado de origen vegetal, generado en una cocina doméstica, también en el proceso se incorporó aloe vera extraído de hojas suculentas por sus conocidas propiedades floculantes, además, en la reacción interviene hidróxido de sodio (NaOH), este último actúa como coagulante.

Figura 2.

Materias primas empleadas.



a. Aceite de cocina usado

b. NaOH

c. Aloe vera

Nota. Elaboración propia

Tratamiento de las materias primas: Inicialmente el aceite, luego de ser recibido de la cocina, se pasa por un lienzo filtrante (tela bayetilla) para retirar las partículas sólidas y los sedimentos producto de las frituras. El volumen de aceite se calienta inicialmente hasta llevarlo a los 80°C, esto disminuye su viscosidad y facilita el filtrado. Por su parte el aloe vera se extrae directamente de los cristales de la penca de la planta de sábila, que bien se puede macerar o licuar hasta alcanzar un líquido viscoso que luego debe ser filtrado por compresión para retirar las fibras que componen los cristales y obtener sólo el líquido.

Figura 3.

Filtrado inicial del aceite como materia prima.



Nota: Elaboración propia

Proceso de clarificación: El ensayo se realizó en vasos de precipitado beaker aforados a 100 ml, donde se introdujo igual volumen de aceite calentado hasta los 105°C, la temperatura es importante, toda vez que interviene en el proceso de reacción, seguidamente se agrega la solución clarificadora, se mezcla por 5 minutos para homogeneizar y luego se deja en reposo hasta temperatura ambiente. Cuando termina el reposo se observa un precipitado en el fondo del vaso en donde se encuentran los flóculos de la suspensión coloidal presente el volumen de aceite.

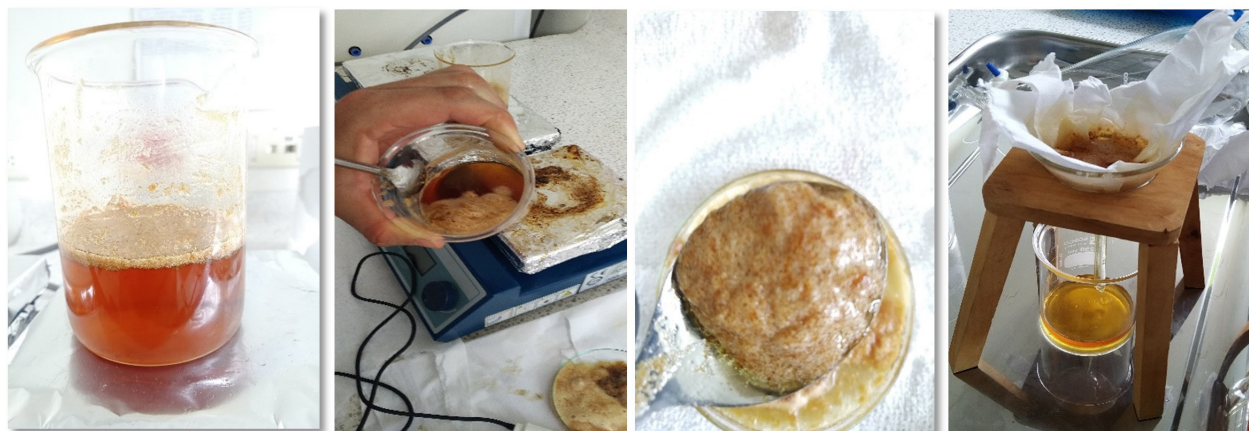
Figura 4.

Proceso de cl-arificación del aceite usado de cocina.



Nota. Elaboración propia

Proceso de limpieza del combustible alternativo: Luego del proceso de clarificación, se somete nuevamente a calentamiento, hasta una temperatura de 80°C, en cuanto se alcanza esta temperatura las densidades se modifican permitiendo la emergencia a la superficie del material floculante en forma de sobrenadante, de esta forma, se permite el barrido por medios mecánicos de los coloides contenidos en los flóculos, aprovechando aún la temperatura en que se encuentra el aceite, se pasa de nuevo por un lienzo filtrante donde queda retenido el resto de impurezas, en estas condiciones el producto final obtenido, ya se puede emplear como combustible alternativo.

Figura 5.*Proceso de limpieza del combustible alternativo.***Nota:** Elaboración propia

Proceso de prueba de los combustibles: Para evaluar los resultados, se realizó la comparación entre el combustible diésel convencional y el combustible alternativo, en un motor diésel de 10 Hp, que hace parte de una motocultivadora, el motor fue previamente calentado en condiciones de funcionamiento, se acondicionó un depósito de combustible aforado en unidades de ml, dispuesto solo para el ensayo, se establecieron periodos de tiempo de 5 minutos hasta completar los 30 minutos, dentro de estos lapsos de tiempo se midieron dos parámetros de funcionamiento, las revoluciones del motor en el eje principal de transmisión de potencia y el consumo de combustible, se inició el ensayo con el combustible diésel y posteriormente con el combustible alternativo, con el mismo ajuste fijo del mecanismo de aceleración del sistema de alimentación de combustible del motor, partiendo del combustible diésel convencional y fijadas en 1000 RPM (revoluciones por minuto), entendiendo que los motores de combustión interna presentan ligeras variaciones de sus RPM durante su funcionamiento, por lo cual 1000 RPM se toma como un valor de referencia.

Figura 6.

Moto cultivadora con motor diésel de 10Hp.



Fuente: *Nota:* Elaboración propia

Resultados

Caracterización de las materias primas

Tabla 1.

pH de las materias primas

Materia Prima	pH
Aceite de cocina usado	6
Aloe vera	4
NaOH	14

De acuerdo con la tabla 1, donde se midió el parámetro de pH de las materias primas empleadas para la obtención del combustible alternativo, se identificaron los valores de cada uno de los elementos que intervinieron en el proceso, esto es especialmente útil para entender la dinámica de la reacción.

Tabla 2.

Cantidad de NaoH y aloe vera para la solución clarificadora y valor de pH

Solución	NaOH g	Aloe Vera ml	pH
1	1.5	20.5	13
2	2	20.5	14
3	2.5	20.5	14

Nota: Solución 1: 7,31%, solución 2: 9,75%, solución 3: 12,2%

La tabla 2, ilustra las 3 soluciones con los valores en g de NaOH y ml de aloe vera, junto con el pH obtenido de cada solución. De la tabla 2 se puede inferir que el NaOH tiene una relación directa sobre el pH de la solución, convirtiéndose de carácter básico, esencial como agente coagulante de la suspensión coloidal.

Tabla 3.

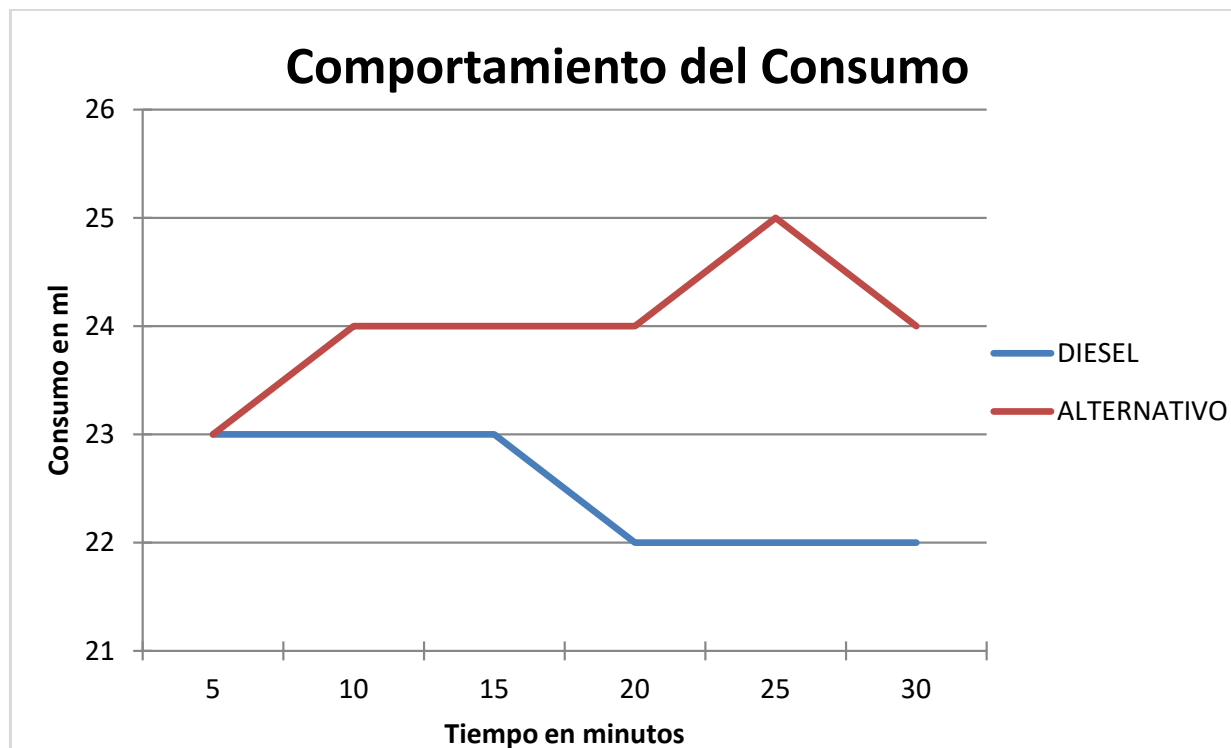
Densidad de diferentes productos

Producto	Densidad (g/cm3)
Aceite de cocina usado sin clarificar	0,909
Combustible alternativo	0,911
Combustible diésel convencional	0,86

En la tabla 3 se evidencian los valores de las densidades de los diferentes productos para la obtención del combustible alternativo y el diésel convencional.

Gráfica 1.

Comportamiento del consumo del combustible alternativo frente al convencional en un motor Diesel.

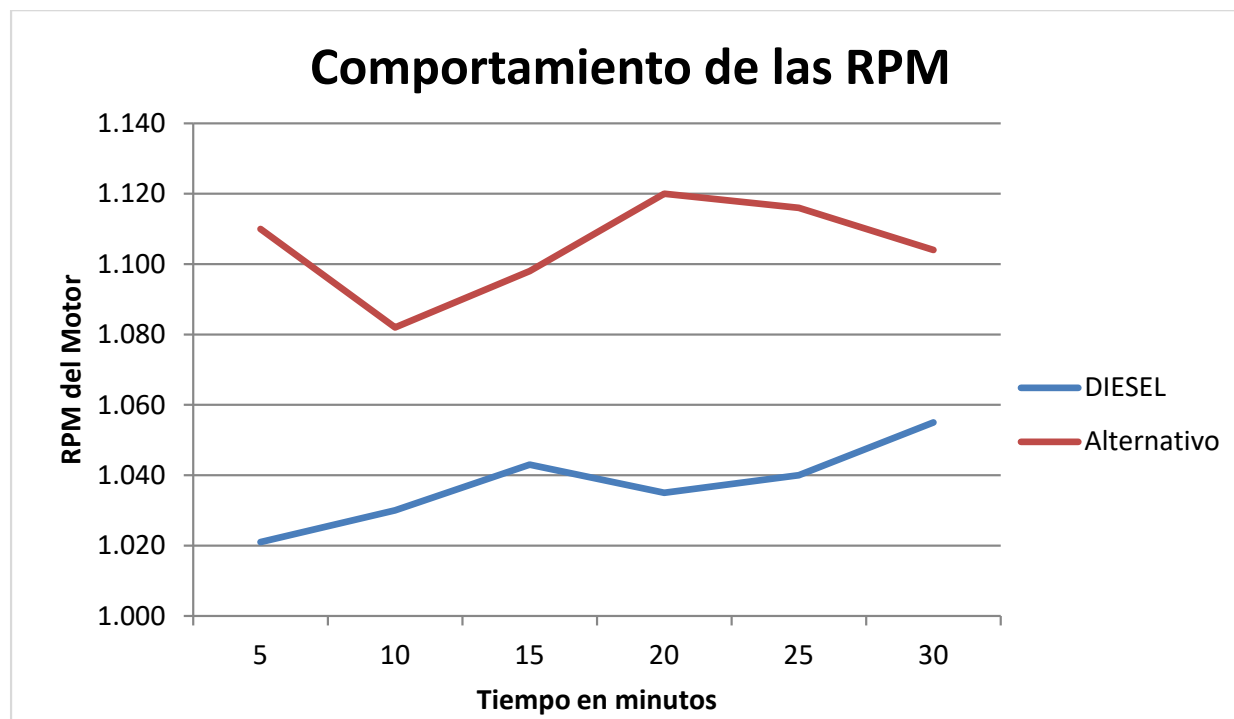


Nota: Elaboración propia

En la gráfica 1, se muestra el comportamiento del consumo de los dos combustibles en un motor diésel en función del tiempo, se evidencia un mayor consumo al usar el combustible alternativo y una mayor estabilidad del comportamiento del consumo del combustible diésel convencional. Se pueden también observar moderadas variaciones en el consumo, esto en consecuencia a la naturaleza misma del combustible alternativo.

Gráfica 2.

Comportamiento de las revoluciones por minuto (RPM) del motor frente a los dos combustibles.



Nota: Elaboración propia

La gráfica 2, muestra el comportamiento de las revoluciones por minuto que genera el motor al ser sometido al ensayo de cada uno de los combustibles.

Prueba de funcionamiento del motor

La puesta en marcha del motor con el combustible alternativo permite hacer un análisis para la determinación del funcionamiento de un motor diésel por percepción auditiva y visual, teniendo como referencia el funcionamiento del motor con combustible diésel convencional. De esta prueba se evidencia un cambio apenas perceptible del sonido emitido por la combustión, una reducción del color oscuro del humo expulsado por el escape cuando se realiza una aceleración a fondo de forma rápida y un buen comportamiento en su desempeño sin evidenciar interrupciones en la combustión al paso del tiempo.

Discusión

Conforme a los valores de pH medidos en el aceite, estos se muestran consistentes con los valores obtenidos en la investigación realizada por Gutiérrez Martínez & Pérez Rodríguez (s. f.), no obstante, según el estudio realizado por Medina Villadiego et al (2015) los aceites residuales de cocina estudiados, presentan un color y humedad altos debido al uso que recibieron estos aceites, por ende, es bueno tener en cuenta que a esta materia prima se le debe hacer un pre tratamiento muy riguroso para acondicionar óptimamente los aceites.

De lo anterior se establece como criterio determinante al momento de la elección del aceite usado como materia prima que intervendrá en el proceso, que garantice que el producto obtenido presente características favorables dentro de los procesos de transformación energética que se generan dentro del motor de combustión interna y la calidad en términos de eficiencia.

De los parámetros determinados tenemos la densidad del aceite usado de cocina sin clarificar, pudiendo establecer que los valores obtenidos son similares a los valores que cita Castellar Ortega et al (2014) en donde relaciona en su tabla, valores de densidad para el aceite de soya de 0,91 g/cm³ y girasol de 0,92 g/cm³, por otra parte, los mismos autores referencian en su investigación las propiedades del combustible diésel y relacionan la densidad con valor de 0,85 g/cm³ de acuerdo a lo establecido por la ASTM (American Society for Testing and Materials), pudiendo inferir que los valores obtenidos se encuentran cercanos a los valores anteriormente citados.

La experimentación logró identificar qué la solución clarificadora más adecuada, fue la solución 2, en donde se mezclaron 2 g de NaOH con 20.5 ml de aloe vera, toda vez que la reacción de la solución 1, fue ineficiente como solución clarificadora y la solución 3, presentó concentraciones más altas de NaOH, se evidenciaron coágulos y geles en una textura gelatinosa sobre el volumen de aceite que se estaba procesando para su clarificación, impidiendo así el proceso de clarificación. De la solución 2, con una concentración másica del 9.7%, fue entonces la que mejor respuesta obtuvo en términos de propiedad clarificadora, logrando obtener un rendimiento de combustible alternativo comprendido en un 80%, valor que fue determinado como la relación del volumen de combustible alternativo obtenido y el volumen de aceite empleado en el proceso.

Así mismo la cantidad de NaOH que interviene en el proceso debe encontrarse en las concentraciones adecuadas, ya que este compuesto es importante para neutralizar los ácidos grasos libres que se encuentran en el aceite de cocina usado. En consecuencia,

un exceso interfiere en la reacción y promueve la formación de jabones, los cuales no son los productos deseados (Steinvorth Álvarez, 2013).

Por tanto, el uso de un catalizador alcalino como el NaOH, trae consigo efectos en la reacción no deseables en el proceso, como la coagulación con una evidente formación de geles (Castaño Chiguachí, et al 2004). Para el proceso químico se emplearon diferentes concentraciones de catalizador y se encontró que valores muy altos de éstas conducían a la formación de un gel en la mezcla reaccionante; en tanto, con concentraciones muy pequeñas de catalizador, no se presenta formación de ésteres. Por lo tanto, se determinó que existe una concentración óptima de catalizador que no interviene en el proceso, generando reacciones de saponificación.

De igual manera lo explica Bulla Pereira (2014), en este proceso el triglicérido reacciona con el catalizador básico. El catalizador es consumido por el triglicérido, además la presencia de agua en la reacción genera la formación de jabones (reacción de saponificación) y un subproducto como el glicerol. Esta reacción es de carácter irreversible y se da debido a que el compuesto de hidróxido de sodio (NaOH), que reacciona con el agua presente son los responsables de la reacción.

Por otro lado, la acción conjunta de la mezcla NaOH y aloe vera, denominada como solución clarificadora que busca generar una reacción coagulación-floculación, en un proceso fisicoquímico que se define como la adición de sustancias químicas, para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se aglutinen en partículas más grandes que se puedan retirar mediante procesos de remoción de sólidos (Dempsey, 2006), de modo que la reacción de la solución clarificadora en el volumen de aceite que interviene en el proceso, es comparable a lo definido por Matilainen et al (2010). En general, la coagulación es un proceso donde el potencial repulsivo de la doble capa eléctrica del coloide es reducido, de manera que se pueden producir micropartículas. Estas micropartículas chocan con otras y forman estructuras más grandes (flóculos) en el proceso de floculación.

Es así como las propiedades floculantes del aloe vera, ampliamente reconocidas en procesos de tratamiento de agua para modificar específicamente el parámetro de turbidez. como lo define Calderón Moran et al (2023), la floculación macromolecular natural del aloe vera ha demostrado que el gel de aloe tiene aplicabilidad en un amplio rango de pH; la proporción de eliminación de la turbidez llega hasta el 92% cuando el pH de la muestra de agua es de 3 y 11, y que el efecto de la floculación del aloe en muestras de alta turbidez es mejor que en muestras de menor turbidez.

Entendiendo la forma cómo funciona un coagulante desde el punto de vista molecular y además reconociendo la propiedad coagulante-floculante en el aloe vera, esta planta, se convierte entonces en un elemento indispensable y fundamental en el proceso, partiendo de la acción misma y el efecto que presenta en otros procesos similares.

Ahora bien, de los resultados obtenidos en lo referente al comportamiento de consumo del combustible alternativo frente al comportamiento del combustible convencional de origen fósil, fue posible establecer parámetros comparativos con investigaciones similares, si bien los procesos de obtención del combustible son diferentes, sirven como referente para establecer analogías con el comportamiento evidenciado en la gráfica 1, un ejemplo de esto es lo mencionado por Benavides et al (2007), quienes en su experimentación observaron que en las pruebas en motor con mezclas biodiesel de higuera/diésel convencional, en el rango de proporciones de biodiesel ensayadas, muestran que a medida que se incrementa la proporción de biodiesel en la mezcla, aumenta el consumo específico de combustible. Este aumento es una consecuencia del menor poder calorífico volumétrico que posee el biodiesel con respecto al combustible diésel derivado del petróleo. Esto lo corrobora Herrera Moya et al (2005), cuando menciona que los valores máximos de temperatura en el diésel llegan hasta 397°C, mientras que empleando biodiesel llegan hasta 347°C.

Con relación a los resultados obtenidos del análisis del comportamiento del consumo, se aprecia que el parámetro presenta una variación promedio del 8,10% y una dispersión del 12,1%, estos valores se determinaron en función del combustible diésel.

Otro parámetro medido y analizado, en lo referente al comportamiento de las revoluciones del motor, arrojó evidencias que se encuentran vinculadas estrechamente al consumo específico de combustible analizado a partir de la gráfica 1, en términos comparativos de consumo, se menciona que el biodiesel presenta un menor poder calorífico (alrededor de un 10%), además posee alrededor del 8% menos de energía por litro que el diésel, viéndose afectada la potencia y el consumo del motor (Mena Farfan & Paz Zeballos, 2017).

Por otro lado, en el comportamiento de las RPM generadas por el motor, se evidenció un mayor número de RPM para el combustible alternativo frente al combustible diésel convencional, de igual manera esta diferencia se puede ver afectada por el mayor consumo como se evidencia en la gráfica 1, lo que supone que, al ingresar mayor cantidad de combustible en la cámara de combustión, el motor experimenta mayores RPM.

De los resultados se puede establecer que hay una variación del 6.5% de las RPM frente a los resultados obtenidos del combustible diésel, en consecuencia, lo anterior evoca el principio de la conservación de la energía, siendo evidenciable en el funcionamiento del motor, de modo que se presenta un incremento de las revoluciones, acompañado de un aumento del consumo de combustible. Este principio lo establece la ley de la conservación de la energía, que explica que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo convertirse de una forma de energía a otra. Esto significa que un sistema siempre tiene la misma cantidad de energía, a menos que se adicione más energía desde el exterior. La única manera de utilizar la energía es transformar la energía de una forma a otra (Castells, 2012).

Además, en lo referente a la puesta en funcionamiento del motor, el ensayo permitió evaluar el desempeño del motor teniendo como referencia el funcionamiento con el combustible convencional, permitiendo comparar la puesta en marcha del motor, comparando los parámetros de encendido, sonido y apariencia de los gases de escape. Esto permitió evidenciar algunas diferencias en el encendido del motor, esto es consecuencia a lo citado por Tejada Tovar et al (2013), en donde menciona que el punto de inflamabilidad o flash point de un biodiesel llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de apenas 60-80°C, esto genera una mayor dificultad en el momento del encendido del motor en frío, por lo que se requiere un mayor número de intentos de encendido para poner en marcha el motor, pero luego de superado este proceso su funcionamiento es normal con el calentamiento del motor.

En términos comparativos, el combustible alternativo, frente al combustible convencional de origen fósil, se expone como un método innovador en respuesta a la búsqueda de alternativas al combustible diésel, partiendo del criterio que lo sitúa dentro de un carácter renovable, Stratta (2000), define el biodiesel en los siguientes términos: es un combustible producido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diésel. Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos, estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia.

Conclusiones

La investigación permitió explorar un método alternativo e innovador para la obtención de un combustible alternativo para motores diésel a partir de aceite usado de cocina, que, a través de la implementación de técnicas de filtrado y remoción de impurezas, se transforma en un combustible apto para ser usado en este tipo de motores.

Se encontró que la solución 2, con una concentración másica del 9.7%, se presentó como la solución con propiedades clarificadoras destacables para la obtención del combustible alternativo.

El rendimiento obtenido al extraer el combustible alternativo está en el 80%, que se determinó como la relación del volumen de combustible alternativo que se obtuvo y el volumen de aceite.

El comportamiento del consumo de combustible alternativo al realizar el ensayo de funcionamiento del motor, fue mayor en un 6,67% comparado frente al consumo que presentó el motor cuando se usó el combustible diésel convencional, mostrando una dispersión del 12,1%.

Las revoluciones del motor (RPM), medidas en el eje principal de transmisión evidenció que la prueba efectuada con el combustible alternativo comparada con la prueba del combustible diésel convencional, registró un incremento promedio del 6,5% en las RPM y presentó una dispersión del 2,5% en el proceso comparativo, lo que podría tener relación con el mayor consumo.

En el proceso de clarificación, se obtiene un combustible alternativo que no se podría definir como un biodiesel por su composición química, lo que supone una composición distinta y por tanto unas características diferentes que se asemejan a un aceite vegetal sin ningún tratamiento.

La presente investigación deja abierta la posibilidad para realizar futuros estudios que permitan establecer otros tópicos investigativos a partir de los resultados obtenidos y otros parámetros entorno al análisis de las emisiones de los gases de escape y la medición de la potencia generada por el motor para establecer paralelos comparativos frente al funcionamiento del combustible alternativo y el combustible diésel de origen fósil.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia, ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento en este artículo.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. L. B., Jurado, J. M. V., & Lombana, J. (2017). Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 13(24), 135-148. <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v13i24.2159>
- Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. Dyna, 74(153), 141-150. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532007000300016&script=sciarttext>
- Bulla Pereira, E. A. (2014). Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura (Doctoral dissertation). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51747>
- Calderón Moran, M. A., Castaneda Pérez, J. M., & Domínguez Palacios, L. S. (2023). Diseño de proceso para la obtención de un coagulante natural a partir de la sábila o aloe vera (*Barbadensis miller*) para ser aplicado en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas en la reducción de los parámetros turbidez y DBO5 (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/30726/>
- Castells, X. E. (2012). Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos.
- Chiguachí, L. C., Montoya, J. A. T., Alzate, C. A. C., & Orrego, C. E. (2004). Producción de biodiesel a partir de aceites vegetales utilizando enzimas libres: estudio preliminar. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1(2), 32-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117829006>
- Castellar Ortega, G. C., Angulo Mercado, E. R., & Cardozo Arrieta, B. M. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospectiva*, 12(2), 90. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.293>
- Dempsey, B. A. (2006). *Coagulant characteristics and reactions* (pp. 5-24). [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(06\)80071-2](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(06)80071-2)
- De Oliveira, F. C., & Coelho, S. T. (2017). History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.060>
- Granados Suárez, D. C. (2015). *Estudio de factibilidad para el montaje de empresa recicladora de residuos de aceite de cocina en la ciudad de Bucaramanga* [Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/11151>

- GreenFacts. (2023, julio 13). *GreenFacts*. Biocombustibles. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/biocombustibles.htm>
- Gutiérrez Martínez, J. E., & Pérez Rodríguez, D. C. (s. f.). Generación de biodiesel, mediante el proceso de transterificación a partir de aceite reutilizado. En *Repositorio institucional UNAN- Managua*. Recuperado 10 de julio de 2024, de <https://core.ac.uk/download/pdf/250409315.pdf>
- Herrera Moya, I., López Díaz, I., Villegas Aguilar, P. J., Bucki Wasserman, B., & Bonnet, E. (2005). Estudio comparativo de los parámetros de funcionamiento de un motor diesel cuando usa biodiesel y diesel como combustible. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82808>
- López, L., Bocanegra, J., & Malagón-Romero, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 155-172. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq>
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>
- Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. (2015). Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. *Luna Azul*, 40. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.3>
- Mena Farfan, M. A., & Paz Zeballos, R. T. (2017). Análisis del rendimiento del motor diesel utilizando biodiesel como combustible en la altitud (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13602>
- Rojas Ramírez, H. A. (2021). *Caracterización de la logística de recolección, tratamiento y exportación de aceite de cocina usado en Colombia*. [Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/20706>
- Steinvorth Álvarez, A. (2013). *Aprovechamiento del aceite de cocina usado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica para la producción de biodiesel* [Instituto Tecnológico De Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3153>
- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Rosario, Argentina, 1-15. Tacías Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016). Evaluación y caracterización de

grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: un caso de estudio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 303-313. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05>

Tejada Tovar, C., Tejeda Benítez, L., Villabona Ortiz, Á., & Monroy Rodríguez, L. (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Luna Azul*, 10-25. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584002.pdf>