



Biodiesel a partir de la grasa de pollo y sus efectos mecánicos y ambientales con un motor de combustión interna

Biodiesel from chicken fat and its mechanical and environmental effects with an internal combustion engine

Juvenal Viviano García Armas^{1*}, José Luis Calle Maravi²

¹ Departamento Académico de Manejo Pesquero y Medio Ambiente, Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Email: juvenal@lamolina.edu.pe; jcalle@lamolina.edu.pe

Recepción: 23/10/2019; Aceptación: 15/12/2019

Resumen

El objetivo fue estudiar una forma de aprovechar, la energía proveniente de la grasa de pollo, convertido en biodiesel, como una alternativa de solución al problema de contaminación generada por los combustibles fósiles, se realizaron pruebas de desempeño del motor con diferentes proporciones de mezcla combustible DB5 con biodiesel de pollo, en lo referente a sus parámetros operativos, tales como la potencia, par motor, consumo horario, consumo específico, además se analizaron las emisiones de dióxido y monóxido de carbono. Empleando para estas pruebas, un motor-generator diésel marca KIPOR modelo KDE3500E de 3,3kW. El biodiesel de la grasa de pollo se produjo de manera satisfactoria. El proceso de extracción de la grasa de pollo fue selectivo por lo que el 95% del material recolectado se convirtió en grasa con un índice de acidez de 2,13 y el 96% de la misma, fue convertido en biodiesel, este fue mezclado en proporciones de 20, 40, 60% con el diésel comercial DB5. Las pruebas de funcionamiento del motor demostraron que la potencia y torque, desarrollados por las mezclas con respecto al diésel comercial no presentan una diferencia significativa, el consumo horario, y el consumo específico reportaron un incremento de 15% y 20% cada uno respecto al diésel comercial. La mayor ventaja sin embargo es con respecto a la baja emisión de contaminantes como en el caso del dióxido de carbono, ésta, se redujo en más del 20% en cualquier mezcla de diésel comercial más biodiesel, comparado con el diésel comercial (DB5). asimismo, el monóxido de carbono se redujo en un 10%, y el valor calorífico (Biodiesel de pollo 39566,12 kJ/kg, y del Diésel comercial 43000kJ/kg) del biodiesel de pollo resulto ser ocho por ciento menor.

Palabras clave: Grasa de pollo; Biodiesel; transesterificación; motor; combustión interna; contaminación ambiental; biocombustibles; biocarburantes; diésel; motor diésel; biocombustibles líquidos; biomasa.

Forma de citar el artículo: Garcia, J.; Calle, J. 2019. Biodiesel a partir de la grasa de pollo y sus efectos mecánicos y ambientales con un motor de combustión interna. Anales Científicos 80 (2):580- 593 (2019).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1493>

Autor de correspondencia (*): Juvenal Viviano García Armas. Email: juvenal@lamolina.edu.pe
© Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Abstract

The objective was to study a form of use, the energy from chicken fat, to become biodiesel, as an alternative solution to the problem of pollution generated by fossil fuels, engine performance tests with different proportions of fuel mixture were performed DB5 with chicken biodiesel, in terms of its operational parameters, stories such as power, torque, hourly consumption, specific consumption, in addition the emissions of carbon dioxide and carbon monoxide are analyzed. Using for these tests, a KIPOR diesel engine-generator model KDE3500E of 3,3kW. Biodiesel from chicken fat is produced satisfactorily. The chicken fat extraction process was selective so that 95% of the material collected was converted into fat with an acid number of 2,13 and 96% of it was converted into biodiesel, it was mixed in proportions of 20, 40, 60% with commercial diesel DB5. The engine performance tests demonstrated the power and torque, developed by the mixtures with respect to commercial diesel not showing a significant difference, hourly consumption, and the specific consumption reported an increase of 15% and 20% each compared to commercial diesel The biggest advantage, however, is with respect to the low emission of pollutants, as in the case of carbon dioxide, this is reduced by more than 20% in any mixture of commercial diesel plus biodiesel, compared to commercial diesel (DB5). specifically, carbon monoxide was reduced by 10%, and the calorific value (chicken biodiesel 39566,12 kJ / kg, and commercial diesel 43000kJ / kg) of chicken biodiesel was found to be eight percent lower.

Keywords: Chicken fat; Biodiesel; transesterification; engine; internal combustion; environmental pollution; biofuels; biofuels; diesel; diesel engine; liquid biofuels; biomass.

1. Introducción

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) publicó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (que reemplazan a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con metas al 2030. Dentro de estos se incluye el objetivo número siete que busca “Garantizar el acceso a una energía asequible, y no contaminante” cuyas metas están orientadas a garantizar el acceso universal a servicios energéticos, ampliar la infraestructura para prestar servicios energéticos modernos y facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia (UNDP, 2018).

Debido al aumento de la demanda del petróleo, el biodiesel se ha convertido en una fuente de energía notable y en una alternativa para producir energía limpia mediante el uso de motores de combustión interna, estufas o quemadores. El aumento del uso del biodiesel de primera generación

en cada país se ha dado como consecuencia de la implementación de políticas que promueven la producción y el uso extensivo de este biocombustible. Ley 28054 (promoción del mercado de biocombustibles y sus reglamentos) y D.S.027-2007-EM (porcentaje de biodiesel en el comercio de combustibles).

El biodiesel es un combustible líquido que puede producirse a partir de aceites vegetales o grasas animales, por lo cual se está promoviendo su producción a partir de materias primas no comestibles. La producción de biodiesel a partir de materias primas no comestibles y su rendimiento en motores de combustión interna han sido ampliamente revisados por algunos autores alrededor del mundo. Ashraful *et al.* (2014) realizó una valiosa revisión de las características y el rendimiento del biodiesel hecho de aceites vegetales no comestibles. Muchos investigadores

consideraron como materias primas al aceite de semilla de caucho, aceite de semilla de algodón, aceite de jojoba, aceite de tabaco, linaza y *Jatropha curcas*. Asimismo, [Wan et al. \(2015\)](#) hizo una revisión de los efectos del biodiesel a partir de materias primas diferentes a las mencionadas anteriormente. En estas, incluyeron grasas animales como la grasa de pollo, sebo de pato, manteca de cerdo, grasa amarilla y otras materias primas no comestibles como ricino, sésamo, entre otros. Luego concluyeron que el biodiesel se puede utilizar en motores de encendido por compresión como reemplazo del combustible diésel para satisfacer la demanda mundial de energía. Asimismo, mostraron que las diferentes fuentes de materia prima de biodiesel dan resultados diferentes al rendimiento del motor y las emisiones. Sorprendentemente, parte de la investigación arrojó resultados favorables hacia el biodiesel en comparación con el diésel puro.

La grasa de pollo es una materia prima de bajo costo extraída de plumas, sangre, despojos y recortes de pollo después del proceso de rende rizado. [Alptekin et al. \(2011\)](#) demostró la viabilidad de producir biodiesel a partir de grasa de pollo teniendo en cuenta las normas internacionales. Del mismo modo, [Shi et al. \(2013\)](#) produjo biodiesel a partir de grasa de pollo residual mediante un proceso catalítico integrado de membrana compuesta y metóxido de sodio. Estos investigadores llegaron a la conclusión que era posible producir este biocombustible con una conversión del 98,1% de la transesterificación en condiciones óptimas. Por otra parte, [Rasim \(2015\)](#) evaluó el rendimiento de dicho biodiesel en un motor diésel de inyección directa mezclando bioetanol con diésel, en la que el biodiesel de grasa animal produjo menos emisiones de CO y de hidrocarburos totales que el combustible diésel.

2. Materiales y métodos

En el caso del combustible diésel DB5 fue obtenido de la estación de servicios Petroperú grifo Smile, av. separadora industrial y sus características se resume en la [Tabla 1](#).

Tabla 1. Características generales del Diésel DB5

| Características | Valores |
|-------------------------------------|-----------|
| Gravedad API ^o a 15°C | 32,9 |
| Densidad a 15°C | 0,8598 |
| Punto de inflamación | 52 |
| Viscosidad cinemática a 40°C, cSt. | 1,9 – 4,1 |
| Contenido de azufre, % Peso (50ppm) | 0,0050 |
| Índice de Cetano calculado | 45 |
| Color | 3,0 |

En el caso del biodiesel de pollo, la materia prima se obtuvo de los centros de venta de carne de aves (solo grasa amarilla), del mercado Lince Lobaton, procesándola luego hasta obtener 10 litros de aceite por fusión y filtrado por mallas, de color amarillo transparente a la temperatura ambiente (23°C), no se realizaron estudios microbiológicos.

El biodiesel de Pollo

Producción a pequeña escala

Se inicia con la extracción de la grasa una muestra de ella se usó para el análisis de acidez según (AOCS oficial Method Cd 3d-63) FAO, (Códex Alimentarius Comisión, s.f.). El índice de acidez de un triglicérido es la acidez como consecuencia de la presencia de ácidos grasos libres. Se realiza la valoración con Hidróxido de potasio. El contenido de acidez se expresa como índice llamado índice de acidez (IA).

Mediante este análisis se determinará el IA del Aceite si este se encuentra con un valor no mayor a 5 se podrá trabajar sin problemas, valores de índice de acidez mayores a 5 no son recomendados para elaborar biodiesel por su elevado IA se recomienda el uso de este para otros productos.

Prueba de acidez del aceite de pollo

Para la prueba de acidez se pesaron 5 gramos de muestra (grasa), diluyéndolo con 50 mL de alcohol etílico neutralizado a 50 °C, Colocando luego en un matraz de Erlenmeyer, Adicionando unas gotas de fenolftaleína, se hizo la titulación con solución de Hidróxido de potasio 0.1 N (Tabla 2).

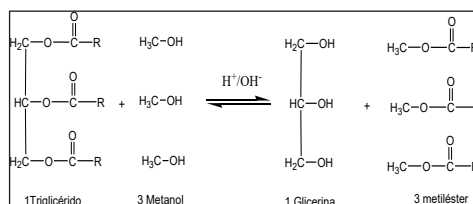
$$IA = \frac{V * N * 56.1}{g \text{ muestra}}$$

V: volumen de titulante gastado (ml)

N: normalidad del KOH (0,1)

La Transesterificación

El Biodiesel es una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivado de lípidos renovables tales como aceites vegetales y animales y que se obtiene por proceso de transesterificación (proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol).



El procedimiento consistió en verter los diez litros aceite de pollo dentro de un recipiente, luego se agregó metanol 20% (v/v) con relación a la cantidad de muestra. Se calculó la cantidad de catalizador adicionando un exceso dependiendo del índice de acidez. Esto fue el KOH (hidróxido de potasio): 8 g + IA * L muestra. Se mezcló el catalizador en el metanol (metóxido), se agregó la mezcla de metóxido a la muestra, se mezcló a T° 50-60°C durante 2 horas aprox. (proceso transesterificación, Tabla 3), se decantó y separó la glicerina, se realizaron tres a cuatro lavados con agua (20-30%(v/v) con respecto al rendimiento de Biodiesel), separando el biodiesel purificado para luego secar y filtrar.

Tabla 2. Resultados de la determinación del índice de grasa

| Muestra | Masa de Muestra (gr) | Volumen de gasto KOH (ml) | Normalidad del KOH | Índice de Acidez (mg KOH/ g grasa) IA |
|----------------|----------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Grasa de pollo | 5,0021 | 1,9 | 0,1 | 2,13 |
| | 5,0049 | 1,8 | 0,1 | 2,017 |
| | 5,0032 | 1,9 | 0,1 | 2,13 |

Tabla 3. Cuantificando el proceso de transesterificación del aceite de pollo

| | |
|--|--------|
| Cantidad aceite a procesar (L) | 10 |
| Volumen de metanol (L) | 2 |
| Acidez de la muestra (mg KOH /g grasa) | 2,1 |
| Cantidad de catalizador a usar(g) | 56 |
| Temperatura del proceso (°C) | 55 |
| Tiempo de agitación (Hr.) | 1,5 |
| Cantidad glicerina (g) | 2006,3 |
| Cantidad biodiesel (L) | 9,450 |
| Rendimiento del proceso (%) | 94,5 |

Para el cálculo del rendimiento se utilizó la fórmula siguiente:

$$* R \text{ ndimiento} = \frac{B}{A} \times 100$$

A: volumen de la grasa inicial (mL), B: volumen del biodiesel (mL)

Purificación del biodiesel

El procedimiento indica que se debe separar la glicerina del biodiesel, agregar 20 a 30% de agua destilada en relación con la cantidad de biodiesel, agitar moderadamente por 3 min, reposar por 20 min. Aprox. o hasta la total separación del agua. Se repiten estos pasos por 3 a 4 veces hasta que el agua decanta este cristalino o translucido. Se retira del biodiesel el agua del último lavado. Se vierte el biodiesel libre de agua en un vaso precipitado de 500 ml colocar el biodiesel en una plancha de calentamiento, calentar a 95 ° C *hasta evaporar toda el agua*, Enfriar, filtrar y envasar.

Estándares internacionales para caracterizar el biodiesel de pollo

El biodiesel fue caracterizado de acuerdo a estándares internacionales que se indican a continuación: La viscosidad cinemática fue determinada basado en el ASTM D-445. El residuo de carbón ASTM D-189. Glicerol total y libre AOCS Ca 14-56. Contenido de humedad KARL FISCHER. Carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno ASTM D5291. Azufre ASTM D1552 y por el Poder calorífico superior e inferior ASTM D240.

El sistema para las pruebas con el motor de combustión interna

La parte fundamental del sistema fue el motor generador diésel KIPOR mono cilindro de 3,5 kW con un generador monofásico de 3,3 kW y factor de potencia unitario, el sistema tenía una configuración como lo mostrado en la [Figura 1](#), el banco de carga fue resistivo puro consistente en un panel de lámparas incandescentes de 4kW de capacidad de disipación, los equipos de medición se muestran en la [Tabla 4](#).

El motor fue alimentado inicialmente con diésel comercial DB5 para la determinación de los parámetros de potencia, torque, consumo horario, consumo específico y las

emisiones de CO y CO₂ para cuyo efecto se utilizaron seis cargas diferentes a partir de los 500W, incrementándose 500W cada vez hasta un máximo de 3000W. y se tomaron medidas del voltaje y amperaje desarrollados por cada carga con tres repeticiones cada vez, el consumo de combustible se midió cada cinco minutos y se calculó el volumen consumido con cada carga, manteniendo constante la velocidad de rotación del motor en 3600 RPM.

Las mezclas usadas para cada prueba estuvieron compuestas por el diesel comercial DB5 más un porcentaje del biodiesel de pollo BDP, estas consistieron de 20%, 40%, 60%.

Las densidades en cada caso se determinaron como una relación entre el peso y el volumen para cada mezcla.

La potencia desarrollada por el generador se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{I * V * pf}{1000}$$

En donde Pe (kW); I (Amp); V (Voltios); pf (factor de potencia).

Las mediciones se hicieron con voltímetros y amperímetros individuales tomando la data para procesarlo en excel.

La potencia suministrada por el combustible se calculó mediante la ecuación:

$$P_f = \frac{HV * M_f}{3600}$$

Donde

P_f = potencia equivalente de combustible

HV = valor calorífico del combustible (kJ/kg)

M_f = consumo másico de combustible (kg/hora)

La potencia que desarrollara el motor diésel tanto con el diésel comercial como con la mezcla no paso del 25% con respecto a la potencia calórica suministrada por el combustible.

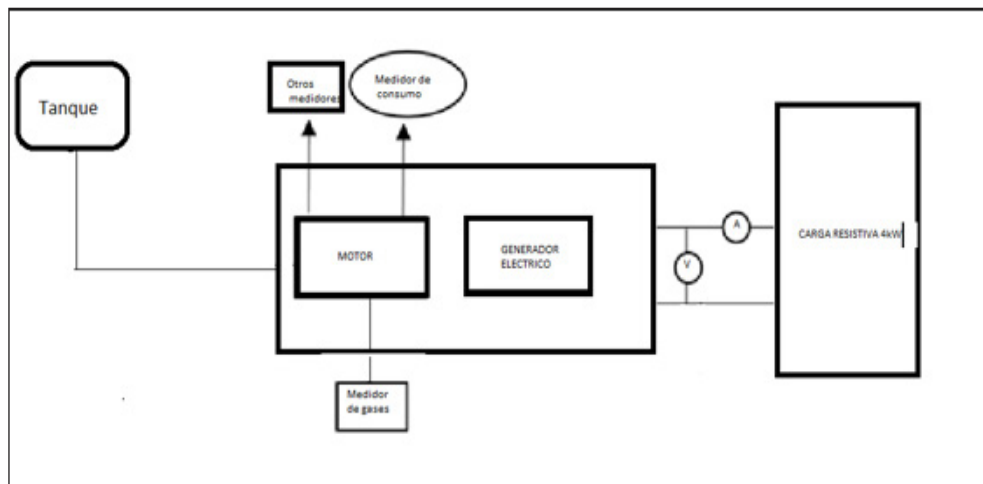


Figura 1. Esquema del sistema para la prueba experimental del grupo motor generador y medición de emisiones

Se procesaron los datos para el cálculo de los parámetros y de las emisiones, así también de hicieron las pruebas estadísticas respectivas sobre consistencia de datos y dependencia.

Tabla 4. Componentes del sistema de prueba e instrumentos de medición

| Equipos | Características |
|--------------------------------------|--|
| Grupo electrógeno | Motor Generador diésel KIPOR Modelo KDE 3500E de 3,5kw. a 3600RPM 220 Volts 15 Amperios. |
| Banco de carga | Banco de carga resistiva de 4,0 kW. |
| Multímetro digital | CEM 9932FC |
| Medidor de flujo | Fabricación propia |
| Pinza amperimétrica | FRASEK PR-54 |
| Tacómetro digital | Monarch PLT 200 |
| Medidor de CO | CEM CO-180 |
| Analizador de gases, CO ₂ | Testo 535 |
| Opacímetro | AVL DISMOKE 4000 |

3. Resultados y discusión

Para analizar el supuesto de los errores con distribución normal, de todas las variables medidas se analizó la normalidad usando la prueba de Shapiro-Francia (Shapiro & Francia, 1972). Para analizar el supuesto de homogeneidad de varianzas, se usó un gráfico de dispersión de residuos versus valores predichos se debe observar una nube de puntos sin patrón alguno (patrón aleatorio) (Di Rienzo *et al.*, 2008). Se usó el programa Infostat, 2018 (software libre). Para este caso se usó f1: Como tipo de combustible, f2: Como la carga y para cada parámetro se le aplico la prueba estadística respectiva (Figura 2).

Caracterización del biodiesel de pollo

Luego de la elaboración del biodiesel de la grasa de pollo esta fue caracterizada en el laboratorio de energías renovables de la UNALM (Tabla 5).

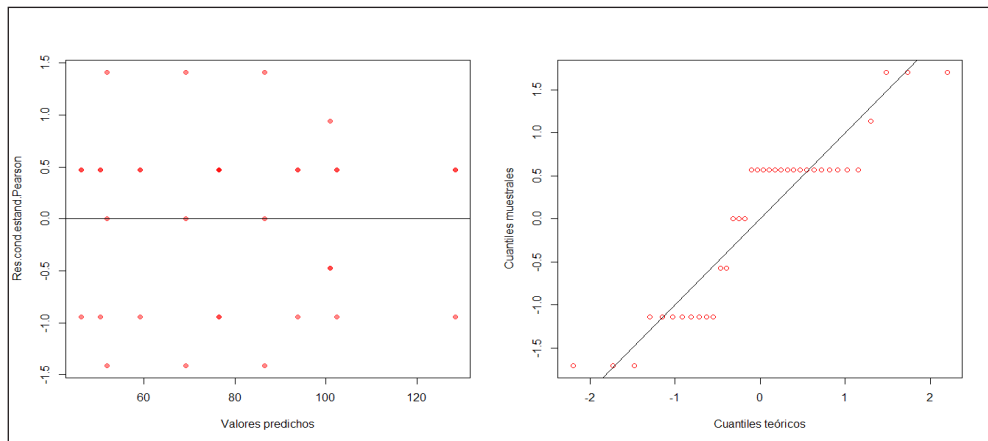


Figura 2. Valores predichos y cuantificables

Tabla 5. Características generales del Biodiesel de pollo (BDP)

| N° | TIPO DE ANÁLISIS | NORMA / MÉTODO | RESULTADOS | UNIDADES |
|----|--|----------------|------------|--------------------|
| 1 | Viscosidad Cinemática a 40°C | ASTM D-445 | 5.08 | mm ² /s |
| 2 | Residuo de Carbón Conradson | ASTM D-189 | 0.06 | % (m/m) |
| 4 | Glicerol (Total) | AOCS Ca 14-56 | 0.34 | % (m/m) |
| 5 | Glicerol (Libre) | | 0.01 | % (m/m) |
| 5 | Contenido de Humedad | Karl Fischer | 0.12 | % (m/m) |
| 6 | Carbono | ASTM D5291 | 68.455 | % (m/m) |
| 7 | Hidrógeno | | 11.177 | % (m/m) |
| 8 | Nitrógeno | | 0.071 | % (m/m) |
| 9 | Oxígeno | | 13.915 | % (m/m) |
| 10 | Azufre | ASTM D1552 | 0.053 | % (m/m) |
| 11 | Poder Calórico Superior (PCS) | ASTM D 240 | 9456.53 | Cal/g |
| 12 | Poder Calórico Inferior (PCI) ^(*) | | 9445.50 | Cal/g |

(*) Poder Calórico Inferior (PCI) se determina con el resultado del Contenido de Humedad de la muestra.

Fuente: Laboratorio de Energías Renovables UNALM

Se puede observar que los valores de los resultados de análisis del biodiesel se hallan en el rango dentro de los límites contemplados, la viscosidad dentro de límites 1,9-6,0 según ASTM D 445; la densidad 890 kg m⁻³ según ISO 3675 los límites son 860-999.

En la prueba de potencia

La **Tabla 6** muestra el promedio de potencias desarrolladas por el motor operando a una

velocidad fija de 3600 RPM, con 6 cargas variables incrementadas en 0,5kw por etapa, para cada tipo de mezcla de combustible, y tomando como línea base la potencia desarrollada por la mezcla DB5 + BDP0%; en ella podemos observar que la potencia resultante para cada tipo de mezcla difiere con respecto a esta en 0,01kw en promedio, por lo que en esta característica de operación del MCI no hay diferencia considerable con respecto a la potencia base (**Figura 3**)

Tabla 6. Resultados de la potencia desarrollada con diferentes mezclas de combustible

| carga(kW) | Potencia (kW) | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| DB5 + BDP0% | 0,40 | 0,90 | 1,35 | 1,84 | 2,32 | 2,76 |
| DB5 + BDP20% | 0,39 | 0,91 | 1,33 | 1,82 | 2,30 | 2,77 |
| DB5 + BDP40% | 0,39 | 0,90 | 1,32 | 1,82 | 2,29 | 2,75 |
| DB5 + BDP60% | 0,39 | 0,90 | 1,32 | 1,82 | 2,29 | 2,75 |

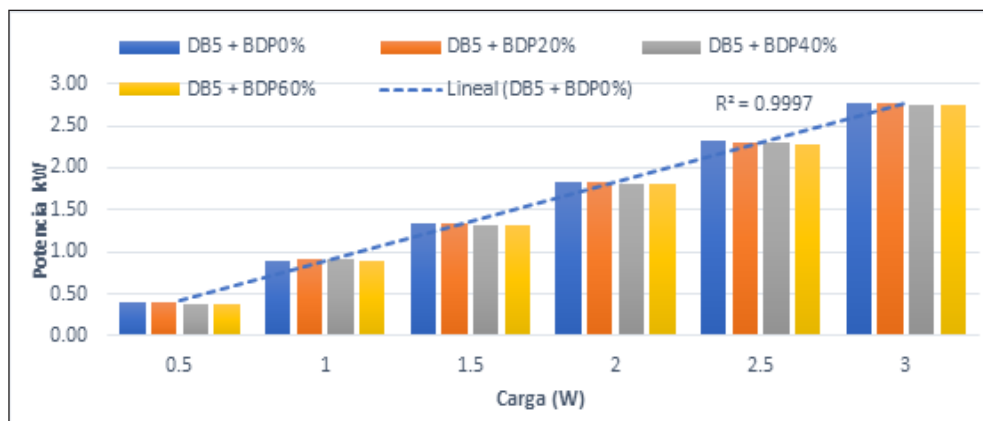


Figura 3. Grafica de la potencia desarrollada por las mezclas

La gráfica de la [Figura 3](#) muestra que, para cada carga impuesta al motor, y diferentes mezclas la potencia no varía con respecto a la potencia considerada como base (DB5+BDP0%). Así mismo la potencia va creciendo a medida que se va aumentando la carga la que nos demuestra la línea característica típica de los MCI

En la prueba de Torque

En la [Tabla 7](#) se observa que los valores del torque motor son prácticamente iguales por cada grupo de carga y para cada tipo de mezcla, mostrando una tendencia de incremento prácticamente lineal ([Figura 4](#)).

La grafica nos muestra que los tipos de combustible no influyen sobre el resultado del torque motor, este corresponde a cada carga impuesta al motor. Y su tendencia es la de crecer hasta un punto y luego decrecer

mientras se va acercando a la máxima potencia, se puede esto explicar que el motor puede operar aun a mayor velocidad y rendir aun mayor potencia de la que se está aplicando.

En la prueba de Consumo horario en MCI

Los resultados del [Tabla 8](#) muestran que en el caso del combustible comercial el consumo horario es menor comparado al consumo con las mezclas casi en toda la gama de carga a excepción de la carga de 3kw. Este mayor consumo en lo que se refiere a mezcla de combustible comercial con el biodiesel de pollo se debe a una suerte de compensación debido al menor Valor calorífico del biodiesel comparado con el diésel comercial. Notándose más pronunciado el incremento entre los 1,5kw y 2,5kw.

Tabla 7. Resultados del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible

| carga(kW) | Torque (N-m) | | | | | |
|--------------|--------------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2.5 | 3 |
| DB5 + BDP0% | 1,06 | 2,39 | 3,58 | 4,89 | 6,15 | 7,33 |
| DB5 + BDP20% | 1,03 | 2,40 | 3,52 | 4,84 | 6,11 | 7,35 |
| DB5 + BDP40% | 1,03 | 2,40 | 3,52 | 4,84 | 6,11 | 7,35 |
| DB5 + BDP60% | 1,02 | 2,39 | 3,50 | 4,83 | 6,07 | 7,30 |

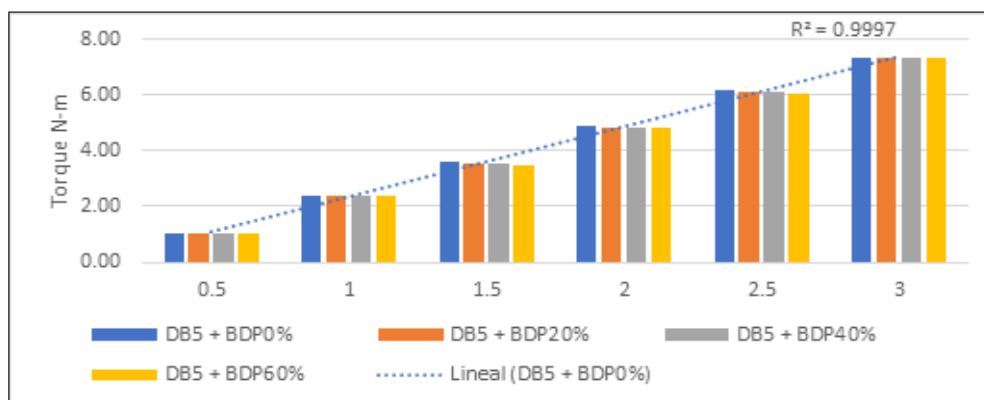


Figura 4. Gráfica del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible

Tabla 8. Resultados del consumo horario con diferentes mezclas de combustible

| carga(kW) | Consumo horario (L/h) | | | | | |
|--------------|-----------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| DB5 + BDP0% | 0,52 | 0,57 | 0,62 | 0,83 | 1,04 | 1,25 |
| DB5 + BDP20% | 0,62 | 0,73 | 0,94 | 0,94 | 1,14 | 1,25 |
| DB5 + BDP40% | 0,62 | 0,73 | 0,94 | 0,94 | 1,14 | 1,25 |
| DB5 + BDP60% | 0,42 | 0,62 | 0,94 | 0,94 | 1,35 | 1,56 |

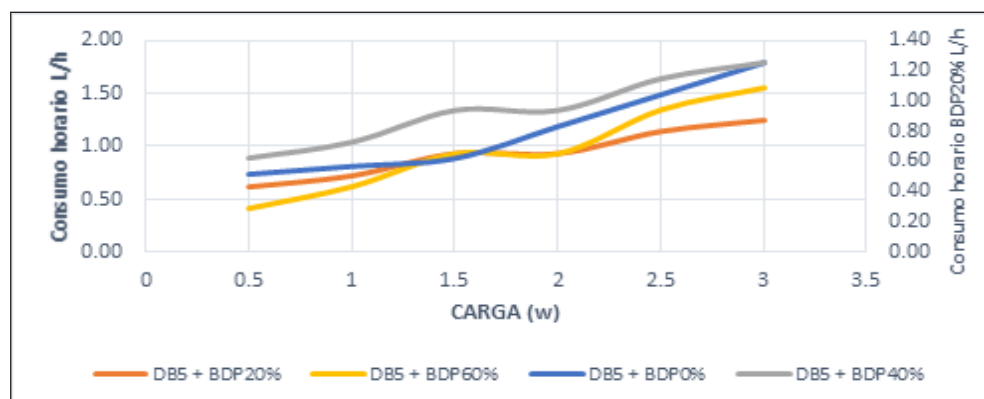


Figura 5. Curvas del consumo horario con diferentes mezclas de combustible

El gráfico de la **Figura 5** muestra la tendencia que la curva de consumo horario tiene con cualquiera de la mezcla usada en función a las cargas, ajustándose a la característica esperada.

El mínimo consumo horario se da con la

mezcla biodiesel al 60% entre 500 y 1000 watts de carga, así mismo se observa que en el rango de carga entre 1000 y 2500 watts el consumo es más bajo para todo tipo de combustible.

En la prueba de Consumo específico

En primer término, las tendencias de las curvas de consumo específico son de características similares a cualquier curva característica de los motores, con el incremento de carga o sea con el incremento de potencia, el consumo especificado en función de la potencia desarrollada y el tiempo disminuye cuanto más se va acercando a la potencia nominal del motor (Figura 6 y Tabla 9).

Impacto Ambiental

En la prueba de Emisión de CO

La Tabla 10 nos muestra que los valores de las emisiones tanto en baja carga o alta carga cercana a la potencia máxima incrementan su emisión de CO, según la teoría la escasez de oxígeno produce el incremento de CO, quiere decir que en la operación por debajo de los 1500 watts y por encima de los 2500 watts la riqueza del combustible es mayor a la relación que debería tener la mezcla aire combustible.

En el grafico podemos observar que el rango de operación entre los 1500 watts a 2500 watts la emisión de CO es menor para cualquier tipo de mezcla además la mezcla con el biodiesel tiene emisiones menores al diésel comercial, vale decir menor contaminación atmosférica y esto se debería a la mayor cantidad de oxígeno en el biodiesel.

En la prueba de Emisión de CO₂

De los datos mostrados en la Tabla 11, se observa que la emisión de CO₂ se incrementa proporcionalmente al aumento de la carga desde 1758,33ppm a 500watts hasta 4127,67ppm a 3000 watts. Con el combustible comercial.

En el caso del combustible mezclado con el biodiesel de pollo estas cifras bajan considerablemente 1485,67ppm a 500watts y 3312,33ppm a 3000watts. Aproximadamente una reducción del 20% al 25% en la emisión de CO₂ en general.

Tabla 9. Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible

| carga(kW) | Consumo específico (kg/kW-h) | | | | | |
|--------------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| DB5 + BDP0% | 1,08 | 0,53 | 0,38 | 0,37 | 0,37 | 0,37 |
| DB5 + BDP20% | 1,34 | 0,68 | 0,59 | 0,43 | 0,42 | 0,38 |
| DB5 + BDP40% | 1,15 | 0,59 | 0,54 | 0,49 | 0,43 | 0,39 |
| DB5 + BDP60% | 0,95 | 0,61 | 0,62 | 0,45 | 0,52 | 0,50 |

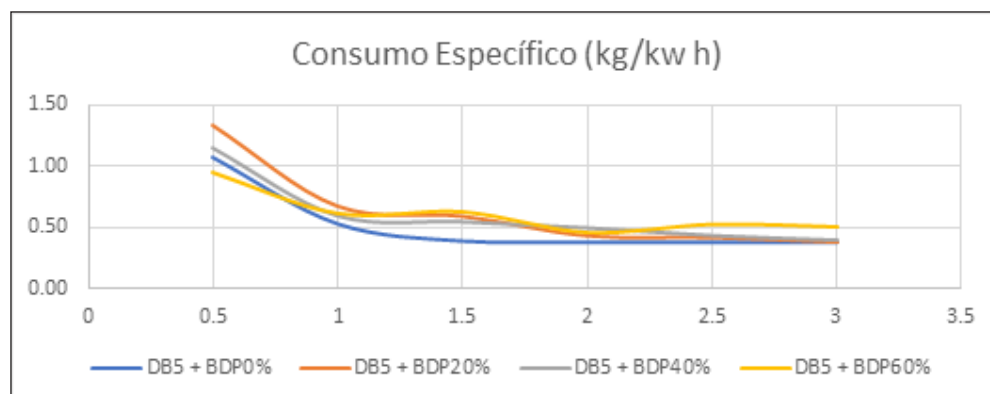


Figura 6. Curvas del consumo específico con diferentes mezclas de combustible

Tabla 10. Resultados de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible

| Monóxido de Carbono (CO ppm) | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| carga(W) | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| DB5 + BDP0% | 38,33 | 49,33 | 32,00 | 21,67 | 25,67 | 60,33 |
| DB5 + BDP20% | 49,00 | 37,33 | 25,33 | 21,67 | 18,67 | 34,33 |
| DB5 + BDP40% | 41,33 | 27,33 | 24,00 | 19,00 | 22,00 | 33,00 |
| DB5 + BDP60% | 30,00 | 31,00 | 22,33 | 22,67 | 24,67 | 44,67 |

Tabla 11. Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible

| Dióxido de Carbono (CO ₂ , ppm) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| carga(W) | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| DB5 + BDP0% | 1758,33 | 2377,00 | 2914,33 | 2470,00 | 3250,00 | 4127,67 |
| DB5 + BDP20% | 1824,67 | 2426,67 | 2610,33 | 2607,00 | 3121,00 | 3047,00 |
| DB5 + BDP40% | 1746,33 | 2309,33 | 2197,67 | 2740,33 | 3054,33 | 3121,00 |
| DB5 + BDP60% | 1485,67 | 1717,67 | 2018,33 | 2535,00 | 2532,33 | 3312,33 |

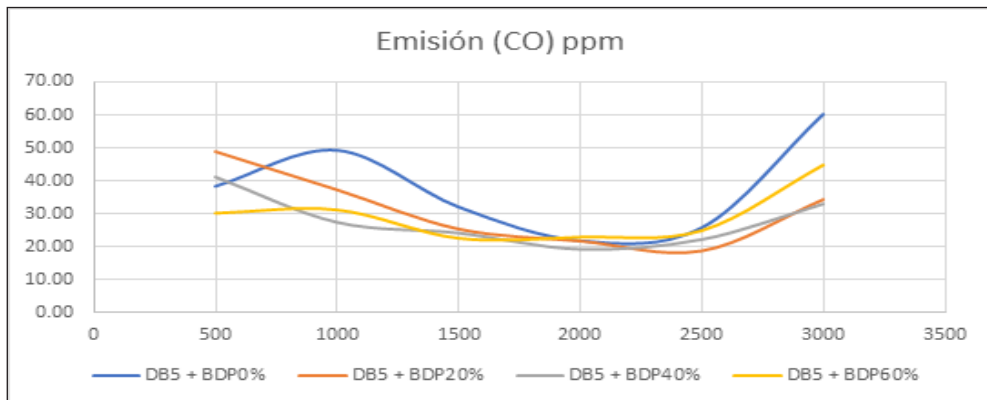


Figura 7. Curvas de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible

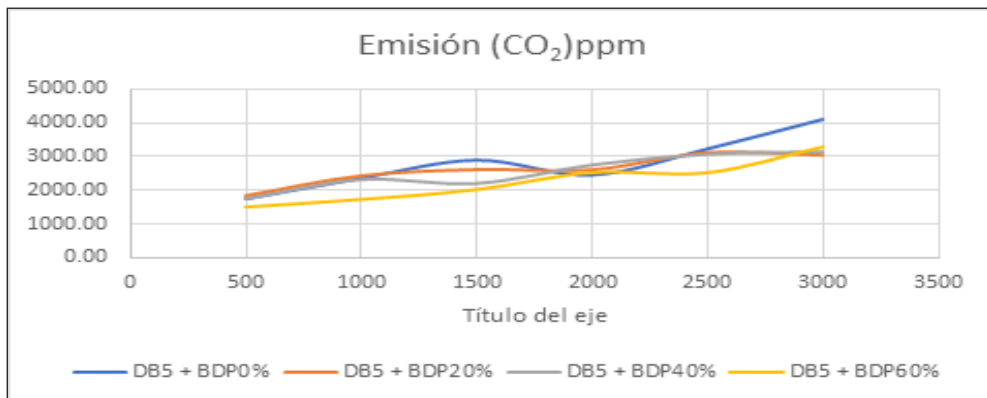


Figura 8. Curvas de la emisión de CO₂ con diferentes mezclas de combustible

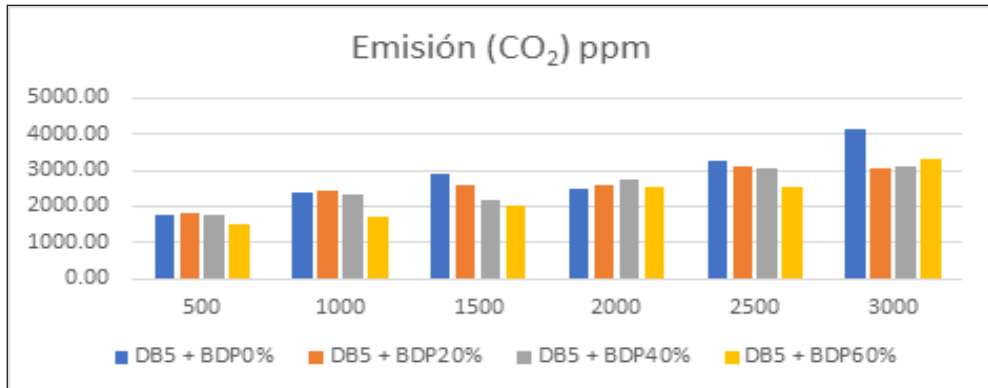


Figura 9. Grafica de la emisión de CO₂ con diferentes mezclas de combustible

En el gráfico podemos observar que la emisión de CO₂ para cada carga a la que se somete al motor con el combustible comercial (en azul) es el que emite mayor proporción de CO₂ en general y la mezcla del 60% de BDP es la que emite la menor proporción, vale aclarar que el combustible comercial ya tiene un 5% de biodiesel incluido, de acuerdo al DS 021-2007-EM. por norma, por lo que se puede asegurar que la mezcla de biodiesel en el diésel reduce considerablemente la emisión de este gas de efecto invernadero.

4. Conclusiones

La grasa de pollo representa una importante fuente de insumo para ser usado en la producción de biodiesel por la gran cantidad de consumo a nivel nacional y mundial. El biodiesel obtenido de la grasa de pollo se convierte en una fuente muy importante de energía siendo un combustible renovable de tercera o cuarta generación que no afecta a la seguridad alimentaria. El uso de la grasa de pollo como materia prima para el biodiesel evita la emisión al ambiente en más del 20% de gases tóxicos o de efecto invernadero. Los subproductos de la producción de biodiesel como es el caso de la glicerina puede ser aprovechado en múltiples usos entre ellas los

cosméticos, los lubricantes, los detergentes y otros. La capacidad energética del biodiesel de pollo es ligeramente inferior al del diésel comercial en un ocho por ciento (Biodiesel 39566,12 kJ/kg, Diésel comercial 43000kJ/kg) por lo que no es notorio la pérdida de potencia. El índice de acidez (2,13) de la grasa de pollo, garantiza un alto grado de transesterificación, y un rendimiento del 96 por ciento respecto a la obtención de biodiesel desde la grasa de pollo. Los efectos mecánicos desarrollados por el MCI con el uso del biodiesel mezclado en porcentajes al 20, 40, 60 por ciento son similares a los del diésel comercial con una insignificante disminución de potencia debido a que el poder calorífico del BDP es 8% menos que al diésel comercial. Los efectos ambientales marcan una notable diferencia frente al diésel comercial disminuyendo la producción de gases de efecto invernadero en más del 20% con respecto al diésel comercial, contribuyendo de esa manera a disminuir el calentamiento global.

5. Literatura citada

Alptekin, E.; Canacki, M. 2011. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. Fuel 90: 2630–2638.

- Ashraful, AM.; Masjuki, HH.; Kalam, MA.; Rizwanul, IM.; Imtenan, S.; Shair, SA.; Mobarak, HM. 2014. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: a review. *Energy Convers Manag* 80(0):202–28.
- Rasim Behcet. 2015. Evaluation as Fuel Diesel Engine of Methyl Esters Derived from Waste Animal Fats 33 (2): 227-242
- Shapiro, S.S.; Francia, R.S. 1972. An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the MERICAN Statistical Association*. *Journal of the American Statistical Association*.
- Shi, W.; Li, J.; He B.; Yan, F.; Cui, Z.; Wua, K.; Lin, L.; Qian, X.; Cheng, Y. 2013. Biodiesel production from waste chicken fat with low free fatty acids by an integrated catalytic process of composite membrane and sodium methoxide,” *Bioresource Technology* 139:316-322.
- UNDP. 2018. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html> Accesado diciembre 2018.
- Wan Ghazali, W.N.M.; Mamat, R.; Masjuki, H. and Najafi, G. 2015. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51:585-602.