

# Physicochemical characterization of sheep fat and evaluation of the effect of pre-esterification and transesterification in biodiesel production

## Caracterización fisicoquímica de la grasa de ovino y evaluación del efecto de la pre-esterificación y transesterificación en la producción de biodiesel

Rogelio Pérez-Cadena<sup>\*1</sup>, Elizabeth González-Escamilla<sup>1</sup>, Angelica E. Delgadillo-López<sup>1</sup>, and J.E. Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo (UPMH),  
Unidad Académica de Ingeniería en Energía,

Boulevard de acceso a Tolcayuca 1009, Ex Hacienda de San Javier, Tolcayuca, Hidalgo México. CP. 43860.

<sup>2</sup> Bioinspired Engineering Research Group (BIERG),

Canterbury Christ Church University,  
Canterbury, Kent CT1 1QU, UK.

{roperez,egonzalez,adelgadillo}@upmh.edu.mx, cpp02jeh@yahoo.com.mx

### Abstract

In addition to vegetable oils, other alternative source as raw material for the production of biodiesel can be animal fat. In the state of Hidalgo, sheep culture is an agricultural activity that generates fat residues derived from the process of making the barbecue. Four samples were characterized: crude fat (Gcr), consommé fat (Gcon), and two cooked meat fats (Gcc and Gc). The effect of pre-esterification, transesterification and reaction time on biodiesel production yield was evaluated, obtaining a yield of up to 89.44% for homogeneous catalysis, while pre-esterification decreased yield. Additionally, it was determined that the lowest amount of free fatty acids was found in the Gcon sample (0.3%), and the highest value was found in the Gcc (0.75%) and Gc (0.83%) samples.

**Keywords**— Biodiesel, fat sheep, transesterification

### Resumen

Además de los aceites vegetales, otra fuente alternativa como materia prima para la producción de biodiesel puede ser la grasa animal. En el estado de Hidalgo, la ovino cultura es una

actividad agropecuaria que genera residuos de grasa derivados del proceso de elaboración de la barbacoa. Se caracterizaron cuatro muestras: grasa cruda (Gcr), grasa de consomé (Gcon) y dos grasas de carne cocida (Gcc y Gc). Se evaluó el efecto de la pre-esterificación, transesterificación y el tiempo de reacción en el rendimiento de la producción de biodiesel obteniéndose un rendimiento de hasta 89.44 % para la catálisis homogénea, mientras que la pre-esterificación el rendimiento disminuyó. Adicionalmente, se determinó que la cantidad de ácidos grasos libres mas bajo se presentó en la muestra Gcon (0.3 %), y el valor mas alto lo presentaron las muestras Gcc (0.75 %) y Gc (0.83 %).

**Palabras clave**— Biodiesel, grasa de ovino, transesterificación

### I. Introducción

En la actualidad los combustibles derivados del petróleo son la principal fuente de energía. Sin embargo, a nivel mundial este recurso puede llegar a ser finito debido al alto consumo y demanda que tiene en la sociedad [1]. Alternativas a dichas fuentes son de interés comercial, una de estas fuentes es el uso de biocombustibles como el biodiesel.

\* Autor de correspondencia

Los sustratos comúnmente utilizados para la producción de biodiesel son los aceites vegetales tales como: residuos de aceite vegetal, aceite de girasol, oliva, soya, algodón, palma, entre otros [2]. Estos son empleados para la producción de biodiesel de primera generación [3]. Sin embargo, se pueden emplear otras fuentes tales como: aceites no comestibles de segunda generación o aceites usados denominados de tercera generación, que naturalmente son renovables y también se pueden encontrar localmente [4, 5].

Debido a la variabilidad en la composición de los diversos sustratos existentes, la selección de este es de suma importancia para la producción de biodiesel debido a factores como: costo, rendimiento, composición y pureza pueden afectar directamente a la producción de biodiesel [6].

Por tanto, su selección depende de su disponibilidad y del tipo de sustrato (comestible, no comestible o residuo), además de la región o área de la cual se obtenga, y de otros factores que se deben de considerar, tales como: la abundancia de sustrato, el contenido de aceite o ácidos grasos, la composición química y sus propiedades físicas [4]. De entre las principales fuentes de grasa animal para la obtención de biocombustibles se puede encontrar: sebo, manteca de cerdo, grasa de pollo y mezclas de grasas animales en las cuales la composición de ácidos grasos puede ser muy variada [7].

Una de las principales características de los residuos de grasas animales es el contenido de ácidos grasos libres [8]. Por tanto, durante el proceso de transesterificación para la transformación de un residuo en biodiesel existen varios parámetros que determinan el rendimiento final del biodiesel. Las variables más importantes son: la cantidad de ácidos grasos libres, el contenido de agua, la temperatura de reacción, la relación molar alcohol/aceite, el tipo y concentración del catalizador, el tipo y estructura química del alcohol, el tiempo de reacción y la velocidad de agitación en el mezclado [1, 9].

En el estado de Hidalgo, la ovino cultura es una de las principales actividades agropecuarias ocupando el segundo lugar nacional en producción de ganado ovino [10]. El consumo per cápita de ovino tiende a incrementar, reportándose un aumento de 0.22 kg en un periodo de 10 años, haciendo de este producto un elemento en la dieta y el gusto de la población mexicana [11].

La carne de ovino es un producto de calidad y es demandado por la población urbana que la consume frecuentemente en barbacoa (plato tradicional de carne de ovino, cocida en su propio jugo o al vapor), principalmente en las grandes ciudades como la CDMX y el área conurbana del Estado de México, Guadalajara y Monterrey [10].

La carne de ovino contiene sustancias nutritivas necesarias para la alimentación humana, y su calidad depende de sus características químicas, encontrándose que la car-

ne de ovino puede contener desde un 7% hasta un 30% de grasa además de agua, sales minerales y proteína [12]. Por otro lado, la composición de ácidos grasos de la carne de ovino se encuentra mayormente influenciada por la edad, régimen de alimentación y genotipo del ganado, pero el principal ácido graso presente en la grasa intramuscular es C18:1n-9, seguido por C16:0, mientras que el tercer ácido graso de mayor abundancia es C18:0 [13].

Debido a que la grasa de ovino puede ser un recurso abundante, en el presente trabajo se evaluaron las propiedades y características de diversas fracciones de grasa obtenidas del procesamiento del ganado ovino como materia prima en la producción de barbacoa, y se evaluó el efecto de la pre-esterificación y esterificación en el rendimiento de la producción de biodiesel.

## II. Metodología

### II.1. Pretratamiento

Del proceso artesanal de elaboración y comercialización de la barbacoa realizado por la familia Cadena-Reyes en la comunidad de Zaragoza ubicada en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, se obtuvieron cuatro muestras: una grasa cruda (Gcr) y tres grasas de la barbacoa (Gcon: grasas de consomé, Gcc: grasa de caja de almaceñaje y Gc: grasa obtenida de la carne de barbacoa). Las muestras se almacenaron en recipientes de 1 L previamente esterilizados, se etiquetaron y posteriormente se colocaron en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Se colocaron muestras de 500 g en vasos de precipitados de 1L sobre una parrilla de calentamiento durante 3 h a 90 °C para eliminar el contenido de agua de cada muestra. Posteriormente, la muestra se pasó a través de un colador y papel filtro para eliminar las impurezas [14]. El contenido de humedad de cada una de las muestras se determinó por diferencia de peso.

### II.2. Caracterización de la materia prima

Para caracterizar a cada una de las grasas se determinaron los siguientes valores: gravedad específica, índice de acidez, porcentaje de ácidos grasos libres, índice de saponificación y peso molecular promedio.

Para determinar la gravedad específica (GE) de las muestras se utilizó un picnómetro de 25 mL y se determinó la gravedad específica, mediante la Ecuación (1) [15].

$$GE = \frac{((\text{peso del picnómetro} + \text{muestra}) - \text{peso del picnómetro}) / ((\text{peso del picnómetro} + \text{agua}) - \text{peso del picnómetro})}{1} \quad (1)$$

Para la determinación del índice de acidez (IA) se preparó una solución de 0.1 N de KOH, posteriormente dos gramos de la muestra fueron calentados a 40 °C por tres minutos. 20 mL de etanol anhidro se le agregó a la solución junto con 2 gotas de fenolftaleína como indicador de la titulación. La titulación se realizó con KOH 0.1 N hasta el vire. El valor IA se determinó de acuerdo a la Ecuación (2) [16].

$$IA = \frac{M \times N \times V}{W} \quad (2)$$

Donde:  $N$  es la normalidad del KOH,  $V$  es el volumen del titulante gastado (mL),  $M$  es el peso molecular del KOH y  $W$  es el peso de la muestra.

La determinación del porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) se realizó a través del IA calculado previamente. Para ello se utilizó la Ecuación (3) [17].

$$\%(AGL) = IA \times 0.503 \quad (3)$$

Para obtener el valor del índice de saponificación (IS), se preparó una solución etanólica de KOH y se agregó a 2 g de la muestra, colocándose a 70 °C durante 30 minutos con un condensador. Posteriormente, la mezcla fue enfriada y se le colocaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y la mezcla fue titulada con una solución 0.5 M de HCl. El valor del IS se determinó usando la Ecuación (4) [16].

$$IS = \frac{M \times N \times (Vb - Vs)}{W} \quad (4)$$

Donde:  $M$  es el peso molecular del KOH,  $N$  es la normalidad de la solución de HCl,  $Vb$  es el volumen de HCl usada en el blanco,  $Vs$  es el volumen de la solución usada en la muestra y  $W$  es el peso de la muestra.

El peso molecular promedio (WM, por sus siglas en inglés) de la muestra se calculó a partir del índice de acidez y el índice de saponificación de acuerdo a la Ecuación (5) [18].

$$WM = \frac{56.1 \times 100 \times 3}{IS - IA} \quad (5)$$

### II.3. Diseño de experimento de producción de biodiesel

Las reacciones de pre-esterificación y transesterificación se llevaron a cabo en un matraz de fondo redondo de 250 ml equipado con: un condensador de reflujo, un termómetro y una parrilla de calentamiento con agitador magnético. Todos los experimentos se realizaron con 50 g de grasa. La reacción de transesterificación de

la grasa se realizó en dos pasos: con catalizador ácido (pre-esterificación) y con catalizador alcalino (transesterificación). Como factores adicionales se analizó el efecto del tiempo de reacción y la relación metanol-grasa de acuerdo con el diseño mostrado en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Diseño de experimentos de los factores evaluados

Nivel	Ácido (% v/v) $X_1$	Metanol: Grasa (mol:mol) $X_2$	Tiempo (min) $X_3$
-1	0	6:1	30
0	2	12:1	60
1	1	18:1	90

### II.4. Pre-Esterificación

Se calentaron 50 g de grasa a 60 °C en un matraz de fondo redondo, se añadió metanol y catalizador ácido en solución (Tabla 1), manteniendo una relación molar metanol-grasa de 6:1, posteriormente se inició la agitación de la mezcla durante 30 min. La mezcla se colocó en un embudo de separación y se dejó reposar hasta la separación de fases. La fase superior consistió en metanol, catalizador,  $H_2O$  e impurezas y la fase inferior consistió principalmente en grasas y los ácidos grasos esterificados [8].

### II.5. Transesterificación

Se calentaron 50 g de grasas a 60 °C utilizando el mismo sistema que la pre-esterificación. Se añadió la cantidad adecuada de metanol y catalizador (NaOH) previamente preparado (1 % p/v). La muestra de reacción se colocó durante el tiempo establecido de acuerdo al diseño experimental (Tabla 2). La mezcla se colocó en un embudo de separación. Se separó la fase de glicerol, posteriormente se lavó la fase de biodiésel con agua desionizada para eliminar el catalizador en una proporción 1:1, posteriormente las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min. Los experimentos se realizaron por triplicado y el biodiesel obtenido fue medido y pesado. El rendimiento ( $Y$ ) de la reacción se determinó usando la Ecuación (6) [16].

$$Y(\%) = \frac{\text{Peso total de Biodiesel de la grasa}}{\text{Peso total de aceite en la muestra}} \times 100\% \quad (6)$$

### II.6. Análisis estadístico

Las muestras iniciales de grasa se compararon a través de un análisis de la varianza (ANOVA) para verificar similitudes entre los parámetros evaluados. El efecto de las

variables analizadas en la producción de biodiesel se analizó a través de un diseño Box-Behnken el cual requirió 15 combinaciones experimentales (Tabla 2). Cada experimento se repitió tres veces y se determinó el rendimiento como variable de respuesta. Los datos experimentales fueron analizados usando el software Statgraphics Centurion XVI.

**Tabla 2:** Diseño de experimentos Box-Benken para la producción de biodiesel de la grasa de ovino

No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y%
1	0	0	0	71.65± 5.44
2	0	0	0	85.14±0.85
3	0	1	-1	77.97±6.04
4	0	0	0	74.82±0.86
5	-1	0	1	89.44±3.44
6	-1	0	-1	54.18±0.86
7	0	-1	1	41.28±1.72
8	1	0	1	58.48±1.72
9	0	-1	-1	45.80±9.35
10	-1	-1	0	80.84±5.16
11	0	1	1	81.70±0.86
12	1	0	-1	79.12±0.92
13	-1	1	0	68.22±5.53
14	1	1	0	76.25±6.04
15	1	-1	0	67.65±5.25

### III. Resultados

#### III.1. Caracterización de los residuos de grasa de ovino

Se analizaron cuatro muestras de grasa obtenidas de diferentes etapas del procesamiento de ganado ovino durante la elaboración de barbacoa.

A las muestras se les determinaron características físicoquímicas como: humedad, gravedad específica, pH, índice de acidez e índice de saponificación con la finalidad de evaluar el efecto de la fuente de obtención y su potencial previo a ser empleado como materia prima para la producción de biodiesel.

Se observó que la cantidad de humedad en la muestra Gc fue de un 20.53 %, esta cantidad se debió principalmente a que la muestra aún tenía presencia de tejido y agua originada por el proceso de lavado del canal; mientras que para las muestras Gcon y Gcc el porcentaje de humedad fue del 2.46 % y 2.6 % respectivamente (Tabla 3). Estos resultados coincidieron con trabajos previamente reportados donde se menciona que el proceso de cocinado permite una deshidratación del alimento, provocando que el agua y los compuestos solubles sean transferidos del alimento al aceite [19].

Las mediciones de la gravedad específica de las muestras no mostraron diferencias estadísticas significativas, por lo que este parámetro se mantuvo constante con un valor de 0.9 para las cuatro muestras estudiadas. Resultados similares se han reportado en muestras de piel de oveja con densidad de 0.9 kg/L [16]. Para grasas de ternera, res, cerdo, ganso y pollo la densidad promedio se han reportado de 0.92 g/cm<sup>3</sup> con una disminución en este valor de 3 % para el biodiesel obtenido de las grasas animales [6].

La determinación de la densidad inicial es de importancia debido a que el biodiesel de alta densidad contiene más masa en comparación con el combustible de baja densidad debido a que la cantidad de energía y la relación aire-combustible en la cámara de combustión se ven afectadas por la densidad del combustible [5]. Por otro lado, el pH medido de las muestras fue en promedio de 5.91, no observándose diferencias estadísticas significativas entre las muestras estudiadas.

Un parámetro importante en la evaluación de las grasas es la determinación del IS, el cual representa la cantidad en mg de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres y saponificar los ésteres presentes en 1 g de muestra [16]. En los resultados obtenidos se observó que los valores se encontraron en un intervalo de 116.4 mg KOH/mg hasta 178.1 mg KOH/g, el menor valor de IS la presentó Gcc mientras que el máximo observado se encontró en Gc. Las muestras analizadas no mostraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 1).

El índice de acidez no mostró diferencias estadísticas entre las muestras analizadas obteniéndose un valor medio de 1.53 mg KOH/g de grasa para las cuatro muestras estudiadas. Resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo han sido descritos previamente, donde se determinó que el índice de acidez fue de 0.84 mg de KOH/g de aceite y en manteca de cerdo el índice de acidez fue de 1.58 mg KOH/g [1]. Esta variación podría deberse principalmente a la dieta de los animales. Por otro lado, se ha reportado que estos valores disminuyen al realizar un proceso de transesterificación, de tal forma que los valores sean menores a 0.5 mg KOH/g de acuerdo a estándares como la ASTM y EN14214 [4].

El porcentaje de ácidos grasos libres fue determinado observándose que el valor más bajo se presentó en la muestra Gcon con un 0.3 %, mientras que el valor más alto lo presentaron la muestra Gcc con un valor de 0.75 % y la muestra de Gc con un valor de 0.83 %, seguido de Gcr con un 0.6 % (Tabla 3). De acuerdo con los estudios reportados, la transesterificación catalizada por compuestos alcalinos se ve afectada negativamente por un alto contenido relativo de ácidos grasos libres formando jabones [8].

El nivel adecuado de ácidos grasos libres en las materias primas debe ser entre 0.5 % y 3 % para que tenga

**Tabla 3:** Caracterización fisicoquímica de las muestras de grasa de ovino

	Gcr	Gcon	Gcc	Gc
Gravedad específica (GE)	0.73 ± 0.02b	0.93 ± 0.06a	0.90 ± 0.01 a	0.90 ± 0.02 a
% humedad	27.93 ± 4.16a	2.46 ± 0.25b	0.60 ± 0.12d	20.53 ± 6.70c
ph	5.81 ± 0.39a	5.63 ± 0.33 a	6.42 ± 0.12 b	5.81 ± 0.09 b
Índice de saponificación (mg KOH /g) (IS)	134.60 ± 14.03b	140.30 ± 2.81b	116.40 ± 1.40a	178.11 ± 32.26ab
Índice de acidez (mg KOH/g) (IA)	1.20 ± 0.29a	1.70 ± 0.29 a	1.50 ± 0.50 a	1.70 ± 0.29 a
% de ácidos libres (AGL)	0.60 ± 0.15b	0.30 ± 0.01a	0.75 ± 0.14 b	0.83 ± 0.15 b
Peso molecular (g/mol) (WM)	1260.93	1214.43	1464.66	953.81

lugar la transesterificación alcalina con la tasa de conversión adecuada [20]. Adicionalmente, se ha descrito que una grasa de alta calidad debe de contener una cantidad de ácidos grasos libres menor al 2% empleado para cosméticos y medicamentos, mientras que valores de ácidos grasos libres menores al 5% podrían estar destinados a la producción de biocombustibles [7].

La importancia de caracterizar los sustratos para producir biodiesel se debe a que los aceites y en este caso las grasas comestibles se exponen constantemente a reacciones químicas durante el proceso de cocinado, siendo los factores más importantes el oxígeno, la luz y calor los que afectan sus características y su pureza, debido a que durante el proceso de cocinado se llevan a cabo reacciones de oxidación, polimerización e hidrólisis principalmente [19].

### III.2. Producción de biodiesel a partir de grasa de ovino

A partir de la muestra de grasa de ovino se exploró el efecto de la pre-esterificación al 1% y 2% v/v de ácido metanol (relación molar 6:1) y la transesterificación con una relación de metanol-grasa de 6:1, 12:1, y 18:1; además del tiempo de reacción de entre los 30, 60 y 90 min como factores que afectan el rendimiento en la obtención de biodiesel.

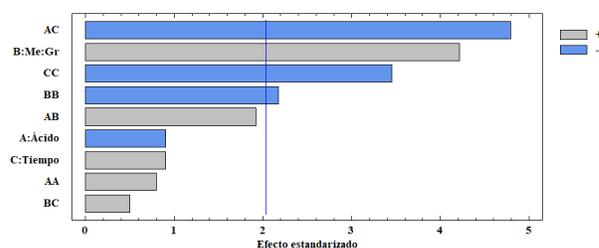
La Tabla 2 muestra que el máximo rendimiento obtenido fue de 89.44% p/p para las condiciones de una relación metanol-grasa de 12:1, en ausencia de una pre-esterificación y con un tiempo de reacción de 90 min. Previamente, se ha descrito que la presencia de metanol excesivo no es favorable durante la purificación del biodiesel debido que se necesita energía adicional para recuperar el metanol sin reaccionar [9].

Por tanto, una relación molar de metanol aceite de 9:1 es más apropiada en comparación a una relación molar más baja, evitando la limitación en la conversión de los triglicéridos en ésteres metílicos debido a la naturaleza reversible de la transesterificación [9, 18]. En contraste, se ha descrito también una alta conversión (96.2%) a 70 °C, observando también que a una temperatura de 30 °C puede ser adecuada para la etanolisis de biodiesel,

usando 0.96% en peso de catalizador y una relación molar de etanol-grasa 7:1 con rendimientos de alrededor del 83% en grasas animales [20].

En los experimentos realizados en este trabajo se observó que el máximo rendimiento de conversión fue de 81% con la relación molar más alta y un tiempo de reacción de 90 min. Mientras que los tratamientos con tiempo de reacción más cortos (30 min) la conversión fue menor (Tabla 2).

El análisis del diseño del experimento mostró que el factor determinante en el rendimiento durante la transesterificación es la relación metanol-grasa, mientras que la presencia de ácido en la pre-esterificación combinado con el tiempo afectó directamente el rendimiento de tal forma que se observó una disminución (Figura 1).


**Figura 1:** Efecto de las variables estudiadas en el rendimiento de la producción de biodiesel

En la Tabla 2 se muestra que en los experimentos con pre-esterificación el rendimiento fue menor al 70% y al asociar este factor con una baja relación metanol-grasa el proceso de transesterificación estuvo limitado en comparación a los experimentos en los cuales no se aplicó este proceso (experimento 9).

Los datos obtenidos fueron analizados en el software Statgraphics Centurión XVI para evaluar el efecto de las variables estudiadas (Figura 2). La Figura 2a mostró que la interacción entre la relación molar y el tiempo en ausencia de un proceso de pre-esterificación, los rendimientos esperados son de 87%. Al respecto, se ha descrito previamente que el rendimiento en la producción de biodiesel aumenta con el incremento simultáneo de la temperatura y el catalizador hasta aproximadamente 65 °C y 1.25%

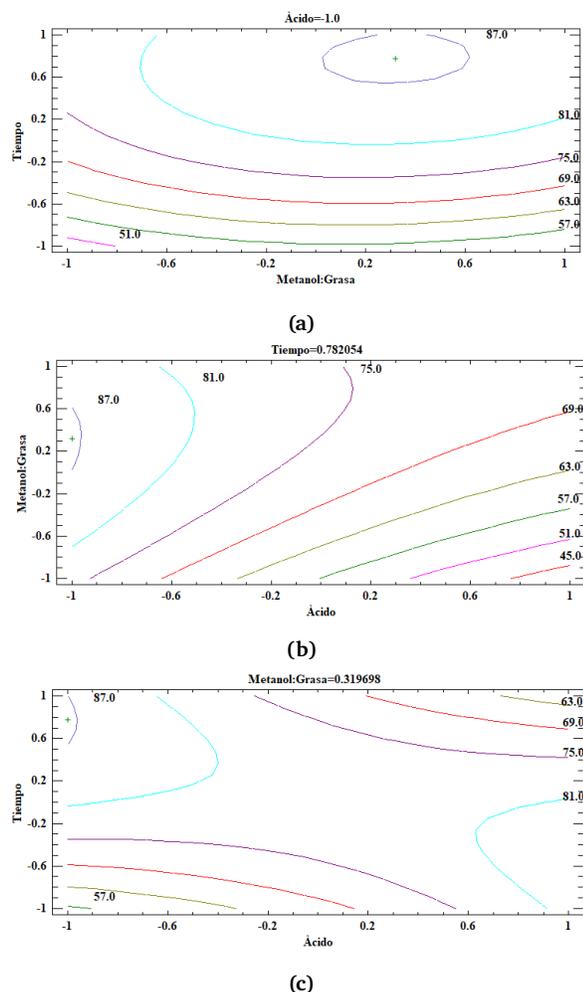


Figura 2: Efecto de las variables estudiadas en el rendimiento de la producción de biodiesel a partir de la grasa de ovino

en peso, respectivamente [1].

En este trabajo se observó que un tiempo mayor a 1 h y con una relación de metanol grasa 15.6:1 es posible tener un máximo en el rendimiento del biodiesel. Sin embargo, de acuerdo con varias investigaciones por otros autores, un factor clave en la mejora en el rendimiento es evaluar el efecto del catalizador en la transesterificación homogénea y el mezclado [3, 21].

En la Figura 2b se muestra la gráfica de contorno del efecto entre el porcentaje de ácido usado en la pre-esterificación y la relación metanol grasa, donde se encontró que la presencia de un proceso de pre-esterificación disminuyó el rendimiento de la transesterificación hasta un 45 % mientras que, el máximo valor de rendimiento se obtuvo sin este pretratamiento y con una relación metanol grasa cercana a 12:1.

Por otro lado, en la Figura 2c se observó que con el tiempo el proceso de transesterificación se vio limitado, teniendo un rendimiento mayor al 81 % sin ácido en la

pre-esterificación y un tiempo de 90 min de reacción.

Los menores rendimientos se observaron con un 2 % de  $H_2SO_4$  mientras que con 1 % el rendimiento fue inferior al 80 %, lo que indicó que hubo una disminución en el contenido de ácidos grasos libres mejorando la conversión, aunque el rendimiento fue menor comparado con los tratamientos en ausencia de la pre-esterificación con ácido. En estudios similares con presencia de ácidos grasos libres, se argumentan la necesidad de un pretratamiento para reducir la acidez a valores aceptables y evitar la saponificación y una disminución en el rendimiento de la transesterificación [22].

En trabajos similares, se ha encontrado que cantidades de 1.88 % de ácidos grasos libres con condiciones de operación de 30 °C y un mínimo de 1.3 % en peso de catalizador, los rendimientos fueron aceptables y pueden ser descritos por modelos estadísticos hasta en un 94.6 % para el rendimiento ponderal de los ésteres metílicos de ácidos grasos, y 1.1 % para la pérdida de rendimiento molar debida a la saponificación de triglicéridos y 2.9 % para la pérdida de rendimiento molar debida a la disolución del éster metílico en glicerol [23].

En este trabajo, el análisis de las gráficas de contorno en la Figura 2 mostró el efecto de las variables estudiadas, encontrándose que estadísticamente no existe necesidad de un pretratamiento para disminuir el contenido de ácidos grasos libres para lograr una máxima transesterificación en las grasas de ovino estudiadas, debido a que se observó un efecto negativo en el rendimiento, por lo que, en este tipo de grasas, la producción de biodiesel no se verá afectada en las propiedades del biodiesel obtenido.

#### IV. Conclusiones

Se evaluaron cuatro muestras de grasa de ganado ovino provenientes de la elaboración de barbacoa denominadas Gcr, Gcc, Gcon, Gc. Los cuales mostraron que la grasa de ganado ovino es un buen sustrato para ser transformado por transesterificación para la obtención de biodiesel debido a que presentó un bajo contenido estimado de ácidos grasos libres. Adicionalmente, al evaluar el efecto de la pre-esterificación, y el tiempo de reacción en la transesterificación homogénea, el máximo rendimiento de biodiesel obtenido fue del 89.4 % con una relación metanol grasa de 12:1 y 90 min de tiempo de reacción el cual se obtuvo sin un proceso de pre-esterificación con ácido como catalizador, lo que demostró que, para este residuo de grasa no es necesario la pre-esterificación para alcanzar una buena conversión. Sin embargo, se observó la necesidad de evaluar el efecto de la agitación y la cantidad del catalizador para mejorar el rendimiento.

## Referencias

- [1] Chinyere B Ezekannagha, Callistus N Ude y Okechukwu D Onukwuli. «Optimization of the methanolysis of lard oil in the production of biodiesel with response surface methodology». En: *Egyptian Journal of Petroleum* 26.4 (2017), págs. 1001-1011.
- [2] M James Selvakumar y S John Alexis. «Biodiesel from goat and sheep fats and its effect on engine performance and exhaust emissions». En: *Int J Adv Engg Tech/Vol. VII/Issue II/April-June* 988 (2016), pág. 993.
- [3] Digambar Singh et al. «A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel». En: *Fuel* 262 (2020), pág. 116553.
- [4] Indu Ambat, Varsha Srivastava y Mika Sillanpää. «Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review». En: *Renewable and sustainable energy reviews* 90 (2018), págs. 356-369.
- [5] Digambar Singh et al. «Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review». En: *Fuel* 253 (2019), págs. 60-71.
- [6] Aleksandra Sander et al. «The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality». En: *Renewable energy* 118 (2018), págs. 752-760.
- [7] Vivian Feddern et al. «Animal fat wastes for biodiesel production.» En: *Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE)* (2011).
- [8] JM Encinar et al. «Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content». En: *Bioresource Technology* 102.23 (2011), págs. 10907-10914.
- [9] Puneet Verma y MP Sharma. «Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks». En: *Renewable and sustainable energy reviews* 62 (2016), págs. 1063-1071.
- [10] A Vélez et al. «Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, Mexico». En: *Archivos de zootecnia* 65.251 (2016), págs. 425-428.
- [11] Ignacio Orona Castillo et al. «Análisis microeconómico de una unidad representativa de producción de carne de ovino en el Estado de México bajo un sistema de producción semi intensivo». En: *Revista mexicana de agronegocios* 34.1345-2016-104425 (2014).
- [12] Jesús Romero Martínez. «4.1 ANTECEDENTES DE LA OVINO CULTURA EN MÉXICO». En: ().
- [13] Lindon W Mamani-Linares y Carmen Gallo. «Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva». En: *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 24.3 (2013), págs. 257-263.
- [14] Jesús Oliva-Montes et al. «Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea». En: *Rev. Iberoam. Cienc* 2 (2015), págs. 93-102.
- [15] César Valdez Pantoja y Graciela Untiveros Bermúdez. «Extracción y caracterización del aceite de las larvas del Tenebrio molitor». En: *Revista de la Sociedad Química del Perú* 76.4 (2010), págs. 407-414.
- [16] Henok Dagne, Rajan Karthikeyan y Sisay Feleke. «Waste to energy: response surface methodology for optimization of biodiesel production from leather fleshing waste». En: *Journal of Energy* 2019 (2019).
- [17] Jorge Ramírez Ortiz, Merced Martínez Rosales y Horacio Flores Zúñiga. «Production of biodiesel from roasted chicken fat and methanol: free catalyst». En: *Int. J. Chem. Mol. Eng.* 8 (2014), págs. 961-964.
- [18] ZHU Huaping et al. «Preparation of biodiesel catalyzed by solid super base of calcium oxide and its refining process». En: *Chinese Journal of Catalysis* 27.5 (2006), págs. 391-396.
- [19] M Berrios et al. «Study of esterification and transesterification in biodiesel production from used frying oils in a closed system». En: *Chemical Engineering Journal* 160.2 (2010), págs. 473-479.
- [20] Anildo Cunha Jr et al. «Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes». En: *Fuel* 105 (2013), págs. 228-234.
- [21] Metin Gürü et al. «Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive». En: *Energy conversion and Management* 50.3 (2009), págs. 498-502.
- [22] Joana M Dias, Maria CM Alvim-Ferraz y Manuel F Almeida. «Production of biodiesel from acid waste lard». En: *Bioresource technology* 100.24 (2009), págs. 6355-6361.
- [23] Luis Fernando Bautista et al. «Optimisation of FAME production from waste cooking oil for biodiesel use». En: *Biomass and Bioenergy* 33.5 (2009), págs. 862-872.