



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**PRODUCCIÓN DE GREEN DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE  
POLLO Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES EN FRÍO EN  
MEZCLAS CON DIÉSEL PETROQUÍMICO**

Autor  
Otto Armando Ortiz Oyola

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Química  
Medellín, Colombia  
2020



PRODUCCIÓN DE GREEN DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE POLLO Y  
EVALUACIÓN DE PROPIEDADES EN FRÍO EN MEZCLAS CON DIÉSEL  
PETROQUÍMICO

Otto Armando Ortiz Oyola

Proyecto de investigación como requisito para optar al título de Ingeniero Químico

Asesor  
PhD. Luis Alberto Ríos

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Química  
Medellín, Colombia  
2020.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al PhD Luis Alberto Ríos por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo en el grupo procesos químicos industriales (PQI) dentro del proyecto: Producción de Diésel renovable mediante hidrotratamiento de ácidos grasos derivado de residuos animales.

Al PhD. David Echeverry, a la PhD. Helen Inciarte y a la MSc. Claudia Gómez por generar un excelente ambiente laboral y siempre estar dispuestos a colaborar durante la ejecución del proyecto de investigación.



## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	6
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
3.1 Green Diesel .....	10
3.2 Triglicéridos .....	10
3.3 Hidrotratamiento de aceites .....	10
3.4 Punto de nube y punto de fluidez .....	12
3.5 Índice de saponificación .....	12
3.6 Índice de acidez .....	12
3.7 Índice de yodo .....	12
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
4.1 Revisión bibliográfica.....	13
4.2 Caracterización fisicoquímica del aceite de pollo .....	13
4.3 Sulfuración del catalizador comercial Ni-Mo .....	13
4.4 Hidrólisis del aceite de pollo .....	16
4.5 Reacción de desoxigenación .....	16
4.6 Preparación de mezclas en diferentes proporciones entre <i>green diesel</i> y diésel petroquímico.....	18
4.7 Evaluación de propiedades en frío (punto de fluidez y punto de nube) de las mezclas preparadas. ....	18
<b>5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>19</b>
5.1 Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de pollo.....	19
5.2 Índices fisicoquímicos del aceite de pollo .....	19
5.3 Pureza del Green Diesel .....	19
5.4 Propiedades en frío de mezclas entre Green Diesel y diésel petroquímico .....	20
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Perfil de ácidos grasos del aceite de pollo.....	19
<b>Tabla 2.</b> Índices fisicoquímicos del aceite de pollo.....	19
<b>Tabla 3.</b> Propiedades en frío de mezclas Green Diesel – Diesel petroquímico.....	20





## ÍNDICE DE GRÁFICAS

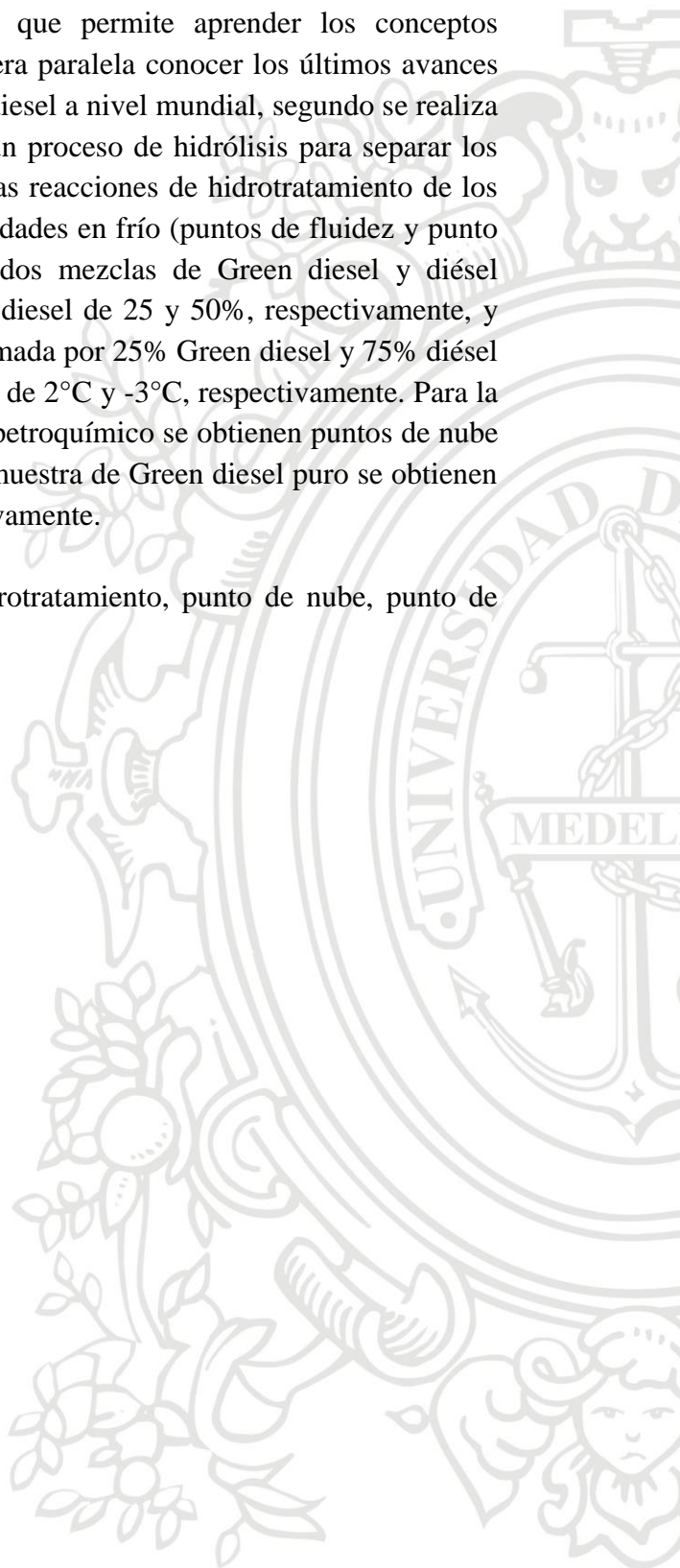
<b>Figura 1.</b> Estructura básica de un triglicérido y un ácido graso comúnmente presente en grasas y aceites vegetales (Sotelo-Boyas et al., 2012). .....	10
<b>Figura 2.</b> Posibles vías de reacción para la eliminación de oxígeno por H <sub>2</sub> de los triglicéridos trioleicos (Kovács et al., 2011). .....	11



## RESUMEN

Con el fin de producir Green Diesel, utilizando como materia prima el aceite de pollo, y evaluar las propiedades en frío de diferentes mezclas con diésel petroquímico, se realiza inicialmente una revisión bibliográfica exhaustiva que permite aprender los conceptos relacionados con el tema de investigación y de manera paralela conocer los últimos avances científicos relacionados con la producción de Green diesel a nivel mundial, segundo se realiza una caracterización del aceite de pollo, seguida de un proceso de hidrólisis para separar los ácidos grasos de la grasa animal, luego se realizan las reacciones de hidrotratamiento de los ácidos grasos y finalmente se evalúan algunas propiedades en frío (puntos de fluidez y punto de nube) para tres muestras, que corresponden a dos mezclas de Green diesel y diésel petroquímico con porcentajes peso a peso de Green diesel de 25 y 50%, respectivamente, y una muestra de Green diesel puro. Para la mezcla formada por 25% Green diesel y 75% diésel petroquímico se obtienen puntos de nube y de fluidez de 2°C y -3°C, respectivamente. Para la mezcla formada por 50% Green diesel y 50% diésel petroquímico se obtienen puntos de nube y de fluidez de 9°C y 6°C, respectivamente. Para la muestra de Green diesel puro se obtienen puntos de nube y de fluidez de 21°C y 18°C, respectivamente.

**Palabras claves:** Green diesel, aceite de pollo, hidrotratamiento, punto de nube, punto de fluidez.



## 1. INTRODUCCIÓN

La disminución de las reservas de petróleo y la preocupación mundial por los problemas medioambientales, han originado un aumento de las investigaciones que buscan ofrecer un combustible limpio y renovable que reemplace o disminuya el consumo de los combustibles fósiles.

Recientemente, los sustitutos de diésel petroquímico basados en grasas animales y aceites vegetales han recibido considerable atención. La desoxigenación de grasas y aceites usando hidrógeno ha sido propuesta como un método atractivo y alternativo para convertir ácidos grasos o triglicéridos en un diésel sintético llamado *Green Diesel* o diésel renovable, que contiene alcanos de cadena lineal, con estructuras moleculares similares a las del diésel petroquímico (Kaewmeesri, Srifa, Itthibenchapong, & Faungnawakij, 2015).

Tratando de optimizar las variables del proceso para obtener *Green Diesel* de alta calidad, se han realizado numerosos estudios del hidrotratamiento de aceites vegetales y grasas animales. Los principales aceites vegetales usados han sido girasol (Huber, O'Connor, & Corma, 2007), Colza (Sotelo-Boyás, Liu, & Minowa, 2011), semillas de algodón (Sebos, Matsoukas, Apostolopoulos, & Papayannakos, 2009), jatropha (Liu, Sotelo-Boyás, Murata, Minowa, & Sakanishi, 2009), soja (Ishihara, Fukui, Nasu, & Hashimoto, 2014) y palma (Guzman, Torres, Prada, & Nuñez, 2010). Los trabajos relacionados con el hidrotratamientos de grasas animales son muy escasos; solo se ha reportado un trabajo donde analizaron el efecto que ejerce el contenido de agua (0 o 4 %) y de ácidos grasos libres sobre la conversión, el rendimiento y la distribución líquido/gas del producto obtenido a partir del hidrotratamiento de los desechos grasos de pollo, empleando Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como catalizador (Kaewmeesri et al., 2015).

Este proyecto de investigación tiene como finalidad producir Green Diesel a partir de aceite de pollo obtenido de residuos de la industria avícola y evaluar propiedades en frío de diferentes mezclas de diésel petroquímico con Green Diesel.



## 2. OBJETIVOS

### Objetivo general

Producir Green Diesel a partir de aceite de pollo y evaluar propiedades en frío en mezclas con diésel petroquímico.

### Objetivos específicos

1. Caracterizar fisicoquímicamente el aceite de pollo obtenido de residuos de la industria avícola.
2. Evaluar a escala de laboratorio un proceso en batch para producir Green Diesel a partir de aceite de pollo.
3. Evaluar propiedades de flujo en frío de mezclas con diésel petroquímico.



### 3. MARCO TEÓRICO

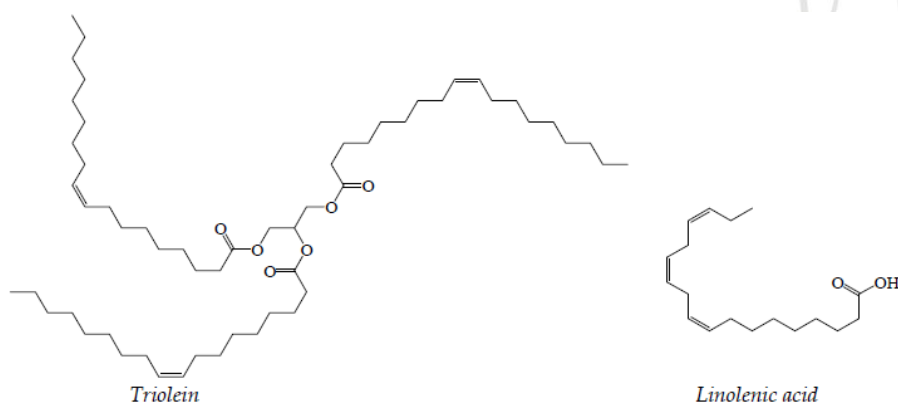
#### 3.1 Green Diesel

El Green Diesel, también conocido como diésel renovable, se produce mediante hidrotreamiento de grasas y aceites vegetales. A diferencia de los ésteres metílicos de ácidos grasos, el Green Diesel es un combustible que se compone principalmente de parafinas y está libre de aromáticos, oxígeno y azufre. Como resultado, este combustible parafínico tiene un mayor número de cetano si se compara con el biodiesel. Además, como el hidrotreamiento incluye reacciones de desulfuración, el diésel verde es un combustible con bajo contenido de azufre (<10 ppm).

El Green Diesel se puede producir a partir de varios tipos de aceite vegetal sin comprometer la calidad del combustible. Los aceites más usados son el aceite de colza y palma (Bezergianni & Dimitriadis, 2013).

#### 3.2 Triglicéridos

Los triglicéridos forman la estructura de todos los grasas y aceites vegetales que se encuentran en la naturaleza, están compuestos principalmente de largas cadenas de ésteres de ácidos grasos, como se muestra en la Figura 1. Las cadenas laterales de los triglicéridos son saturadas, monoinsaturadas o poli-insaturadas. Se pueden clasificar por la longitud y el grado de saturación de sus cadenas laterales. La porción ácida del enlace éster (ácidos grasos) generalmente contiene un número par de átomos de carbono en una cadena lineal de 12 a 24 átomos de carbono con hasta tres enlaces insaturados, generalmente en la posición 9, 12 y 15 con orientación *cis*, y predominantemente en la posición 9 y 12, como en un aceite linoleico (Sotelo-Boyas, Trejo-Zarraga, & Jesus Hernandez-Loyo, 2012).



**Figura 1.** Estructura básica de un triglicérido y un ácido graso comúnmente presente en grasas y aceites vegetales (Sotelo-Boyas et al., 2012).

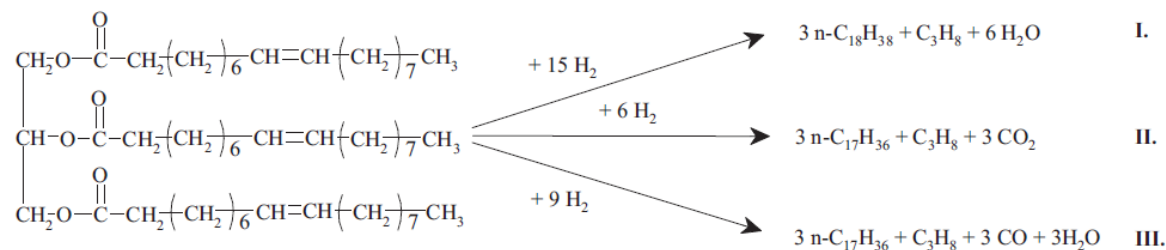
#### 3.3 Hidrotreamiento de aceites

Muchas tecnologías se han enfocado en el tratamiento de biomásas para la producción de combustibles líquidos (BTL) y en el hidrotreamiento de aceites vegetales (HVO) para la

producción de diesel renovable. Si bien actualmente se comercializan los combustibles fósiles y combustibles de segunda generación como el biodiesel y el bioetanol, tecnologías como BTL y HVO se han convertido en rutas prometedoras para satisfacer las demandas futuras de energía.

El hidrotratamiento consiste en la remoción total del oxígeno para la obtención de una mezcla de parafinas e isoparafinas de punto de ebullición similar al del gasoil. Esto se logra sometiendo el aceite a alta temperatura y presión de hidrógeno, en presencia de un catalizador adecuado (Volonteiro, 2018).

Hay tres posibles caminos para la remoción del oxígeno de los triglicéridos: la hidrodeoxigenación (I), decarboxilación (II) y decarbonilación (III). En el caso de la hidrodeoxigenación se obtienen *n*-parafinas con el mismo número de carbono que los ácidos grasos del triglicérido. En los casos de la decarboxilación y la decarbonilación, se generan *n*-parafinas con un carbono menos que el del ácido graso de la molécula de triglicérido (Kovács, Kasza, Thernesz, Horváth, & Hancsók, 2011). La figura 2 muestra un ejemplo de las tres vías para el hidrotratamiento.



**Figura 2.** Posibles vías de reacción para la eliminación de oxígeno por H<sub>2</sub> de los triglicéridos trioleicos (Kovács et al., 2011).

El hidrotratamiento para la producción de diésel renovable presenta las siguientes ventajas (Sotelo-Boyas et al., 2012):

- El producto es compatible con motores existentes.
- Flexibilidad con la materia prima. El contenido de ácidos grasos libres en el aceite vegetal no importa.
- Mayor número de cetano.
- Mayor densidad de energía.
- Mayor estabilidad a la oxidación (cero contenidos de O<sub>2</sub>).
- No aumenta las emisiones de NO<sub>x</sub>.
- No requiere agua.
- No hay subproductos que requieran tratamiento adicional (por ejemplo, glicerol).
- La distribución del diesel renovable no causa contaminación adicional, ya que puede transportarse a través de las mismas tuberías que se utilizan actualmente para la distribución de petrodiesel.
- Mejor rendimiento en climas fríos.

### **3.4 Punto de nube y punto de fluidez**

El punto de nube es la temperatura a la que comienza la cristalización, cuando los cristales pequeños y sólidos se hacen visibles, mientras que el punto de fluidez es la temperatura a la que el combustible deja de fluir (Mejía, Salgado, & Orrego, 2013)

### **3.5 Índice de saponificación**

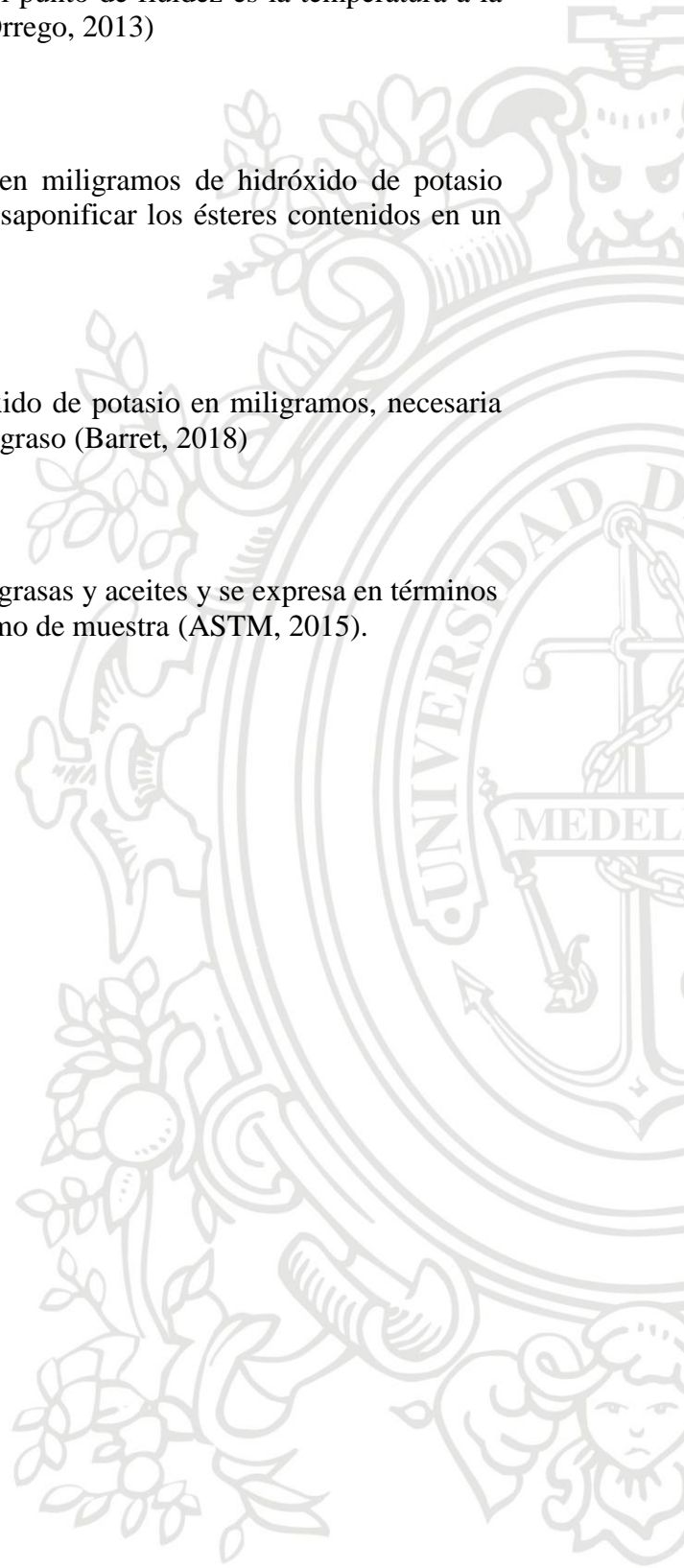
El valor de saponificación corresponde a la masa en miligramos de hidróxido de potasio necesaria para neutralizar los ácidos grasos libres y saponificar los ésteres contenidos en un gramo de material (Barret, 2018).

### **3.6 Índice de acidez**

El índice de acidez corresponde a la masa de hidróxido de potasio en miligramos, necesaria para neutralizar el ácido libre en 1 gramo de material graso (Barret, 2018)

### **3.7 Índice de yodo**

El valor de yodo es una medida de la insaturación de grasas y aceites y se expresa en términos de la cantidad de gramos de yodo absorbidos por gramo de muestra (ASTM, 2015).





## 4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la ejecución del proyecto de investigación se compone de las siguientes partes:

### 4.1 Revisión bibliográfica

Durante toda la ejecución del proyecto de investigación se realizó una revisión bibliográfica con dos objetivos principales. El primero fue aprender conceptos relacionados con el Green Diesel y el segundo realizar un estado del arte que permitió conocer los últimos avances científicos relacionados con métodos de obtención de Green Diesel, materias primas utilizadas, entre otros.

### 4.2 Caracterización fisicoquímica del aceite de pollo

Para la caracterización del aceite se realizó una cromatografía de gases y la medición de algunos índices fisicoquímicos (acidez, saponificación y yodo). La cromatografía de gases se realizó para obtener el perfil de ácidos grasos. La medición del índice de acidez se realizó siguiendo el procedimiento mostrado en la norma NTC 218. El índice de yodo se obtuvo siguiendo lo estipulado por la norma NTC 283. El índice de saponificación se halla usando la norma NTC 335.

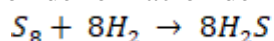
### 4.3 Sulfuración del catalizador comercial Ni-Mo

En el proyecto se utilizó un método de sulfuración empleando azufre elemental. Este método ha sido utilizado en un proyecto previo del grupo de investigación y presentó excelentes resultados, pues se obtuvieron los productos deseados con purezas mayores al 95% y rendimientos también muy altos. Los principales criterios que se emplearon para la selección y definición de este tipo de sulfuración son: i) El tipo de infraestructura que se tiene a nivel de laboratorio por parte del grupo ejecutor. El laboratorio no tiene sistemas para controlar una materia prima de partida en forma de gas como el  $H_2S$ , el cual es altamente tóxico y difícil de manejar; ii) técnicamente el empleo de azufre elemental también implica la formación en reacción del  $H_2S$ , pero formado in-situ durante la reacción y se puede controlar de manera fácil con el sistema de reacción que se está empleando para la ejecución del proyecto; iii) fácil manipulación y control de la materia prima.

El catalizador que se usó es el catalizador comercial Katalco 61-1T. La preparación del catalizador consistió en una sulfuración in-situ para generar la fase activa, la cual es el sulfuro de Molibdeno-Níquel. Para la preparación se utilizó azufre ( $S_8$ ) como el agente sulfurante y el hexadecano como medio homogenizante, el cual ayuda a la movilidad del catalizador en el proceso, adicionalmente se ha demostrado que el hexadecano presente en la matriz de catalizador mantiene aislado el catalizador sulfurado del contacto con el aire, permitiendo que todos catalizadores sintetizados puedan tener alta estabilidad en el almacenamiento y la manipulación.

El cálculo de la cantidad de azufre que se necesita para la reacción se obtuvo estequiométricamente usando la siguiente información:

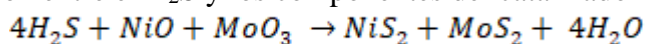
- El Katalco 61-1T contiene 10.98% de  $MoO_3$  y 4.18% de  $NiO$
- Reacción de formación del  $H_2S$



*Ecuación 1*



- Reacción entre el H<sub>2</sub>S y los componentes del catalizador



*Ecuación 2*

- la cantidad de azufre requerida es igual a la suma del azufre que reacciona con el MoO<sub>3</sub> y con el NiO.

$$S_8 = S_8(MoO_3) + S_8(NiO)$$

*Ecuación 3*

La cantidad de azufre que reacciona con el MoO<sub>3</sub> [ $S_8(MoO_3)$ ] se obtuvo de la siguiente manera,

$$1g \text{ Cat} \frac{10.98g \text{ MoO}_3}{100g \text{ Cat}} \frac{1mol \text{ MoO}_3}{143.96g \text{ MoO}_3} \frac{1mol \text{ Mo}}{1mol \text{ MoO}_3} \frac{1mol \text{ MoS}_2}{1mol \text{ Mo}} \frac{2mol \text{ S}}{1mol \text{ MoS}_2} \frac{1mol \text{ S}_8}{8mol \text{ S}} \frac{256.48g \text{ S}_8}{1mol \text{ S}_8}$$

$$= 0.0488g \text{ S}_8(MoO_3)$$

La cantidad de azufre que reacciona con el NiO [ $S_8(NiO)$ ] se obtuvo de la siguiente manera,

$$1g \text{ Cat} \frac{4.18g \text{ NiO}}{100g \text{ Cat}} \frac{1mol \text{ NiO}}{74.69g \text{ NiO}} \frac{1mol \text{ Ni}}{1mol \text{ NiO}} \frac{1mol \text{ MoS}_2}{1mol \text{ Ni}} \frac{2mol \text{ S}}{1mol \text{ NiS}_2} \frac{1mol \text{ S}_8}{8mol \text{ S}} \frac{256.48g \text{ S}_8}{1mol \text{ S}_8}$$

$$= 0.0358g \text{ S}_8(NiO)$$

Finalmente, se obtuvo la cantidad estequiométrica de S<sub>8</sub> se obtuvo reemplazando los valores conocidos en la ecuación 3

$$S_8 = 0.0488g \text{ S}_8 MoO_3 + 0.0358g \text{ S}_8(NiO)$$

$$S_8 = 0.0846 \frac{g \text{ S}_8}{g \text{ Cat}}$$

Tomando como base los cálculos estequiométricos se cargaron en el reactor Parr 70 g de catalizador, 6.5142 g de Azufre (por la razón encontrada de 0.0846 g S<sub>8</sub>/g de catalizador y con un exceso del 10%)

Se carga el reactor según las especificaciones dadas y se calienta el reactor a 300 °C y 90 bar de presión y se deja en isoterma por 1 hora. En el proceso es posible que se eleve la presión por efectos térmicos, así que se debe despresurizar y mantener la presión en 90 bar siempre.

Luego de pasado el tiempo de reacción se enfría y se pasa nitrógeno a un flujo de aproximadamente 200 mL/min por 1 hora para eliminar el sulfuro de hidrógeno que esté presente en el reactor.

El procedimiento utilizado en el laboratorio para la sulfuración del catalizador consta de los siguientes pasos:

### ***Preparación y montaje (un día antes de reacción)***

- a) Se pesaron 70.00 g del catalizador en pellets, 6.51 g de Azufre (por la razón encontrada de 0.0846 g S<sub>8</sub>/g de catalizador y un exceso del 10%) y 119.00 g de hexadecano
- b) Inicialmente, se agregaron los sólidos al vaso de reacción. Luego, se agregó lentamente el hexadecano, agitando la mezcla sólido-líquido que se forma.
- c) Se chequeó el estado del sello y se reemplazó cuando fue necesario.
- d) Se Cerró el reactor con ayuda de la llave de torque, primero a 20 ft-lb en cruz, luego a 25ft-lb en cruz, y se repasó en serie a 25ft-lb.
- e) Se montó el vaso en el soporte del reactor y se verificó que todas las válvulas estuviesen cerradas. Se conectó a la tubería de entrada del reactor, la manguera de alimentación de gas inerte, se apretó suavemente y abrió la válvula de alimentación permitiendo que se purgue el aire residual que está contenido en la manguera. Se cerró

totalmente la conexión de la manguera del gas inerte, se abrió la válvula de entrada de gases al Parr y se presurizó lentamente el reactor hasta 90 bar.

- f) Se chequeó que todas las abrazaderas y conexiones estuviesen ajustadas y no generaran fugas.

### ***Inicio del sistema de reacción***

- a) Se garantizó que todas las conexiones, tuberías, válvulas y mangueras estuvieran correctamente ajustadas y sin fugas, haciendo uso del snoop. Se verificó la presión del sistema con respecto a la presión con que se cargó el reactor en el punto anterior. Si hubo una caída de presión mayor a 5 bar, posiblemente había una fuga y se debía determinar su causa. En casos de fuga se debía proceder con la despresurización del sistema, quitar la tapa del reactor y luego solucionar la fuga: generalmente las fugas en este equipo se presentan en las uniones de las válvulas y en el sello de la tapa.
- b) Se terminó de realizar las conexiones del sistema y se verificó que no hubiese fugas, haciendo uso del snoop.
- c) Se colocó el horno, conectó el sistema de refrigeración del agitador y de refrigeración del reactor, se ubicó el aislamiento, se ubicaron las termocuplas y se conectó el agitador.
- d) Se configuró el calentamiento a la temperatura de operación (300°C) y se registró el tiempo para llegar a la temperatura.
- e) Se retiró el gas inerte haciendo uso de la línea de despresurización con una apertura pequeña de válvula, hasta bajar la presión a 5 bar.
- f) Se purgó con H<sub>2</sub> el sistema, (3 purgas de 50 bar)
- g) Se presurizar el reactor a la presión de operación (90 bar H<sub>2</sub>) y se cerró la válvula de alimentación al terminar.
- h) Se encendió la agitación, configurándola en 350 RPM.

### ***Control de la reacción***

Cuando la temperatura alcanzó 300°C, inició el tiempo cero de la reacción. Se despresurizaba continuamente el reactor para mantener una presión más o menos constante de 90 bar.

### ***Final de la reacción***

- a) Una vez se cumplió el tiempo de reacción (una hora), se apagó el calentamiento.
- b) Se habilitó el flujo de agua de refrigeración.
- c) Se retiró el horno.
- d) Cuando la temperatura cayó a 150°C, se despresurizó lentamente hasta 10 bar, se permitió un flujo continuo de gas inerte durante una hora para arrastrar el H<sub>2</sub>S residual. Se mantuvo la agitación encendida durante este tiempo.

### ***Desmontaje***

- a) Pasado el tiempo de purga con el gas inerte, se apagó la agitación y se cerró el flujo de agua de refrigeración.
- b) Se terminó de despresurizar el sistema lentamente.
- c) Se desmontó el reactor y se abrió con ayuda del torquímetro.
- d) Se retiró el vaso del reactor.

- e) Se pesó el producto de la reacción
- f) Se guardó el catalizador en un recipiente hermético, marcado con la fecha de sulfuración y con la fracción másica de catalizador calculada con la siguiente expresión:

$$\text{Fracción másica de catalizador} = \frac{g \text{ catalizador}}{g \text{ catalizador} + g \text{ hexadecano}} \quad \text{Ecuación 4}$$

### **Lavado**

Con el lavado se removió todo el material residual en el vaso y tapa del reactor, así como en las tuberías de entrada y salida de gases. Se dejó todo completamente seco.

### **4.4 Hidrólisis del aceite de pollo**

A continuación, se presenta de manera general el procedimiento utilizado para realizar la hidrólisis del aceite de pollo.

- a) Se pesó la masa del aceite de pollo en un balón volumétrico y la soda cáustica (en exceso) un beaker.
- b) Se disolvió la soda en agua (1.3 mL de agua/g de aceite) hasta obtener una solución traslúcida.
- c) Se agregó la solución de NaOH al aceite bajo agitación constante, se formó una espuma densa de color blanco.
- d) Se adicionó etanol a la mezcla (1 mL/g de aceite)
- e) Se sumergió la mezcla homogénea, contenida en el balón, en el baño de aceite térmico precalentado a 70 °C y luego se aumentó la temperatura hasta 80 °C, bajo agitación constante.
- f) Luego de una hora de reacción se detuvo el calentamiento, la mezcla se tornó de un color amarillo-pardo.
- g) El producto obtenido se depositó en un beaker y se agitó mientras se adicionaba lentamente H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, disuelto en 400 mL de agua. La adición se detuvo cuando se tenía un exceso del 5% de ácido desde la cantidad estequiométrica. La mezcla adquirió una turbidez debida a la formación de dos fases, una fase acuosa con ácido residual y etanol, y una fase orgánica rica en ácidos grasos.
- h) La mezcla obtenida se vertió en un embudo de decantación y se le realizaron lavados con agua hasta que se obtuvo un pH neutro en la fase acuosa desechada.
- i) El producto final se secó por calentamiento.

### **4.5 Reacción de desoxigenación**

La reacción se llevó a cabo en un reactor parr de 850 mL ubicado en la sala de reactores de la SIU-UdeA. El procedimiento utilizado es el siguiente:

#### ***Preparación y montaje (un día antes de Reacción)***



- a) Se pesaron los ácidos grasos y el catalizador.
- b) Se cargó el vaso (chequeando el estado del sello, y reemplazando si está en malas condiciones). Se montó el vaso en el sistema de reacción. Se realiza el sellado con torquímetro, primero a 25ft-lb en cruz, luego a 35ft-lb en cruz, y se repasó en serie a 35ft-lb.
- c) Se Presurizó el sistema hasta 50 bar con un gas inerte, chequeando que todas las abrazaderas y conexiones estuvieran ajustadas y no generaran fugas.
- d) Se anotó la presión final.

### ***Inicio del sistema de reacción***

- a) Se revisó la presión del sistema comparándola con la anotada en la parte final del montaje. Se garantizó que todas las conexiones, tuberías, válvulas, mangueras y abrazaderas estuviesen correctamente ajustadas y sin fugas, haciendo uso del snoop.
- b) Se alistó el sistema de refrigeración y se ubicaron las termocuplas.
- c) Se configuró el calentamiento a la temperatura de operación (350°C)
- d) Se configuró agitación en 350 RPM
- e) Se retiró el gas inerte, haciendo uso de una línea de despresurización con una apertura pequeña de válvula, hasta bajar a 5 bar.
- f) Se purgó con hidrógeno el sistema, haciendo uso de válvula de bypass (3 purgas de 50 bar)
- g) Se presurizó el reactor a la presión de operación (90 bar).

### ***Control de la reacción***

- a) Una vez se alcanzó la temperatura de operación (350 °C), inició el tiempo de la reacción y se tomaron datos cada 15 minutos de: tiempo, temperatura del reactor y presión del reactor,
- b) Antes de alcanzar la temperatura de reacción y durante la reacción se presentaron disminuciones de la presión, debida al proceso de hidrogenación de los dobles enlaces. Se compensó la pérdida de presión con hidrógeno hasta la presión de operación.
- c) Durante la reacción se presentó sobrepresión por el calentamiento. Para ello disminuir la presión del sistema se usó una válvula de aguja de salida y válvula de despresurización;

### ***Final de la reacción***

Una vez se cumplieron las cuatro horas de reacción:

- a) Se apagó el calentamiento.
- b) Se habilitó el agua de refrigeración.
- c) Se retiró horno.
- d) Cuando la temperatura estuvo en 150 °C se apagó la agitación, se despresurizó el sistema lentamente hasta 10 bar.

### ***Desmontaje***

Una vez el sistema estuvo a temperatura ambiente o 30°C aproximadamente:

- a) Se cerró el flujo de agua de refrigeración.
- b) Se terminó de despresurizar el sistema lentamente.
- c) Se retiró el vaso y tapa del reactor para lavado con solvente.
- d) Se pesó y anotó el peso final del producto de reacción.

#### ***Lavado***

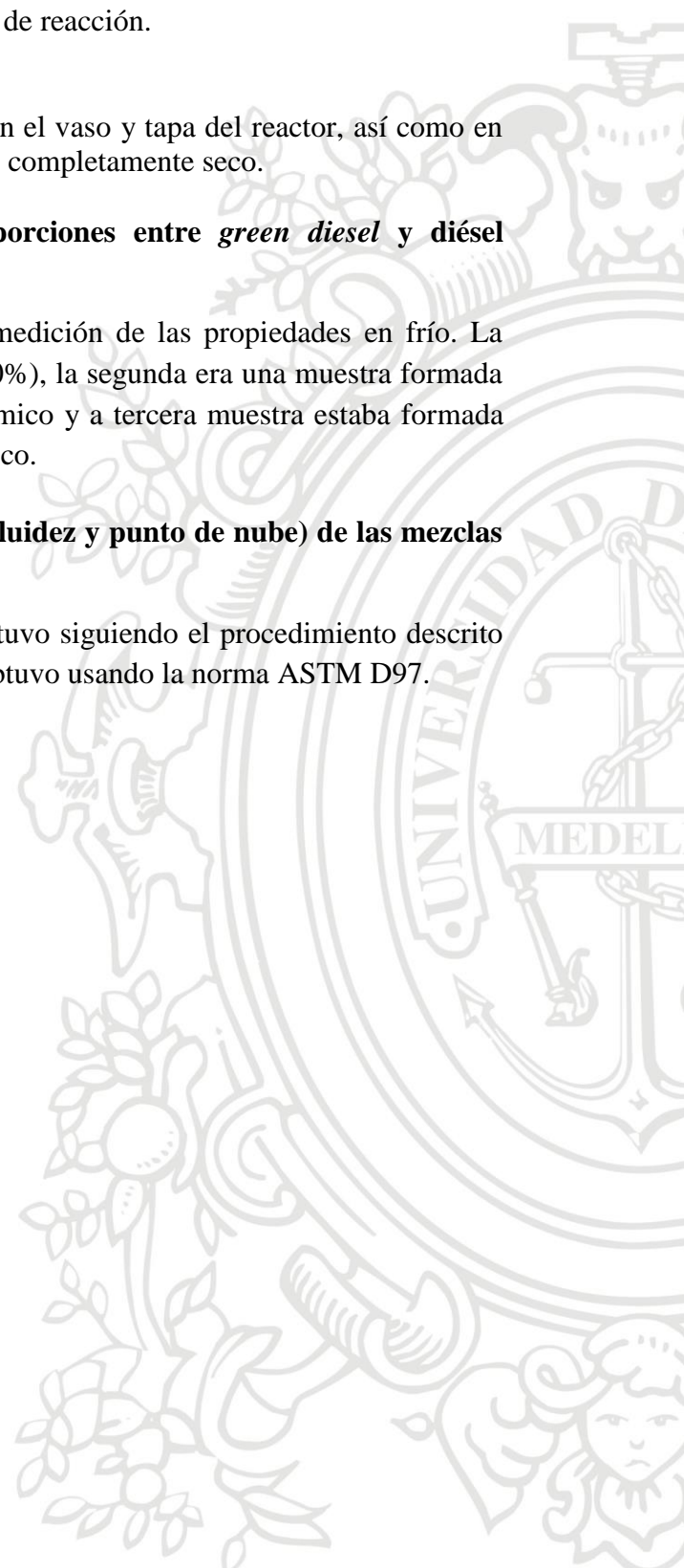
Con el lavado se removió todo el material residual en el vaso y tapa del reactor, así como en las tuberías de entrada y salida de gases. Se dejó todo completamente seco.

#### **4.6 Preparación de mezclas en diferentes proporciones entre *green diesel* y diésel petroquímico.**

Se decidió preparar tres muestras para realizar la medición de las propiedades en frío. La primera muestra consistió en Green Diesel puro (100%), la segunda era una muestra formada por 25% de Green Diesel y 75% de diésel petroquímico y a tercera muestra estaba formada por 50% de Green Diesel y 50% de diésel petroquímico.

#### **4.7 Evaluación de propiedades en frío (punto de fluidez y punto de nube) de las mezclas preparadas.**

El punto de nube de cada una de las muestras se obtuvo siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM D2500 y el punto de fluidez se obtuvo usando la norma ASTM D97.





## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de pollo

El perfil obtenido en la cromatografía del aceite de pollo se presenta en la tabla 1.

**Tabla 1.** Perfil de ácidos grasos del aceite de pollo

Ácidos Grasos	% p/p	C	H	O	C=C
9-hexadecenoico (C16:0)	3.74	16	30	2	1
Palmítico (C16:0)	21.68	16	32	2	0
Linoléico (C18:2)	31.62	18	32	2	2
Oléico (C18:1)	38.9	18	34	2	1
Estearico (C18:0)	4.06	18	36	2	0

El perfil de ácidos grasos presenta mayor proporción de insaturados (74.26%) que de saturados (25.74%). Teniendo en cuenta las cantidades de carbonos presentes en la tabla 1 y las tres vías posibles para la remoción del oxígeno de los triglicéridos (la hidroxideoxigenación, decarboxilación y decarbonilación), se espera que en el producto predominen las cadenas entre 15 y 18 carbonos.

### 5.2 Índices fisicoquímicos del aceite de pollo

Los valores obtenidos para los índices fisicoquímicos por medio de las normas enumeradas en la metodología se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Índices fisicoquímicos del aceite de pollo.

PARÁMETRO	NORMA	VALOR OBTENIDO
Índice de acidez	NTC 218	13.56
Índice de yodo	NTC 283	87.39
Índice de saponificación	NTC 335	188.85

### 5.3 Pureza del Green Diesel

La pureza del Green Diesel obtenida es del 98% y se calcula haciendo uso de la ecuación 5, reportada en la literatura (Pérez, Marín, del Río, Peña, & Rios, 2017).

$$\% \text{ Pureza} = \frac{\text{masa alcanos } (C_9 - C_{24})}{\text{Masa de producto}} * 100$$

*Ecuación 5*

La pureza obtenida se mantiene dentro del rango obtenido (> 95%) en el grupo de investigación PQI en proyectos anteriores, usando catalizador Ni-Mo sulfurados.

#### 5.4 Propiedades en frío de mezclas entre Green Diesel y diésel petroquímico

Las propiedades en frío (punto de nube y punto de fluidez) de las tres muestras son obtenidas siguiendo el procedimiento descrito en las normas enumeradas en la metodología. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Propiedades en frío de mezclas Green Diesel – Diesel petroquímico.

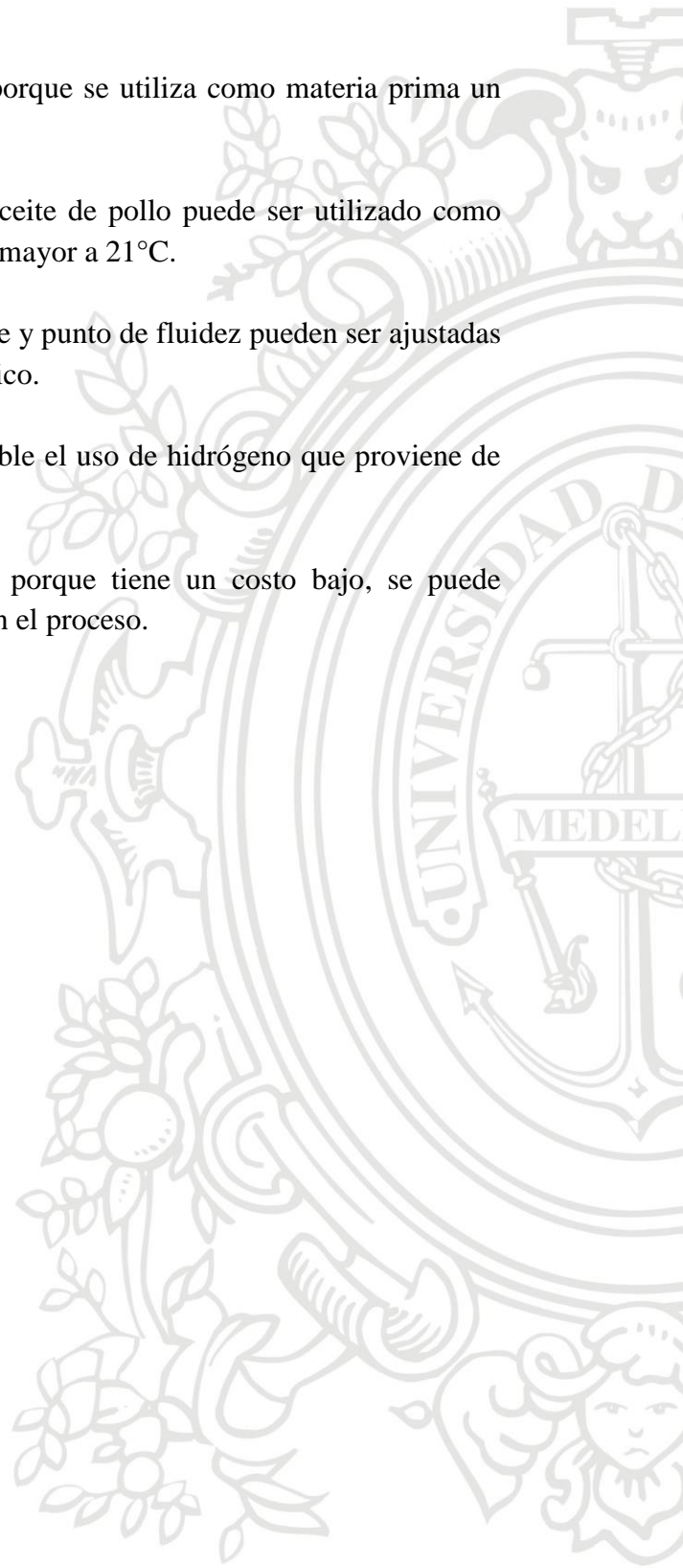
MUESTRA	PUNTO DE NUBE	PUNTO DE FUIDEZ
Green Diesel 100%	21°C	18°C
Green Diesel 50% - Diesel petroquímico 50%	9°C	6°C
Green Diesel 25% - Diesel petroquímico 75%	2°C	-3°C

De los resultados obtenidos se puede decir que el diésel petroquímico tiene mejor comportamiento, a medida que disminuye la temperatura, si se compara con el Green Diesel; esto se puede observar porque a medida que aumenta el porcentaje de diésel petroquímico en la mezcla, disminuye el valor obtenido para los puntos de nube y fluidez.

Para la muestra 100% Green Diesel se obtuvieron valores de 21°C y 18°C para los puntos de nube y fluidez, respectivamente. Estos valores indican que si se utilizara este Green Diesel como combustible se presentarían problemas como taponamiento de tuberías si se alcanzan temperaturas muy bajas.

## 6. CONCLUSIONES

- A partir de aceite de pollo es posible obtener un Green Diesel con baja acidez y alta pureza en un tiempo corto de reacción.
- El proceso presenta una ventaja económica porque se utiliza como materia prima un desecho de la industria avícola.
- El Green Diesel puro obtenido a partir del aceite de pollo puede ser utilizado como combustible en regiones con una temperatura mayor a 21°C.
- Las propiedades en frío como el punto de nube y punto de fluidez pueden ser ajustadas al mezclar Green Diesel con diesel petroquímico.
- Para disminuir los costos del proceso es factible el uso de hidrógeno que proviene de las refinerías.
- El catalizador usado tiene muchas ventajas porque tiene un costo bajo, se puede reutilizar y permite obtener eficiencias altas en el proceso.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM. (2015). Standard Test Method for Determination of the Ash Content of Fats and Oils 1. *ASTM*, 06(July 1995), 3–4. <https://doi.org/10.1520/D5554-15.2>
- Barret, R. (2018). Importance and Evaluation of Lipophilicity. *Therapeutic Chemistry*, 53–78. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78548-288-5.50003-2>
- Bezergianni, S., & Dimitriadis, A. (2013). Comparison between different types of renewable diesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.042>
- Guzman, A., Torres, J. E., Prada, L. P., & Nuñez, M. L. (2010). Hydroprocessing of crude palm oil at pilot plant scale. *Catalysis Today*, 156(1–2), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2009.11.015>
- Huber, G. W., O'Connor, P., & Corma, A. (2007). Processing biomass in conventional oil refineries: Production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy vacuum oil mixtures. *Applied Catalysis A: General*, 329, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.07.002>
- Ishihara, A., Fukui, N., Nasu, H., & Hashimoto, T. (2014). Hydrocracking of soybean oil using zeolite-alumina composite supported NiMo catalysts. *Fuel*, 134(June), 611–617. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.004>
- Kaewmeesri, R., Srifa, A., Itthibenchapong, V., & Faungnawakij, K. (2015). Deoxygenation of waste chicken fats to green diesel over Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Effect of water and free fatty acid content. *Energy and Fuels*, 29(2), 833–840. <https://doi.org/10.1021/ef5023362>
- Kovács, S., Kasza, T., Thernes, A., Horváth, I. W., & Hancsók, J. (2011). Fuel production by hydrotreating of triglycerides on NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/F catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 176–177, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.110>
- Liu, Y., Sotelo-Boyás, R., Murata, K., Minowa, T., & Sakanishi, K. (2009). Hydrotreatment of jatropha oil to produce green diesel over trifunctional Ni-Mo/SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. *Chemistry Letters*, 38(6), 552–553. <https://doi.org/10.1246/cl.2009.552>
- Mejía, J. D., Salgado, N., & Orrego, C. E. (2013). Effect of blends of Diesel and Palm-Castor biodiesels on viscosity, cloud point and flash point. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 791–797. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.026>
- Pérez, W., Marín, J., del Río, J., Peña, J., & Rios, L. (2017). Upgrading of palm oil renewable diesel through hydroisomerization and formulation of an optimal blend. *Fuel*, 209(August), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.013>
- Sebos, I., Matsoukas, A., Apostolopoulos, V., & Papayannakos, N. (2009). Catalytic hydroprocessing of cottonseed oil in petroleum diesel mixtures for production of renewable diesel. *Fuel*, 88(1), 145–149. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.032>
- Sotelo-Boyás, R., Liu, Y., & Minowa, T. (2011). Renewable Diesel Production from the Hydrotrea[1] R. Sotelo-Boyás, Y. Liu, und T. Minowa, „Renewable Diesel Production from the Hydrotreating of Rapeseed Oil with Pt/Zeolite and NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts“, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Bd. 50, Nr. 5, S. 2791–2799., *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(5), 2791–2799. <https://doi.org/10.1021/ie100824d>
- Sotelo-Boyás, R., Trejo-Zarraga, F., & Jesus Hernandez-Loyo, F. de. (2012). Hydroconversion of Triglycerides into Green Liquid Fuels. *Hydrogenation*. <https://doi.org/10.5772/48710>
- Volonteiro, E. (2018). Hidrotratamiento catalítico de aceites vegetales para la producción de biocombustibles líquidos. *Innotec*, 14(14). <https://doi.org/10.26461/14.01>