

ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN TÉRMICA DEL BIODIÉSEL COMERCIAL UTILIZANDO EL MÉTODO RANCIMAT

Study of stability to the commercial biodiesel thermal oxidation using the Rancimat method

Sánchez Castañeda Pedro¹, Velasco Edwing², Morales Mauricio³.

Resumen

El propósito de este trabajo fue evaluar la estabilidad a la oxidación térmica del biodiesel en términos del periodo de inducción, mediante la cuantificación de los ácidos grasos volátiles producidos en la oxidación secundaria de acuerdo con la metodología descrita en la norma EN 14112. Se utilizó un sistema de oxidación compuesto por un balón de tres bocas, un compresor, una plancha de calentamiento-agitación y un potenciómetro. El punto de inducción se determinó como el tiempo donde corta una recta tangente al punto de inflexión de la curva conductividad vs tiempo. El biodiesel fue caracterizado por índice de acidez, índice de humedad, índice de saponificación, índice de peróxidos y cromatografía de gases. Se determinó que el incremento en el tiempo de exposición del biodiésel a una temperatura fija (100, 120 o 140 °C) aumenta su oxidación, también por la reacción de los ácidos insaturados, sin embargo, en este caso solo se observa una fase de iniciación y una de oxidación. Así mismo, el uso de la derivada de los datos de la función conductividad vs tiempo permite determinar adecuadamente el periodo de inducción, que corresponde al tiempo que requiere el inicio de la oxidación. El incremento en la temperatura del biodiésel causa una disminución del periodo de inducción.

Palabras Clave: Punto de inducción, Auto-oxidación, Biocombustible, Norma EN 14112.

¹ Ingeniero Agrónomo, Integral V.Q. Ingeniería, Medellín-Antioquia.

² Magíster en Ingeniería Química, Ingeniero químico, Grupo de investigación GIADAI, Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ, edwin.velasco@unipaz.edu.co.

³ , Ingeniero químico, Universidad Industrial de Santander, emorales@live.com.

Abstract

The purpose of this work was to evaluate the thermal oxidation stability of biodiesel in terms of the induction period by quantifying the volatile fatty acids produced in the secondary oxidation according to the methodology described in EN 14112. The oxidation system consisted of a three-neck balloon, a compressor, a heating-agitation plate and a potentiometer, and the induction point was determined as the time where it cuts a tangent line to the inflection point of the conductivity vs time curve. The biodiesel was characterized by acidity index, moisture index, saponification index, peroxide index and gas chromatography. It was determined that the increase in the exposure time of the biodiesel at a fixed temperature (100, 120 or 140 °C) causes its oxidation, also by the reaction of the unsaturated acids, however in this case only an initiation phase is observed and one of oxidation. Also, the use of the derivative of the data of the conductivity vs. time function allows to properly determine the period of induction, which corresponds to the time that requires the initiation of oxidation. The increase in biodiesel temperature causes a decrease in the induction period

Key words: Induction point, Auto-oxidation, Biofuel, Standard EN 14112.

INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles surgen como alternativa energética al uso de los derivados del petróleo ya que son renovables y no generan gases efecto invernadero, permitiendo completar el ciclo del carbono (Basha *et al.* 2009, Fangrui *et al.* 1990). Entre los más utilizados se encuentra el biodiesel, el cual puede ser producido por reacción catalítica de transesterificación o esterificación alcohólica de aceites vegetales como palma, higuera y soja, entre otros, así como aceites de cocina o grasas animales; su composición es rica en ésteres alquílicos de ácidos grasos (Knothe *et al.* 2010, Leung *et al.* 2010, Marchetti *et al.* 2007).

Una de las principales desventajas del biodiésel frente al diésel fósil es su susceptibilidad a la degradación oxidativa, ya que contiene ácidos grasos insaturados de cadena larga fáciles de romper por la acción de la temperatura o radicales libres (Aguilar *et al.* 2015). Tal oxidación se caracteriza por presentar reacciones de radicales que alteran y rompen las estructuras de los ácidos grasos insaturados; la oxidación ocurre en dos fases: inducción inicial o auto-oxidación, donde no se forma prácticamente ningún producto secundario y, fase de oxidación u oxidación secundaria, que se caracteriza por un rápido incremento en el índice de peróxidos y la formación de productos volátiles como ácidos grasos libres (Pullen *et al.* 2012). Estas reacciones en su mayoría se producen por la exposición del biocombustible a condiciones oxidantes propias del almacenamiento entre las que se encuentran disponibilidad de oxígeno, exposición a la luz y temperaturas elevadas (Verman *et al.* 2016). Cualquiera que sea la ruta de degradación está relacionada con la composición química, pues el biodiésel se caracteriza por contener ácidos grasos insaturados, lo que se constituye en un factor crítico en los procesos de degradación. A escala industrial, la presencia de estos productos de

degradación en los combustibles, pueden ocasionar enormes problemas en los sistemas de combustión principalmente por el taponamiento de ductos y filtros.

Actualmente el método de referencia para el estudio y medición de la estabilidad oxidativa de biodiésel se expone en la norma EN14112 (Zhou *et al.* 2017). En ésta se establece el método de Rancimat para medir el tiempo de inducción del biodiesel, el cual determina el momento en que finaliza la fase de auto-oxidación. En dicho método, la auto-oxidación se acelera haciendo pasar un flujo constante de aire a través de la muestra de biodiésel mientras se controla la temperatura en un nivel elevado (> 110 °C) (European Committee for Standardization, 2016). El método Rancimat se basa en el hecho de que la mayor parte de la materia volátil (vapores) generada durante la oxidación consiste de ácido fórmico, el cual puede ser atrapado en agua destilada mediante burbujeo y cuantificado por conductimetría (De Carvalho *et al.*, 2016).

En la actualidad, el acceso al equipamiento Rancimat es limitado, dificultando el desarrollo de investigaciones en torno al estudio de la oxidación del biodiésel, que a su vez impide el total desarrollo de la industria asociada. En este sentido, la meta principal de este trabajo es la elaboración de un sistema para la evaluación de la estabilidad a la oxidación de una muestra de biodiésel comercial, que permita analizar primordialmente el efecto de la temperatura y el tiempo de calentamiento.

METODOLOGÍA

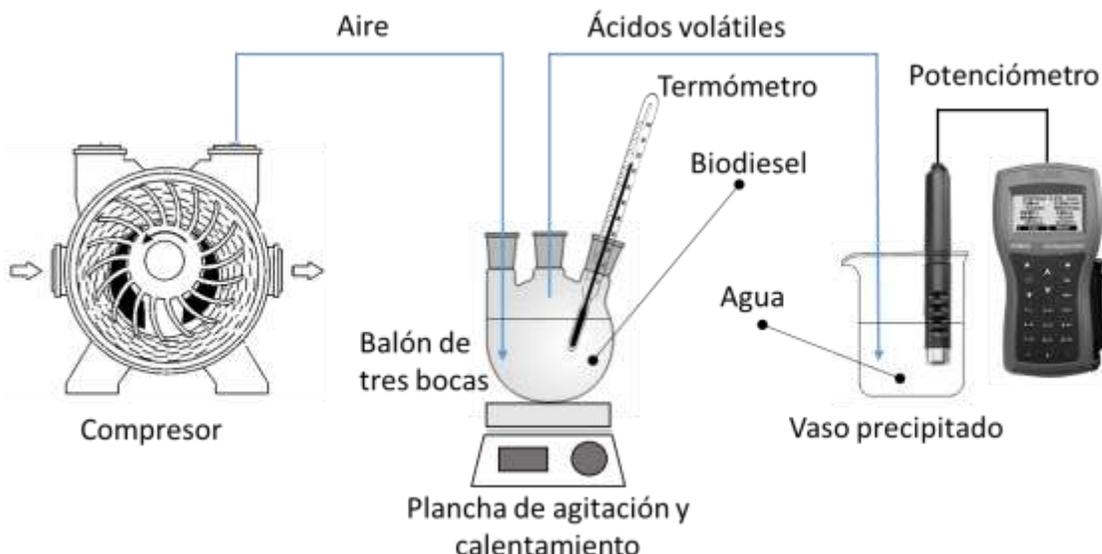
Se utilizó Biodiésel B-100 proveído por Ecodiesel S.A, Barrancabermeja, Santander. Los solventes utilizados fueron: n-heptano ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$, Merck, pureza de 99,5 %) y etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, Merck, pureza de 99,5 %). Los agentes titulantes y valorantes utilizados fueron fenolftaleína (Merck), hidróxido de sodio (NaOH, grado analítico, Merck, pureza de 85%) y ácido clorhídrico (HCl, Merck, pureza de 75%).

Sistema de oxidación.

El sistema de oxidación propuesto se presenta en la Figura 4. Se utilizó un compresor directo de diafragma (FABRILES, modelo S-777) con el fin de airear la muestra de biodiesel; un balón de tres bocas con esmeril hecho en vidrio resistente a alta temperatura y con capacidad de 500 ml sellado herméticamente para albergar la muestra; una plancha de agitación y calentamiento (Thermolyne, Modelo SP 131325) para realizar el incremento en la temperatura del biodiesel; un vaso precipitado de 500 ml para contener agua destilada; y un potenciómetro (HANNA) para realizar mediciones de conductividad del agua destilada.

Figura 1.

Esquema de sistema de oxidación propuesto basado en el método Rancimat.



Pruebas de oxidación térmica del biodiésel.

La oxidación térmica se evaluó mediante la cuantificación de los ácidos volátiles generados durante el calentamiento del biodiésel, tal como lo expone la norma EN 14112. Para esto, los vapores generados durante la oxidación fueron disueltos en agua destilada mediante burbujeo y su concentración se determinó en términos del cambio en la conductividad del agua. Para propiciar la oxidación, el biodiésel fue burbujeadado a lo largo de las pruebas con un flujo de aire de 1L/min.

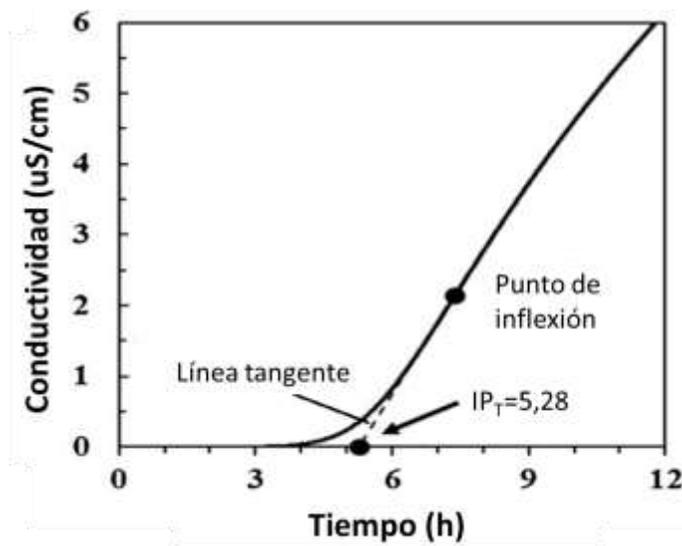
Se realizaron dos tipos de pruebas de oxidación basadas en la metodología utilizada por Focke *et al.* (2016): i) la temperatura del biodiésel se incrementó desde 28 °C hasta 140 °C a una tasa de 1 °C/min y se tomaron lecturas de la conductividad cada 5 °C a partir de los 60 °C; esta prueba finalizó cuanto se alcanzó la temperatura final, y ii) la temperatura se mantuvo constante a 100, 120 o 140 °C durante un periodo de 240 min, tomando lecturas de conductividad cada 5 min; en este caso el calentamiento hasta dichas temperaturas se realizó rápidamente (< 10 min).

Determinación del Punto de Inducción (PI)

El punto de inducción corresponde al tiempo en que inicia la oxidación del biodiésel. Se determinó como el punto (tiempo) donde corta una recta tangente al punto de inflexión de la curva conductividad vs tiempo, tal como se muestra en la Figura 5, acorde a lo reportado por Focke *et al.* (2016). El cálculo del punto de corte de la recta tangente se realizó por derivación de la función conductividad vs tiempo; esta función se determinó por ajuste con línea de tendencia en modo polinomio, de los datos experimentales de conductividad vs tiempo

Figura 2.

Cálculo del punto de Inducción en la curva conductividad vs tiempo por el método de la línea tangente (Focke *et al.*, 2016).



Caracterizaciones.

Las muestras de biodiesel comercial antes y después de ser sometido a la oxidación fueron analizadas por: índice de acidez acorde a la norma NTC 218, mediante valoración ácido-base por el método etanol caliente usando indicador; índice de humedad como la relación entre la masa de la muestra antes y después de ser secada en horno de acuerdo con la norma NTC 287; índice de saponificación como lo reporta la norma NTC 335 refiriéndose al número de miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para saponificar 1 gramo de aceite o grasa; Índice de peróxidos mediante titulación en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de muestra de biodiésel, tal como lo describe la Norma NTC 236.

El contenido de FAMES se determinó de acuerdo a la norma EN 14103, utilizando un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5880 dotado con una columna Agilent Select Biodiésel para FAME (0,32 mm x 30 m x 0,25 um), inyector split/splitless programado a presión constante y un detector de ionización de flama (FID). Las condiciones de la prueba fueron: horno a temperatura constante de 250 °C, helio como gas de arrastre a 12 psi, volumen de inyección de 1 uL, temperatura del detector a 250 °C y los datos fueron analizados con el software Chemistation. En cada análisis la muestra del producto de cada reacción fue disuelta en n-heptano al 5% en peso y agitada hasta homogenizar. Posteriormente la mezcla fue inyectada al cromatógrafo. El contenido de FAMES en el producto de reacción se calculó de acuerdo con la Ecuación. (5).

$$\% \text{ FAMES} = \frac{A_{\text{FAMES}}}{A_{\text{n-heptano}}} \frac{m_{\text{n-heptano}}}{m_{\text{muestra}}} \times 100\% \quad \text{Ecuación. (5)}$$

Donde

A_{FAMES} y $A_{n\text{-heptano}}$ corresponden a las áreas de los picos de cromatografía asociados a FAMES presentes en el producto de reacción y a n-heptano, $m_{n\text{-heptano}}$ y $m_{muestra}$ corresponden a las masas de n-heptano y de la muestra del producto de reacción utilizadas para preparar la solución de inyección al cromatógrafo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas preliminares: características fisicoquímicas del biodiesel

En la Tabla 1, se presentan las características fisicoquímicas del biodiésel. Se observa que el índice de acidez y de saponificación tiene valores relativamente bajos, mientras que el índice de peróxidos y la humedad muestran valores relativamente altos comparados con los límites establecidos en la norma EN14214. El alto contenido de FAMES y la baja acidez del biodiésel son propios de un biocombustible fabricado a nivel industrial, como es el caso. El alto contenido de humedad es esperado, teniendo en cuenta el carácter higroscópico del biodiesel (Zuleta *et al.*, 2012).

De acuerdo con Knothe *et al.* (2010) y García-Moreno *et al.* (2013), los FAMES encontrados están asociados a principalmente a metilésteres de ácidos grasos saturados (palmítico) y monoinsaturados (oléico), y en menor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (como el ácido linoléico); este último es más propenso a autooxidarse que los demás, debido a su doble posición alílica. Según estos autores, las velocidades relativas de oxidación de los metilésteres y etilésteres de los ácidos oleico, linoleico y linolénico son 1, 41 y 98, respectivamente. De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 1, la muestra de biodiesel utilizada en este trabajo es propensa a sufrir un proceso de oxidación.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del biodiésel utilizado en las pruebas de oxidación.

Característica	Valor	Límite (EN 14214)
Índice de acidez (mg ácido palmítico/g aceite)	0,7	-
Índice de saponificación (mg KOH/g aceite)	0,4	0,5 máx
Índice de peróxidos (mmol O ₂ /Kg aceite)	9,2	-
Contenido de FAMES (%)	98	96,5 min
Humedad (%)	0,123	500 ppm

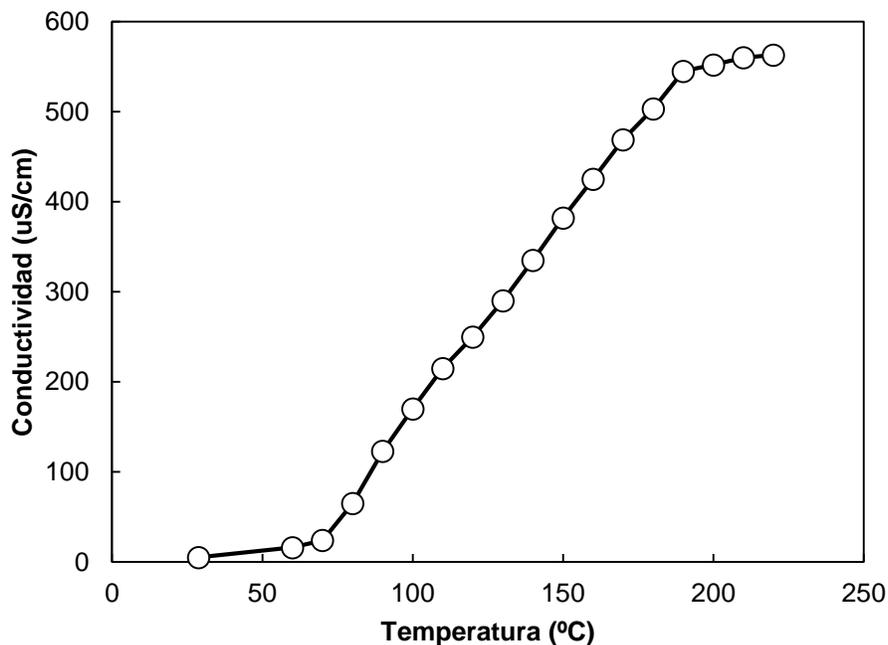
Influencia de la temperatura sobre la oxidación

En la Figura 3, se presentan los resultados de conductividad obtenidos en las pruebas de oxidación como una función de la temperatura. Se observa que la curva de oxidación se puede dividir en tres fases: la primera que corresponde a un leve

incremento en la conductividad (de 8,5 a 24 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la segunda cuyo comportamiento es linealmente creciente con una pendiente aproximada de 4,3 $\mu\text{S}/(\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})$, y la tercera, con un aumento en la conductividad similar a la primera fase (de 545 a 563 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Debido a que al incrementar la temperatura se promueve la oxidación del biodiésel y en efecto la evaporación de las fracciones de ácidos más livianos, los cuales hacen cambiar los valores de conductividad, las mencionadas fases podrían interpretarse como: inducción a la oxidación, oxidación y estabilización de la oxidación, respectivamente. De acuerdo con Zuleta *et al.* (2012) la oxidación térmica ocurre por el rompimiento de las cadenas de metilésteres insaturadas que da lugar a cadenas de menor tamaño y mayor volatilidad. Como se mencionó anteriormente, este biodiésel está compuesto por una porción importante de FAMES insaturados, los cuales tienen altas velocidades de oxidación.

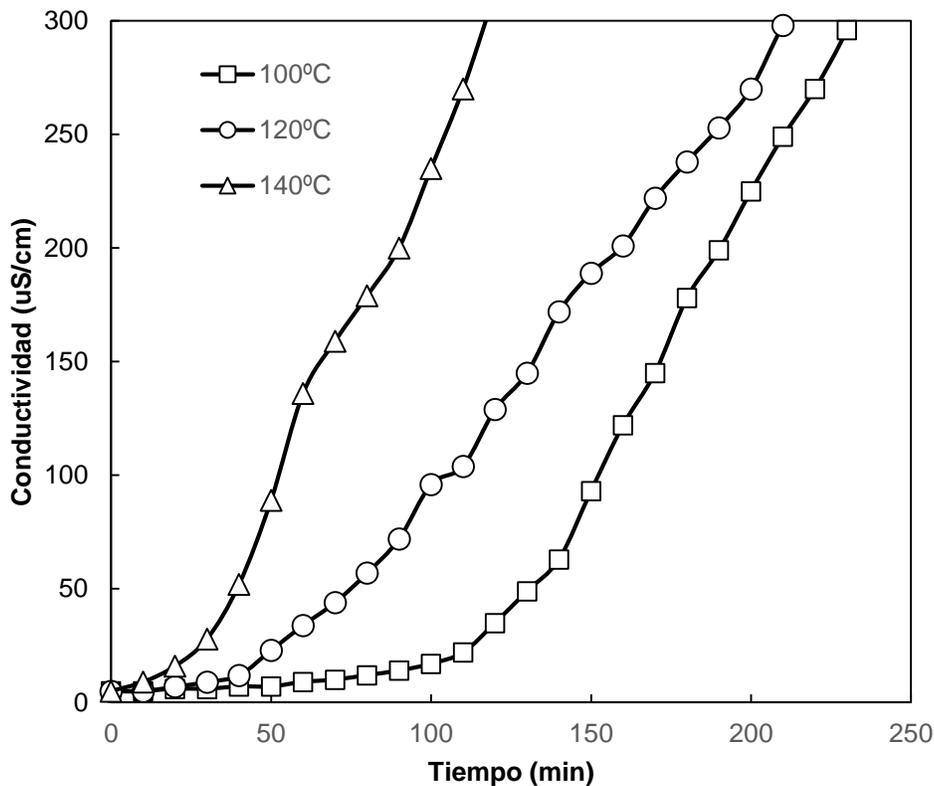
Figura 3. Comportamiento de la oxidación térmica del biodiésel en función de la temperatura.



Efecto del tiempo de calentamiento sobre la oxidación

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la oxidación térmica del biodiésel a temperaturas de 100, 120 y 140 $^{\circ}\text{C}$, como una función del tiempo. En todas las curvas se observa un periodo donde la conductividad se mantiene constante y un periodo posterior donde la conductividad tiene un crecimiento lineal Rauen-Miguel *et al.* (1992). De acuerdo con Focke *et al.* (2016), estos resultados indican que el aumento en la temperatura promueve un incremento en la oxidación del biodiésel y que a bajas temperaturas el biodiésel es más estable a la oxidación.

Figura 4. Resultados de las pruebas de oxidación térmica a 100, 120 y 140 °C en función del tiempo

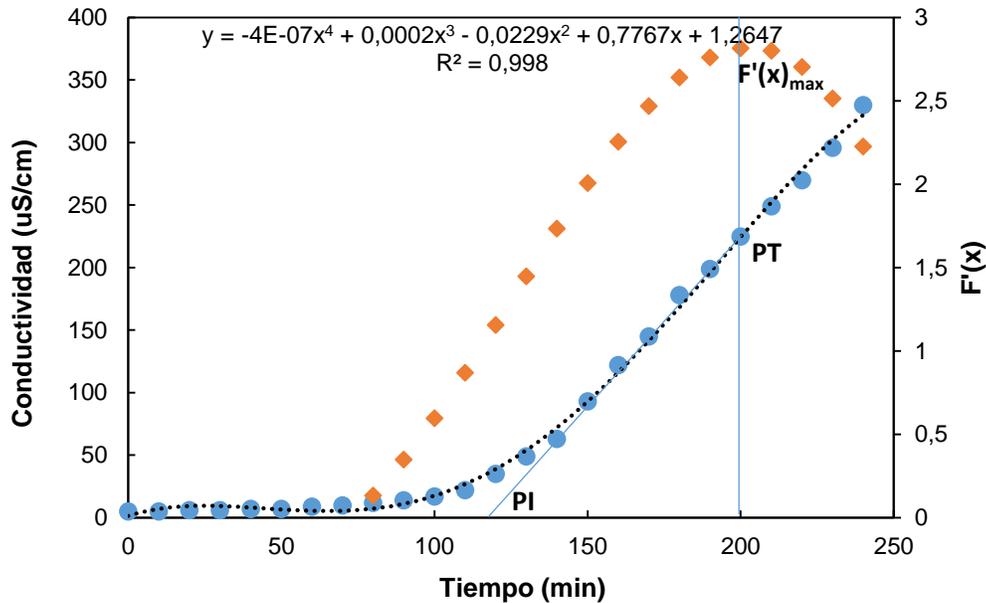


Focke *et al.* (2016) reportaron que la estabilidad oxidativa del biodiésel mostró una dependencia tipo Arrhenius con las mediciones de temperatura. Debido a que las pendientes de la fase creciente de las curvas presentadas en la Figura 7 son similares, la diferencia varía en el tiempo en que inicia esta fase; es mayor al disminuir la temperatura. De acuerdo con Zuleta *et al.* (2012), este tiempo está relacionado con el punto de inducción, que es cuando inicia la oxidación del biodiésel.

Evaluación del punto de inducción en la oxidación del biodiésel

En la Figura 5 se presentan los resultados de la ecuación de ajuste de una curva polinómica a los datos experimentales conductividad vs tiempo para una temperatura de 100 °C, y la curva de la primera derivada de estos datos. Se observa que los datos experimentales fueron adecuadamente representados ($R^2=0,998$) por una función polinómica de cuarto orden. La derivada de la función muestra un comportamiento parabólico en el rango de 80 a 240 min, con un máximo local en 200 min. La recta tangente a la curva conductividad vs tiempo trazada desde el punto (200, 225) corta en el eje x (tiempo) en 120 min. Según Focke *et al.* (2016), este corresponde al tiempo de inducción.

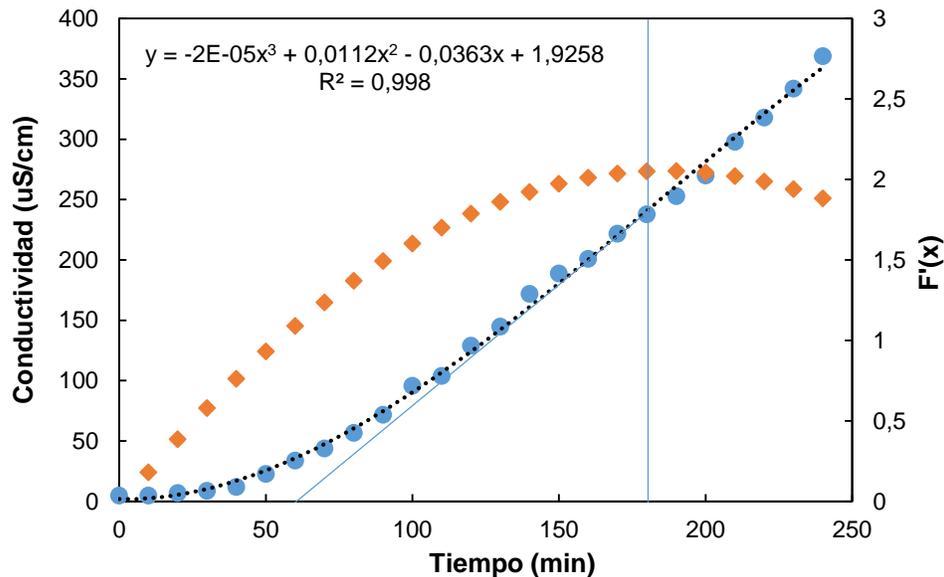
Figura 5. Determinación del punto de inducción en las pruebas de oxidación del biodiésel a 100 °C, por medio del método de la tangente. Los símbolos azules corresponden a los resultados experimentales, la línea punteada corresponde a la tendencia y los símbolos naranjas corresponden a los resultados de la primera derivada de la tendencia. El inserto corresponde a la ecuación de la tendencia.



En la Figura 6 se muestran los resultados de la ecuación de ajuste de una curva polinómica a los datos experimentales conductividad vs tiempo para una temperatura de 120 °C, y la curva de la primera derivada de estos datos. Se observa que los datos experimentales fueron apropiadamente representados ($R^2=0,998$) por una función polinómica de tercer orden. La derivada la función polinómica que modela los resultados experimentales muestra un comportamiento parabólico en el rango de 10 a 240 min, con un máximo local en 180 min. La recta tangente a la curva conductividad vs tiempo trazada desde el punto (180, 238) corta en el eje x (tiempo) en 60 min. Como se mencionó anteriormente, este tiempo posiblemente corresponde al tiempo de inducción.

Figura 6. Determinación del punto de inducción en las pruebas de oxidación del biodiésel a 120 °C, por medio del método de la tangente. Los símbolos azules corresponden a los resultados experimentales, la línea punteada corresponde a la tendencia y los símbolos naranjas corresponden a los resultados de la primera

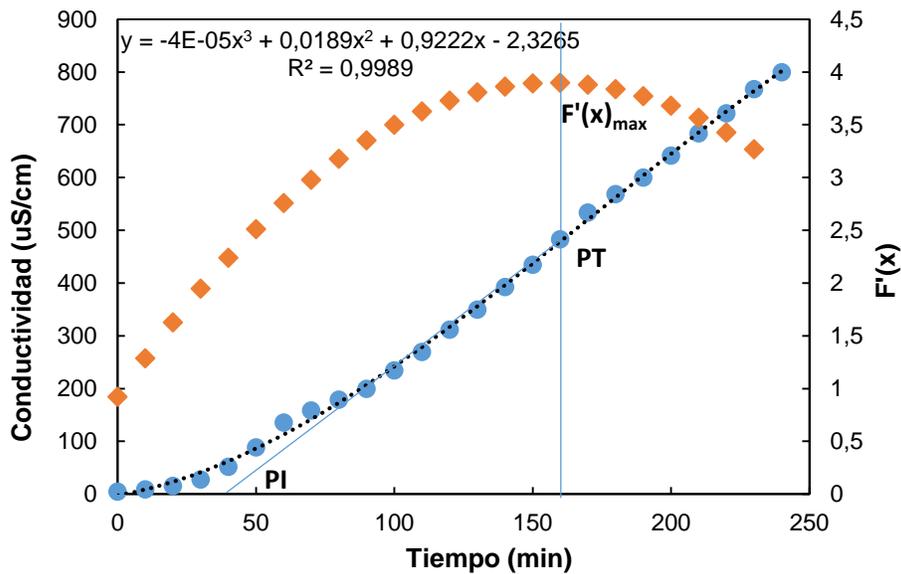
derivada de la tendencia. El inserto corresponde a la ecuación de la tendencia.



En la Figura 7 se muestran los resultados de la ecuación de ajuste de una curva polinómica a los datos experimentales conductividad vs tiempo para una temperatura de 140 °C, y la curva de la primera derivada de estos datos. Tal como se mencionó para las temperaturas de 100 y 120 °C, se observa que los datos experimentales fueron apropiadamente representados ($R^2=0,999$) por una función polinómica de tercer orden. La derivada de la función muestra un comportamiento parabólico en el rango de 0 a 230 min, con un máximo local en 160 min. La recta tangente a la curva conductividad vs tiempo trazada desde el punto (160, 483) corta en el eje x (tiempo) en 40 min. Como se mencionó anteriormente, este tiempo posiblemente corresponde al periodo de inducción.

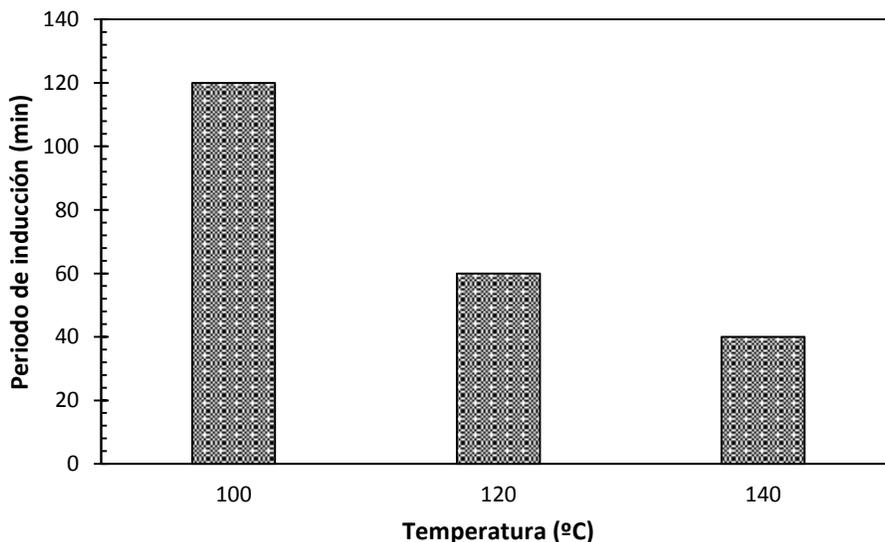
Figura 7. Determinación del punto de inducción en las pruebas de oxidación del biodiésel a 140 °C, por medio del método de la tangente. Símbolos azules corresponden a los resultados experimentales, la línea punteada corresponde a la tendencia y los símbolos naranjas corresponden a los resultados de la primera

derivada de la tendencia. El inserto corresponde a la ecuación de la tendencia.



Al comparar los puntos de inducción determinados en las Figuras 5, 6 y 7, se observa que al aumentar la temperatura de oxidación se disminuye el tiempo de inducción, tal como se mencionó anteriormente. Zuleta *et al.* (2012) y Rauen-Miguel *et al.* (1992) también determinaron que el periodo de inducción aumentaba al disminuir la temperatura, este comportamiento puede ser observado en la Figura 8, donde se muestra la relación entre los periodos de inducción determinados y la temperatura del biodiesel.

Figura 8. Periodos de inducción de las muestras de biodiesel en función de la temperatura.



CONCLUSIONES

La estabilidad oxidativa del biodiésel se ha estudiado preferentemente por el método Rancimat, mediante el seguimiento de las fracciones volátiles formadas durante la degradación de la muestra de biocombustible. Una alternativa no convencional para la medición de la oxidación basada en este método fue diseñada utilizando un potenciómetro, un compresor, una plancha de agitación y calentamiento, un termómetro, un balón de tres bocas, un vaso precipitado y mangueras plásticas. Esta alternativa fue evaluada mediante la oxidación térmica de biodiésel comercial, con resultados similares a la literatura, especialmente por la tendencia de los resultados.

El incremento en la temperatura del biodiésel comercial genera su oxidación y en efecto la liberación de ácidos volátiles como consecuencia del rompimiento de las cadenas de ácidos grasos saturados; el comportamiento de esta oxidación se puede dividir en una fase de iniciación, una de oxidación y una de estabilización. El incremento en el tiempo de exposición del biodiésel a una temperatura fija (100, 120 o 140 °C) provoca su oxidación, también por la reacción de los ácidos insaturados, sin embargo en este caso solo se observa una fase de iniciación y una de oxidación. El uso de la derivada de los datos de la función de conductividad vs tiempo permite determinar adecuadamente el periodo de inducción, que corresponde al tiempo que requiere el inicio de la oxidación. El incremento en la temperatura del biodiésel causa una disminución del periodo de inducción.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Carlos, RODRÍGUEZ, Kellys, GONZÁLEZ, Susan C. y RIOS, Luis A. Evaluación de la Estabilidad Oxidativa del Biodiesel de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) mediante el uso de Antioxidantes Sintéticos y Biodiesel de Palma. En: Información tecnológica. 2015. Vol. 26, no. 2, 51-60.

BASHA, S. A., GOPAL, K. R., JEBARAJ, S. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, vol 13(6-7): p. 1628-1634.

DE CARVALHO, Anaildes, CARDOSO, Erica, DA ROCHA, Gisele O, TEIXEIRA, Leonardo S.G., PEPE, Iuri y GROSJEAN, Daniel. Carboxylic acid emissions from soybean biodiesel oxidation in the EN14112 (Rancimat) stability test. En: Fuel. 2016. vol. 173, p. 29-36.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Fat and oil derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test). EN 14112:2003. Brussels: CEN, 2016. 20 p.

FANGRUI M., A. H. Milford, “Biodiesel production: a review”, En: Bioresource Technol. 1990, vol 70, 1-15.

FOCKE, Walter W.; WESTHUIZEN, Isbe van der and OOSTHUYSEN, Xander. Biodiésel oxidative stability from Rancimat data. En: Thermochemica Acta, marzo, 2016, no. 633, p. 116–121.

GARCÍA-MORENO, Pedro, PÉREZ-GÁLVEZ, Raúl, GUADIX, Antonio y GUADIX, Emilia. Influence of the parameters of the Rancimat test on the determination of the oxidative stability index of cod liver oil. En: LWT - Food Science and Technology. 2013. vol. 51, p. 303-308.

KNOTHE, Gerhard, KRAHL, Jürgen, y VAN GERPEN, Jon. The Biodiesel Handbook. 2 ed. AOCS Press, 2010. 399 p. ISBN: 978-1-893997-62-2

LEUNG, X., et al. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. En: Appl. Energy. 2010, vol. 87, p 1083-1095.

MARCHETTI, J. M., Miguel, V. U., Errazu, A. F., Possible methods for biodiesel production. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007, vol. 11(6): p. 1300-1311.

PULLEN, J. K. An overview of biodiesel oxidation stability. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012, p 5924-5927.

RAUEN-MIGUEL A.M.O, ESTOVES, W. y BARRERA-AREÍLANO D. Determinación del período de inducción de aceite de soja - Correlación entre el Rancimat y otros índices. En: Grasas y aceites. 1992, vol. 43.

RAUEN-MIGUEL A.M.O, ESTOVES, W. y BARRERA-AREÍLANO D. Determinación del período de inducción de aceite de soja - Correlación entre el Rancimat y otros índices. En: Grasas y aceites. 1992 vol. 43.

VERMAN, Puneet; SHARMA, M.P. Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews, mayo, 2016, vol. 62, p. 1063–1071.

ZHOU, Jian, XIONG, Yun, y LIU, Xiao. Evaluation of the oxidation stability of biodiesel stabilized with antioxidants using the Rancimat and PDSC methods. En: Fuel. 2017. vol. 188, p. 61–68.

ZULETA, Ernesto C, RIOS Luis A y CALDERÓN Jorge A. Estudio de la estabilidad oxidativa de biodiésel de aceite de palma en contacto con materiales metálicos y poliméricos automotrices. En: Ingeniería y Competitividad. 2012, vol. 14, No. 2, p. 83 – 90