

Evaluación del efecto de cantidad de catalizador y relación metanol/aceite para la producción de biodiesel a partir del *Cocos nucifera L.*

RUIZ-ARCOS, José*†, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y DEL ANGEL-RAMOS, Jorge.

Instituto Tecnológico Superior de Perote, Carretera Federal Perote-México Km. 2.5, Col. Centro Perote, 91270 Perote, Ver., México.

Recibido Octubre 25, 2016; Aceptado Noviembre 8, 2016

Resumen

En el trabajo titulado “Evaluación del efecto de cantidad de catalizador y relación metanol/aceite para la producción de biodiesel a partir del *Cocos nucifera L.*” se realizó una evaluación de los factores más importantes para la producción de biodiesel a partir del aceite de coco. La obtención de dicho biocombustible se realizó a escala laboratorio mediante un diseño factorial 3^2 , factor 1: relación metanol/aceite (5,15 y 25 V/V%), factor 2: concentración de catalizador KOH (0.5, 1 y 1.5 w/w%). La variable de respuesta para medir el rendimiento de la reacción de transesterificación fue el volumen de biodiesel (metil éster) en cada uno de los tratamientos. Todos los tratamientos se hicieron por duplicado y los resultados se analizaron con el software Minitab. La concentración de catalizador y relación de alcohol adecuadas para obtener un mayor rendimiento resultaron de 0.5 w/w% y de 25 V/V% respectivamente.

Biodiesel, Cocos nucifera Linn, Transesterificación, Catalizador, Relación metanol/aceite

Abstract

In the paper titled “Evaluation of effect of amount of catalyst and methanol to oil molar ratio for the production of biodiesel from *Cocos nucifera L.*” was performed an evaluation of the most important factors for the production of biodiesel from coconut oil. This biofuel has been performed at laboratory scale using a factorial design 3^2 , factor 1: methanol to oil molar ratio (5,15 y 25 v/v%), factor 2: catalyst concentration KOH (0.5, 1 y 1.5 w/w%). The response variable to measure the transesterification reaction yield was the biodiesel's volume (methyl ester) in each of the treatments. All treatments were performed in duplicate and the results were analyzed by software Minitab. The right catalyst concentration and alcohol to oil molar ratio for getting higher yield was 0.5 w/w% and 25 v/v%, respectively.

Biodiesel, Cocos nucifera Linn, Transesterification, Catalyst, Methanol to oil molar ratio

Citación: RUIZ-ARCOS, José, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y DEL ANGEL-RAMOS, Jorge. Evaluación del efecto de cantidad de catalizador y relación metanol/aceite para la producción de biodiesel a partir del *Cocos nucifera L.* Revista de Energía Química y Física 2016, 3-9:46-55

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: investiga.itspe@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Los combustibles diésel son usados en autobuses urbanos, locomotoras, generadores eléctricos, entre otras aplicaciones y tienen una función esencial en la economía industrial de un país. El consumo de este tipo de combustibles en los países desarrollados ha ido incrementándose continuamente en las últimas décadas y va a continuar en el futuro (Encinar, Gonzáles, & Rodríguez, 2005).

La combustión de fuentes fósiles es la causa principal del incremento global de emisiones de CO₂, cada año la contaminación atmosférica se incrementará, así como el calentamiento global (Kalam, Rashed, Imdadul, & Masjuki, 2016). Un combustible renovable llega a ser necesario por lo cual se han puesto en curso el desarrollo de combustibles alternativos. Entre muchas posibles fuentes de combustible, el biodiesel ha atraído la atención como un posible sustituto de combustibles basados en el petróleo (Santos, Compri, Morandim, & Torres, 2011).

En años recientes, las fuentes de energía renovable han sido propuestas como una alternativa de los combustibles basados en el petróleo. El biodiesel, derivado de aceites vegetales o grasa animal, es considerado como un combustible renovable alternativo para uso en motores diésel. Las ventajas que presenta el uso de biodiesel son alto punto de inflamabilidad, alta lubricidad, alto número de cetano, alta biodegradabilidad, no es tóxico y es esencialmente libre de azufre y compuestos aromáticos (Gonca & Dobrucali, 2016).

La palmera de coco (*Cocos nucifera* Linn) es miembro de la familia Arecaceae y uno de los más importantes cultivos de fruta, es conocida por su versatilidad, como se evidencia por los numerosos usos domésticos, comerciales e industriales de sus diferentes partes. La palma de coco es nativa de las regiones tropicales del este, cultivada a lo largo del continente asiático, centro y sur de América y en algunas partes de África. Su cultivación requiere de arena, suelos salinos con abundante luz solar y lluvia regular a lo largo del año (Habibullah, y otros, 2014).

Las cualidades industriales del aceite de coco, la viabilidad comercial de sus componentes no lipídicos y la naturaleza del rendimiento de la palma de coco hacen al coco único de otras frutas oleosas (Chinnamma, y otros, 2014).

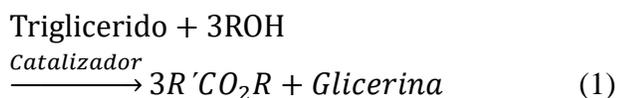
De acuerdo con (Parlak, y otros, 2009), la mejor forma para usar el aceite vegetal como un combustible es convirtiéndolo en biodiesel, sin embargo, algunos inconvenientes se han relacionado con el uso directo de aceites vegetales en motores diésel principalmente debido a su alta viscosidad, baja volatilidad y menor poder calorífico.

Diferentes técnicas se han desarrollado para resolver los problemas de alta viscosidad y baja volatilidad de los aceites vegetales, como precalentamiento del aceite, mezcla o dilución con otros combustibles, transesterificación, craqueo térmico y pirolisis.

La reacción de transesterificación es considerada un proceso químico y es la técnica más usada comercialmente para la producción de biodiesel (Demirbas, 2007).

La reacción de transesterificación puede llevarse a cabo usando un catalizador alcalino, ácido o enzimático, dependiendo de la presencia de ácidos grasos libres, compuestos indeseables y agua. En general, la reacción procede más rápidamente con catalizador alcalino en comparación con el uso de catalizadores ácidos (Siegel, y otros, 2016).

De acuerdo con (Nakpong & Wootthikanokkhan, 2010), en la reacción de transesterificación, el aceite vegetal reacciona con un alcohol, como metanol o etanol, en presencia de un catalizador, usualmente una base fuerte, por ejemplo, hidróxido de sodio o potasio. El producto de la reacción es una mezcla de metil ésteres (biodiesel) y un subproducto con valor comercial, glicerina. Las propiedades del biodiesel resultante son muy similares a las del diésel convencional. La reacción de transesterificación puede ser expresada de acuerdo a la siguiente ecuación general.



Los catalizadores más utilizados para este tipo de reacciones son los alcalinos, debido a su costo relativamente bajo y su capacidad de alta conversión en pocos minutos bajo condiciones moderadas.

Hidróxido de potasio y sodio son los catalizadores alcalinos más comunes para este propósito (Gemma, Martínez, & Aracil, 2003).

El alcohol es una de las materias primas más importantes para la producción de biodiesel, se han estudiado diferentes alcoholes para su producción, siendo el metanol y etanol los más utilizados. El metanol se prefiere particularmente debido a sus ventajas físicas y químicas, su reacción con los triglicéridos es rápida y es fácilmente disuelto en catalizadores alcalinos. Los triglicéridos pueden reaccionar con una variedad de alcoholes, pero los de cadena corta proporcionan una mejor conversión bajo el mismo tiempo de reacción (Atadashi, 2016).

El presente estudio fue llevado a cabo con el objetivo de optimizar los parámetros de reacción de la transesterificación, cantidad de catalizador y relación metanol/aceite, para la producción de biodiesel.

Las materias primas utilizadas en la realización del presente trabajo son aceite de coco, extraído a partir del *Cocos nucifera L.*, metanol como alcohol de reacción e hidróxido de potasio como catalizador alcalino.

Materiales y métodos

Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de *Cocos nucifera L.*

Las muestras utilizadas de *Cocos nucifera L.* para la obtención de aceite tenían un tiempo aproximado de maduración de 6 a 8 meses.

La extracción del aceite fue realizada usando el método de extracción continua mediante equipo Soxhlet, usando como solvente hexano (Ortuño, 2006). El aceite del *Cocos nucifera L.* fue caracterizado analizando índice de acidez (NMX-F-101-1987), índice de saponificación (NMX-F-174-S-1981) y densidad relativa (NMX-F-075-1987).

Producción de biodiesel

Para determinar las condiciones óptimas de reacción respecto a la cantidad de catalizador y relación de alcohol/aceite para la producción de biodiesel, se realizaron diferentes ensayos usando un rango de 5-25 v/v% para metanol y de 0.5-1.5 w/w% de KOH.

Se utilizaron muestras de 50 ml de aceite de coco las cuales se colocaron en un sistema de reacción, Figura 1. La temperatura de reacción de transesterificación se estableció a 70° C con agitación continua por un periodo de tiempo de 1 hora.

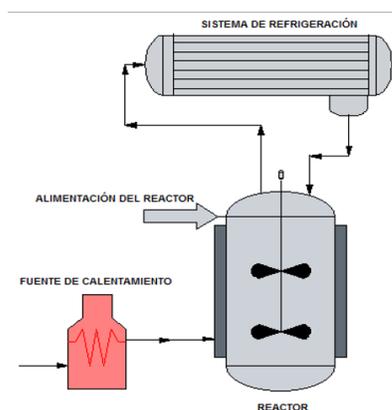


Figura 1 Sistema de reacción para transesterificación. *Fuente de calentamiento y agitación (Science MED MS400).

El alcohol y catalizador se mezclaron con agitación por alrededor de 10 minutos para cada experimento. La solución de metóxido se preparó al momento para mantener el catalizador activado y prevenir la absorción de humedad.

La solución de metóxido preparada se agregó lentamente a cada una de las muestras de aceite, las cuales se precalentaron hasta alcanzar la temperatura de 70° y se incubaron durante una hora en agitación.

Después de completar la reacción, la mezcla resultante se colocó en un embudo de decantación por un periodo de tiempo de 1 hora. Se obtuvieron dos capas, la capa superior con metil éster del aceite de coco y la capa inferior con sales de potasio de glicerol y otros compuestos orgánicos. La capa de glicerol crudo se decantó para la separación de glicerina, mientras que la capa de metil éster del aceite de coco se colocó en una estufa de secado (RIOSSA H-33) a 100° C por 24 horas.

Diseño experimental

Los efectos de las variables, como concentración de catalizador KOH (w/w%), relación metanol/aceite (v/v%) se analizaron mediante un diseño factorial completo 3^2 , utilizando 2 tratamientos con 3 niveles diferentes y 2 réplicas, para tener un total de 18 experimentos.

Los rangos de los diferentes parámetros de reacción que se usaron para el estudio son de 0.5 a 1.5% para la concentración de catalizador y de 5 a 25% para la relación metanol/aceite.

La transesterificación del aceite de coco se llevó a cabo utilizando 50 ml de aceite de coco con un peso de 46 g, a una temperatura de 70°C por un periodo de tiempo de 1 hora.

Los parámetros de reacción optimizados se estimaron a partir de los resultados experimentales y se usaron gráficas de superficie de respuesta para comprobar los resultados. El modelo del diseño se describe en la Tabla 1.

Corrida	Relación de catalizador (w/w%)	Peso KOH (g)	Relación alcohol/aceite (V/V%)	Volumen alcohol (ml)
1	1%	0.46	15%	7.5
2	1.5%	0.69	25%	12.5
3	1.5%	0.69	15%	7.5
4	1%	0.46	25%	12.5
5	0.5%	0.23	15%	7.5
6	1.5%	0.69	5%	2.5
7	0.5%	0.23	25%	12.5
8	0.5%	0.23	25%	12.5
9	1%	0.46	5%	2.5
10	0.5%	0.23	5%	2.5
11	1.5%	0.69	15%	7.5
12	1.5%	0.69	5%	2.5
13	1%	0.46	25%	12.5
14	1%	0.46	15%	7.5
15	1.5%	0.69	25%	12.5
16	0.5%	0.23	15%	7.5
17	0.5%	0.23	5%	2.5
18	1%	0.46	5%	2.5

Tabla 1 Datos experimentales del diseño de superficie de respuesta central compuesto.

La mejor condición para la reacción de transesterificación se determinó mediante el uso de un análisis ANOVA, cada resultado se expresa como una media aritmética de dos replicas.

Discusión y resultados

Caracterización fisicoquímica del aceite de coco

Para la evaluación de la calidad del aceite de coco, se realizó la caracterización fisicoquímica antes de la reacción de transesterificación. Los valores encontrados del índice de acidez, índice de saponificación y densidad relativa se muestran en la Tabla 2.

N°	Parámetro	Valor	Desviación estándar
1	Índice de acidez (mg KOH/g)	0.49734	+/- 0.18977
2	Índice de saponificación (mg KOH/g)	140.811	+/- 10.51
3	Densidad relativa	0.91991	+/- 0.00159

Para cada parámetro, los valores son el promedio de 3 repeticiones.

Tabla 2 Propiedades fisicoquímicas del aceite del Cocos nucifera L.

Optimización de la reacción de transesterificación

Las condiciones de todos los experimentos desarrollados en el diseño factorial junto con la variable de respuesta se muestran en la Tabla 3.

Tiempo (min.)	Temp (° C)	Relación de catalizador (w/w%)	Relación alcohol/aceite (V/V%)	Biodiesel (ml)	Bio-diesel (%)
60	70	0.5	5	0 ± 0	0
60	70	0.5	15	41.5 ± 2.12	83
60	70	0.5	25	49.5 ± 0.71	99
60	70	1	5	0 ± 0	0
60	70	1	15	45 ± 1.41	90
60	70	1	25	46.5 ± 2.12	93
60	70	1.5	5	0 ± 0	0
60	70	1.5	15	39.5 ± 0.71	79
60	70	1.5	25	42.5 ± 0.71	85

Tabla 3 Condiciones de experimentación y variable de respuesta del diseño factorial completo.

Para las concentraciones de catalizador hidróxido de potasio de 0.5, 1 y 1.5% en relación peso-peso (w/w%) y una relación metanol/aceite de 5% en relación volumen-volumen (v/v%), el rendimiento de biodiesel encontrado es de 0. Esto indica que el rendimiento de biodiesel depende de la relación alcohol/aceite, siendo los valores más bajos aquellos en los que la relación metanol/aceite es del 5% y los valores más altos aquellos con una relación del 25%.

Se observa que la relación alcohol/aceite es un factor determinante para el rendimiento de biodiesel, sin embargo, el análisis de varianza muestra que el efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre la respuesta muestran que el modelo es significativo, debido a su bajo valor de probabilidad ($P < 0.0001$), lo cual significa que el rendimiento también tiene una dependencia de la concentración de catalizador.

De acuerdo al Grafico 1, para las concentraciones de catalizador 0.5, 1 y 1.5% la variación en el rendimiento no es tan notoria en comparación a la relación metanol/aceite que tiene un bajo con 5% y un mayor rendimiento con relaciones de 15 y 25%. A pesar de que se observa que la relación alcohol/aceite es un factor determinante para el rendimiento de biodiesel, se tienen diferentes rendimientos (79, 83, 85, 90, 93 y 99%) dependiendo de la concentración de catalizador utilizado.

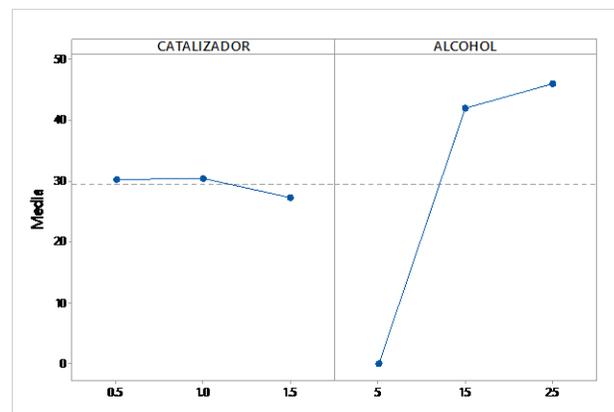


Gráfico 1 Respuesta de los efectos principales.

Como se observa en el Grafico 2, la interacción de los efectos cuenta con valores variados, esto dependiendo la concentración de catalizador y relación metanol/aceite utilizados para cada experimento.

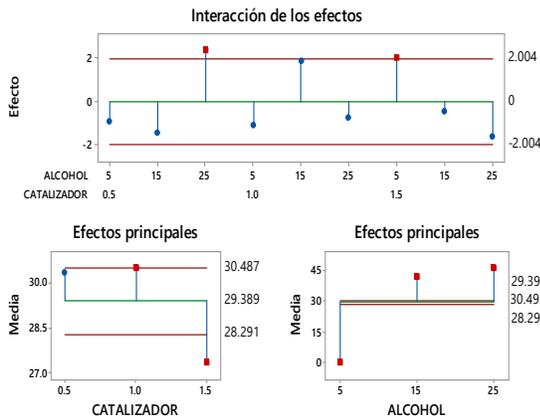


Gráfico 2 Análisis de medias del rendimiento de producción de biodiesel.

En el mismo gráfico se observa que, particularmente se tienen dos valores sobre el límite superior (0.5% catalizador – 25% alcohol y 1.5% catalizador – 5% alcohol), es decir, mayormente significantes que el resto de las interacciones con un rendimiento del 99% y 0 respectivamente.

El mayor rendimiento obtenido es del 99% para una concentración de catalizador de 0.5% y una relación metanol/aceite del 25%, los mejores rendimientos se obtuvieron al utilizar una mayor relación metanol/aceite (15 y 25 V/V%), mientras que para una relación de 5% se obtuvo un rendimiento por debajo de la media.

Aunque es importante recalcar que un aumento adicional, más allá de la relación óptima, de la relación de metanol/aceite no incrementara el rendimiento de obtención de biodiesel, por el contrario, incrementara el costo de la recuperación del alcohol (Leung & Guo, 2006).

El exceso de metanol, con un grupo hidroxilo polar, puede actuar como un emulsificante y entonces incrementar la solubilidad del glicerol en la fase del éster, haciendo la separación más difícil (Sengwa, Sankhla, & Sharma, 2006).

A menor concentración de catalizador se tiene un mejor rendimiento, por lo cual para una concentración de 1.5 w/w% se obtuvo un rendimiento por debajo de la media. Esto puede deberse a que una adición excesiva de catalizador alcalino propensa la obtención de jabón, debido a la reacción de saponificación entre los triglicéridos y el hidróxido de potasio, dando como resultado la reducción del rendimiento del metil éster (Eevera, Rajendran, & Saradha, 2008).

Este comportamiento también puede ser atribuido al hecho de que durante la reacción entre el KOH y el metanol se forma metóxido de potasio junto con una pequeña cantidad de agua, el agua reacciona predominantemente con los triglicéridos contenidos en el aceite y el ion potasio forma jabón. Esta es la reacción de saponificación que conducen a la pérdida de los triglicéridos y por lo tanto una reducción en el rendimiento del biodiesel (Tubino, Rocha, & Favilla, 2015).

Es importante mencionar que los porcentajes de rendimiento obtenidos son de biodiesel crudo, es decir, sin ningún tratamiento de purificación.

De acuerdo con (Stojković, Stamenković, Povrenović, & Veljković, 2014), el biodiesel crudo contiene impurezas como ácidos grasos libres, jabón, agua, glicerol, materia insaponificable, alcohol, entre otras. Estas impurezas perjudican principalmente la estabilidad del biodiesel durante su almacenamiento y en los sistemas de combustión, inyectores; (Tyagi, Atray, Kumar, & Datta, 2010).

Como se aprecia en el Grafico 3, la concentración de catalizador y relación de alcohol adecuadas para obtener un mayor rendimiento es de 0.5 w/w% para el catalizador y de 25 V/V% para la relación de metanol/aceite.

Esto implica que el efecto que tiene la concentración de catalizador y relación metanol/aceite, así como sus interacciones ($P < 0.01$), pueden actuar como condiciones limitantes para la obtención del biocombustible, y una ligera variación en sus valores alteraría la conversión del aceite en metil éster.

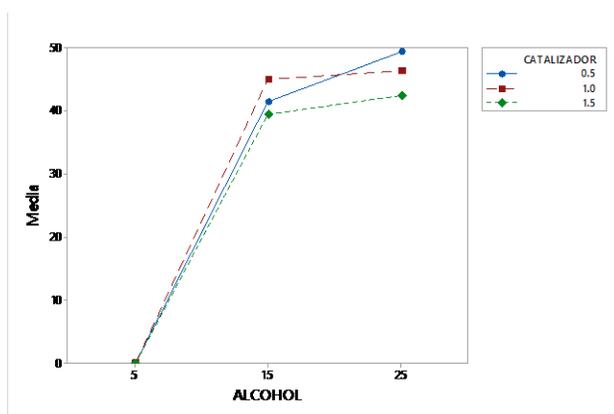


Grafico 3 Rendimiento de obtención del biodiesel.

La significancia de la media de los factores y sus interacciones fueron valorados mediante el P-Value con un nivel de confianza de 95%, Tabla 4.

Modelo	R ²	R ² Ajustada	P-Value
Lineal	7863.56	1965.89	0.000
Catalizador	38.11	19.06	0.002
Alcohol	7825.44	3912.72	0.000
Interacción catalizador/alcohol	42.22	10.56	0.006
Error	12.50	1.39	-

Tabla 4 Análisis de varianza, ANOVA.

Cabe señalar que la temperatura y el tiempo, son factores que no se consideraron en este diseño experimental pero que influyen en el rendimiento de la reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel. Una alta temperatura de reacción puede disminuir la viscosidad del aceite y resultar en un aumento de la velocidad de reacción (Issariyakul & Dalai, 2013).

Conclusiones

Los rendimientos de metil éster obtenidos en este trabajo se encuentran en un rango entre 0-99%, siendo el rendimiento más alto para una concentración de catalizador de 0.5% y una relación metanol/aceite del 25%. Mientras que el menor rendimiento se encontró para concentraciones de catalizador de 0.5, 1 y 1.5% y una relación metanol/aceite de 5%.

La relación alcohol/aceite del 25% resulto ser la mejor para obtener un mayor rendimiento de biodiesel, sin embargo, se tienen diferentes rendimientos (79, 83, 85, 90, 93 y 99%) dependiendo cada uno de la concentración de catalizador utilizado.

Esto significa que el efecto que tiene la concentración de catalizador y relación metanol/aceite, pueden actuar como condiciones limitantes para la obtención del biocombustible, y una ligera variación en sus valores alteraría la conversión del aceite en biodiesel.

Los porcentajes de rendimiento obtenidos son de biodiesel sin ningún tratamiento de purificación. El biodiesel crudo contiene impurezas que pueden perjudicar el tanque del almacenamiento del motor diésel, así como el sistema de combustión, por lo cual se requiere de algún tratamiento de purificación, lavado en seco, lavado húmedo, entre otros.

Referencias

- Atadashi, I. (Marzo de 17 de 2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, XXV(25), 21-31.
- Chinnamma, M., Bhasker, S., Madhav, H., Mamkulathil, R., Shashidharan, A., Chandrasekaran, B., & Thevannoor, P. (2014). Production of coconut methyl ester (CME) and glicerol from coconut oil and the functional feasibility of CME as biofuel in diesel engine. *Fuel*, III(140), 4-9.
- Demirbas, A. (11 de Abril de 2007). Studies on cottonseed oil biodiesel prepared in non-catalytic SCF conditions. *Bioresource Technology*, XCIX, 1125-1130.
- Evera, T., Rajendran, K., & Saradha, S. (17 de Junio de 2008). Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renewable Energy*, XXXIV, 762-765.
- Encinar, J., Gonzáles, J., & Rodriguez, A. (15 de Junio de 2005). Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, XLIV(15), 5491-5499.
- Gemma, V., Martínez, M., & Aracil, J. (31 de Agosto de 2003). Integrated biodiesel production a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*, XCII, 297-305.
- Gonca, G., & Dobrucali, E. (8 de Marzo de 2016). Theoretical and experimental study on the performance of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel blends. *Renewable Energy*, XCIII(10), 658-666.
- Habibullah, M., Masjuki, H., Kalam, M., Rizwanul, I., Ashraful, A., & Mobarak, H. (2014). Biodiesel production and performance evaluation of coconut, palm and their combined blend with diesel in a single-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, III(87), 250-257.
- Issariyakul, T., & Dalai, A. (9 de Noviembre de 2013). Biodiesel from vegetable oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, XXXI, 446-471.

Kalam, M., Rashed, M., Imdadul, H., & Masjuki, H. (3 de Mayo de 2016). Property development of fatty acid methyl ester from waste coconut oil as engine fuel. *Industrial Crops and Products*, LXXXVII, 333-339.

Leung, D., & Guo, Y. (12 de Junio de 2006). Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, LXXXVII, 883-890.

Nakpong, P., & Wootthikanokkhan, S. (15 de Enero de 2010). High free fatty acid coconut oil as a potential feedstock for biodiesel production in Thailand. *Renewable Energy*, XXXV, 1682-1687.

Ortuño, M. (2006). *Manual Práctico de Aceites esenciales, aromas y perfumes* (Primera ed.). Madrid, España: AIYANA.

Parlak, A., Karabas, H., Ayhan, V., Yasar, H., Soyhan, H., & Ozsert, I. (28 de Julio de 2009). Comparison of the variables affecting the yield of tobacco seed oil methyl ester for KOH and NaOH Catalysts. *Energy and fuels*, XXIII(23), 1818-1824.

Santos, R., Compri, I., Morandim, A., & Torres, R. (24 de Febrero de 2011). Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production and determination of density and viscosity of biodiesel/diesel blends at several temperatures. *Journal of Chemical & Engineering Data*, LVI, 2030-2038.

Sengwa, R., Sankhla, S., & Sharma, S. (26 de Julio de 2006). Characterization of Heterogeneous Interaction Behavior in Ternary Mixtures by a Dielectric Analysis Equi-Molar H-bonded Binary Polar Mixtures in Aqueous Solutions. *Journal of Solution Chemistry*, XXXV, 1037-1055.

Siegel, E., Feller, R., dos Santos, H., de Medeiros, M., Vieira, A., de Aguilar, A., . . . Soares, R. (11 de Junio de 2016). Biodiesel production from waste cooking oil for use as fuel in artesanal fishing boats: Integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, CXXXV, 679-688.

Stojković, I., Stamenković, O., Povrenović, D., & Veljković, V. (23 de Enero de 2014). Purification technologies for crude biodiesel obtained by alkali-catalyzed transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, XXXII, 1-15.

Tubino, M., Rocha, G., & Favilla, G. (30 de Octubre de 2015). Biodiesel synthesis: A study of the triglyceride methanolysis reaction. *Catalysis Communications*, LXXV, 6-12.

Tyagi, O., Atray, N., Kumar, B., & Datta, A. (27 de Julio de 2010). Production, Characterization and Development of Standards for Biodiesel - A Review. *Journal of Metrology Society of India*, XXV(3), 197-218.