

Estudio de las propiedades del aceite y biodiesel de semillas del fruto de *Chrysobalanus icaco*

REYES-TREJO, Benito, ZULETA-PRADA, Holber, GUERRA-RAMÍREZ, Diana, VALENCIA-GARCÍA, Viridiana, LÓPEZ-VALDEZ, Luis German y REYES, Lino

B. Reyes, H. Zuleta, D. Guerra, V. Valencia, L. López y L. Reyes

Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. De México, México. Tel. 01 (55) 5133-1108 Ext 5760.

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán. 04510, D.F. México.

benijovi@yahoo.com.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The objective of this study is to explore the usefulness of seed oil of *Chrysobalanus icaco* as a potential to be transformed into biodiesel resource. The seeds of *C. icaco*, were extracted using a soxhlet apparatus. The oil had a value of acidity of 0.2317 mg KOH/g of sample, this oil was subjected to a transesterification reaction to yield a mixture of methyl esters of fatty acids (Biodiesel), and the end of reaction was corroborated by its ¹H Nuclear Magnetic Resonance spectrum. The composition of seed oil of *Chrysobalanus icaco* was estimated by gas chromatography (GC).

3 Introducción

En los últimos 200 años, se ha incrementado el uso de energía en todo el mundo, cuya consecuencia principal es el calentamiento global. En el planeta las energías renovables en el 2010 representaban alrededor del 14% del consumo total, la biomasa era el principal contribuyente con el ~10% (Kumar *et al.*, 2011). En una investigación de Deng *et al.* (2012), se señala que la principal fuente de energía renovable hasta la fecha es la energía hidráulica, proporcionando con casi el 15% del consumo de electricidad en todo el mundo. Diversos estudios se han enfocado a la investigación de las energías renovables, siendo la biomasa la que presenta más artículos de referencia en un periodo de 30 años (1979-2009) con el 56% de publicaciones, seguido de la energía solar con 26%, eólica 11%, geotérmica 5% y finalmente hidráulica 2% (Manzano *et al.*, 2013). Con la diversidad de fuentes renovables que existen, hay evidencia que sugiere que deberíamos ser capaces de satisfacer por completo nuestra demanda de energía procedente de estas fuentes, pero no es así, estas sólo representan un pequeño porcentaje del consumo total. En estas últimas décadas se ha hecho más evidente que la forma en que se suministra la energía, es insostenible tanto a corto como a largo plazo, por lo que la seguridad energética se ve perturbada por la gran demanda. Principalmente la energía se destina a tres sectores fundamentales: la industria, los edificios y el transporte, representando el ~85% del consumo total de energía (Deng *et al.*, 2012). También se cree que es posible un sistema de energía mundial completamente renovable, pudiendo llegar a un 95% del consumo de energía procedente de fuentes sostenibles para el 2050. Esto es prometedor debido al agotamiento de las fuentes no renovables.

3.0.1 Biocombustibles

A partir de la crisis del combustible fósil de la década de los setentas, varios países tuvieron un especial interés en el desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustible para utilizarlo en el sector de transporte. La utilización de biocombustible para el transporte también ayudaría a una disminución muy considerable de las emisiones de CO₂ en la atmosfera. En general, el biocombustible apareció como una solución para enfrentar los problemas del mundo actual. Entre ellos destaca la reducción de gases de efecto invernadero, el desarrollo de las economías agrícolas regionales, la independencia de la economía en base a combustible fósil (Ganduglia, 2009). Una problemática para el desarrollo de nuevas alternativas para la producción de biocombustible, es la materia prima, por la utilización de cultivos energéticos para la producción de estos, debido a que en muchas partes del mundo se enfrenta una escases de alimentos, por lo que resulta un problema ético el uso de fuentes alimentarias como materia prima o el uso de suelo para la cosecha de materia para la producción de combustible, debido a que esto traería como consecuencia una disminución de los recursos y un desabasto en algún momento al destinarse los recursos para satisfacer las demandas energéticas y para el consumo humano. Por lo que es necesaria la implementación de un sistema que impulse el consumo y la producción utilizando suelo que no es aprovechado y el uso de materia prima no comestible para no ocasionar un aumento en los precios de los alimentos.

La producción regulada de biocombustible evitará los impactos negativos sobre la biodiversidad, los ecosistemas y las áreas con alto valor para la conservación, minimizará los impactos negativos sobre la seguridad alimentaria dando particular preferencia a los residuos y desperdicios como materia prima (una vez que sean económicamente viables), a las tierras degradadas, marginadas, subutilizadas como fuentes para no perjudicar los rendimientos que mantienen los suministros de alimentos existentes (Ganduglia, 2009).

La producción a gran escala de biocombustibles ofrece una oportunidad para algunos países en desarrollo para reducir su dependencia de las importaciones de petróleo (Demirbas *et al.*, 2011) además de que muchos de estos países cuentan con suelo que puede ser utilizado para sembrar la materia prima para la producción. Pero uno de los inconvenientes con los que se enfrenta, es el alto costo de producción comparado con el combustible derivado del petróleo. Por lo cual es necesario trabajar en esta parte para hacer el proceso más viable. Para reducir los costos de producción y ser más competitivo con el combustible fósil. Por lo que es necesario disminuir el costo de la materia prima, ya sea utilizando como materia las de menor costos de producción o a partir de la utilización de residuos. Los biocombustibles se pueden clasificar en diferentes categorías, una de estas es dependiendo del tipo de materia prima que se utilice para su producción. En la tabla 3, se muestra de forma sintetizada esta información.

Tabla 3 Características de las generaciones de biocombustibles

Clasificación	Materia prima	Proceso	Tipo de biocombustible
Primera generación	Cultivos energéticos	Transesterificación/hidrogenación Fermentación	Biodiesel Etanol
Segunda generación	Residuos de cosechas, material orgánico.	Fermentación Digestión anaerobia Transesterificación	Etanol Metano Biodiesel
Tercera generación	Algas	Rutas foto-bioquímicas	Biodiesel

Como se puede observar hay diferentes tipos de biocombustibles y cada uno de ellos puede sustituir una porción o el 100% de los combustibles fósiles con alguna modificación en el equipo. También la forma de obtención es distinta y se parte de diferente materia prima para su producción. En la tabla 3.1 que se muestra a continuación, se enlistan los biocombustibles más comunes.

El biodiesel se deriva de aceites vegetales, grasas animales, es biodegradable y no tóxico, químicamente el biodiesel son los ésteres metílicos de ácidos grasos, que se obtiene a través de un proceso reacción químico llamado transesterificación (Figura 1). En cambio, el diesel de petróleo está constituido por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. El biodiesel es uno de los mejores sustitutos del diesel de petróleo, debido a que presenta características muy similares a este. Es un combustible alternativo líquido ecológico que se puede utilizar en los motores diesel sin modificación (casi siempre), se puede mezclar en cualquier porcentaje con diesel de petróleo. Actualmente se emplean mezclas de diesel y biodiesel en motores de combustión, así la nomenclatura de uso de biodiesel al 100% se denomina B100 y la mezcla de 20 partes de biodiesel con 80 partes de diesel se conoce como B20. Se han reportado que las mezclas de biodiesel de hasta B20 se puede utilizar en casi todos los equipo diesel y no requieren generalmente de modificaciones en el motor. Mezclas más altas, incluso B100, se puede utilizar en motores con poca o ninguna modificación (Balat, 2011). Los motores modernos diesel son muy sensibles a la calidad del combustible. Por lo que es importante mantener una buena calidad del biodiesel, para el crecimiento de esta industria (Kargbo, 2010).

Tabla 3.1 Diferentes tipos de biocombustibles

Biocombustible	Bioetanol	Biodiesel	Biogás
Fuente de obtención	Azúcares (caña de azúcar, sorgo, remolacha, dulce, etc.) Almidones (maíz, yuca, etc.) Celulosa (residuos agrícolas, boscosos, etc.)	Plantas oleaginosas (cártamo, girasol, higuera, <i>Jatropha</i> y aceite de palma). Grasa animal. Aceites usados.	Desechos orgánicos. Excrementos de ganado.
Proceso de obtención	Fermentación	Transesterificación	Digestión anaerobia
Combustible a sustituir	Gasolina	Diesel	Gas natural
Porcentaje de sustitución*	5 al 20%	20%	100%

* Sin modificación del motor

3.0.2 Estudios previos de *Chrysobalanus icaco*

Un estudio fitoquímico de las hojas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), informa del aislamiento de triterpenos con actividad antitumoral, conocidos como ácido betulínico y pomólico (Fernandes et al., 2003). Respecto al estudio del aceite de semillas del fruto de icaco (*Chrysobalanus icaco*), existe un reporte de materiales procesados del continente europeo (Gunstone y Subbarao, 1967) cuya composición en ácidos grasos es: palmítico (4), estearico (18), oleico (11), linoleico (6), arachídico (1), a-eleostearico (22), a-parinarico (10), a-licánico (10). Considerando que las condiciones edáficas y ecológicas de México son diferentes a los del viejo continente, el estudio de los frutos de icaco procedente de la Costa Grande de Guerrero, México, en este aspecto deberá conducir a resultados diferentes, además en esta investigación se analizarán mezclas de diesel y biodiesel obtenido de semillas mexicanas del fruto de icacos, respecto a sus propiedades fisicoquímicas como el calor de combustión, además de las densidades, viscosidades dinámica y cinemática a diferentes temperaturas.

3.0.3 Planteamiento del problema

Actualmente y dado que el diesel de origen petroquímico no alcanzará para sustituir todo el diesel de nuestro planeta, se están investigando las propiedades fisicoquímicas de mezclas de diesel-biodiesel. Otra razón de utilizar estas mezclas estriba en que el biodiesel puro, a bajas temperaturas (3°C o menos) genera fases sólido-blanquecinas, que taponarían los ductos de fluido combustible. Ahora se plantea la búsqueda de otra fuente alternativa de aceite como el que se obtendrá de las semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), para su caracterización y transformación en ésteres metílicos de ácidos grasos (biodiesel) y estudiar algunas propiedades como su calor de combustión, densidad y viscosidad a diferentes temperaturas.

3.1 Metodología

Material vegetal.

Los frutos de icaco (*Chrysobalanus icaco*), se colectaron en junio de 2015, en los mercados de Acapulco y Coyuca de Benitez. Estado de Guerrero. Las semillas fueron separadas manualmente de los frutos, se secaron a temperatura ambiente y bajo la sombra durante 7 días. Una muestra se depositó en el Banco de Germoplasma del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma, Chapingo.

Características físicas de las semillas.

Se pesaron alrededor de 30 semillas de icaco y se les determinaron sus dimensiones de largo, ancho y grosor, enseguida fueron separadas manualmente sus almendras y se les determino su peso, largo, anchura y grosor utilizando un vernier electrónico.

Obtención del aceite.

Extracción por soxhlet.

Se pesaron 36.1 g de semillas molidas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), se extraerá con 500 ml de hexano en un equipo soxhlet durante 18 horas, el disolvente se filtró y se eliminó el disolvente en un rotavapor, esta operación se llevó a cabo por triplicado.

Obtención del biocombustible.

Se preparó una disolución de KOH (0.15887g) en metanol anhidro (10.4 mL), se calentó con agitación vigorosa hasta la disolución de la potasa (KOH). Seguidamente se adicionaron 20 mL del aceite. Se mantuvo bajo reflujo con agitación constante a durante 120 min., el desarrollo de la reacción se siguió por cromatografía en capa delgada usando una mezcla de hexano: ácido acético: acetato de etilo (90:1:10) como eluyente, revelando con una cámara de vapores de Iodo. La mezcla de reacción se enfrió, y se transfirió a un embudo de separación y se dejó reposar durante 10 horas. La fase superior del biodiesel se lavó con dos porciones de 25 mL de disolución de ácido cítrico al 0.1%, después con agua caliente a 60°C (2X50 mL), y se secó con sulfato de sodio anhidro. Para corroborar el término de la reacción, el biodiesel se analizó por la técnica de Resonancia Magnética Nuclear de ^1H en un espectrómetro Agilent a 400 MHz.

Pruebas de calidad.

Composición del aceite.

La composición del aceite se determinó por medio de la técnica de cromatografía de gases con detector de ionización de flama de acuerdo a la metodología empleada por Reyes-Trejo *et al.*, (2014).
Índice de acidez.

Se llevó a cabo con 1 g de muestra de aceite de icaco (*Chrysobalanus icaco*), o de biodiesel a la cual se le adicionaron 2 ml de etanol y 0.1 ml de disolución de fenofaleína, se agitó vigorosamente a 50°C y se tituló con solución valorada de KOH 0.0097N, hasta que en la muestra permaneció el color rosa durante 5 minutos, se determinó la cantidad de mg de KOH que neutralicen a un gramo de aceite.

Índice de yodo.

Para la determinación de índice de yodo tanto del aceite de *icaco* (*Chrysobalanus icaco*), como del biodiesel obtenido se efectuó de la siguiente manera: se pesaron de 0.1 a 0.2 gramos del aceite o biodiesel en un matraz de yodo de 250 mL, se cubrió el matraz con papel aluminio, dejando la boquilla destapada, se le añadieron 10 mL de diclorometano para disolver el aceite, se agitó fuertemente, después se le adicionaron 10 mL del reactivo de wijs, se le colocó el tapón, se agitó y se guardó en un lugar oscuro durante 30 min. Una vez transcurrido ese tiempo, el matraz fue retirado del lugar oscuro y se le adicionaron 10 mL de una solución de yoduro de potasio al 10%. Se tituló con una solución de tiosulfato de sodio 0.1 N previamente valorada, hasta obtener un color amarillo paja.

Una vez obtenido la coloración, se le adicionaron 1 mL de una solución de almidón y se continuó titulando hasta la desaparición de la coloración azul. Se comparó con un blanco, que se preparó con la cantidad de los reactivos marcados, menos la muestra y sin esperar los 30 min, se tituló de la misma forma. Con los mililitros de tiosulfato de sodio gastados en el blanco, los mililitros de las muestras y sus pesos, se efectuaron los cálculos correspondientes para obtener el índice de yodo.

3.2 Resultados y discusión

3.2.1 Características de las semillas

Con el objetivo de conocer las características físicas de la materia prima empleada en esta investigación se determinó el aspecto y las dimensiones de las semillas, cuyos valores se encuentran registrados en la tabla 3.2. Las semillas de *Chrysobalanus icaco* de fruto amarillo poseen una coloración café claro a diferencia de las obtenidas del fruto negro que tienen un tono café oscuro, ambos tipos de semillas presentan forma ovoide, alargada y abultada, constituida de cáscara y almendra. El peso promedio de la almendra es de 0.84 ± 0.10 g, representando así el 55.3 % del total de la semilla del fruto amarillo mientras que la almendra del fruto negro muestra el 48.06 % de la semilla.

Tabla 3.2 Características físicas de las semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*)*

Característica	Semilla* (Fruto amarillo)	Almendra* (Fruto amarillo)	Semilla** (Fruto negro)	Almendra ** (Fruto negro)
Largo (cm)	2.53 ± 0.11	1.75 ± 0.01	2.72 ± 0.15	1.67 ± 0.09
Ancho (cm)	1.54 ± 0.07	1.16 ± 0.08	1.43 ± 0.11	0.99 ± 0.07
Grosor (cm)	1.45 ± 0.09	1.06 ± 0.08	1.31 ± 0.11	0.91 ± 0.04
Peso (cm)	1.52 ± 0.17	0.84 ± 0.10	1.29 ± 0.15	0.62 ± 0.08

*Promedio de 44 semillas

**Promedio de 22 semillas

3.2.2 Acidez del aceite

La acidez del aceite obtenido de las semillas de icaco, apenas se encuentra abajo del límite de norma ASTM para ser transformado a biodiesel, el valor obtenido fue de 0.2317 mg/g de muestra. Valores muy superiores al obtenido, por ejemplo mayor a 3 mg de KOH/g de muestra, no permitirían su transformación a biodiesel y se obtendría en su lugar un jabón.

3.2.3 Obtención del biodiesel

El aceite tratado de las semillas de frutos de icaco, se transformó exitosamente a una mezcla de esteres metílicos mediante una reacción de transesterificación, se hizo un seguimiento de dicha reacción mediante cromatografía en placa delgada y por resonancia magnética nuclear (RMN), empleando CDCl_3 como disolvente y TMS referencia interna. Los espectros de RMN de ^1H y ^{13}C del aceite muestran claramente la naturaleza química de un triglicérido muy especial (Gráfico 3), ya que en su espectro de RMN de ^{13}C (Gráfico 3.1) se observan alrededor de 200 ppm una serie de cinco señales típicas de grupo cetónico ($\text{RR}'\text{C}=\text{O}$) ubicados a lo largo de la cadena de los ácidos grasos y que son muy poco comunes en aceites vegetales.

Por otro lado, al aplicar el tratamiento usual para separar el biodiesel del resto de los subproductos de la reacción de transesterificación, se observó un espectro muy característico de RMN de ^1H (Gráfico 3.2) que muestra señales de grupos metoxilo de éster en 3.64 ppm y desaparecieron las señales de los protones base de oxígeno del glicerol esterificando a los ácidos grasos entre 4.20 y 4.40 ppm.

Gráfico 3 Espectro de RMN de ^1H (CDCl_3 , TMS, 400 MHz) del aceite de icaco

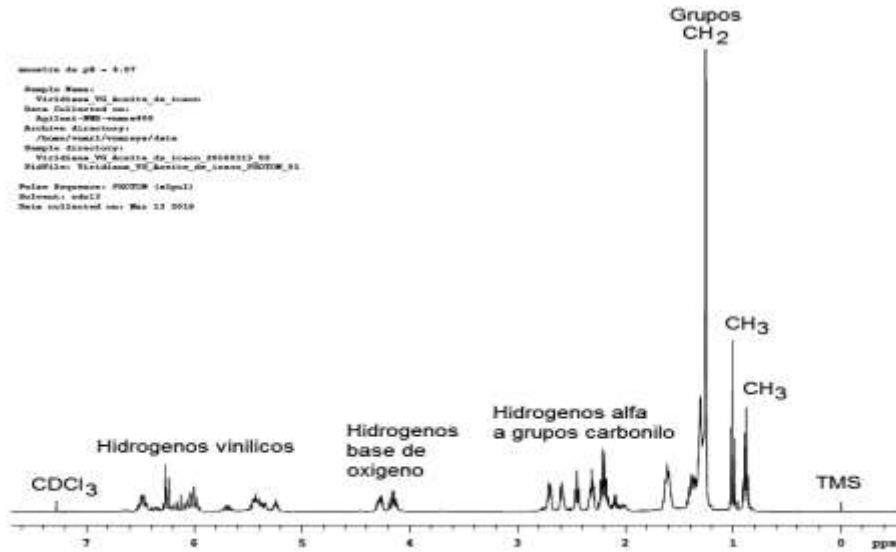
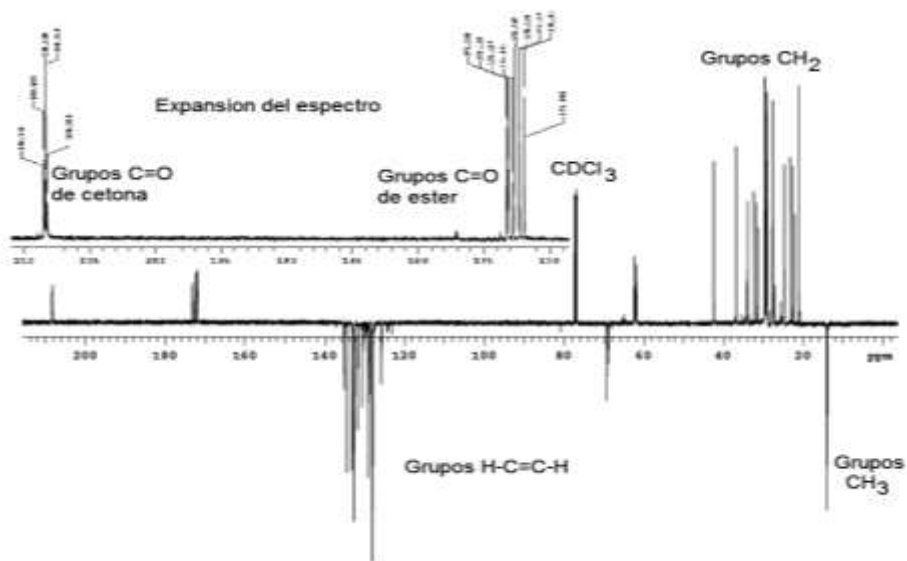


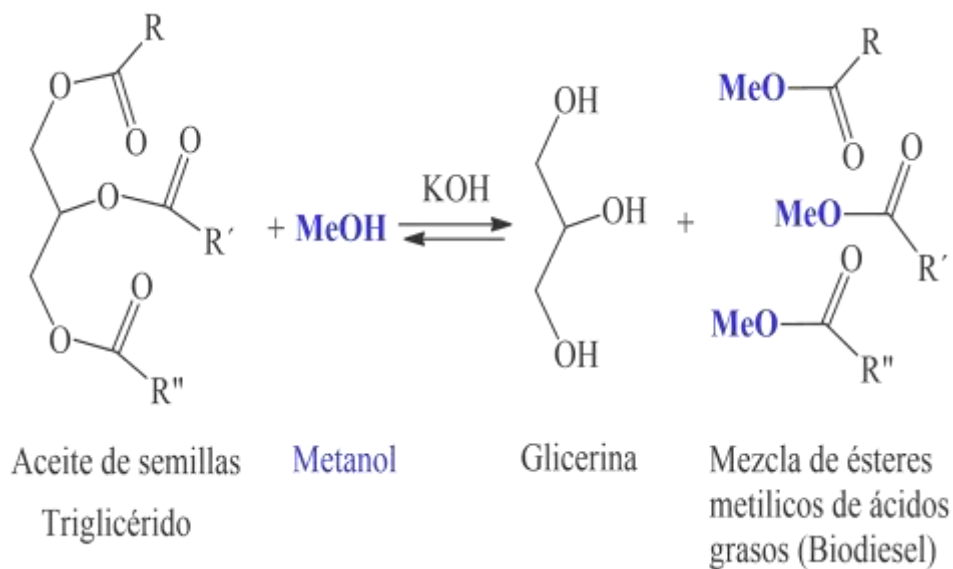
Gráfico 3.1 Espectro de RMN de ^{13}C (Trazo inferior) y en trazo superior experimento APT (CDCl_3 , TMS, 100 MHz) del aceite de icaco



Las características espectroscópicas de RMN del biodiesel obtenido a partir del aceite de icaco, indican que las cadenas laterales del triglicérido (R, R', R'') no contienen a los grupos carbonilo (C=O) de cetona, ni a sistemas o cadenas hidrocarbonadas con muchos enlaces dobles conjugados (H-C=CH-CH=C-H), siendo la reacción de transesterificación (Figura 3) muy específica para esta muestra hacia los ácidos grasos comunes como palmítico, esteárico, oleico y linoleico, según se ha descrito en el estudio de otra accesión de frutos de *Chrysobalanus icaco* donde describen el aislamiento e identificación del ácido 4-oxo-octadeca-cis-9, trans-11, trans-13, cis-15-tetraenoico (Gunstone y Subbarao, 1967).

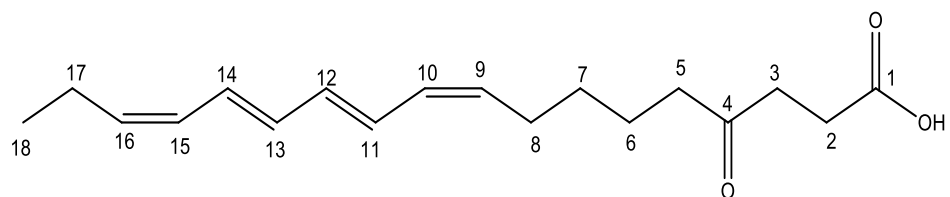
Entonces el sistema de dobles enlaces conjugados y los grupos carbonilo de cetona deberán estar contenidos en otras moléculas deferentes al triglicérido que asocia a la mayoría de los aceites, como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3 Reacción de transesterificación de un triglicérido para obtener biodiesel



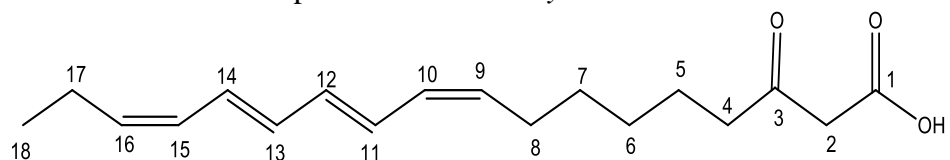
Sin embargo, y debido a la presencia de cinco señales de resonancia en el espectro de RMN de ^{13}C (Espectro 2), es probable la existencia de otros cuatro isómeros del ácido 4-oxo-9Z, 11E, 13E, 15Z-octadecatetraenoico en el aceite de icaco, deduciéndose cuatro posibilidades estructurales, como las mostradas en la Figura 3.1.

Gráfico 3.1 Posibilidades estructurales de los cinco derivados carbonílicos presentes en el aceite de semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*)

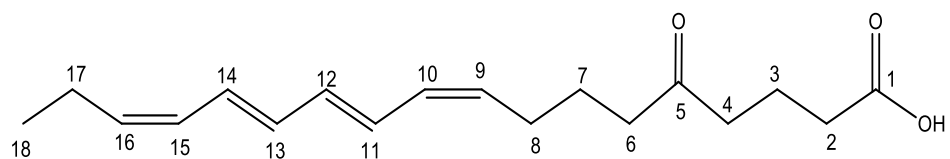


ácido (9Z,11E,13E,15Z)-4-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico

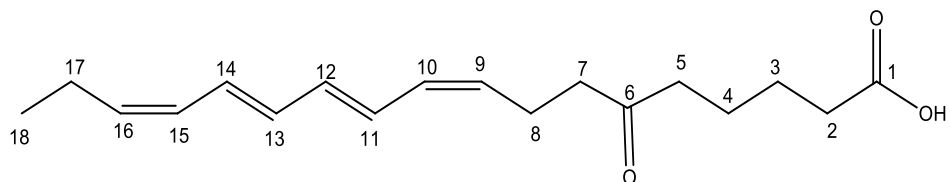
Aislado previamente de *Chrysobalanus icaco*



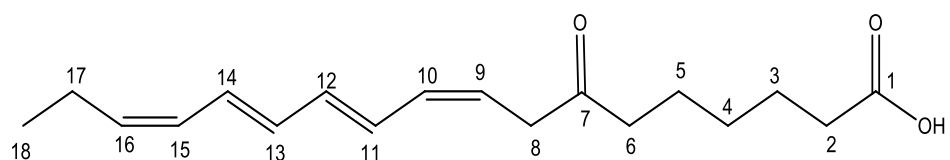
ácido (9Z,11E,13E,15Z)-3-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-5-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-6-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-7-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico

Gráfico 3.2 Espectro de RMN de ^1H (CDCl_3 , TMS, 400 MHz) del biodiesel de icaco

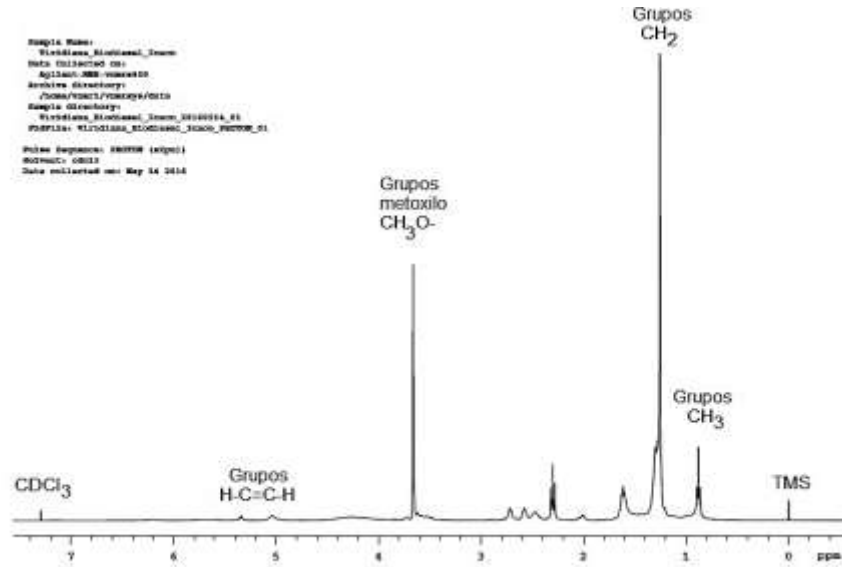
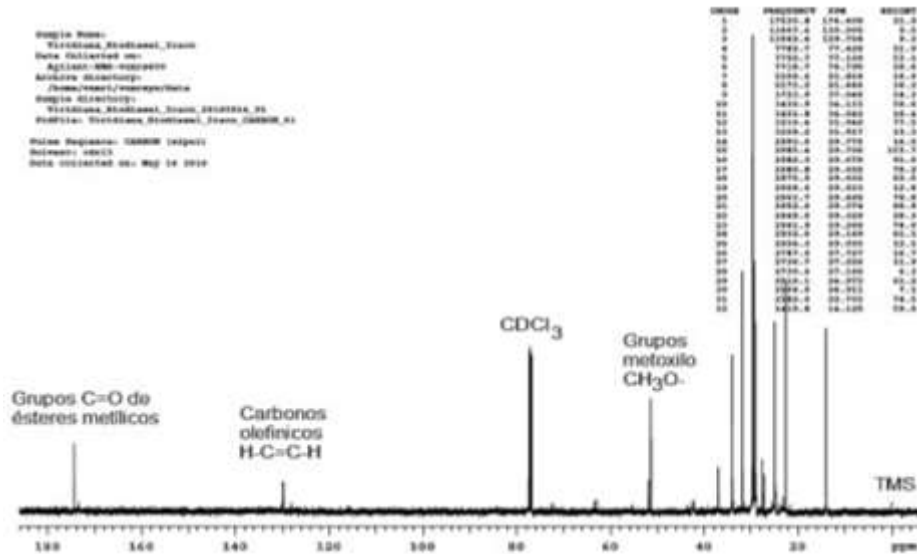


Gráfico 3.3 Espectro de RMN de ^{13}C (CDCl_3 , TMS, 100 MHz) del biodiesel de icaco



3.3 Comentarios finales

Es de suma importancia señalar que, el aceite obtenido de las semillas de frutos de icaco presentó una muy alta inestabilidad al medio ambiente, ya que al contacto con el aire se observó un endurecimiento o plastificado del material aceitoso, o sea se observa una polimerización que resulta en un material plástico que podría ser utilizado para otras aplicaciones diferentes a la de un biocombustible. Por esta razón, se consideró que no era conveniente determinar sus valores de viscosidad y densidad en el viscosímetro Stabinger, debido a que funciona mediante un arreglo de tubos agitados y calentados por un sistema de aspas metálicas de tipo peltier, al polimerizar este material dentro de este instrumento, lo inutilizaría irreversiblemente.

3.4 Conclusiones

Se obtuvo el aceite de las semillas de frutos de icaco (*Chrysobalanus icaco*), de acuerdo con sus valores de acidez baja, fue posible transformarlo a biodiesel con muy bajo rendimiento, el aceite mencionado tiene características muy especiales de acuerdo a su inestabilidad inusual, ya que polimeriza al contacto con el aire, por lo que podría mejor utilizarse en otras aplicaciones.

Sus espectros de Resonancia Magnética Nuclear evidencian la presencia de grupos carbonilo de cetona en las cadenas laterales que esterificaban a este aceite.

3.5 Referencias

- Balat, M. (2011). "Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work". *Energy Conversion and Management*, 52, pp.1479–1492.
- Demirbas A. (2011). "Competitive liquid biofuels from biomass". *Applied Energy*, 88, pp. 17–28.
- Demirbas, F. M.; Mustafa, B.; Havva, B. (2011). "Biowastes-to-biofuels". *Energy Conversion and Management*. 52, pp. 1815–1828.
- Deng, Y. Y.; Blok, K.; van der Leun K. (2012). "Transition to a fully sustainable global energy system". *Energy Strategy Review*, 1, pp. 109–121.
- Fernandes; J; Wagner-Souza, K.; Oliveira Castilho;R.; Rangel da Costa;M.; Coelho Kaplan; M.A.; Rocha G.C., (2003). Pentacyclic triterpenes from Chrysobalanaceae species: cytotoxicity on multidrug resistant and sensitive leukemia cell lines. *Cancer Letters* 190, pp. 165–169
- Ganduglia, F. (2009). *Manual de biocombustibles*. San José Costa Rica: IICA.
- Gunstone, F. D.; Subbarao, R. (1967). New tropical seed oils. Part I. conjugated trienoic and tetraenoic acids and their oxo derivatives in the seed oils of *Chrysobalanus icaco* and *Parinarium laurinum* Chem. Phys. Lipids 1, pp. 349-359.
- Kargbo David M. (2010). "Biodiesel Production from Municipal Sewage Sludges". *Energy Fuels*, 24, pp. 2791–2794.
- Kumar, A.; Sharma S. (2011). "Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: An Indian perspective". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 1791–1800.
- Manzano, A. F.; Alcayde, A.; Montoya, F.G.; Zapata, S. A.; Gil, C. (2013). "Scientific production of renewable energies worldwide: An overview". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, pp. 134–143.
- Marroquín, L.; Cuevas, J.; Guerra, D.; Reyes, L.; Reyes-Chumacero, A.; Reyes-Trejo, B. (2011). "Proximate composition, mineral nutrient and fatty acids of the seed of ilama, *Annona diversifolia* Saff". *Scientific Research and Essays*, 6, 14, pp. 3089-3093.

Rashid, U.; Ibrahim, M.; Yasin, S.; Yunus, R.; Taufiq-Yap, Y.H.; Knothe, G. (2013). Biodiesel from *Citrus reticulata* (mandarin orange) seed oil, a potential non-food feedstock. *Industrial Crops and Products* 45, pp 355– 359

Reyes-Trejo, B.; Guerra-Ramírez, D.; Zuleta-Prada, H.; Cuevas-Sánchez, J.A.; Reyes, L.; Reyes-Chumacero, A.; Rodríguez-Salazar, J. (2014). *Annona diversifolia* seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 52, pp 400-404.