



IBCIENCIAS IBCIENCIAS IBCIENCIAS



IBCIENCIAS



www.biociencias.unach.mx/ibciencias



Volumen 1 · Número 1 · Diciembre · 2018

Revista científica electrónica

Instituto de Biociencias de la Universidad Autónoma de Chiapas, México

Colegio de Biotecnólogos de Chiapas AC, México



Volumen 1 · Número 1 · Diciembre · 2018

www.biociencias.unach.mx/ibciencias

IBCIENCIAS, volumen 1, número 1, Julio-Diciembre 2018, es una revista científica digital de publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Chiapas, a través del Instituto de Biociencias, Boulevard Príncipe Akishino sin número, Col. Solidaridad 2000, Tapachula, C.P. 30798, Chiapas, México. Tel. (962) 64 2 7972, www.biociencias.unach.mx/ibciencias, ibciencias.revista@gmail.com. Editor responsable: Dr. Alfredo Vázquez Ovando. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 0, ISSN en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Dr. Alfredo Vázquez Ovando; Boulevard Príncipe Akishino sin número, Col. Solidaridad 2000, Tapachula, C.P. 30798, Chiapas, México.

CONTENIDO

Diciembre de 2018 / Vol 1 / Num 1

- 1-7** **Propiedades fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de abejas sin aguijón del Sur de Chiapas, México.** Julieta Grajales-Conesa, Remy Vandame, Antonio Santiesteban-Hernández, Alfonso López-García, Miguel Guzmán-Díaz
- 8-15** **Desempeño de motores fuera de borda a dos tiempos utilizando biolubricantes de *Jatropha curcas* L.** Cesar A. Argueta-Hernández, Sonia Ruiz-González, Lourdes Adriano-Anaya, Miguel Salvador-Figuera, Isidro Ovando-Medina



Volumen 1 · Número 1 · Diciembre · 2018

www.biociencias.unach.mx/ibciencias



Propiedades fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de abejas sin aguijón del Sur de Chiapas, México

Julieta Grajales-Conesa^{1*}, Remy Vandame², Antonio Santiesteban-Hernández², Alfonso López-García¹, Miguel Guzmán-Díaz²

¹ Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

² El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chiapas, México.

Resumen

Se analizaron mieles de abejas sin aguijón de diferentes especies y recolectadas en diferentes años en el sur de Chiapas, México; *Melipona beecheii*, *M. solani*, *Scaptotrigona mexicana*, *S. pectoralis*, *Tetragonisca angustula* y *Plebeia sp.* Asimismo, se realizaron estudios en mieles deshumidificadas (contenido final de 20% y 18% de humedad) de *M. beecheii*, *M. solani*, *S. mexicana* y *S. pectoralis*. Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron fueron los siguientes; humedad, pH, conductividad eléctrica, acidez libre, hidroximetilfurfural y azúcares. Los análisis antibacterianos se realizaron con mieles naturales y deshumidificadas colectadas en el 2008 y evaluadas contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Los resultados mostraron diferencias en las características fisicoquímicas, debido al origen, la especie y el año de cosecha, además de ser diferentes en relación a los estándares de mieles de *Apis mellifera*. Las mieles de *M. beecheii* y *M. solani* (natural, 20% y 18% de humedad) registraron el mayor efecto antibacteriano contra *E. coli*, en tanto que la que registró el mayor efecto bactericida contra *Staphylococcus aureus* fue la miel de *S. mexicana*. Nuestro estudio es un precedente de las características fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de diferentes años de cosecha y de distintas especies de abejas en la región sureste del estado de Chiapas, México.

Palabras clave:

Miel
Calidad
Melipona
Scaptotrigona
Tetragonisca
Plebeia

Keywords:

Honey
Quality
Melipona
Scaptotrigona
Tetragonisca
Plebeia

Physicochemical and antibacterial properties of stingless bee honeys from the south of Chiapas, Mexico

Abstract

We analyzed stingless bee honeys from different species and years in the South of Chiapas, Mexico; *Melipona beecheii*, *M. solani*, *Scaptotrigona mexicana*, *S. pectoralis*, *Tetragonisca angustula*, and *Plebeia sp.* We also performed studies on dehumidified honeys (final content of 20% and 18% moisture) of *M. beecheii*, *M. solani*, *S. mexicana*, and *S. pectoralis*. The physicochemical characteristics were different due to their origin and the harvest years, besides our results were different than the required standards for *Apis mellifera* honey. *Melipona beecheii* and *M. solani* (natural, 20% and 18% moisture) honeys registered the biggest antibacterial effect against *Escherichia coli*, and the biggest bactericidal effect against *Staphylococcus aureus* was observed with *S. mexicana* honey. Finally, our study is a precedent in stingless bee honeys characterization in the southeast region of Chiapas, Mexico.

* Autor para correspondencia:

Instituto de Biociencias,
Universidad Autónoma de
Chiapas.
Blvd. Príncipe Akishino S/N
Col. Solidaridad 2000. C.P.
30798
Tapachula Chiapas, México.
Teléfono:
+52 962 6427972.
Correo-electrónico:
jugrajco@gmail.com

1. Introducción

Durante las últimas décadas se ha hecho necesaria la armonización de la legislación alimentaria debido a las distintas preocupaciones de los consumidores; lo cual ha conllevado a enfocar los desarrollos científicos a garantizar los niveles más altos de calidad y seguridad alimentaria (Souza et al., 2006). Dentro de estos productos alimentarios se encuentra la miel, la cual debe cumplir con los requisitos de calidad especificados en el *Codex Alimentarius* (2001). La miel se ha consumido desde la antigüedad y se define como una sustancia dulce producida por las abejas melíferas (*Apis mellifera*) a partir del néctar o las secreciones de las partes vivas de las plantas, combinadas con ciertos ingredientes propios de las abejas. Este producto natural también se conoce como nutricional y terapéutico en diferentes lugares del mundo, donde América Latina no es la excepción (Cortopassi et al., 2006; Molan, 2001; Tze-Tan, 2009). No obstante, en las áreas tropicales esta sustancia dulce es producida por diferentes especies de abejas, particularmente por abejas sin aguijón, por lo que no puede considerarse como miel según la definición del *Codex Alimentarius* (Souza et al., 2006; Vit et al., 1994). Estas mieles son muy apreciadas en Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Venezuela y México, en donde se emplean como remedio para tratar varios tipos de infecciones bacterianas en la garganta, el estómago o incluso los ojos (Bogdanov et al., 2008; Guerrini et al., 2009; Vit y Kilchenman, 1994; Vit y Enríquez, 2004).

Actualmente se han realizado diversos trabajos para caracterizarlas mediante el análisis de propiedades fisicoquímicas y actividad antibacteriana en las especies de abejas sin aguijón más importantes, del género *Melipona*, *Scaptotrigona* y *Tetragonisca* de México, Guatemala, Ecuador, Costa Rica, Perú, Colombia, Venezuela y Brasil (De Mera, 2004; Grajales-Conesa et al., 2001; Guerrini et al., 2009; Rodríguez-Malaver et al., 2009; Vit y Enríquez, 2004). En estos trabajos se observa que el contenido de agua, la acidez libre, la conductividad eléctrica y la actividad de la inhibina son generalmente más altos que los valores establecidos para las mieles de *A. mellifera*, en tanto que el pH y la actividad de diastasa son menores y ambos tipos de mieles son similares solo en contenido de cenizas e hidroximetilfurfural (De Mera, 2004; Souza et al., 2006; Vit y Enríquez, 2004).

Asimismo, se han realizado estudios para analizar la estabilidad poscosecha de mieles de *M. scutellaris* y *M. quadrifasciata* en condiciones normales y deshumidificadas (Carvalho et al., 2004), encontrando que el proceso de deshumidificación no interfiere con la calidad y la aceptabilidad de las mismas. Por otro lado, se han realizado estudios para evaluar el efecto antimicrobiano de las mieles de abejas nativas, en los que se han observado diferentes actividades, por ejemplo; las mieles de *Melipona* registraron un mayor efecto que las de *A. mellifera*, y las mieles de *T. angustula* no mostraron diferencias en comparación con *A. mellifera* (Vit et al., 2004). Aún así, no existe una legislación

para estas mieles, en particular para México en donde existe una gran diversidad de especies de abejas sin aguijón, y algunos trabajos aislados e inéditos para caracterizarlas (distintos años, especies de abejas y sitios). Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo presentar las propiedades fisicoquímicas y antibacterianas de las mieles naturales y deshumidificadas del sur de Chiapas, México recolectadas en diferentes años, de diferentes especies de abejas y lugares de esta región.

2. Materiales y métodos

2.1. Mieles de abejas nativas y proceso de deshumidificación
Para este estudio se recolectaron 14 mieles de diferentes especies de abejas sin aguijón (*Melipona beecheii*, *M. solani*, *Plebeia* sp., *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona mexicana* y *S. pectoralis*) en diferentes años; 1994, 2000, 2008. Todas las mieles se recolectaron de meliponarios ubicados en la región Soconusco del estado de Chiapas México (municipios de Unión Juárez, Metapa y Tuxtla Chico). Una vez cosechadas las mieles se guardaron en frascos estériles debidamente etiquetados, los cuales fueron transportados al laboratorio para ser guardados a -4 °C hasta su análisis. Todos los análisis fisicoquímicos se realizaron inmediatamente después de la recolección (el mismo año de la recolecta, en laboratorios diferentes, pero bajo las mismas condiciones técnicas).

En relación a las mieles empleadas para el control de humedad, se extrajeron de febrero a abril de 2008, y se colocaron en una habitación pequeña (2 x 3 x 3 m) completamente cerrada con temperatura de 29 a 32 °C y se utilizó control de humedad (deshumidificador Munter, modelo MD-26 ®) para reducir la humedad de la miel, hasta alcanzar valores de aproximadamente 20 g 100 g⁻¹ (después de 96 h de exposición) y 18 g 100 g⁻¹ (148 h de exposición, en promedio).

2.2. Características fisicoquímicas

En este estudio se analizaron los siguientes parámetros en las mieles; humedad, pH, conductividad eléctrica, acidez libre, hidroximetilfurfural (HMF) y azúcares, los que se realizaron por triplicado para cada miel y se realizaron de acuerdo a los métodos de la AOAC (Bogdanov, 2002). El contenido de humedad se midió con un refractómetro ATAGO®, método 969.38, la acidez libre por el método 962.19, el HMF con el método 980.23, la conductividad eléctrica, el pH y color se midieron con un analizador de color miel (Hanna modelo C221) y el valor informado en la escala de Pfund.

2.3. Actividad antibacteriana

La actividad antibacteriana se evaluó mediante el método de ensayo de difusión en las mieles colectadas en 2008, en mieles naturales y deshumidificadas, de las especies *M. beecheii*, *M. solani*, *S. mexicana* y *S. pectoralis*, contra *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, obtenidas en el cepario del Instituto de Biociencias de la Universidad

Autónoma de Chiapas (Chiapas, México), e identificadas por métodos de laboratorio de rutina. Las placas de Petri con agar nutritivo se inocularon previamente con las bacterias por separado, y se incubaron durante la noche hasta que el crecimiento fue 0.5 de absorbancia (100 ml de agar nutritivo: 150 μ l de inóculo) (Molan, 2001). Después de la inoculación se cortaron pozos de 9 mm de diámetro en la superficie del agar usando un taladro de corcho. Después se añadieron diluciones de miel con agua (50 y 75 g 100 mL⁻¹) a los pocillos (100 μ L) por triplicado, y el control fue la miel natural (sin deshumidificar) de cada una de las especies de estudio. Después de la aplicación de las muestras y el control, las placas se incubaron durante 24 h a 37 °C, y después se midieron los diámetros de inhibición con ayuda de un vernier.

2.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en este estudio se analizaron por medio de un ANOVA y prueba de Tukey, con una significación del 0.05%. Estos datos se analizaron con el programa Statistica versión 7.1 (Stat soft, Inc. 2005). Las asociaciones entre las variables medidas y el año de colecta fueron analizadas por un análisis de componentes principales (ACP) con el software Statgraphics © Centurion XV versión 15.2.06.

3. Resultados

3.1. Características fisicoquímicas

La composición fisicoquímica de las mieles de abejas sin aguijón muestra diferencias entre las especies y los años de recolecta (Cuadro 1). El contenido de humedad en todas las mieles varió de 23.1 a 34.1 g 100 g⁻¹; las mieles de *T. angustula* registraron los valores más bajos y *Plebeia* sp. los más altos. Las mieles de *Melipona* presentaron valores entre 24 a 27 g 100 g⁻¹ para la especie de *M. beecheii* en los distintos años de colecta y análisis (1994, 2000 y 2008), en tanto que en las mieles de *Scaptotrigona* se encontraron valores entre 23.1 a 25.9 g 100 g⁻¹ y, para las mieles de *T. angustula* fue de 23.2 y 26.7 g 100 g⁻¹ durante dos diferentes años de cosecha (Cuadro 1).

En relación al pH, las mieles de abejas sin aguijón registraron valores entre 3.42 y 4.5, siendo las mieles de *Plebeia* sp. las más ácidas, las cuales también registraron el mayor contenido de humedad (Cuadro 1).

Para el contenido de HMF, los resultados fueron diferentes de acuerdo a la especie de abeja y el año de recolecta, registrando valores entre 0.57 y 78.5 mg kg⁻¹. Las mieles *M. solani* registraron los valores más altos y más bajos de HMF en los distintos años de cosecha; 2000 y 2008, respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición fisicoquímica de mieles de abejas sin aguijón de la región Soconusco Chiapas.

Especies de abejas	Humedad (g 100 g ⁻¹)	pH	Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	Acidez libre (meq kg ⁻¹)	HMF (mg kg ⁻¹)	Azúcares (g 100 g ⁻¹)	Año	Muestras de mieles (n)
<i>Melipona beecheii</i>	27.0	4.18	0.66	5.9	5.4	1.6	1994	1
<i>M. beecheii</i>	24.0	4.50	0.55	28.0	64.8	-	2000	1
<i>M. beecheii</i>	25.3	3.64	0.50	40.3	2.1	-	2008	1
<i>Melipona solani</i>	25.0	4.00	0.62	85.0	78.5	-	2000	1
<i>M. solani</i>	25.8	3.65	0.45	55.8	0.6	-	2008	1
<i>Plebeia</i> sp.	34.1	3.42	0.81	23.7	2.4	1.1	1994	1
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	24.7	4.05	0.76	76.7	42.0	-	2000	4
<i>S. mexicana</i>	23.1	3.65	0.47	90.3	2.4	-	2008	1
<i>S. pectoralis</i>	25.9	3.44	0.57	98.5	3.5	-	2008	1
<i>Tetragonisca angustula</i>	26.7	3.88	0.78	7.7	4.3	2.4	1994	1
<i>T. angustula</i>	23.2	4.35	1.10	57.5	39.1	-	2000	1

- : Determinaciones no realizadas

En cuanto a la acidez libre los datos oscilaron entre 5.9 a 98.5 meq kg⁻¹, diferencias que se observaron entre los géneros de las abejas de la siguiente manera; las mieles de *Melipona* mostraron valores entre 5.9 y 85 meq kg⁻¹, en las mieles de *Scaptotrigona* se registraron los valores más altos de acidez libre (76.7 y 98.5 meq kg⁻¹), y para las mieles de *T. angustula* los valores se encontraron entre 7.7 y 57.5 meq kg⁻¹ (Cuadro 1).

Todas las mieles de abejas sin aguijón registraron una conductividad eléctrica entre 0.452 a 1.10 mS cm⁻¹, en donde

las mieles de *T. angustula* registraron los valores más altos (Cuadro 1).

El parámetro de color solo se determinó en mieles de *Melipona* y *Scaptotrigona* cosechadas en el 2008, y mostraron valores de 33 a 136 mmPfund, presentando las mieles de *Melipona* los valores más altos (Cuadro 1).

3.2. Análisis de componentes principales (ACP)

Los primeros dos componentes principales (CP) explican el 73.9% de la variación en todas las fechas de colecta de las

mieles. El análisis se muestra en la Figura 1, en donde las características CP1 son ponderadas al pH y el HMF, en cuanto al el CP2 fue dominado principalmente por contenido de acidez libre. Se observaron diferencias basadas en el ACP donde la mayoría de las muestras de miel concuerdan con algunos parámetros relacionados con el año de recolección, independientemente de la especie de abeja. Las mieles del 2008 se agruparon claramente y se asociaron con la acidez libre; las mieles de 2000 asociadas con HMF y pH, y aquellas recolectadas en 1994 solo con el contenido de humedad (Figura 1).

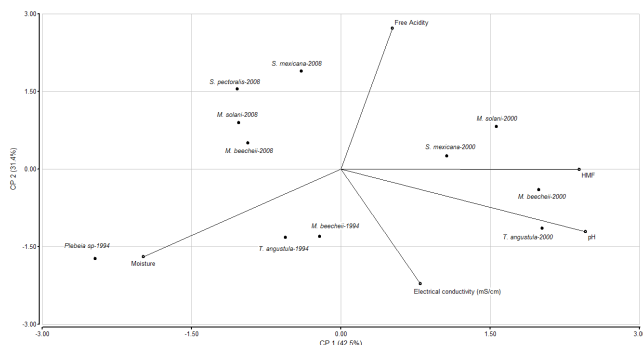


Figura 1. Análisis de componentes principales de mieles de abejas sin aguijón de diferentes años de recolecta y especies; *Melipona beecheii*, *Melipona solani*, *Scaptotrigona mexicana*, *Scaptotrigona pectoralis* y *Tetragonisca angustula*.

3.3. Mieles naturales y deshumidificadas

Los resultados registraron diferencias significativas entre mieles naturales y deshumidificadas de acuerdo a las especies

del estudio; *M. beecheii*, *M. solani*, *S. mexicana* y *S. pectoralis* (Cuadro 2). Las mieles de abeja sin aguijón de *M. beecheii* y *M. solani* presentaron colores más claros que las de *S. mexicana* y *S. pectoralis*. La deshumidificación originó que las mieles se volvieran más oscuras, excepto para las mieles de *S. pectoralis* (18%). Nuestros resultados de pH mostraron que las mieles naturales de *M. beecheii*, *S. mexicana* y *S. pectoralis* fueron estadísticamente diferentes del tratamiento deshumidificado, y en contraste en las mieles de *M. solani* se observó que las mieles naturales y las deshumidificadas al 20% no presentaron diferencias significativas (Cuadro 2). Asimismo, se observaron diferencias en los resultados de conductividad eléctrica en todas las mieles analizadas (naturales y deshumidificadas). Por otro lado, las mieles deshumidificadas al 18% registraron menor contenido de acidez libre, excepto por muestras de *S. pectoralis*.

3.4. Actividad antibacteriana de mieles de abejas sin aguijón

Las mieles naturales de abejas sin aguijón mostraron los mayores diámetros de inhibición en comparación con las mieles deshumidificadas (Cuadro 3). Las mieles de *M. beecheii* y *M. solani* registraron una mayor actividad antibacteriana contra *E. coli*. En cuanto a las pruebas contra *S. aureus*, en las mieles naturales y deshumidificadas se observaron diferencias estadísticamente significativas (P<0.001) entre las especies, y también para las diluciones (P<0.001), registrando las mieles de *S. mexicana* (natural y deshumidificado) la mayor actividad antibacteriana (Cuadro 3).

Cuadro 2. Composición química de muestras de miel naturales y deshumidificadas del año de colecta 2008 (Promedio ± DE).

Especie de abejas sin aguijón	Humedad (g 100 g ⁻¹)	Color	pH	Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	Acidez libre (meq kg ⁻¹)	HMF (mg kg ⁻¹)
<i>Melipona beecheii</i>						
Natural	25.3±0.17 ^a	136±0.00 ^a	3.64±0.01 ^a	0.507±0.00 ^a	40.33±1.26 ^a	2.1±2.17 ^a
20% humedad	20.1±0.44 ^b	138±0.58 ^b	3.7±0.58 ^b	0.462±1.15 ^b	38.66±0.58 ^a	1.34±0.35 ^a
18% humedad	18.3±0.15 ^c	150±0.00 ^c	3.7±0.00 ^b	0.427±0.58 ^c	34.5±1.00 ^b	1.69±1.13 ^a
<i>M. solani</i>						
Natural	25.8±0.00 ^a	33±0.00 ^a	3.65±0.00 ^a	0.452±1.53 ^a	55.83±2.02 ^a	0.57±0.50 ^a
20% humedad	20.1±0.35 ^b	13±1.15 ^b	3.65±0.02 ^a	0.418±0.58 ^b	57.50±0.50 ^a	1.87±1.20 ^{ab}
18% humedad	17.7±0.35 ^c	157±0.58 ^c	3.5±0.00 ^b	0.420±0.00 ^b	49.33±0.76 ^b	3.04±0.48 ^b
<i>Scaptotrigona mexicana</i>						
Natural	23.1±0.00 ^a	74±2.64 ^a	3.65±0.17 ^a	0.478±1.73 ^a	90.33±1.26 ^a	2.37±0.63 ^a
20% humedad	19.8±0.15 ^b	77±1.00 ^a	3.58±0.00 ^b	0.427±1.00 ^b	70.50±1.00 ^b	2.36±1.55 ^a
18% humedad	18.1±0.15 ^c	85±0.00 ^b	3.55±0.02 ^c	0.425±0.00 ^c	66.16±1.60 ^c	4.43±1.72 ^a
<i>S. pectoralis</i>						
Natural	25.9±0.10 ^a	66±0.57 ^a	3.44±0.00 ^a	0.579±0.57 ^a	98.50±3.50 ^a	3.49±0.69 ^a
20% humedad	20.1±0.11 ^b	72±0.57 ^b	3.48±0.00 ^b	0.550±0.57 ^b	81.50±1.50 ^b	3.12±0.15 ^a
18% humedad	18.0±0.66 ^c	66±1.52 ^a	3.45±0.01 ^c	0.542±0.00 ^c	87.50±3.60 ^b	3.49±0.04 ^a

^{a-c} Medias con la misma letra en la misma columna no mostraron diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (P>0.05).

Cuadro 3. Actividad antibacteriana de mieles de *Melipona beecheii*, *M. solani*, *Scaptotrigona mexicana* y *S. pectoralis* (2008, una muestra de miel por cada especie) del Sur de Chiapas contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*

Diluciones (p/v)	<i>Escherichia coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>		
	100	75	50	100	75	50
<i>Melipona beecheii</i>						
MbN	33.2±0.8 ^a	31.8±0.3 ^a	27.8±0.8 ^a	13.0±0.0 ^a	12.6±0.3 ^a	11.2±0.3 ^a
Mb20	35.0±0.0 ^b	29.6±1.2 ^{ab}	20.0±0.0 ^b	13.8±0.3 ^b	12.8±0.3 ^a	12.0±0.0 ^b
Mb18	34.8±0.3 ^b	30.6±0.6 ^b	20.0±0.0 ^c	13.0±0.0 ^a	12.0±0.0 ^b	10.0±0.0 ^c
<i>M. solani</i>						
MsN	33.2±2.8 ^a	29.0±0.0 ^a	24.3±1.2 ^a	-	-	-
Ms20	34.2±1.3 ^a	29.8±0.3 ^{ab}	27.3±0.6 ^{ab}	-	-	-
Ms18	33.2±2.0 ^a	30.3±0.6 ^b	26.3±0.6 ^b	-	-	-
<i>Scaptotrigona mexicana</i>						
SmN	30.8±3.2 ^{ab}	27.3±0.8 ^a	18.1±0.6 ^a	18.3±0.6 ^a	16.3±0.6 ^a	15.6±0.6 ^a
Sm20	25.8±2.0 ^a	24.5±1.3 ^a	16.8±2.8 ^a	17.1±0.8 ^a	16.8±0.3 ^a	15.3±0.6 ^a
Sm18	32.6±1.6 ^b	26.6±1.5 ^a	20.0±4.3 ^a	17.6±0.6 ^a	16.0±0.0 ^a	15.3±0.6 ^a
<i>S. pectoralis</i>						
SpN	24.8±2.0 ^a	16.6±2.1 ^a	14.1±0.3 ^a	15.5±0.5 ^a	14.0±0.0 ^a	12.1±0.3 ^a
Sp20	16.3±0.3 ^b	15.8±0.8 ^a	14.1±0.3 ^a	14.8±0.8 ^a	13.1±0.3 ^b	11.8±0.3 ^a
Sp18	29.6±2.8 ^c	24.6±0.8 ^b	20.0±1.0 ^b	15.1±0.3 ^a	14.0±0.0 ^a	13.1±0.3 ^b

Promedio y desviaciones estándar de los diámetros de inhibición (mm), ^{a-c} Medias con la misma letra en la misma columna no mostraron diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (P>0.05)

4. Discusión

Los remedios tradicionales se encuentran mayormente asociados a las plantas que se cultivan en esas regiones y a las mieles de las abejas sin aguijón que ahí se produzcan (Vit et al. 2004), no obstante, la información sobre las propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas de estas mieles es escasa, por lo cual estos análisis podrían servir como un parámetro de calidad para productores y consumidores. Los resultados presentados en este trabajo muestran diferencias en todos los parámetros analizados en comparación con los estándares de mieles de *A. mellifera* (*Codex Alimentarius*, 2001), así como con mieles de abejas sin aguijón de otras regiones del trópico (Dardón et al., 2013; Ferrufino y Vit, 2013; Fuenmayor et al., 2013).

Los resultados de los análisis fisicoquímicos muestran que en las mieles de abejas sin aguijón existe un mayor contenido de humedad que lo establecido para las mieles de *A. mellifera* (20 g 100 g⁻¹) (*Codex Alimentarius*, 2001), lo cual varía de acuerdo a la especie de abeja y al área donde se ubica. Estudios realizados con mieles de *Melipona*, *Scaptotrigona* y *Plebeia* de Colombia y Bolivia (Ferrufino y Vit, 2013; Fuenmayor et al., 2013) muestran resultados similares a lo reportado en nuestro estudio, así como los reportados en mieles de Guatemala, las cuales registraron valores más bajos (17.3 - 20.37 g 100 g⁻¹), en tanto que las mieles de Venezuela los valores más altos (29.7 - 30.2 g 100 g⁻¹) (Dardón et al., 2013; Vit, 2013). Por otro lado, las mieles de *T. angustula* registraron valores similares a las mieles de Brasil y Colombia (Almeida-Muradain, 2013; Santiesteban, 1994), pero diferentes con las mieles de Guatemala (17.5 g 100 g⁻¹)

(Dardón et al., 2013). El alto contenido de humedad podría depender de la madurez alcanzada en el nido de abeja durante la temporada de cosecha, factor climático y geográfico, además de otros elementos que afectan la abundancia floral (Fuenmayor et al., 2013; Vit et al., 2004).

En relación a los valores de pH se observan similitudes con las mieles de *A. mellifera* (*Codex Alimentarius*, 2001), además de coincidir con las mieles de especies de abejas sin aguijón de Venezuela, Colombia y Bolivia. En contraste, las mieles de *T. angustula* registran valores más altos a lo reportado en otras especies (5.18), lo cual pueda deberse a la especie de abeja (Dardón et al., 2013; Ferrufino y Vit, 2013; Fuenmayor et al., 2013; Vit, 2013).

Los valores de HMF en las mieles de *Scaptotrigona* registraron variaciones de 2.37 a 42 mg kg⁻¹, similar a lo reportado en las mieles colombianas con 6.1 mg kg⁻¹ (Fuenmayor, et al. 2013), en tanto que las mieles de *Melipona* registraron los valores más bajos y más altos de HMF en nuestro estudio, y fueron parcialmente similares a las reportadas en las mieles venezolanas (5.04 y 24.69 mg kg⁻¹) (Vit, 2013). Estas variaciones pueden deberse al tipo de recursos florales empleados por las distintas especies de abejas (Dardón et al., 2013).

La alta acidez en mieles de abejas sin aguijón, es un indicador de la fermentación de azúcares en ácidos orgánicos, lo cual cambia el sabor y la estabilidad. Nuestros resultados fueron más altos que los reportados para las mieles de *A. mellifera* (≤50 meq kg⁻¹, *Codex Alimentarius*, 2001); las mieles de *Melipona* registraron valores similares a las mieles venezolanas (50.6 meq kg⁻¹) y colombianas (67.6-72.2 meq

kg⁻¹) con valores más altos (Fuenmayor, et al. 2013; Vit, 2013). En contraste, las mieles de Guatemala (4.95 - 23.2 meq kg⁻¹) y Bolivia (10.4 y 16 meq kg⁻¹) los valores más bajos de acidez libre (Dardón et al., 2013; Fuenmayor, 2013; Vit, 2013). Por otro lado, las mieles de *Scaptotrigona* fueron más ácidas que las mieles de *Melipona*, similares a las reportadas por Cortopassi y Gelli (1991), Grajales-Conesa (2001), Santiesteban (1994) y Vit et al. (2004), en tanto que las mieles de *T. angustula* registraron valores similares a las reportadas en Brasil (21.65 y 63.85 meq kg⁻¹) y Colombia (39.2 meq kg⁻¹) (Almeida-Muradian, 2013; Fuenmayor et al. 2013). De todas las mieles analizadas, únicamente las de *Plebeia* registraron valores correspondientes a los estándares de *A. mellifera* (*Codex Alimentarius*, 2001). De manera general se observa un mayor contenido de acidez libre en mieles de abejas sin aguijón, lo cual justifica su sabor ácido (Vit et al., 2004).

La conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de cenizas y minerales, y depende del origen botánico y geográfico, además de las especies de abejas (referencia). Las muestras analizadas correspondieron con los estándares de *A. mellifera*, excepto en mieles de *T. angustula* que presentaron valores más altos (≤ 0.8 mS cm⁻¹).

El color de las mieles de abeja sin aguijón se encontró entre 33 a 136 mmpfund, donde las mieles de *Melipona* reportaron el valor más alto, similar al reportado en las mieles de Guatemala (Dardón et al., 2013). Gutiérrez et al. (2008), reportaron diferentes valores de color para las mieles de *M. beecheii* y *M. solani* (25.50 y 11.00, respectivamente), que podrían depender de la flora que visitaron (Dardón y Enríquez, 2008). En las mieles de *Scaptotrigona* se registraron valores entre 66 y 74 mmpfund que se encuentran dentro de los valores reportados para este género en otras regiones.

El contenido reducido de humedad de las mieles de abejas sin aguijón (proceso de deshumidificación) se sugiere como una alternativa para prolongar la vida útil de las mieles, a fin de evitar una mayor fermentación que no interfiera con la calidad y aceptabilidad de la misma (Torres, 2004). Las diferencias observadas en las mieles deshumidificadas probablemente se deban a la reducción de la humedad postcosecha, lo que disminuye el contenido de acidez libre en las mismas. Por lo tanto, el estudio de la reducción de la humedad es necesario para tener una forma alternativa de prevenir la fermentación adicional. Por otro lado, es necesario mencionar que la acidez libre, el contenido de humedad, los azúcares y las cenizas son el análisis estándar para evaluar las mieles de abejas sin aguijón y su relación con la actividad antibacteriana (Gutiérrez et al., 2008).

Las mieles de *M. beecheii* y *M. solani* registraron actividad antibacteriana contra *E. coli*, lo cual es similar a lo reportado por Dardón y Enríquez (2008), quienes observaron que las mieles de *M. beecheii* y *M. yucatanica* mostraron actividad antibacteriana a la dilución del 5% v/v. Así mismo reportaron esta actividad con mieles de *S. pectoralis* y *Nannotrigona*

perilampoides quienes mostraron mayor actividad contra *E. coli* y *S. aureus*.

El que las mieles hayan registrado una mayor actividad antibacteriana contra bacterias Gram positivas y Gram-negativas, puede atribuirse a las cuatro propiedades de las mieles: 1. Efecto osmótico. 2. Acidez. 3. Peróxido de hidrógeno. 4. Factores fitoquímicos (Grajales-Conesa 2001, Molan, 1992, Temaru et al., 2007). Todo lo anterior indica que es necesario realizar un mayor número de estos estudios para estandarizar estas mieles, así como comprender el potencial de su actividad antibacteriana por especie.

5. Conclusión

Nuestro estudio es un primer paso para caracterizar las mieles de abejas sin aguijón, que difiere en características fisicoquímicas encontradas en mieles de *Apis mellifera*, en mieles de distintas especies de abejas sin aguijón e incluso en mieles de la misma especie de abeja, pero de distinta región. Además, es un precedente de las características fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de diferentes años de cosecha y de distintas especies de abejas en la región sureste del estado de Chiapas, México. Así también, los datos generados evidencian que la deshumidificación en las mieles podría considerarse como una alternativa para su conservación. Finalmente, los resultados de la actividad antibacteriana demuestran la efectividad para inhibir el crecimiento de bacterias de importancia médica en condiciones *in vitro*, por lo que la información resulta de utilidad para consumidores y productores que pueden acceder a una medicina alternativa de origen natural.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los productores locales que proporcionaron mieles y a los alumnos que participaron en estos estudios, en especial a Damian Avendaño-Castro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Almeida-Muradian L. 2013. *Tetragonisca angustula* pot-honey compared to *Apis mellifera* honey from Brazil. En: Vit P, Pedro S, Roubik D. (eds). Pot-Honey a legacy of stingless bees. Springer. New York. Pp. 375-382.
- Bogdanov S, Tomislav J, Sieber R, Gallman P. 2008. Honey for Nutrition and Health: a review. Journal of the American College of Nutrition 27: 677-689.
- Bogdanov S. 2002. Harmonized Methods of the International Honey Commission. International Honey Commission. URL http://www.bee-hexagon.net/files/file/fileE/IHCPapers/IHC-methods_2009.pdf
- Carvalho C, Sodré G., Fonseca A, Alves R, Souza B, Clarton L. 2009. Physicochemical characteristics and sensory profile

- of honey samples from stingless bees (Apidae: Meliponinae) submitted to a dehumidification process. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 81: 143-149.
- Codex Alimentarius. 2001. Revised codex standard for honey. CODEX STAN 12-1981, Codex Alimentarius Commission. 2001. FAO/OMS. Rome, Italy.
- Cortopassi L, Imperatriz-Fonseca V, Roubik D, Dollin A, Heard T, Aguilar I, Venturieri G, Eardley C, Nogueira-Neto P. 2006. Global Meliponiculture: challenges and opportunities. *Apidologie* 37: 275-292.
- Cortopassi-Laurino M, Gelli D. 1991. Analyse pollinique, propriétés physico-chimiques et action antibactérienne des miels d'abeilles africanisées *Apis mellifera* et de méliponinés du Brésil. *Apidologie* 22: 61-73.
- Dardón M, Maldonado-Aguilera C, Enríquez E. 2013. The pot-honey of Guatemalan bees. En: Vit P, Pedro S, Roubik D. (eds). Pot-Honey a legacy of stingless bees. Springer. New York. Pp. 395-408.
- Dardón M, Enríquez E. 2008. Caracterización fisicoquímica y antimicrobiana de la miel de nueve especies de abejas sin aguijón (Meliponini) de Guatemala. *Interciencia* 33: 916-922.
- DeMera J, Angert E. 2004. Comparison of the antimicrobial activity of honey produced by *Tetragonisca angustula* (Meliponinae) and *Apis mellifera* from different phytogeographic regions of Costa Rica. *Apidologie* 35: 411-417.
- Ferrufino V, Vit P. 2013. Pot-honey of six meliponines from Amborá National Park, Bolivia. En Vit P, Pedro S, Roubik D. (Eds), Pot-Honey: A legacy of stingless bees. Springer New York. Pp 349-361.
- Fuenmayor C, Díaz-Moreno A, Zuluaga-Domínguez C, Quicazán M. 2013. Honey of Colombian stingless bees: nutritional characteristics and physicochemical quality indicators. En: Vit P, Pedro S, Roubik D. (eds). Pot-Honey a legacy of stingless bees. Springer. New York. Pp. 375-382.
- Grajales-Conesa J. 2001. Características físicas, químicas y antibacterianas de mieles de meliponinos y *Apis mellifera* de la región Soconusco, Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas. México.
- Guerrini A, Bruni R, Maietti S, Poli F, Diamiano R, Paganetto G, Muzzi M, Scalvenzi L, Sacchetti G. 2009. Ecuadorian stingless bee (Meliponinae) honey: a chemical and functional profile of an ancient health product. *Food Chemistry* 114: 1413-1420.
- Gutiérrez M, Enríquez E, Lusco L, Rodríguez-Malaver A, Persano-Oddo L, Vit P. 2008. Caracterización de mieles de *Melipona beecheii* y *Melipona solani* de Guatemala. *Revista de la Facultad de Farmacia* 50: 2-6.
- Molan P. 2001. Potential of honey for the treatment of wounds and burns. *American Journal of Clinical Dermatology* 1: 13-19.
- Molan, P. 1992. The antibacterial activity of honey. The nature of antibacterial activity. *Bee World* 73: 5-28.
- Rodríguez-Malaver A, Rasmussen C, Gutiérrez M, Gil F, Nieves B, Vit P. 2009. Properties of honey from ten species of Peruvian stingless bees. *Natural Product Research* 4: 1221-1226.
- Santiesteban A. 1994. Características físicas y químicas de las mieles de cinco especies de abejas *Apis mellifera*, *Melipona beecheii*, *Scaptotrigona pachysoma*, *Tetragona jaty* y *Plebeia sp.* (Hymenoptera: Apidae) colectadas en el municipio de Unión Juárez, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. México.
- Souza B, Roubik D, Barth O, Heard T, Enríquez E, Carvalho C, Villas-Bôas J, Marchini L, Locatelli J, Persano-Oddo L, Almeida-Muradian A, Bogdanov S, Vit P. 2006. Composition of stingless bee honey: Setting quality standards. *Interciencia* 31: 867-875.
- Temaru E, Shamaru S, Amano K, Karasawa T. 2007. Antibacterial activity of honey from stingless honeybees (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae). *Polish Journal of Microbiology* 56: 281-285.
- Torres A, Gardew A, Schmolz E, Lomprecht I. 2004. Calorimetric investigation of the antimicrobial action and insight into the chemical properties of “angelita” honey—a product of the stingless bee *Tetragonisca angustula* from Colombia. *Thermochimica Acta* 415: 107-113.
- Tze-Tan H, Rahman R, Hua-Gan S, Halim A, Asma`Hassan S, Sulaiman S, Kaur K. 2009. The antibacterial properties of Malaysian tualang honey against wound and enteric microorganisms in comparison to manuka honey. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 9: 34.
- Vit P, Bogdanov S, Kilchemann V. 1994. Composition of Venezuelan honeys from stingless bees and *Apis mellifera* L. *Apidologie* 25:278-288.
- Vit P, Medina M, Enríquez E. 2004. Quality standards for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico and Venezuela. *Bee World* 85: 2-4.
- Vit P. 2013. *Melipona favosa* pot-honey from Venezuela. En: Vit P, Pedro S, Roubik D. (eds). Pot-Honey a legacy of stingless bees. Springer. New York. Pp. 363-374.



Desempeño de motores fuera de borda a dos tiempos utilizando biolubricantes de *Jatropha curcas* L.

Cesar A. Argueta-Hernández¹, Sonia Ruiz-González², Lourdes Adriano-Anaya², Miguel Salvador-Figuera², Isidro Ovando-Medina^{2*}

¹ Licenciatura en Sistemas Costeros, Universidad Autónoma de Chiapas. Puerto Madero, Chiapas, México.

² Instituto de Biociencias. Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

Resumen

Los motores fuera de borda de dos tiempos para embarcaciones menores son los más usados en los países pobres para la pesca de baja escala. El funcionamiento de dichos motores implica la lubricación a pérdida, es decir, que el lubricante se mezcla con el combustible y los residuos se expulsan al agua a través del escape. Para contribuir a la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua se ha visualizado el desarrollo y uso de lubricantes de origen natural. En el presente trabajo se desarrollaron biolubricantes a partir del aceite de la semilla de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae), mediante reacciones de transesterificación con alcoholes de cadena corta y posterior polimerización con etilenglicol. Los productos, formados por la mezcla de alquil ésteres y polietilenglicol ésteres de ácidos grasos, se caracterizaron fisicoquímicamente y se determinó su efecto sobre el desempeño de un motor de doble cilindro de 8 HP. Las características físicas y químicas de los biolubricantes son similares a las de otros lubricantes a base de aceites vegetales reportados previamente, aunque en viscosidad estuvieron por debajo de las normas oficiales mexicanas. El biolubricante fabricado con alcohol propílico permitió que el motor tuviera un desempeño similar a cuando se utilizó aceite mineral, manteniendo la presión en la cámara de combustión en niveles estadísticamente similares al aceite mineral y superiores a lo obtenido con el biolubricante fabricado con butanol. El rendimiento del motor funcionando con lubricante mineral fue superior ($t = 3.164$, $P=0.034$) a cuando se utilizó el biolubricante metílico, mientras que no hubo diferencias al utilizar los demás biolubricantes.

Palabras clave:

Lubricación
Motores fuera de borda
Jatropha curcas L.
Transesterificación

Keywords:

Lubrication
Outboard motors
Jatropha curcas L.
Transesterification

* Autor para correspondencia:

Instituto de Biociencias,
Universidad Autónoma de
Chiapas.
Boulevard Príncipe Akishino
s/n. Col. Solidaridad 2000.
C.P. 30798
Tapachula Chiapas, México.
Teléfono:
+52 962 6427972.
Correo-electrónico:
isidro.ovando@unach.mx

Performance of a two-stroke outboard engine using *Jatropha curcas* L. biolubricants

Abstract

Two-stroke outboard engines for smaller boats are the most used in poor countries for low-scale fishing. The operation of these motors involves loss lubrication, that is, the lubricant is mixed with the fuel and the debris is expelled into the water through the exhaust. In order to contribute to the reduction of the contamination of the water bodies, the development and use of lubricants of natural origin has been visualized. In the present work, biolubricants were developed from the oil of the seed of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae), by transesterification reactions with short chain alcohols and subsequent polymerization with ethylene glycol, the products, consisting of a mixture of alkyl esters and polyethylene glycol esters of fatty acids, were characterized physicochemically and their effect on the performance of a double cylinder engine of 8 H.P. was determined. The physical and chemical characteristics of the biolubricants are similar to other lubricants based on previously reported vegetable oils, although in viscosity they were below the corresponding standards. The biolubricant made with propyl alcohol allowed the engine to perform similarly to mineral oil, maintaining the pressure in the combustion chamber at levels statistically similar to mineral oil and higher than that obtained with the biolubricant made with butanol. The performance of the engine running on mineral lubricant was higher ($t = 3.164$, $P=0.034$) than when using the methyl biolubricant, while there were no differences when using the other biolubricants.

1. Introducción

En la mayoría de los países en vías de desarrollo la pesca de baja escala se realiza con ayuda de embarcaciones menores que utilizan motores fuera de borda de dos tiempos (CONAPESCA, 2013). El funcionamiento de dichos motores implica la lubricación a pérdida, es decir, que el lubricante se mezcla con el combustible y los residuos se expulsan al agua a través del escape (Jilin et al., 2018). Para contribuir a la disminución de la contaminación de los cuerpos de agua, se ha visualizado el desarrollo y uso de lubricantes alternativos más eficientes, por lo que actualmente existe una gran variedad de aceites sintéticos que cubren los requisitos de desempeño, aunque persiste el problema de su baja degradabilidad (Syaima et al., 2015). Por lo anterior, una línea de investigación y desarrollo en crecimiento es la de los lubricantes biodegradables de origen natural (Singh et al., 2016).

Los biolubricantes a base de aceites vegetales tienen ventajas como mayor lubricidad y altos puntos de inflamación, en comparación con los aceites minerales (Khasbage et al., 2016), y se han evaluado extensamente en una variedad de motores a cuatro tiempos (Arroyo-Fabars et al., 2015), aunque los datos de su desempeño son escasos en motores con lubricación a pérdida como las cadenas de transmisión para manufactura de madera y los motores de combustión interna a dos tiempos para la silvicultura (motosierras), la jardinería (podadoras) y los fuera de borda para la pesca de baja escala. Entre las desventajas de los aceites vegetales para uso directo como lubricantes se encuentran la acumulación de gomas y residuos en el motor, y su baja viscosidad a altas temperaturas (Syaima et al., 2014). Una alternativa es la modificación química de los aceites mediante transesterificación con alcoholes de cadena corta para disminuir la producción de residuos (Karmakar et al., 2017), y a través de su polimerización, incrementar su viscosidad (Miao et al., 2014).

Por otra parte, *Jatropha curcas* L. es una planta rústica de la familia de las Euphorbiaceae (Salvador-Figueroa et al., 2015) a la cual también pertenecen la higuera (*Ricinus communis* L.) y el árbol de hule (*Hevea brasiliensis*). Su importancia radica en que acumula hasta 50% de aceite en su semilla (Salvador-Figueroa et al., 2015), con hasta 80% de ácidos grasos insaturados, lo que lo vuelve idóneo para la producción de biocombustibles (Adriano-Anaya et al., 2014), grasas lubricantes (Arroyo-Fabars et al., 2015) y biolubricantes (Bilal et al., 2013; De-Assunção-Nascimento et al., 2013; Navarro-Pineda et al., 2016).

Por lo anterior, en el presente trabajo se desarrollaron biolubricantes a partir del aceite de la semilla de *J. curcas* mediante reacciones de transesterificación con alcoholes de cadena corta y posterior polimerización con etilenglicol, se caracterizaron y se evaluaron en un motor fuera de borda a dos tiempos.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima

Se cosecharon frutos de *J. curcas* de la accesión MAP-08 en estado de madurez fisiológica (frutos color amarillo y semillas color negro) en el Banco de Germoplasma del Instituto de Biociencias de la Universidad Autónoma de Chiapas, México (14.4976 N, 92.4774 O). Los frutos se despulparon, se extrajeron las semillas y se secaron al sol, posteriormente se descascararon manualmente y las almendras se molieron para obtener harina. Posteriormente se hicieron extracciones secuenciales sólido-líquido con hexano en proporción 1:4 (masa/volumen), descartando el precipitado por decantación para destilar el hexano y obtener el aceite crudo. La caracterización de las propiedades físicoquímicas del aceite se muestra a continuación: humedad (2.79%), índice de acidez (10.49%), índice de saponificación (175.74 mg g⁻¹), fósforo (51.79 mg kg⁻¹), índice de yodo (59.88 mg g⁻¹) y punto de fusión de 3.33 °C.

2.2. Preparación del biolubricante

Se prepararon cuatro tipos de biolubricantes mediante reacciones de doble transesterificación. El primer paso consistió en la obtención de alquil ésteres de ácidos grasos haciendo reaccionar el aceite con alguno de los siguientes alcoholes de cadena corta: metanol, etanol, propanol o butanol. Para esto se siguió el método reportado por Atabani et al. (2013), utilizando NaOH al 0.35% con respecto a la masa del aceite como catalizador. La reacción se llevó a cabo a 60 °C durante ocho horas, como lo describen Tapanes et al. (2008). En el Cuadro 1 se muestran las proporciones de aceite, alcohol y catalizador utilizados en cada reacción.

El segundo paso consistió en la transesterificación y polimerización de los cuatro alquil ésteres de ácidos grasos producidos previamente con etilén glicol a una relación molar de 3.5 a 1 y usando como catalizador KOH al 0.5% con relación a la masa de los alquil ésteres.

La reacción de polimerización se realizó durante 2.5 h a 70 °C (Bilal et al., 2013). En el Cuadro 2 se muestran las proporciones de reactantes para la fabricación del biolubricante. Las reacciones que se llevaron a cabo en dos pasos, los cuales se esquematizan en la Figura 1 A y B.

2.3. Caracterización del biolubricante de *J. curcas*

2.3.1. Densidad y viscosidad

La densidad se midió con un densímetro a 15 °C en unidades de kg m⁻³, mientras que la viscosidad de los biolubricantes se determinó en centiPoises (cP) por el método de la esfera (Sears y Zemansky, 1981), a temperatura ambiente (28 °C), colocando 500 mL del líquido en una probeta con altura de trabajo de 18 cm, se midió el tiempo de caída de una esfera de cristal y se calculó la viscosidad con la siguiente ecuación: $v = 2 * g (pe - pb) * r^2 / 9 vel.$

Dónde: v es la viscosidad en cP, g es la gravedad, pe es la densidad de la esfera, pb es la densidad del biolubricante, r es el radio de la esfera y vel es la velocidad de caída de la

esfera. Los resultados se convirtieron a centiStokes (cSt) con fines de comparación con otros trabajos. En ambos casos se siguieron los procedimientos de la Norma ASTM D 1298.

2.3.2. Punto de fusión

Las muestras de los biolubricantes (2.5 mL) fueron colocadas en tubos de ensayos y se congelaron a -70 °C, posteriormente se tomó aproximadamente 0.5 g del biolubricante sólido y se depositó en un vaso de precipitados conteniendo etanol absoluto frío. Se midió la temperatura a la que la muestra se fundió, según el procedimiento de la Norma ASTM D 97.

2.3.3. Punto de escurrimiento

Se colocaron 50 mL de los biolubricantes en recipientes de plástico de 100 mL y se pusieron en un congelador de -20 °C. Se observó hasta el momento que se solidificó y se tomó la temperatura. El punto de escurrimiento se consideró como la temperatura de solidificación más 3 °C, de acuerdo a lo sugerido por la Norma NOM-L-26-CT con algunas modificaciones descritas por Kamalakar et al. (2015).

2.3.4. Punto de inflamación

Las muestras de los biolubricantes (5 mL) fueron colocadas en un recipiente de metal y se calentaron mientras se registraba la temperatura a la cual la muestra ardía al acercar una chispa y la flama duraba al menos siete segundos. La determinación del punto de inflamación, se realizó basada en el procedimiento de la Norma NOM-L25 con algunas modificaciones descritas por Kamalakar et al. (2015).

2.3.5. Nitrógeno

Para esta determinación se agregó 0.5 g de muestra a un tubo de ensayos y añadieron 2 g de catalizador y 8 mL de H₂SO₄ para digestión a 420 °C durante 60 min. Posteriormente, la mezcla se transfirió a un vaso de precipitados y se añadió 80 mL de agua destilada y 50 mL de NaOH al 40 %. A continuación, se destiló la muestra recibiendo el destilado en 25 mL de H₃BO₃ al 4 % hasta que alcanzó un volumen de 100 ml y viró a color verde. Finalmente, se titularon las

muestras con una solución de HCl valorada hasta viraje a color rosa claro. Se calculó el porcentaje de nitrógeno utilizando la ecuación: $N (\%) = (HCl \text{ muestra} - HCl \text{ blanco}) * Conc * meq * 100 / \text{Peso de la muestra}$.

Dónde: *N* es el contenido de nitrógeno (%), *HCl muestra* es el volumen (mL) de titulante gastado con la muestra, *HCl blanco* es el volumen de titulante (mL) gastado con un blanco sin muestra, *Conc* es la normalidad del titulante (0.1 N) y *meq* son los miliequivalentes de nitrógeno (0.014). La composición de nitrógeno se determinó siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM-D-3228 con el método de Kjeldahl (Herchi et al., 2015).

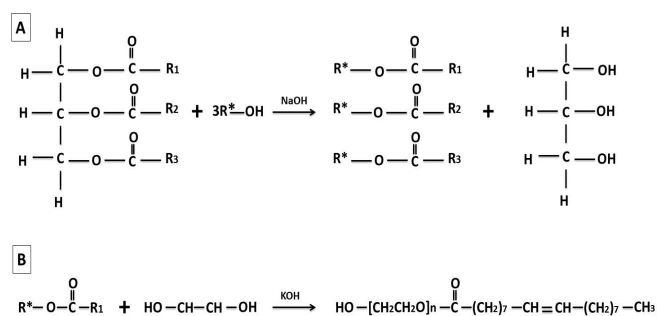


Figura 1. Reacciones de doble transesterificación para la producción de un biolubricante poli-etilenglicol-éster de ácidos grasos a partir de aceite de *J. curcas* L. A) Reacción de transesterificación entre una molécula de triglicérido conteniendo distintos ácidos grasos (R1, R2, R3) y tres moléculas del alcohol de cadena corta (R* = -CH₃ o -CH₂CH₃ o -CH₂CH₂CH₃ o -CH₂CH₂CH₂CH₃) para producir el alquil éster de los ácidos grasos más glicerol. B) Reacción de transesterificación entre un alquil éster de ácido graso (en el ejemplo se asume que es metil éster de ácido oleico) y el etilén glicol para producir poli (etilén glicol) éster oleato.

Cuadro 1. Proporciones de aceite de <i>Jatropha curcas</i> L. y alcoholes de cadena corta utilizados en reacciones de transesterificación.					
		Metanol	Etanol	Propanol	Butanol
Peso molecular (g mol ⁻¹)	Aceite	874	874	874	874
	Alcohol	32.04	46.07	60.09	74.121
Densidad (g cm ⁻³)	Aceite	0.91	0.91	0.91	0.91
	Alcohol	0.792	0.789	0.79	0.8098
Volumen (mL)	Aceite	1000	1000	1000	1000
	Alcohol	252.7	364.8	475.2	571.8
Volumen total (L)	Solución	1.25273	1.3648	1.4752	1.5718
Masa (g)	Aceite	910	910	910	910
	Alcohol	200.16216	287.8272	375.408	463.04364
Molaridad (mol L ⁻¹)	Aceite	0.83113674	0.76288828	0.70579578	0.66241884
	Alcohol	4.98691532	4.57767132	4.23497075	3.97450794
Relación molar Alcohol:Aceite		6.0001	6.0004	6.0003	6
T. ebullición Alcohol (°C)		64.7	78	97	118

Cuadro 2. Proporciones de reactantes etilenglicol y alquil-ésteres de ácidos grasos de *Jatropha curcas* L. para la fabricación de un biolubricante.

		Metanol	Etanol	Propanol	Butanol
Peso molecular (g mol ⁻¹)	Alquiléster	591	605	619	633
	Etilenglicol	62.07	62.07	62.07	62.07
Densidad (g cm ⁻³)	Alquiléster	0.884	0.887	0.91	0.908
	Etilenglicol	1.100	1.100	1.100	1.100
Volumen (mL)	Alquiléster	400	400	400	400
	Etilenglicol	120.0	118.0	118.0	114.0
Volumen total (L)	Solución	0.52	0.518	0.518	0.514
Masa (g)	Alquiléster	353.6	354.8	364	363.2
	Etilenglicol	132	129.8	129.8	125.4
Molaridad (mol L ⁻¹)	Alquiléster	1.15059222	1.13213568	1.13522246	1.11629508
	Etilenglicol	4.08967543	4.03704125	4.03704125	3.93054409
Relación molar Etilenglicol:Alquilester		3.5544	3.5659	3.5562	3.5211

2.3.6. Índice de yodo

Se aplicó el método reportado en la norma NMX-F-152-S-1981, para lo cual se pesó la muestra contenida en un matraz a peso constante y al que previamente se añadió 20 mL de tetracloruro de carbono. Se agregaron 25 mL de solución de Wijs y con movimiento circular se aseguró la homogeneización. Se guardó el matraz en oscuridad por 30 min a 25 °C, después de lo cual se adicionaron 20 mL de KI al 15%, se mezcló y se añadieron 100 mL de agua destilada. Se tituló con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que el color amarillo casi desapareció, se adicionó 1 mL de solución indicadora de almidón y se prosiguió la titulación hasta la desaparición del color azul. Se aplicó la siguiente ecuación para conocer el índice de yodo: $IY = (Vt - Vm)N * Eq / P$.

Dónde: *Vt* es el volumen de titulante para el blanco (mL), *Vm* es el volumen de titulante para la muestra (mL), *N* es la normalidad de la solución de tiosulfato de sodio, *Eq* son los equivalentes de yodo (12.69), y *P* es la masa de la muestra (g).

2.3.7. Índice de saponificación

Siguiendo la norma NMX-F-174-S-1981, se determinó la cantidad (mg) de KOH necesarios para saponificar 1 g de biolubricante. Para ello se colocó la muestra en un matraz Erlenmeyer, al que se agregaron 50 mL de KOH en solución alcohólica y se colocó en baño de agua durante 30 min, con agitación. Se permitió la saponificación por 60 min adicionales, después de lo cual se agregó 1 mL de fenolftaleína al 1.0 % y se tituló en frío con HCl 0.5 N. Se manejó un testigo sin muestra. Se calculó el índice de saponificación con la siguiente ecuación: $IS = V1 - V2 * Eq / P$.

Dónde: *IS* es el índice de saponificación, *V1* es el volumen de titulante para el testigo (mL), *V* es el volumen de titulante para la muestra (mL), *P* es la masa de la muestra (g), y *Eq* es la masa de KOH equivalente a 1 mL de HCl 0.5 N (28.05 mg).

2.3.8. Materia volátil

Para la determinación de materia volátil (MV) se colocaron 5 g de biolubricante en un matraz Erlenmeyer a peso

constante y se colocó en un horno a 100 °C durante 10 min. Posteriormente se enfrió la muestra en desecador por 60 min y se pesó en balanza analítica. Se aplicó la siguiente ecuación: $MV (\%) = (Pi - Pf) / Pi * 100$.

Dónde: *Pi* es el peso inicial de la muestra (g), y *Pf* es el peso final de la muestra (g), según lo descrito en la Norma ASTM D 5800.

2.4. Pruebas en motores

Se utilizó un motor Yamaha® fuera de borda de 8 HP, dos cilindros, a dos tiempos enfriado por agua, con bujías Yamaha® de platino, con el fin de evaluar su desempeño funcionando con cada uno de los cuatro biolubricantes. La mezcla combustible:lubricante para cada prueba fue 50:1 (1 L de gasolina Magna® PEMEX® de 87 octanos más 20 mL del biolubricante). Cada prueba consistió en la puesta en marcha del motor bajo condiciones de estanque de 100 L de agua, a 800 rpm, hasta agotar 600 mL de combustible/biolubricante. Para evitar el efecto de arrastre se diseñó un experimento de medidas repetidas, el cual consiste en evaluar todos los factores (incluyendo al control) en un mismo sujeto (Bendayan et al., 2014), con cuatro tratamientos y tres repeticiones, en el cual siempre hubo una limpieza de bujías y pre-evaluación del motor y la puesta en marcha del motor utilizando 600 mL de una mezcla del combustible con lubricante mineral (Mobil® para motores fuera de borda Yamaha®).

Se determinó la compresión (psi) de los dos cilindros antes y al final de cada prueba y se calculó el delta de presión (%) con respecto a la pre-prueba (la puesta en marcha del motor previa a la evaluación) y con respecto al lubricante mineral. Adicionalmente se calculó el rendimiento del motor con base en el tiempo de funcionamiento por cada litro de la mezcla combustible/biolubricante.

2.5. Análisis estadístico

Los datos de características físicas, de composición de los biolubricantes y de contenido de materia oleosa se

procesaron por análisis de varianza convencional (ANOVA) y comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$). Los datos de delta de presión de los cilindros se analizaron por ANOVA de medidas repetidas y donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas se compararon las medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$). Los datos de rendimiento del motor se analizaron por *t* de Student, probando la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos apareados (biolubricante individual vs. lubricante mineral). Para todos los análisis se utilizó el programa XLStat© versión 2015.

3. Resultados

3.1. Características de los biolubricantes

Los cuatro biolubricantes preparados presentaron diferencias significativas en las características físicas evaluadas, excepto en el punto de fusión (Cuadro 3). Respecto a la densidad, ningún biolubricante fue similar a otro, siendo el preparado con alcohol metílico el más denso ($F=807.6, P<0.0001$). Se encontraron diferencias entre el biolubricante preparado con alcohol butílico y el resto de tratamientos en las características punto de escurrimiento ($F=91.7, P<0.0001$), punto de inflamación ($F=61.4, P<0.0001$) y viscosidad ($F=22.4; P<0.0001$).

Los cuatro biolubricantes preparados presentaron diferencias significativas en las características químicas, índice de saponificación ($F=169.08; P<0.0001$) y materia volátil ($F=169.089; P<0.0001$), mientras que en nitrógeno e índice de yodo fueron estadísticamente similares (Cuadro 4).

3.2. Desempeño del motor

El análisis de varianza de medidas repetidas mostró que la presión de la cámara de combustión varió según el tipo de biolubricante utilizado (Cuadro 5).

En la Figura 2 se observa el delta de presión entre el estado previo del motor y el estado posterior a la prueba con los biolubricantes; se encontró que el desempeño del motor mejora cuando se usan los biolubricantes, excepto en el caso del butílico, el cual ocasiona una mayor pérdida de presión comparado con el resto de biolubricantes.

Cuando se comparó el desempeño del motor funcionando con biolubricantes y con aceite mineral se encontró que con el biolubricante propílico la presión en los cilindros fue similar a la alcanzada en las pruebas con aceite mineral. Por su parte, el biolubricante butílico mostró una caída de presión de casi 10% con respecto a la del aceite mineral (Figura 3).

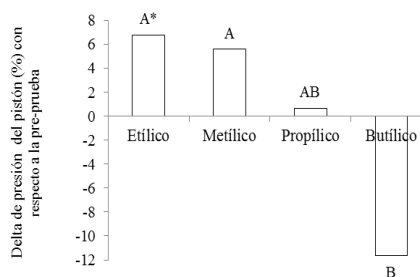


Figura 2. Delta de presión del pistón (%) con respecto a la pre-prueba. * Letras distintas sobre cada una de las determinaciones indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$).

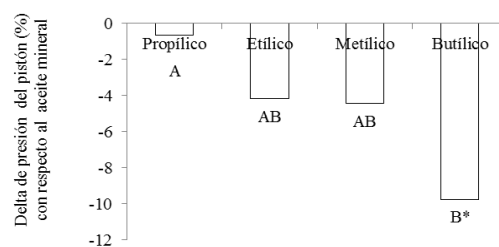


Figura 3. Delta de presión del pistón (%) con respecto al aceite mineral. * Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$).

La comparación pareada del rendimiento del motor con biolubricante y con aceite mineral se muestra en la Figura 4. Se encontró que la media de rendimiento con aceite mineral fue superior a la encontrada con biolubricante metílico ($t=3.164, P=0.034$), mientras que no hubo diferencias en las comparaciones etílico-mineral ($t=0.198, P=0.853$), propílico-mineral ($t=-1.060, P=0.349$) y butílico-mineral ($t=1.958, P=0.122$).

4. Discusión

Considerando que las reacciones químicas tienen rendimientos variables y por el hecho de que no fueron purificados, se postula que los biolubricantes preparados están formados principalmente por poli-etilenglicol-éster de ácidos grasos mezclados con alquil ésteres de ácidos grasos, alcoholes de cadena corta y aceite de *J. curcas* residual, por lo cual sus características son producto de dicha mezcla.

Cuadro 3. Características físicas de biolubricantes a base de aceite de *Jatropha curcas* L.

Biolubricante	Densidad (kg m ⁻³)	Punto de fusión (°C)	Punto de escurrimiento (°C)	Punto de inflamación (°C)	Viscosidad cinemática (cSt)
Metílico	910.00 ^a	12.667 ^a	-1.333 ^b	168.333 ^a	14.06 ^a
Etílico	907.66 ^b	12.667 ^a	-2.000 ^b	168.000 ^a	17.97 ^a
Propílico	887.66 ^c	16.000 ^a	-2.000 ^b	166.333 ^a	15.21 ^a
Butílico	884.00 ^d	13.667 ^a	6.667 ^a	156.000 ^b	7.12 ^b

^{a-d} Letras distintas sobre cada una de las determinaciones indican diferencia estadísticamente significativa entre las medias (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Características químicas de biolubricantes a base de aceite de *Jatropha curcas* L.

Tratamientos	Nitrógeno (%)	Índice de yodo (mg I g ⁻¹)	Índice de saponificación (mg KOH g ⁻¹)	Materia volátil (%)
Metílico	0.363 ^a	63.021 ^a	178.661 ^a	3.415 ^c
Etílico	0.430 ^a	61.566 ^a	178.190 ^{ab}	6.643 ^b
Propílico	0.364 ^a	63.526 ^a	175.559 ^b	17.147 ^a
Butílico	0.430 ^a	57.492 ^a	160.552 ^c	4.064 ^c

^{a-c} Letras distintas sobre cada una de las determinaciones indican diferencia estadísticamente significativa entre las medias (Tukey, $\alpha=0.05$).

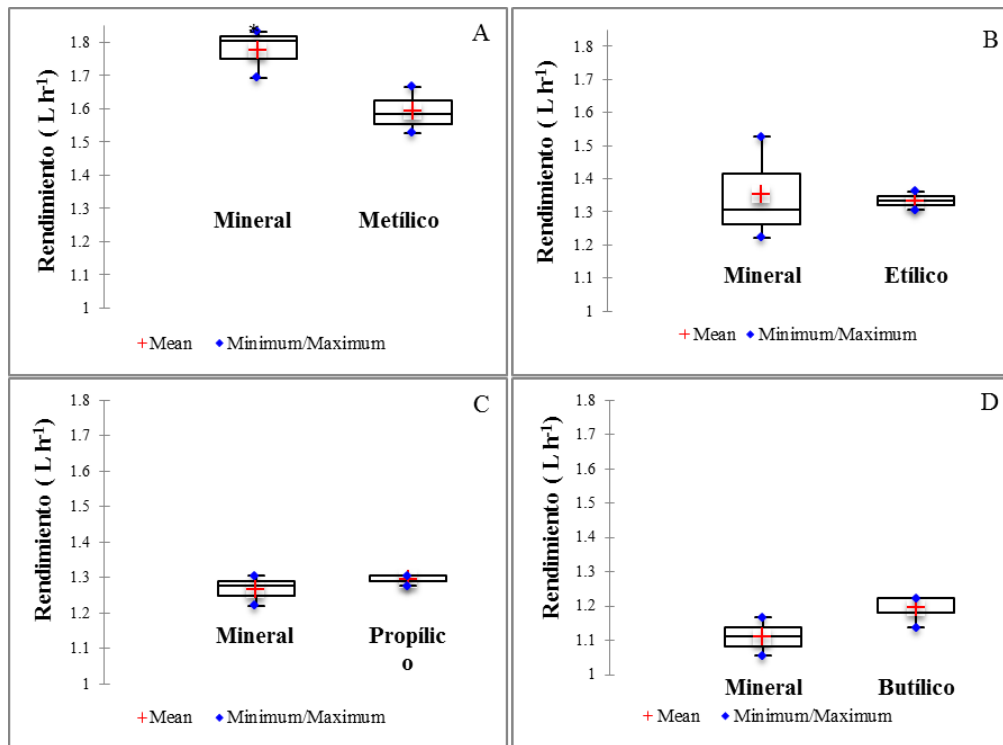


Figura 4. Diagrama de caja y bigote de la comparación del rendimiento de un motor fuera de borda funcionando con aceite mineral y con biolubricantes a base de aceite de *J. curcas* L. A: Metílico-mineral, B: Etílico-mineral, C: Propílico-mineral, D: Butílico-mineral. * Indica diferencia estadísticamente significativa entre las medias (*t* de Student).

Cuadro 5. Análisis de varianza de medidas repetidas de la variable delta de presión (%) en la cámara de combustión de un motor fuera de borda a dos tiempos funcionando con cuatro biolubricantes a base de aceite de *Jatropha curcas* L.

Fuente de Variación	gl	SC	CM	F	P
Tratamiento	3	1274.869	6.741	6.741	0.003
Error	20	1260.856	63.043		
Total	23	2535.724			

gl: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrado medio

No obstante, tuvieron características similares a los de otros lubricantes de origen vegetal como el de ricino (Sánchez Martínez, 2011), palma (Lim, 2012) y soya (Sharma et al., 2006), y reúnen las características para sustituir a los lubricantes minerales. Una de las variables en las que difirieron los cuatro tipos de lubricantes fue la densidad (Cuadro 3), sin embargo, todos están en el rango que ha sido

reportado para productos de transesterificación simple de aceite de *J. curcas*. Por ejemplo, en un estudio realizado por Talib y Rahim (2014), se reporta que la densidad de un biolubricante de *J. curcas* fue de 908.8 kg m⁻³, y Gulzar et al. (2016) reportaron una densidad de 834 kg m⁻³ para una mezcla de combustible diesel con aceite de *J. curcas* que se utilizó como lubricante para un motor diesel. Asimismo, Bilal et al. (2013) reportaron una densidad de 889.7 kg m⁻³ para un biolubricante de *J. curcas* obtenido mediante doble transesterificación. Entre las características más importantes de un lubricante para motor se encuentran el punto de fusión y el punto de escurrimiento, ya que son indicadoras del rango de temperatura al cual el lubricante se mantiene líquido. Considerando los resultados, los biolubricantes fabricados en este trabajo son adecuados para la región tropical, ya que tienen punto de escurrimiento relativamente altos (de -1.3 a 6.0 °C). Otros lubricantes hechos a base de *J. curcas* han presentado puntos de escurrimiento más altos, como en el

estudio de Bilal et al. (2013) que encontró un valor de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ o en el trabajo de Gunam-Resul et al. (2012), donde se reportó un valor de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. No obstante, Arbain y Salimon (2010) reportaron un punto de escurrimiento tan alto como $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Respecto al punto de fusión, también se encontraron valores relativamente altos (rango de 12.6 a $16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) con respecto a los aceites minerales comerciales, pero similar a lo reportado para metil ésteres de ácidos grasos de palma africana ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$; Benavides et al., 2008). Respecto a la característica punto de inflamación, los tratamientos fueron estadísticamente similares y con valores por debajo de $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, los cuales son menores a los reportados por Kalhapure et al. (2016), quienes evaluaron biolubricantes de aceite de soya y de algodón, encontrando que su punto de inflamación fue de $254\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $234\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. El bajo punto de inflamación puede deberse a los alcoholes residuales en los biolubricantes. El índice de yodo fue similar en los cuatro biolubricantes, lo cual es congruente con el hecho de que es una propiedad de la materia prima (cantidad de dobles enlaces) que no cambia con las reacciones llevadas a cabo. Los valores encontrados para dicha variable (57.5 a 63.5 mg I g^{-1}) fueron similares a lo reportado para el aceite crudo de *J. curcas* (59.88 mg I g^{-1} ; Castillo-Fong, 2016). Otra propiedad que no cambió entre tratamientos fue el contenido de nitrógeno (rango de 0.36 a 0.43%), ya que su valor depende del proceso de extracción del aceite y del contenido de proteína de la materia prima. Respecto al índice de saponificación, los valores fueron similares a lo reportado por Sun et al. (2008) ($194.35\text{ mg KOH g}^{-1}$) para aceite de semillas de algodón, lo cual indica que la cantidad de ácidos grasos libres no fue elevada. Por su parte, la elevada cantidad de materia volátil en los biolubricantes (de 3.4 a 17%) pudo deberse a los alcoholes sin reaccionar y residual de las reacciones de doble transesterificación. Un biolubricante a base de metil ésteres de ácidos grasos de *J. curcas* presentó un nivel marginal de materia volátil (0.047%), según el estudio de Choudhury et al., (2014).

La característica más relevante en un biolubricante es la viscosidad, ya que de eso depende su habilidad para reducir la fricción entre las partes de metal. En general, los valores de viscosidad de los biolubricantes fue baja (7.1 - 17 cSt) si se compara con los aceites minerales, aunque similar a lo reportado para otros biolubricantes a base de *J. curcas*, como lo encontrado con aceite de piñón epoxidado, que tuvo una viscosidad de 11.22 cSt (Shashidhara y Jayaram, 2012). En el caso del biolubricante fabricado con alcohol butílico fue insuficiente para actuar como sellador del paso de combustible entre el anillo del pistón y el cilindro, lo cual pudo ser la causa de la caída de presión observada en la cámara de combustión del motor con este tratamiento.

5. Conclusión

El motor fuera de borda funcionando con los biolubricantes de *J. curcas* fabricados con alcohol metílico, etílico o propílico presentó un desempeño similar a cuando se hizo funcionar con aceite mineral. Las características de los

biolubricantes obtenidos por doble transesterificación y polimerización del aceite de *J. curcas* presentan características que los sitúan por debajo de los estándares para lubricantes de motores, pero son similares a otros biolubricantes de origen vegetal.

Agradecimientos

Los autores agradecen al taller de motores fuera de borda "SERVICIO GUÍZAR" y a su propietario, el Sr. Enrique Guízar Cigarroa por la ayuda brindada para la realización de pruebas en los motores.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Adriano-Anaya ML, Gómez-Pérez JA, Ruiz-González S, Vázquez-Ovando JA, Salvador-Figueroa M, Ovando-Medina I. 2014. Oleosomas de semillas de *Jatropha curcas* L. como estimadores de diversidad en poblaciones del Sur de México. *Grasas y Aceites* 65(3): e031.
- Arbain NH, Salimon J. 2010. Synthesis and characterization of ester trimethylolpropane based *Jatropha curcas* oil as biolubricant base stocks. *Journal of Science and Technology* 2(2): 47-58.
- Arroyo-Fabars JM, Velázquez, MD, Lafargue-Pérez F. 2015. Formulación de grasas lubricantes utilizando como medio dispersante aceite de *Jatropha curcas* L. *Tecnología Química* 35(1): 73-80.
- Atabani AE, Silitonga AS, Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH, Badruddin IA, Fayaz H. 2013. Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18: 211-245.
- Benavides AY, Benjumea PN, Agudelo JR. 2008. El fraccionamiento por cristalización del biodiesel de aceite de palma como alternativa para mejorar sus propiedades de flujo a baja temperatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 43: 7-17.
- Bendayan R, Arnau J, Blanca MJ, y Bono R. 2014. Comparison of the procedures of Fleishman and Ramberg et al. for generating non-normal data in simulation studies. *Anales de Psicología* 30(1): 364-371.
- Bilal S, Nuhu M, Kasim SA. 2013. Production of biolubricant from *Jatropha curcas* seed oil. *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* 4(6): 72-79.
- Castillo-Fong C. 2016. Capacidad de los extractos enzimáticos de *Bromelia pinguin* para eficientizar la extracción de aceite de las semillas de *Jatropha curcas* L. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. México.
- Choudhury HA, Goswami PP, Malani RS, Moholkar VS. 2014. Ultrasonic biodiesel synthesis from crude *Jatropha curcas* oil with heterogeneous base catalyst: Mechanistic insight and statistical optimization. *Ultrasonics Sonochemistry* 21(3): 1050-1064.

- CONAPESCA. 2013. Anuario estadístico de acuicultura y pesca. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México.
- De-Assunção-Nascimento JC, Lafargue-Pérez F, Barrera-Vaillant N, Díaz-Velázquez M, Rodríguez-Martínez C. 2013. Caracterización de una biograsa de aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y jabón de litio. *Ingeniería Mecánica* 16(2): 171-177.
- Gulzar M, Masjuki HH, Varman M, Kalam MA, Zulkifli NWM, Mufti RA, Arslan A. 2016. Effects of biodiesel blends on lubricating oil degradation and piston assembly energy losses. *Energy* 111: 713-721.
- Gunam-Resul MFM, Ghazi MTI, Idris A. 2012. Kinetic study of *Jatropha* biolubricant from transesterification of *Jatropha curcas* oil with trimethylolpropane: effects of temperature. *Industrial Crops and Products* 38: 87-92.
- Herchi W, Bahashwan S, Sebei K, Saleh HB, Kallel H, Boukhchina S. 2015. Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites* 66(1): 57.
- Jilin L, Dashuai Z, Xiwen D, Yuhua, Feng Z, Yongzhong Y. 2018. Influence of piston ring component structural parameters on diesel engine blow-by and oil consumption. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 34(5): 54-62.
- Kalhapure MA, Mhaske VM, Bajaj DS. 2016. Tribological evaluation of vegetable oils as a multi-cylinder engine lubricant. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* 3(1): 68-72.
- Kamalakar K, Manoj GS, Prasad RBN, Karuna MSL. 2015. Thumba (*Citrullus colocynthis* L.) seed oil: a potential biolubricant base-stock. *Grasas y Aceites* 66(1): e055.
- Karmakar G, Ghosh P, Sharma BK. 2017. Chemically modifying vegetable oils to prepare green lubricants. *Lubricants* 5(4): 44.
- Khasbage S, Patil V, Dhande D. 2016. Performance of *Jatropha* biolubricant for hydrodynamic journal bearing lubrication. *International Research Journal of Engineering and Technology* 3(7): 627-632.
- Lim TK. 2012. *Elaeis guineensis*. En: Lim TK (ed). *Edible Medical and Non-Medical Plants*. Springer, Dordrecht. Pp. 335-392.
- Miao S, Wang P, Su Z, Zhang S. 2014. Vegetable-oil-based polymers as future polymeric biomaterials. *Acta Biomaterialia* 10(4): 1692-1704.
- Navarro-Pineda FS, Baz-Rodríguez SA, Handler R, Sacramento-Rivero JC. 2016. Advances on the processing of *Jatropha curcas* towards a whole-crop biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 247-269.
- NMX-F-152-S-1981. Alimentos para humanos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de Yodo por el método de Wijs. Normas mexicanas. Dirección general de normas. México.
- NMX-F-174-S-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales. Normas mexicanas. Dirección general de normas. México.
- Sánchez Martínez R. 2011. Formulación y procesado de oleogeles para el desarrollo de nuevas grasas lubricantes biodegradables. Tesis de Doctorado. Universidad de Huelva, España.
- Salvador-Figueroa M, Magaña-Ramos J, Vázquez-Ovando JA, Adriano-Anaya ML, Ovando-Medina I. 2015. Genetic diversity and structure of *Jatropha curcas* L. in its centre of origin. *Plant Genetic Resources* 13(1): 9-17.
- Sears F, Zemansky M. 1981. *Física General*. Editorial Aguilar. Madrid, España.
- Sharma BK, Adhvaryu A, Perez JM, Erhan SZ. 2006. Biobased grease with improved oxidation performance for industrial application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(20): 7594-7599.
- Shashidhara YM, Jayaram SR. 2012. Tribological studies on AISI 1040 with raw and modified versions of pongam and *Jatropha* vegetable oils as lubricants. *Advances in Tribology*. 2012: Article ID 560175.
- Singh Y, Singla A, Kumar A, Kumar D. 2016. Friction and wear characteristics of *Jatropha* oil-based biodiesel blended lubricant at different loads. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 38(18): 2749-2755.
- Sun J, Ju J, Ji L, Zhang L, Xu N. 2008. Synthesis of biodiesel in capillary microreactors. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 47(5): 1398-1403.
- Syaima MT, Ong KH, Noor IM, Zamratul MIM, Brahim SA, Hafizul MM. 2015. The synthesis of bio-lubricant based oil by hydrolysis and non-catalytic of palm oil mill effluent (POME) using lipase. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44: 669-675.
- Syaima MTS, Zamratul MIM, Noor Ishenny Mohd, Rifdi WMWT. 2014. Development of bio-lubricant from *Jatropha curcas* oil. *International Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engineering* 1(1): 10-2.
- Talib N, Rahim EA. 2014. The performance of modified jatropha-oil based trimethylolpropane (TMP) ester on tribology characteristics for sustainable metalworking fluids (MWFs). *Applied Mechanics and Materials* 660: 357-361.
- Tapanes NCO, Aranda DAG, de Mesquita Carneiro JW, Antunes OAC. 2008. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. *Fuel* 87(10): 2286-2295.