

# Influencia del campo magnético y el catalizador ácido en las propiedades de los productos de epoxidación del éster metílico del aceite de *Jatropha curcas L.*

*Influence of magnetic field and acid catalyst on the properties of products of epoxidation of methyl ester from the oil of *Jatropha curcas L.**

Dr.C. Manuel Díaz-Velázquez<sup>I</sup>, mano@uo.edu.cu, Dr. C. Francisco Lafargue-Pérez<sup>I</sup>,  
Ing. Maida León-Cañet<sup>II</sup>, Ing. Ilena Hernández-González<sup>III</sup>

<sup>I</sup>Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba; <sup>II</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba, Cuba; <sup>III</sup>Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), Santiago de Cuba, Cuba

## Resumen

La formulación y empleo de biolubricantes representa una alternativa medioambiental y económicamente viable. El aceite extraído de la *Jatropha curcas L.*, posee ventajas con respecto a los minerales. Pero, para mejorar algunas de sus propiedades, es necesario modificarlo químicamente, como pueden ser la transesterificación y la epoxidación. El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la influencia del campo magnético y catalizador ácido, sobre las propiedades de los productos de la reacción de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas L.*, a través de la determinación de las propiedades físico-químicas (índice de yodo, índice de acidez, densidad, viscosidad, estabilidad oxidativa) de los productos bajo diferentes condiciones. Se obtuvieron resultados favorables con la utilización del catalizador y con el tratamiento magnético en la reacción de forma individual, pero la influencia mayor ocurre cuando se combinan los dos efectos.

**Palabras clave:** biolubricante, *Jatropha curcas L.*, epoxidación, tratamiento magnético.

---

## Abstract

The formulation and use of biolubricants represents an environmentally and economically viable alternative. The oil extracted from the *Jatropha curcas L.*, has advantages with regard to minerals. But, to improve some of its properties, it is necessary to modify it chemically, such as the transesterification and epoxidation. The present study aims to assess the influence of the magnetic field and acid catalyst on the properties of products of epoxidation of methyl ester of *Jatropha curcas L.*, through the determination of the properties chemical (iodine index, density, viscosity, acidity, oxidative stability index) of the products under different conditions. Favourable results with the use of the catalyst and magnetic treatment on the reaction of individually obtained, but the bigger influence occurs when combining the two effects.

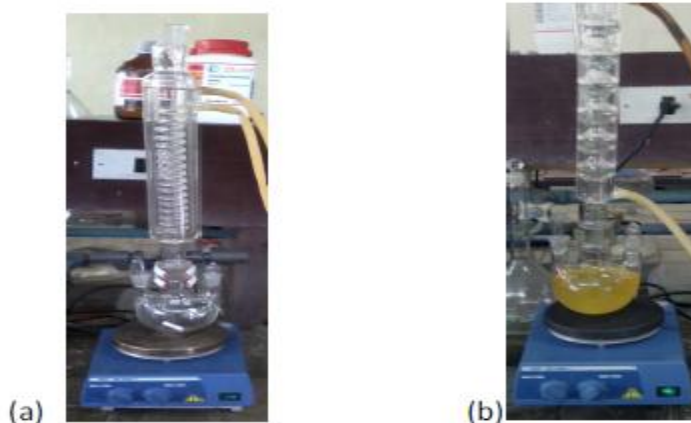
**Keywords:** biolubricants, *Jatropha curcas.* epoxidation, magnetic treatment.

## Introducción

En la actualidad se ha incrementado el interés por el uso de los biolubricantes, por cuanto estos representan una alternativa medioambiental con gran potencial para la solución de los problemas de contaminación [1,2]. El uso de aceites bases vegetales para aceites lubricantes presenta varias ventajas sobre las mucho más extendidas bases minerales, los biolubricantes permiten obtener el mismo o incluso un mejor rendimiento técnico que los lubricantes con base mineral en un gran número de aplicaciones [3-6]. La *Jatropha curcas L.* es una planta rústica y perenne, tolerante a la sequía y de buena adaptación a varias condiciones edafoclimáticas, a su vez puede ser utilizada en la recuperación de áreas degradadas por la explotación minera y reforestación de áreas devastadas. Su aceite no es de consumo humano, sin embargo se encuentra entre las fuentes mas prometedoras de granos oleaginosos para la producción de biolubricantes, debido a sus bajos costos de producción agrícola y, sobre todo, porque podría ocupar suelos poco fértiles y arenosos generalmente no aptos para la agricultura, proporcionando así una nueva opción socioeconómica para el mundo [7,8]. Este aceite presenta desventajas desde el punto de vista físico químico, como todos los aceites vegetales, pero pueden ser mejoradas cuando se modifican químicamente. La reacción de epoxidación para aceites, así como del éster metílico de aceites vegetales, ha sido estudiada por varios investigadores con el uso del catalizador ácido y sin este [5, 9-11], pero en ninguno de los casos se refieren resultados de comparación entre dichas variantes. En cuanto al uso del campo magnético, se debe indicar que no ha sido reportado en la literatura algún resultado de cierta investigación con respecto a este y la reacción de epoxidación, pero se conoce que los campos magnéticos influyen en las reacciones químicas [12], densidad y viscosidad de las sustancias [13], propiedades de gran importancia en los aceites para lubricantes; por lo que esto constituye un campo nuevo de perspectiva investigativa. **Objetivo:** evaluar la influencia del campo magnético y del catalizador ácido sobre la reacción de epoxidación del éster metílico del aceite de *Jatropha curcas* a través de un análisis comparativo de las propiedades físico químicas de los productos bajo diferentes condiciones de reacción.

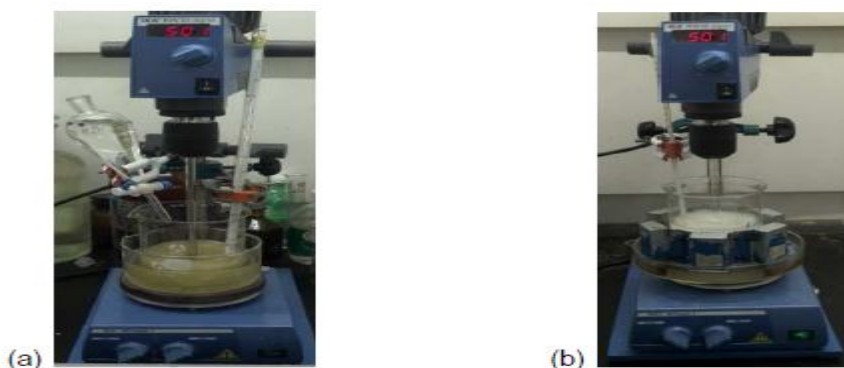
*Materiales y métodos*

Se utiliza el aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. crudo de la variedad nativa cosechado en la región semiárida de la franja costera sur de la provincia de Guantánamo en Cuba [14]. La reacción de transesterificación se realiza según el procedimiento que aparece en el trabajo [15] con una relación molar aceite alcohol 6:1. La instalación se presenta en la figura 1.



**Fig. 1** Instalación experimental para la reacción de transesterificación  
(a) el imán para la agitación, (b) mezcla reaccionante.

La reacción de epoxidación se realizó 4 veces (sin y con campo magnético y sin y con catalizador) con el ácido per fórmico como agente epoxidante según Mushtaq y colaboradores [10], el cual se obtiene por reacción del peróxido de hidrogeno al 30 % con el ácido fórmico, por su parte el ácido sulfúrico se empleó como catalizador según García [9].



**Fig. 2** Instalación experimental para la reacción de epoxidación  
(a) sin tratamiento magnético (b) con tratamiento magnético.

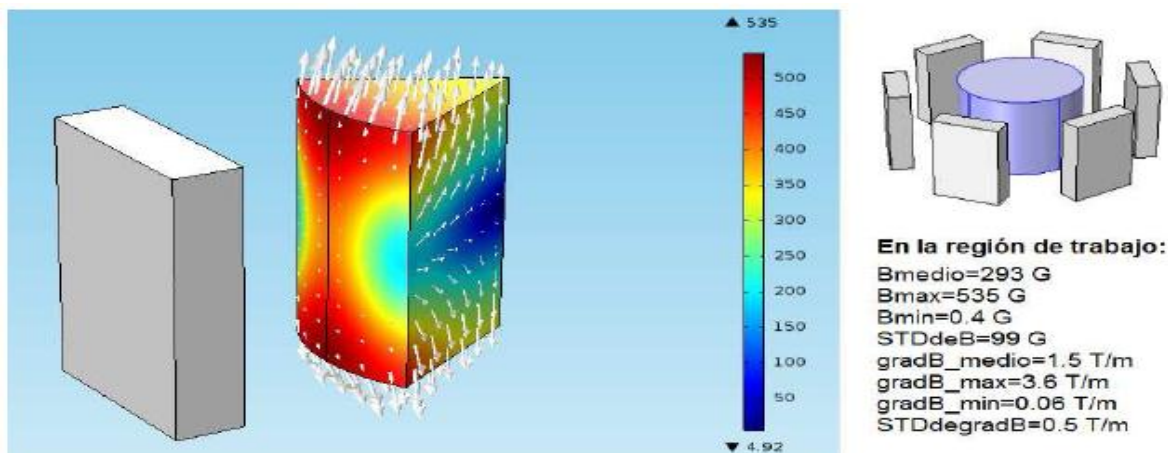
La reacción se realiza a la temperatura de 75 °C y tiempo de 270 min. En la figura 2 se observa la instalación experimental, donde se realiza la reacción de epoxidación sin y con tratamiento magnético.

Para la aplicación del tratamiento magnético se empleó una instalación experimental compuesta por un arreglo de seis imanes permanentes, construido y caracterizado en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Los imanes son de NdFeB de 32 MGOe, tienen forma de barra de sección transversal rectangular con dimensiones de 5 x 3 x 1 cm, magnetizados hasta la saturación a lo largo del eje menor y todos enfrentan el mismo polo al eje de simetría del dispositivo. En la figura 3 se muestra una imagen del dispositivo.



**Fig. 3 Arreglo de imanes  
Permanentes.**

El acondicionador magnético utilizado fue diseñado y construido especialmente para los experimentos desarrollados en este trabajo. El mismo se ubica alrededor del reactor garantizando que las líneas de campo magnético atraviesen todo el volumen de la solución como se muestra en la figura 2, b. El campo magnético del acondicionador fue simulado utilizando el software profesional FEMM 4.2, basado en el método de los elementos finitos. Se resolvió un problema magnetostático 3D sin corrientes eléctricas. El dominio de solución fue una esfera de 0,25 m de diámetro. La precisión de resolución fue de  $10^{-8}$ . Sobre la esfera límite se aplicó la condición de frontera de elementos infinitos, el resultado se muestra en la figura (4).

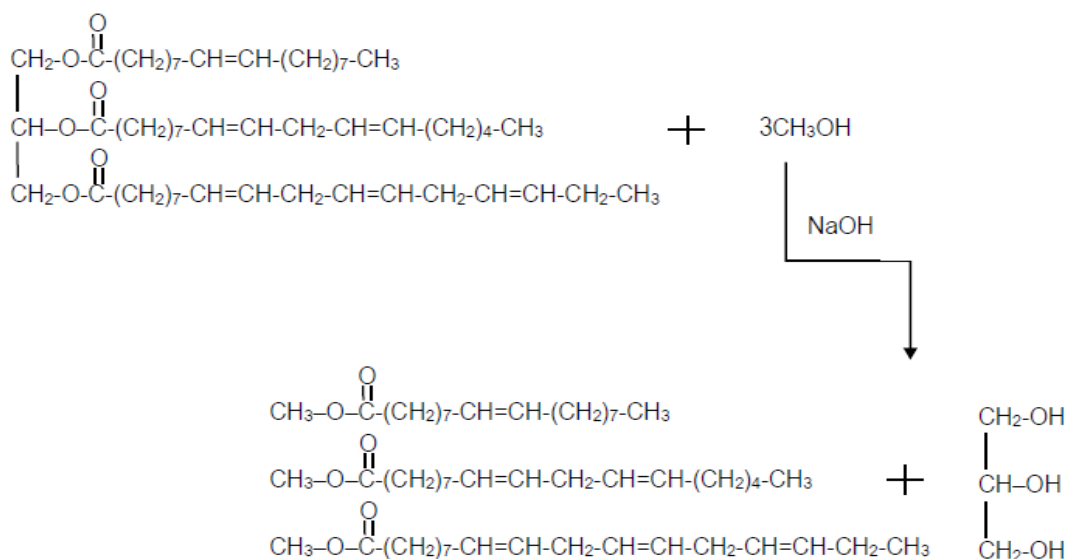


**Fig. 4** Mapa de la inducción magnética en un plano de la región de trabajo del dispositivo magnético construido.

Se determinaron cinco propiedades: Índice de yodo por el método de Wijs (AOCS Cd 1d-92), índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), densidad (ASTM D1217) y viscosidad (ASTM D445) y estabilidad oxidativa por Rancimat (AOCS Cd 12b-92).

#### Resultados y discusión

A continuación se presentan los esquemas de las reacciones de transesterificación del aceite de *Jatropha curcas* L. (Figura 5). Aquí solo se presentan como resultado los esteres metílicos de los ácidos grasos no saturados de mayor contenido en el aceite/16/.



**Fig. 5** Esquema de la reacción de transesterificación.

Luego se llevó a cabo la reacción de epoxidación según las condiciones de García /9/, pero con la variante de que se utilizó ácido fórmico, en vez de acético, donde según el autor en estas condiciones ocurre apertura del anillo epóxido.

En la tabla 1, se reportan los resultados de la determinación de índice de yodo, índice de acidez, densidad y viscosidad cinemática del éster metílico del aceite de la *Jatropha curcas* L. y los productos de epoxidación del mismo sin y con catalizador (SC, CC) respectivamente y sin y con tratamiento magnético (STM, CTM) respectivamente., además se presentan los resultados de la determinación de las propiedades físico-químicas de los productos de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas* L. en diferentes condiciones de catalizador y tratamiento magnético.

**Tabla 1**  
**Propiedades físico-químicas de los productos de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas* L. en diferentes condiciones de catalizador y tratamiento magnético**

	Índice de yodo (g de/ 100 g de aceite)	Índice de acidez (g de KOH/g de aceite)	Densidad (kg/L)	Viscosidad cinemática (cSt)
Ester metílico	91,38	0,04	0,883 6	5,228
STM y SC	8,03	0,20	0,953 9	15,25
STM y CC	11,16	0,66	0,983 5	73,39
CTM y SC	6,25	0,21	0,956 3	16,50
CTM y CC	1,68	0,71	0,989 2	109,1

***Influencia del catalizador y del tratamiento magnético en el índice de yodo***

El índice de yodo da una medida de las insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman el aceite y por tanto es un modo de saber la cantidad de dobles enlaces que fueron epoxidados durante la reacción. Como puede observarse en la tabla 1 en todos los productos de la reacción, el índice de yodo es menor que en el éster metílico, lo cual indica que hubo eliminación de los dobles enlaces y aparición del epóxido (ver esquema de reacción). Al comparar el mejor resultado se obtiene en el producto de la reacción donde se utilizó el tratamiento magnético y el catalizador ( $I(y) = 1,68$ ), sin embargo al comparar ambos efectos por separado se observa un mayor resultado cuando se utiliza el tratamiento magnético, que cuando se utiliza el catalizador ácido ( $I(y) = 6,25$ ).

***Influencia del catalizador y del tratamiento magnético en el índice de acidez***

El índice de acidez en los biolubricantes es una propiedad importante, el mismo da una medida del deterioro del aceite base. La acidez es mayor en todos los

productos obtenidos con respecto al éster inicial, pero los mayores valores del índice de acidez se observan cuando se utiliza el catalizador ácido (SCM y CC y CCC y CC con  $I(a)=0,66$  y  $I(a)=0,77$  respectivamente), lo cual indica que aún no se ha deteriorado el aceite por hidrólisis y estos valores deben estar relacionados por la presencia de restos del ácido sulfúrico empleado como catalizador en los productos de la reacción epoxidación, como indica García en su tesis doctoral /9/.

#### *Influencia del catalizador y del tratamiento magnético en la densidad*

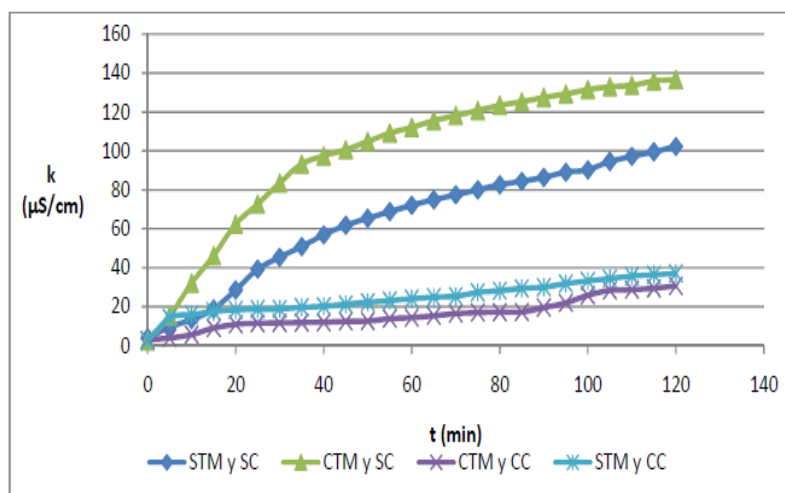
La densidad es otra de las propiedades importante a tener en cuenta durante la formulación de biolubricantes, así como en el desempeño de los mismos en las aplicaciones mecánicas. En la tabla 1 se observa que los mayores valores corresponden a los productos de la reacción con respecto al éster metílico inicial, lo cual indica que la incorporación del oxígeno en forma de epóxido contrae la molécula y donde mayor sea la contracción por unidad de volumen, mayor será la densidad. Esto debe estar de acuerdo con el menor índice de yodo, que se obtuvo en el producto de la reacción con campo magnético y catalizador ( $d=0,9862$  kg/L). Al comparar el efecto por separado del campo magnético y el catalizador, se observa en la tabla 1 que los mayores valores de densidad se obtienen cuando en la reacción de epoxidación se utiliza el tratamiento magnético.

#### *Influencia del catalizador y del tratamiento magnético en la viscosidad cinemática*

La viscosidad en los aceites lubricantes es de suma importancia, esta es la característica más importante, incluso esta propiedad permite clasificar los lubricantes para sus usos en elementos mecánicos/10/. De los resultados de la tabla 1 puede observarse que todos los productos de epoxidación poseen valores de viscosidad cinemática mayor que el éster. Al comparar los efectos del tratamiento magnético y catalizador por separado el mayor valor corresponde al producto STM y CC con viscosidad cinemática igual a 73,39 cSt. O sea, que el efecto del catalizador predomina por encima del campo magnético. Sin embargo el mayor valor de viscosidad cinemática se refleja en el producto de reacción donde se mezclan los dos efectos CTM y CC, donde se observa un valor extremadamente alto de la propiedad, igual a 109,1cSt.

### *Influencia del catalizador y del tratamiento magnético en estabilidad oxidativa*

La estabilidad oxidativa de los aceites lubricantes biodegradables es otra propiedad importante pues ella muestra la durabilidad de los mismos, precisamente la reacción de epoxidación se realiza con el objetivo, además, de aumentar la estabilidad oxidativa. Dicha propiedad se determina por el método de Rancimat / 15 /.



**Fig. 6 Comportamiento de la estabilidad oxidativa de los ésteres metílicos epoxidados obtenidos.**

En la figura 6 se pueden observar las curvas de conductividad en el tiempo, donde se observa que la mayor resistencia a la oxidación está presente en los productos donde se utiliza el catalizador ácido y de estos, el producto que se obtiene cuando se utiliza campo magnético y el catalizador (CTM y CC).

#### *Valoración de las propiedades físico químicas*

Para evaluar los resultados obtenidos durante la reacción de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas L*, se asignaron valores (1 al 4) a los mejores resultados del estudio de las propiedades, teniendo en cuenta que el uno (1) corresponde al mejor resultado y el cuatro (4) corresponde al resultado menos satisfactorio.



Tabla 2  
Propiedades físico químicas de los productos de epoxidación  
de los ésteres metílico del aceite de *Jatropha curcas L*

Propiedades	Evaluación			
	STM y SC	STM y CC	CTM y SC	CTM y CC
Índice de yodo	3	4	2	1
Índice de acidez	1	3	2	4
Densidad	4	2	3	1
Viscosidad cinemática	4	2	3	1
Estabilidad oxidativa	3	2	4	1
Evaluación	4	2	3	1

En la tabla 2 puede notarse que la muestra CTM y CC posee el mejor resultado de índice de yodo, densidad y viscosidad; aunque en el índice de acidez ocupa el último lugar en la escala de evaluación, no es un resultado insatisfactorio porque está por debajo de la norma y en principio esta puede mejorar aún más ya que depende de los procesos de lavados. Este análisis permite afirmar que las mejores condiciones bajo las que se llevó a cabo la reacción de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas L* son con el empleo del catalizador y el tratamiento magnético, siendo el catalizador el factor de mayor influencia, cuando se evalúan por separados los efectos.

### Conclusiones

- 1. De las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo la reacción de epoxidación del éster metílico de la *Jatropha curcas L*, el aceite que se obtuvo bajo la influencia combinada del catalizador y del tratamiento magnético fue la que manifestó mejores propiedades. Esta variante puede ser utilizada en la formulación de lubricantes, aunque cuando se evalúan los efectos por separados el catalizador tiene un efecto mayor sobre los productos de reacción.**

### Bibliografía

1. KAILAS, M. T., *et.al.* Study on physicochemical properties of vegetable oils and their blends use as possible ecological lubricant. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2012. Vol. 4, N° 12, 5139-5144.
2. WAGNER H. *et al.*. Lubricant base fluids based on renewable raw materials. Their catalytic manufacture and modification. 2001. *Applied Catalysis A: General* 221, 429–442.

3. SUKIRNO, L. *et al.* Anti -wear properties of bio-grease from modified palm oil and calcium soap thickener. *Agricultural Engineering International*. 2010. Vol. 12, 4-69.
4. SUKIRNO, R. *et al.* Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear. *World Applied Sciences Journal*. 2009. Vol. 6, Nº 3, 401-407.
5. BRAJENDRA, K. *et al.* Biobased Grease with Improved Oxidation Performance for Industrial Application. *J. Agric. Food Chem.* 2006. 54, 7594-7599.
6. GARCÉS, R. *et.al.* Vegetable oil basestocks for lubricants. *Grasas y aceites*, 2011. 62 (1), 21-28. ISSN: 0017 3495
7. BECKER, K, *et al.* *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technology*. 2008. Vol. 20. ( 5). 104-107
8. MONTES, J. M. Characterization of *Jatropha curcas* L. Seed and its oil, from Argentina and Paraguay. *Journal of the Argentine Chemical Society*. 2011. Vol. 98, 1-9.
9. GARCÍA, C. A. Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. *Tesis doctoral*. Universitat Ramon Llull. Privada. Rgtre. Fund. Generalitat de Catalunya. num. 472. 1990.
10. MUSHTAQ, M. *et al.* Epoxidation of methyl esters derived from *Jatropha* oil: An optimization study. *Grasas y aceites*. 2013. 64 (1), 103-114. ISSN: 0017 3495.
11. HONG-SIK, H., *et al.* Modification of Epoxidized Soybean Oil for lubricant Formulations with Improved Oxidative Stability and low Pour Point. *JAACS*. 2011. Vol. 78, No. 12, 1179-1184.
12. ELGUERO-BERTOLINI, J. "Procesos químicos y reacciones en condiciones extremas o no clásicas". *Política Científica*. 1991. 28: 37-39. ISSN 0001-9704
13. AJAJ, R. A., *et al.* Effect of Magnetic field Strength on Hydrocarbon fuel viscosity and engine performance". *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*. 2013. Vol. 1, Issue 7, 94-98.
14. LAFARGUE P. F. *et al.* "Caracterización físico química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L". *Revista Tecnología Química*. 2012. Vol. 32, núm. 2, 162-165. ISSN: 2224-6185
15. LAFARGUE P., F. *et al.* Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L con ácido per fórmico. *Revista Tecnología Química*. 2015. Vol. 35, núm. 3, 334-341. ISSN: 2224-6185
16. CHITUE DE ASSUNÇÃO- N., J. *et al.* Análisis cromatográfico del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. crudo y refinado. *Revista Cubana de Química*. 2013. Vol. XXV, Nº 2, 143-149. ISSN: 2224-5421.