Artículo de Investigación. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 38, No. 3 pp. 215-222, agosto - noviembre, 2017
ISSN 1316-7081. ISSN Elect. 2244-8780. Universidad de los Andes (ULA)

Transesterificación de aceite de palma en biodiesel utilizando como catalizador un oxido mixto proveniente de hidrotalcita (Mg/Al)

Transesterification of palm oil into biodiesel using a mixed oxide catalyst derived from hydrotalcite (Mg/Al)

Rivas, Cleodaris [1]; Rondón, Jairo [1,2*]; Meléndez, Hildemaro [1,2]; Lugo, Claudio[1]; Belandría, Lynda[1]; Uzcátegui Álvaro[1]; Del Castillo, Héctor [1]; Rodríguez, Pedro[1]; Gonzales-Cortes, Sergio [3]

[1]Laboratorio de Cinética y Catálisis, Departamento de Química.

Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101, Venezuela

[2]Gerencia General de Producción, PDVSA-Gas, Anaco 6003, Venezuela.

[3]Oxford Catalysts Company, 115e Milton Park.

Oxford OX14 4RZ, United Kingdom
*****rondonjjx@pdvsa.com

Resumen

Se sintetizóhidrotalcita (HT) como material de partida con una relación molar R [Mg^{2+} / Al^{3+} = 3], la cual fue calcinada en aire a 550°C durante 12 horas, de esta manera se obtiene un óxido mixto Mg/Al. Se estudió la reactividad de este material en la reacción de transesterificación de un aceite comercial venezolano basado en maíz. Posteriormente las mejores condiciones obtenidas en este estudio se extrapolaron a la producción de biodiesel utilizando aceite de palma. Los distintos biodiesel fueron analizados por espectroscopia infrarroja y cromatografía de gases. Los resultados indican que altos tiempos de agitación (aprox. 24 h) y tiempos de reacción menores a 24 h son las mejores condiciones para la obtención del biodiesel con aceite comestible. Sin embargo bajo estas condiciones se logran bajas conversiones con el aceite de palma.

Palabras claves: Biodiesel; Transesterificación; Aceite de palma; Hidrotalcita.

Abstract

Was synthesized hydrotalcite (HT) as a starting material with a molar ratio R [Mg^{2+} / Al^{3+} = 3], which was calcined in air at 550°C for 12 hours, so you get a mixed oxide Mg / Al. Was studied the reactivity of this material in the transesterification reaction of a commercial oil-based Venezuelan corn. Subsequently the best conditions obtained in this study were extrapolated to the production of biodiesel using palm oil. Different biodiesel were analyzed by infrared spectroscopy and gas chromatography. The results indicate that high stirring times (approx. 24 h) and reaction times to 24 h under the best conditions for obtaining biodiesel from cooking oil. However, under these conditions low conversions are achieved with palm oil.

Key words: Biodiesel, Transesterification, oil palm hydrotalcite.

1 Introducción

El concepto de combustibles alternativos parte de la necesidad de producir y usar fuentes energéticas que sean más amigables con el medio ambiente, reduciendo las emisiones de contaminantes que afectan la salud. Uno de estos combustibles alternativos que disminuye substancialmente la emisión de la mayoría de gases y partículas contaminantes de la atmósfera es el biodiesel, el cual es un biocarburante denominado también gasóleo o diéster; es sustituto del diesel fósil, proviene del procesamiento de triglicéridos en su mayoría proveniente de aceites vegetales naturales y reciclados (soya, colza, palma, entre otros) que al ser transesterificado con alcoholes de cadena corta como metanol o etanol producen glicerina y ésteres grasos (Musa 2016). La transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con alcoholes ha sido examinada utilizando diversas materias primas en busca, principalmente, de sustitutos energéticos de los derivados del petróleo; en la literatura se emplea generalmente metanol como reactivo.

Los estudios del mecanismo y de la cinética han demostrado que la transesterificación consiste en tres reacciones consecutivas reversibles (Talebian-Kiakalaieh y col., 2012, Kiss y col., 2012): transesterificación parcial del triglicérido para formar el diglicérido, transesterificación parcial del diglicérido para formar el monoglicérido y transesterificación parcial del monoglicérido para formar el éster y glicerina (Tajuddin y col., 2016) (Figura 1). Por lo general se usa un exceso de alcohol con la finalidad de desplazar el equilibrio de la reacción hacia la formación de ésteres (Barros y col., 2015, Ghazali y col., 2015).

El orden de la reacción cambia con las condiciones de reacción. La terminación de la reacción depende de parámetros múltiples incluyendo la relación molar alcohol/aceite, tipo de catalizador, temperatura de reacción, tiempo de reacción y calidad de la materia de partida.

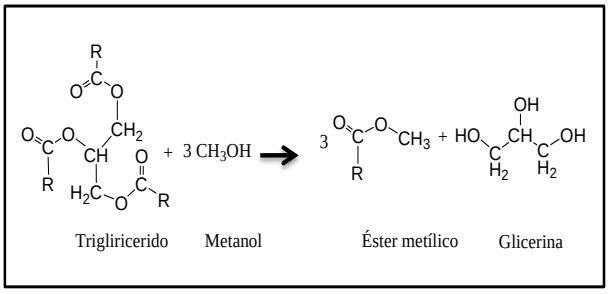


Fig. 1.Ecuación general de transesterificación, R = Radical alquílico.

La catálisis de la reacción abarca varias posibilidades: catálisis homogénea alcalina o ácida, catálisis heterogénea alcalina o ácida, catálisis enzimática y reacción en condiciones supercríticas (Adewale y col., 2015, Ghoreishi y col., 2013).

Los catalizadores convencionales utilizados a nivel industrial, son catalizadores homogéneos que suelen ser ácidos o bases fuertes (H_2SO_4, NaOH, KOH) que permiten obtener una elevada conversión de biodiesel bajo condiciones moderadas de reacción, sin embargo, estos presentan problemas técnicos (separación de los productos de la reacción y el catalizador) en la producción, ya que requieren de condiciones específicas. En busca de eliminar esos problemas se han enfocado las investigaciones en el desarrollo de catalizadores heterogéneos que además facilitan la separación de los productos de reacción del catalizador (Mansir y col., 2017; Zeng y col., 2014). Uno de los catalizadores básicos heterogéneos con mayor aplicabilidad en los últimos años ha sido la hidrotalcita [M $(II)_{1-x}$ $M(III)_x$ $(OH)_2$] $(An-)_n/X).mH_2O$. Ésta pertenece a una clase de compuestos llamados arcillas aniónicas, o bien cuando son sintéticos, se les llama hidróxidos dobles laminares (HDL) que son compuestos inorgánicos, formados por láminas cargadas positivamente, y cuya carga positiva es compensada por aniones $[Ax^-]m/x$. Recientes estudios han demostrado que la descomposición térmica de estos materiales y su posterior rehidratación, genera sólidos laminares con propiedades fisicoquímicas interesantes (Conterosito y col., 2017). La variedad de familias de materiales tipo hidrotalcita que se pueden preparar es enorme, utilizando metales tales como M(II) = Mg^{2+}, Zn^{2+}, Ni^{2+}, etc., M(III) = Al^{3+}, Fe^{3+}, Ga^{3+}, etc., A = $(CO_3)^{2-}$, Cl^-, $(NO_3)^-$, $(SO_4)^{2-}$ (Sikander y col., 2017).

En este trabajo se explora el empleo de la hidrotalcita (Mg/Al) modificada con hidróxido de sodio como material catalítico para la producción de biodiesel, usando un aceite comercial venezolano basado en maíz, así como un aceite de palma.

2 Parte experimental

2.1 Síntesis de hidrotalcita (Catalizador Base)

Se sintetizó una hidrotalcita (HT) como material de partida con una relación R [Mg^{2+}/Al^{3+} = 3] para la síntesis de este material se prepararon dos disoluciones acuosas; una ácida y otra básica. La disolución ácida contiene los nitratos de magnesio y aluminio con una concentración total (Mg^{2+} + Al^{3+}) = 1,5 M. Mientras que la disolución básica se obtiene mezclando las cantidades adecuadas de NaOH y Na_2CO_3 que permiten mantener una relación [CO_3^{-2} / (Mg^{2+} + Al^{3+})] = 3 y el pH del gel en 13. Las disoluciones se adicionaron simultáneamente a temperatura ambiente, empleando bombas perfusoras, a una velocidad de 20 mL/h, presión atmosférica y una agitación mecánica vigorosa durante 5 horas. El gel obtenido se envejeció a 60 °C durante 12 horas. Posteriormente, el sólido se filtró y se lavó con agua destilada hasta que se alcanzó un pH de 7 en las aguas de lavado para eliminar los iones Na^+ y NO_3^-. Este paso de lavado es esencial ya que las posibles impurezas presentes en el gel, pueden enmascarar la actividad catalítica de los catalizadores

obtenidos, cambiando las propiedades básicas de la superficie (Bhatta y col., 2015). Por último, la hidrotalcita se secó a 100 °C por 18 horas y se calcinó en aire a 550 °C durante 12 horas, para finalmente obtener un óxido mixto de Mg/Al.
El óxido previamente sintetizado se utilizó como soporte, sobre el cual se impregnó a volumen de poro una solución de NaOH 6 M, con el fin de modificar sus propiedades ácido-base. Una vez impregnado el sólido, el material resultante se secó a 100 °C durante 12-15 h y posteriormente se calcinó a 550 °C por 12 horas.

2.2 Caracterización estructural

Se utilizaron diferentes técnicas de caracterización para determinar las propiedades fisicoquímicas de la hidrotalcita de partida y los óxidos mixtos provenientes de la HT. Para ello se emplearon un difractómetro automatizado PW 1050/25 con radiación CuKα (λ = 1,5416 Å) (DRX), un Micromeritics ASAP 2010 (Fisisorción de nitrógeno) utilizando 250 mg del catalizador, un equipo de adsorción/desorción de gases Micromerictis TPD/TPR 2900 (TPD-CO_2) utilizando 150 mg de muestra y un espectrómetro infrarrojo marca PERKIN ELMER modelo 1600 (Espectroscopia Infrarroja).

2.3 Pruebas catalíticas

Se llevaron a cabo en dos etapas:

Etapa I: Obtención del metóxido, esto se realizó en un recipiente en el que se colocó metanol y catalizador en la proporción apropiada, se mezclaron por determinados tiempos para estudiar el efecto de esta variable (tabla 1).
Etapa II: Las pruebas catalíticas se llevaron a cabo en un balón de 100 mL en un baño termostatizado,con agitación permanente y con un sistema de reflujo. En este estudio se utilizó un aceite comercial venezolano basado en maíz y un aceite de palma (ElaeisguineensisJacq), proveniente de una empresa venezolana denominada Industrias Dianas C.A. Como catalizadores se utilizó, NaOH en fase homogénea y en heterogénea un óxido mixto proveniente de la hidrotalcita modificado con hidróxido de sodio. Posteriormente, La reacción de transesterificación para el aceite de palma y el comercial se llevó a cabo utilizando las siguientes cantidades:

- Metanol (Fisher Chem Alert Guide): 12,5 mL
- Aceite (Comercial o de palma): 3 mL
- Catalizador (óxido mixto Mg/Al): 0,0500 g

La mezcla se añadió a un balón que contenía aceite comercial (o aceite de palma) a una temperatura de 65 °C. Una segunda variable a estudiar fue el tiempo de mezclado metanol/catalizador/aceite (palma o comercial) (tabla 1).

Tabla 1. Tiempos utilizados para la reacción de transesterización.

MeOH+ HT (Mezcla 1)	(Mezcla 1 + Aceite)			
	3	12	24	48
3	BD9	BD16	BD13	BD2
12	BD19	BD23	BD20	BD3
24	BD12	BD18	BD5	BD15
48	BD7	BD4	BD8	BD10

BD: Biodiesel, el número que lo acompaña se refiere al número de experimento realizado.

Los biodiesel obtenidos son analizados cualitativamente por espectroscopia infrarroja (IR) y cromatografía de gases para la identificación de las distintas fases presentes en el biodiesel obtenido, tanto en fase homogénea como heterogénea (Shekoohi y col., 2017). Además, esta técnica se utilizó para identificar diferentes componentes del aceite comercial (basado en maíz) y el aceite de palma.
Los análisis cromatográficos fueron realizados en un cromatógrafo de gases marca Agilent, modelo 6890 plus, equipado con una columna capilar PONA (methylsilicone), con hidrogeno como gas portador y los de espectroscopia infrarroja se realizó empleando pastillas de KBr, a la cual se le adiciono una gota de las muestras, empleando el equipo mencionado anteriormente.

3 Resultados y discusión

3.1 Difracción de rayos X

La Figura 2 presenta los difractogramas de rayos X de la muestra HT y de los óxidos mixtos provenientes de ella. En el caso de la hidrotalcita de partida se observa una única fase cristalina característica de este material (Cavan y col., 1991). La descomposición térmica de la hidrotalcita a 550 °C produce la descomposición de los carbonatos y la deshidroxilación, a óxidos mixtos $Mg(Al)O_x$,con estructura análoga a la del MgO, (poco cristalina, tabla 2) (Jenkins y col., 1996, Aransiola y col., 2014, Costarrosa 2016).

Es de resaltar que la adición de NaOH al óxido (6M) conduce a la formación parcial de la fase hidrotalcita junto con la fase espinela ($MgAl_2O_4$). La aparición de esta fase puede estar relacionada a las subsecuentes rehidrataciones y recalcinaciones del catalizador.

3.2. Fisisorción de nitrógeno: Área BET

Las áreas superficiales específicas BET de la hidrotalcita así como de los óxidos mixtos se encuentran tabuladas en la tabla 2. Se puede observar que el óxido mixto HT-Ox presenta mayor área superficial BET que la HT debido al tratamiento térmico y a la formación adicional de poros de menor tamaño, estos resultados concuerdan con los reportados en la

literatura (Dixit y col., 2013, Baskaran y col., 2015, Wang y col., 2015, Mokhtar y col., 2010).

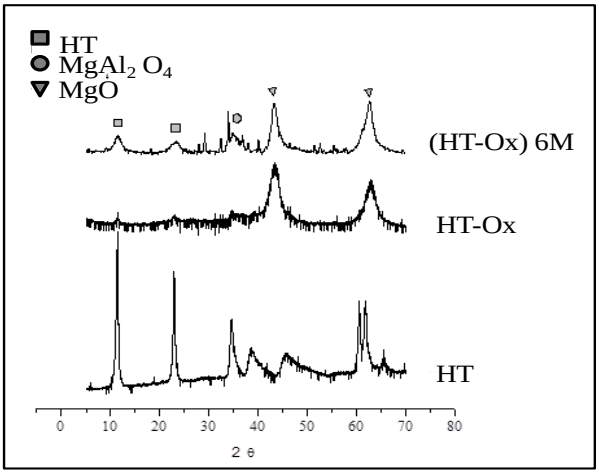


Fig. 2. Difractogramas de rayos X de la HT, HT-O_x y (HT-O_x)6M.

Sin embargo, se observa una disminución del área superficial en la muestra impregnada con NaOH. Esto se debe al bloqueo de algunos poros con los tratamientos de impregnación y calcinación (Rondón y col., 2016), o a una posible segregación de fases (tabla 2).

Tabla 2. Propiedades texturales de los materiales estudiados.

N	Muestras	BET m^2/g	Fases presentes
1	HT	64	HT
2	HT- O_x	201	MgO, $MgAl_2O_4$
6	(HT-O_x)6M	16	HT, MgO, $MgAl_2O_4$

HT: Hidrotalcita.

3.3. Temperatura programada de desorción de CO_2 (TPD-CO_2)

En la Figura 3 se muestran los perfiles de TPD-CO_2 para los materiales sintetizados. Se observa que tanto la HT como el óxido mixto obtenido a partir de ella presentan dos máximos de desorción relacionados con diferentes tipos de centros básicos. Un primer pico ubicado entre 180 °C a 400 °C, asociados a CO_2fisisorbido o a una basicidad débil. Mientras que el segundo pico situado entre 550 hasta 800 °C, corresponde a una basicidad relativamente fuerte asociada al CO_2quimisorbido sobre sitios básicos (Valente y col., 2012, Gao y col., 2013).

En el caso del óxido impregnado con NaOH 6M, se observa una pérdida de sitios básicos a bajas temperaturas y la aparición de un nuevo pico que corresponde a sitios básicos muy fuertes.

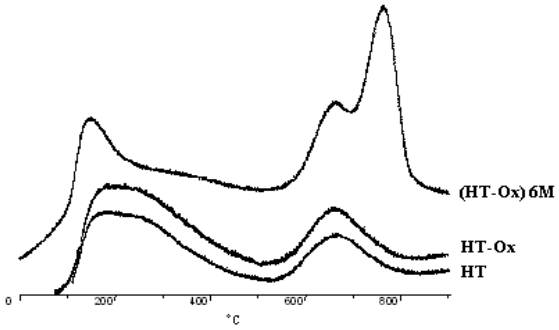


Fig. 3. TPD-CO_2 de la HT, HT-O_x y (HT-O_x) 6M.

3.4. Espectroscopia infrarroja (IR)

En la Figura 4 se muestra el espectro IR del HT-O_x y de la HT, en los cuales se aprecia la mayoría de sus bandas características.

El espectro de la HT presenta una banda ancha a 3476 cm^{-1}, la cual se atribuye al modo de tensión de los hidrógenos unidos a grupos hidroxilos de las láminas de tipo brucita (Yang y col., 2002). Además se observa un hombro a 3003 cm^{-1} correspondiente al enlace de hidrógeno entre moléculas de agua y grupos carbonatos en el espacio interlaminar, mientras que la banda a 1642 cm^{-1} corresponde al modo de deformación del agua. La vibración a 1517 cm^{-1} se debe a la presencia de carbonatos monodentados (O-C-O) (Mattos y col., 2012) que interactúan con los cationes Mg^{2+}, mientras que la banda a 1741 cm^{-1} pertenece al modo de vibración del agua interlaminar. En la región 1373-1369 cm^{-1} aparece la banda característica del estiramiento asimétrico de los carbonatos interlaminares (unidos tanto en forma de quelato o como agentes bidentados). La zona de bajas frecuencias muestra una banda a 551 cm^{-1}, relacionada al modo de traslación de los grupos hidroxilos, influenciados por los cationes Al^{3+}. La banda a 871 cm^{-1} es característica de la deformación fuera del plano de los carbonatos, mientras que la deformación dentro del plano se localiza a 680 cm^{-1} (Hincapié y col., 2017).

Después del tratamiento térmico de este material (HT-O_x) se observa las bandas a 1642 cm^{-1} (correspondientes a la vibración de deformación del agua), a 3003 cm^{-1} (interacción H_2O-CO_3^{-2} en el espacio interlaminar) y a 3476 cm^{-1} a los grupos OH^-.

La presencia de esto, posiblemente se deba a la adsorción de agua durante el análisis, debido a que estos materiales sueles ser higroscópicos. Mientras que la banda a 1741 cm^{-1} (vibración de deformación del agua en el espacio interlaminar) desaparece, con el al tratamiento térmico. Del mismo modo a 1369 cm^{-1} decrece en intensidad. Por tanto, se puede inferir que la temperatura de calcinación de 550 °C no es suficiente para eliminar completamente los hidroxilos y carbonatos, en este material, o que el sólido adsorbe dióxido de carbono y agua durante la manipulación de la muestra.

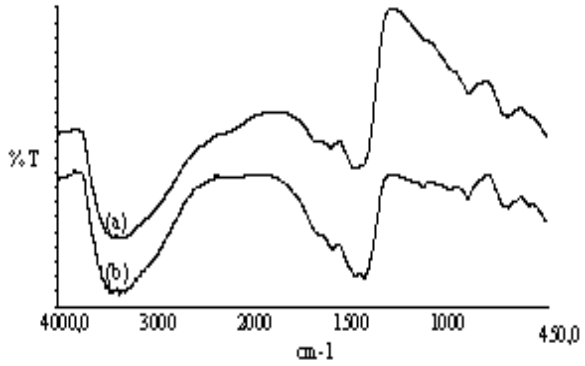


Fig. 4.IR de las (a) HT y (b) HT-Ox.

3.4. Caracterización del Biodiesel por Espectroscopia infrarroja (IR)

Se realizaron estudios previos utilizando aceite a base de maíz y como catalizador NaOH, esto con el fin de obtener biodiesel patrón.

- Catálisis homogénea: Obtención de biodiesel usando NaOH como catalizador.

Se sintetizaron dos tipos de biodiesel como referencias a partir de dos materias primas diferentes: aceite comercial y aceite de palma. En la figura 5 se muestran los espectros IR obtenidos para los dos aceites de partida, así como también los correspondientes biodiesel obtenidos de su transesterificación con NaOH.

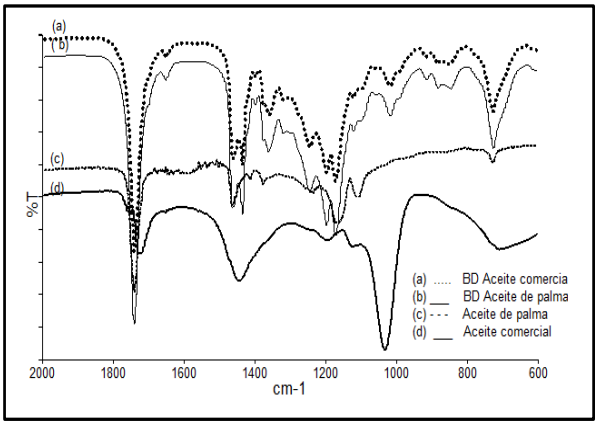


Fig. 5.Espectro IR a) BD aceite Comercial, (b) BD Aceite de palma, (c) Aceite de palma y (d) Aceite Comercial. Condiciones de reacción: tiempo: 3 h, Temperatura: 65°C, MeOH/NaOH: 30/0.8 (V/V); aceite: 100ml.

En los espectros de los biodiesel sintetizados aparecen bandas características de este material (1500 a 500 cm^{-1}) las mismas no están presentes en los aceites de partida. Además existen bandas a 1800 cm^{-1} correspondiente a la vibración de estiramiento del grupo carbonilo C = O, a 2400-3000 cm^{-1} relacionada con la vibración de estiramiento del enlace O-H y a 724 cm^{-1} asociada con la composición de las cadenas carbonadas del aceite, vibraciones de deformaciones de los enlaces C-C y C-H (Lam y col., 2010).

- Catálisis Heterogénea: Obtención de biodiesel usando un aceite comercial y como catalizador el óxido mixto proveniente de HT.

Se llevaron a cabo distintas reacciones con cantidades fijas de aceite comestible (3 ml) y catalizador (HT-O_x impregnado con NaOH 6M, 0.05 g), MeOH (12 ml); variando el tiempo de agitación catalizador/MeOH (3, 12, 24 y 48 h) así como el tiempo de mezclado catalizador/MeOH/aceite comercial (3, 12, 24 y 48 h). El presente estudio tuvo como objetivo definir las condiciones óptimas para la síntesis de biodiesel que posteriormente se utilizaron para la obtención de biodiesel con aceite de palma. En la figura 6 se observan los espectros IR de las síntesis realizadas. Los resultados obtenidos mostraron que el parámetro importante a controlar es el tiempo de agitación (MeOH/catalizador), encontrándose que para estas condiciones probadas el tiempo óptimo de agitación es de 24 h. A tiempos de mezclado (catalizador/MeOH/ aceite comercial) mayores a 24 h no se observan bandas características en la región IR de los 1500-500 cm^{-1} (asignada al biodiesel, figura no mostrada).

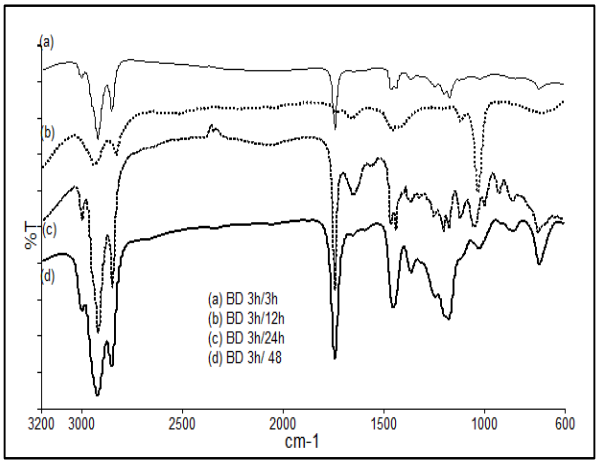


Fig. 6. Resultados de la síntesis de transesterificación del aceite comercial a 3 h de reacción y diferentes tiempos de agitación: (a) 3, (b) 12, (c) 24 y, (d) 48 h.

Estos resultados sugieren que el tiempo óptimo para la generación del metóxido es de 24 h y que a tiempos mayores posiblemente ocurre lo siguiente:

- Existe una adsorción irreversible del metóxido sobre el catalizador,

- La ocurrencia de un intercambio de los aniones interlaminares por los grupos metóxidos y finalmente,

- La generación de una reacción colateral como una epoxidación.

En consecuencia, la ausencia del metóxido limita el progreso de la reacción de transesterificación del aceite a biodiesel.

- Obtención de biodiesel a partir del aceite de palma

Utilizando las condiciones óptimas obtenidas anteriormente (tiempo de agitación 24 h), se realizó la síntesis de biodiesel con aceite de palma. Los experimentos se realizaron a distintos tiempos de mezclado de 3, 12 y 24 h; manteniendo constantes las cantidades de aceite de palma (3 mL), catalizador (HT-Ox impregnado con NaOH 6M, 0,05 g) y metanol (12 mL). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7, en ella se observan bandas características del metanol a 3343 cm^{-1} (vibración de tensión del grupo O-H) y 1030 cm^{-1} (vibración de estiramiento del enlace C-O). Así como bandas características de los esteres a 2400-3000 cm^{-1} asociada con la vibración de estiramiento del enlace O-H, cm^{-1} y la banda a 1747 cm^{-1} correspondiente a vibración de estiramiento del grupo carbonilo C=O, estas últimas asignadas al biodiesel.
De aquí, que las condiciones óptimas para obtener biodiesel, además del tiempo de agitación y tiempo de reacción, depende de la materia prima, así como del catalizador utilizado.
Las reacciones de transesterificación del aceite comercial basado en maíz y del aceite de palma fueron seguidas por cromatografía de gases. Los análisis corroboran los resultados obtenidos por espectroscopia infrarroja. En estos análisis se observa la presencia de los metil ésteres, los mono, di y triglicéridos además de los compuestos de partida.

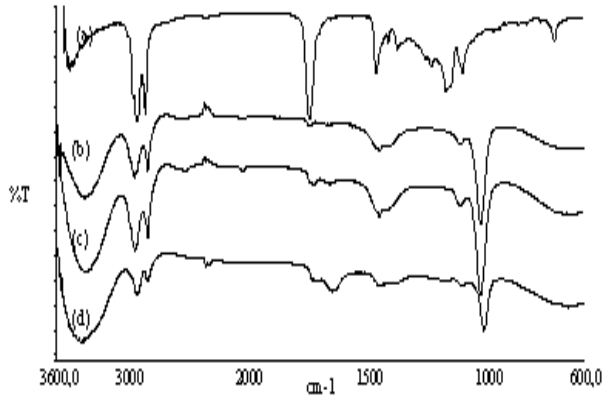


Fig. 7.Resultados de la síntesis de transesterificación a diferentes tiempos de reacción: (a) aceite de palma (b) 3 h, (c) 12 h, y (d) 24.h.

- Reacciones de Transesterificación del aceite de palma

En la Figura 8 se observa la conversión del aceite comercial basado en maíz a biodiesel en fase homogénea, en donde sé gráfico el tiempo de retención (Tr) en función del área correspondiente a cada pico.

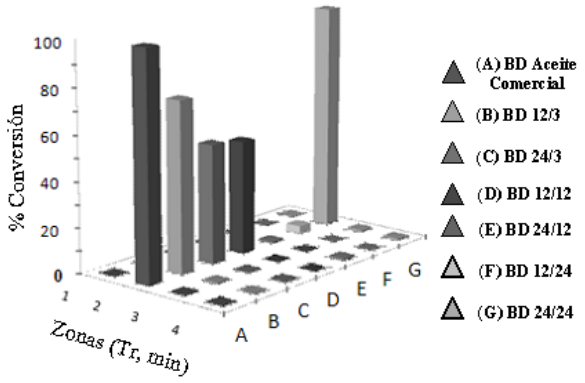


Fig. 8.Biodiesel (BD) con aceite comercial utilizando ($HT\text{-}O_x$) 6M a los diferentes tiempos de reacción y agitación.

4 Conclusiones

Con el uso de catalizadores heterogéneos se logra sintetizar biodiesel a partir de un aceite comestible comercial, así como de un aceite de palma. Los resultados obtenidos indican que las mejores condiciones para obtener biodiesel son las siguientes: a partir de aceite comestible 24 h de agitación MeOH/catalizador y tiempos de reacción menores a 24 h; mientras que para el aceite de palma las condiciones de reacción estudiadas no son las óptimas ya que se logran muy bajas conversiones. El empleo de la catálisis heterogénea brinda una opción prometedora ya que el catalizador puede ser recuperado y los costes pueden disminuir. Estudios posteriores de regenerabilidad del catalizador verificaran la viabilidad de esta propuesta. El biodiesel presenta una larga variedad de ventajas, entre las más resaltantes esta; un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas, sobre todo la emisión de CO_2, no requiere mayores modificaciones para su uso en motores diesel comunes, por lo tanto es compatible con los motores diesel actualmente comercializados, es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables, entre otras.

5 Agradecimientos

Agradecemos al CDCHT-ULA por su valiosa colaboración en la investigación.

6 Referencias

Adewale P, Dumont MJ, Ngadi M, 2015, Recent trends of biodiesel

production from animal fat wastes and associated production techniques, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, pp. 574-588.

Aransiola EF, Ojum TV, Oyekola OO, Madzimbamuto T, Ikhu-Omoregbe DIO, 2014, A review of current technology for biodiesel production: State of the art. Biomass and bioenergy, 61, pp. 276-297.

Barro A, Gonçalves AL, Simõe M, Pires JC, 2015, Harvesting techniques applied to microalgae: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41,pp. 1489-1500.

Baskaran T, Christopher J, Sakthivel A, 2015, Progress on layered hydrotalcite (HT) materials as potential support and catalytic materials, RSC Advances, 5(120), pp. 98853-98875.

Bhatta LKG, Subramanyam S, Chengala MD, Olivera S, Venkatesh K, 2015, Progress in hydrotalcite like compounds and metal-based oxides for CO_2 capture: a review, Journal of Cleaner Production, 103, pp. 171-196.

Cavani F, Trifirò F, Vaccari A, 1991, Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications, Catalysis today, 11(2), pp. 173-301.

Conterosito E, Gianotti V, Palin L, Boccaleri E, Viterbo D, Milanesio M, 2017, Facile preparation methods of hydrotalcite layered materials and their structural characterization by combined techniques, Inorganica Chimica Acta.

Costarrosa Morales L, 2016, Sistemas catalíticos de carácter básico en procesos de interés industrial enmarcados en la química verde.http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13284 fecha de consulta: 30 Julio 2017.

Dixit M, Mishra M, Joshi PA, Shah DO, 2013, Physico-chemical and catalytic properties of Mg–Al hydrotalcite and Mg–Al mixed oxide supported copper catalysts, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19(2),pp. 458-468.

Gao Y, Zhang Z, Wu J, Yi X, Zheng A, Umar A, Wang Q, 2013, Comprehensive investigation of CO_2 adsorption on Mg–Al–CO_3 LDH-derived mixed metal oxides, Journal of Materials Chemistry A, 1(41), pp. 12782-12790.

Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G, 2015, Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, pp. 585-602.

Ghoreishi SM, Moein P, 2013, Biodiesel synthesis from waste vegetable oil via transesterification reaction in supercritical methanol, The Journal of Supercritical Fluids, pp. 76, 24-31.

Hincapié G, López D, Moreno A, 2017, Infrared analysis of methanol adsorption on mixed oxides derived from Mg/Al hydrotalcite catalysts for transesterification reactions, Catalysis Today.

Jenkins R, Snyder RL, Winefordner JK, 1996, Introduction to X-ray powder Diffractometry", John Wiley Sons, Inc., New York, USA.

Kiss AA, Bildea CS, 2012, A review of biodiesel production by integrated reactive separation technologies, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 87(7), pp. 861-879.

Lam MK, Lee KT, Mohamed AR, 2010, Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review, Biotechnology advances, 28(4), pp. 500-518.

Mansir N, Taufiq-Yap YH, Rashid U, Lokman IM, 2017, Investigation of heterogeneous solid acid catalyst performance on low grade feedstocks for biodiesel production: A review, Energy Conversion and Management, 141, pp. 171-182.

Mattos LV, Jacobs G, Davis BH, Noronha FB, 2012, Production of hydrogen from ethanol: review of reaction mechanism and catalyst deactivation, Chemical reviews, 112(7), pp. 4094-4123.

Mokhtar M, Inayat A, Ofili J, Schwieger W, 2010, Thermal decomposition, gas phase hydration and liquid phase reconstruction in the system Mg/Al hydrotalcite/mixed oxide: A comparative study. Applied Clay Science, 50(2), pp. 176-181.

Mush IA, 2016, The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process, Egyptian Journal of Petroleum, 25(1),pp. 21-31.

Rondón J, Meléndez H, Lugo C, Del Castillo H, Imbert F, 2016, Síntesis, caracterización y actividad catalítica de MoS_2/MCM-48 en la hidrodesulfuración de dibenzotiofeno, Avances en Química, 11(1).

Shekoohi K, Hosseini FS, Haghighi AH, Sahrayian A, 2017, Synthesis of some Mg/Co-Al type nanohydrotalcites and characterization, MethodsX, 4, pp. 86-94.

Sikander U, Sufian S, Salam MA, 2017, A review of hydrotalcite based catalysts for hydrogen production systems, International Journal of Hydrogen Energy, 42(31), pp. 19851-19868.

Tajuddin NA, Lee AF, Wilson K, 2016, Production of biodiesel via catalytic upgrading and refining of sustainable oleagineous feedstocks, Handbook of Biofuels Production, 121.

Talebian-Kiakalaieh A, Amin NAS, Mazaheri H, 2013, Areview on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil, Applied Energy, 104, pp. 683-710.

Valente JS, Rodriguez-Gattorno G, Valle-Orta M, Torres-Garcia, E, 2012, Thermal decomposition kinetics ofMgAl layered double hydroxides, Materials Chemistry and Physics, 133(2), pp. 621-629.

Wang L, Xiao FS, 2015, Nanoporous catalysts for biomass conversion, Green Chemistry, 17(1), 24-39.

Yang W, Kim Y, Liu PK, Sahimi M, Tsotsis T, 2002, A study by in situ techniques of the thermal evolution of the structure of a Mg–Al–CO_3 layered double hydroxide, Chemical Engineering Science, 57(15), pp. 2945-2953.

Zeng HY, Xu S, Liao MC, Zhang, ZQ, Zhao C, 2014, Activation of reconstructed Mg/Al hydrotalcites in the transesterification of microalgae oil. Applied Clay Science, 91, pp. 16-24.

Recibido: *13 de septiembre de 2016*

Aceptado: *24 de mayo de 2017*

Rondón C. Jairo: *Doctor en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2015, Universidad de Los Andes. Gerencia General de Producción, PDVSA-Gas, Anaco 6003, Venezuela.*

Rivas M. Cleodaris: *Magister Scientiae en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2013. Investigador Universidad de los Andes, Correo electrónico:kleodaris@gmail.com*

Meléndez Q. Hildemaro: *Magister Scientiae en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2014, Universidad de Los Andes. Gerencia General de Producción, PDVSA-Gas, Anaco 6003, Venezuela, Correo electrónico: melendezhj@pdvsa.com*

Lugo G. Claudio: *Magister Scientiae en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2009. Docente de la Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Cinética y Catálisis, Correo electrónico: claudiolugo@ula.ve*

Belandría R. Lynda: *Doctora en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2011. Investigador Universidad de los Andes, Correo electrónico:* **lyndabelandria@ula.ve**

Uzcátegui P. Alvaro: *Doctor en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2011. Investigador Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Cinética y Catálisis, Correo electrónico:* **alvaro@ula.ve**

Del Castillo Héctor: *Doctor en Química; Docente de la Universidad de los Andes, (Jubilado) Laboratorio de Cinética y Catálisis. Correo electrónico: delcasti@ula.ve*

Rodríguez S. Pedro: *Doctor en Química Aplicada, mención Estudio de Materiales, 2016. Docente de la Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Cinética y Catálisis, Correo electrónico: pedrojrs@gmail.com*

Gonzales-Cortes Sergio: *Doctor en Química. University of Oxford, Departament of Chemistry, Oxfort Catalysts Company, Correo electrónico: goncori@ula.ve*