



USO DE LAS HIDROTALCITAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

Ma. Guadalupe Jiménez Díaz de León
Instituto Politécnico Nacional – CECyT 8
mjimenezdiaz@ipn.mx

Raúl Zamora Hernández
Instituto Politécnico Nacional – CECyT 8
raulzhmx@gmail.com

Margarita Clarisaila Crisóstomo Reyes
Instituto Politécnico Nacional – CECyT 8
mcrisostomo@ipn.mx

Resumen

Las hidrotalcita, son una familia de minerales que pertenecen a la clase de hidróxidos y están compuestos principalmente por láminas de hidróxido de magnesio con intercalaciones de aniones y moléculas de agua. Estos minerales tienen una estructura similar a la de la brucita, pero con una parte de los iones de magnesio remplazados por iones de aluminio y otros metales trivalentes. Parte de sus aplicaciones, destaca su uso, como catalizadores, para la remoción de contaminantes y gracias a sus propiedades prometen ser materiales para su aplicación en tecnologías de almacenamiento de energía. Estos materiales son importantes catalizadores heterogéneos que son empleados para la producción de biodiésel debido a que presentan propiedades únicas para la transesterificación de grasas y aceites. En este trabajo se expone algunas de las hidrotalcitas empleadas para la producción de biodiésel.

Palabras clave: Hidrotalcitas, biodiésel, catalizador, transesterificación, catalizadores.

Los biocombustibles (bioetanol y biodiésel) son combustibles producidos a partir de biomasa. Alrededor de 70% del biodiésel se basa en aceites vegetales (14% de aceite de

colza, 23% de soya y 29% de palma) y en aceites usados de cocina (25%). Se prevé que para 2032, la producción global de etanol y biodiésel aumente a 150.9 mil millones de litros



y 66.9 mil millones de litros, respectivamente. A pesar del interés creciente en la sostenibilidad de la producción de biocombustibles en varios países, se anticipa que las materias primas convencionales continuarán siendo las más utilizadas (OCDE-FAO, 2023).

La síntesis de biodiésel requiere de altas conversiones para obtener un producto con bajo contenido de impurezas. Por lo general, los procesos industriales de producción de biodiésel emplean catalizadores básicos homogéneos, como el hidróxido de sodio o potasio, el de mayor difusión es el metóxido de sodio (Benedicto *et al.*, 2016).

La búsqueda de alternativas sustentables y eficientes para la producción de biodiésel ha llevado a la exploración de nuevos materiales catalíticos. Entre ellos, las hidrotalcitas (HTs), han ganado atención debido a sus propiedades únicas que las hacen adecuadas para la transesterificación de aceites en biodiésel mejorando la eficiencia del proceso y reduciendo el impacto ambiental. Las HTs, también conocidas como hidroxicarbonatos de magnesio y aluminio, son minerales aniónicos de la familia de las arcillas. Su estructura consta de láminas tipo brucita con cationes divalentes y trivalentes, ver Figura 1. Se consideran catalizadores heterogéneos eficientes. Ofrecen ventajas como la reducción de los costos de procesamiento adicionales asociados con la catálisis homogénea, la minimización de la generación de contaminantes, la facilidad de recuperación y reutilización, y la tolerancia a altos contenidos de ácidos grasos libres y humedad. Además, son capaces de soportar condiciones duras, como altas temperaturas y presiones, y se pueden modificar para obtener alta actividad, selectividad y larga vida útil del catalizador (Thangaraj *et al.*, 2018).

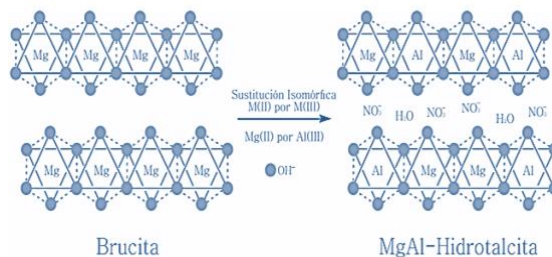


Figura 1. Representación de la estructura de la Brucita y formación de una hidrotalcita. (Espinosa, 2016).

Poseen propiedades que las hacen verse versátiles para procesos catalíticos. Es por ello por lo que se han investigado extensamente como catalizadores en la producción de biodiésel debido a su eficiencia y sostenibilidad. La transesterificación es un proceso clave para la obtención del biodiésel e involucra la reacción de aceite vegetal (triglicéridos) con un alcohol primario en presencia de un catalizador para producir el biodiésel (ésteres alquílicos de ácidos grasos), generando glicerol como subproducto. Este proceso consta de varias etapas reversibles donde los triglicéridos se convierten en diglicéridos, monoglicéridos y finalmente en glicerol, produciendo una molécula de éster metílico en cada paso (Thangaraj *et al.*, 2018).

Clasificación

Las HTs son útiles debido a su bajo costo, estructura bidimensional, gran área superficial, carga positiva en la superficie, capacidad de intercambio de aniones, estructura interior ajustable y resistencia al calor. Sobresalen en la adsorción debido a su alta porosidad, numerosos aniones intercambiables y resistencia al agua. Son efectivos en la eliminación de oxianiones y aniones



monoatómicos de soluciones acuosas. Una característica destacada es su "efecto memoria", permitiendo su reconstrucción y reutilización tras la calcinación, lo que los hace reciclables y deseables como materiales adsorbentes. Las HTs tienen la capacidad de intercambiar sus aniones inorgánicos por otros aniones, incluyendo orgánicos. Esta versatilidad estructural les permite incorporar aniones orgánicos entre sus capas, lo que resulta en propiedades hidrofóbicas y una mayor afinidad hacia moléculas orgánicas (Espinosa, 2016). Se clasifican en cuatro grupos:

- Con aniones inorgánicos intercalados: son de naturaleza hidrofílica y permiten el acceso a moléculas polares interlaminares.
- Calcinadas: son tratadas térmicamente, removiendo los aniones inorgánicos y las moléculas de agua lo que le permite volver a captar aniones y agua entre los espacios laminares.
- Modificadas orgánicamente: se reemplaza los aniones inorgánicos por aniones orgánicos. Son de naturaleza hidrofóbica y muestran afinidad por las moléculas orgánicas.
- Con compuestos de carbono: se intercalan en los espacios interlaminares compuestos de carbono, biomoléculas y polímeros.

Tipos de hidrotalcitas empleadas en la producción de biodiésel

Existen varios tipos de HTs utilizadas para la producción de biodiésel, diferenciándose principalmente por sus composiciones catiónicas. Las combinaciones comunes incluyen hidrotalcitas de magnesio-aluminio (Mg-Al) (Silva *et al.*, 2010) y zinc-aluminio (Zn-Al) (Shrivastava *et al.*, 2023). Cada tipo exhibe propiedades catalíticas únicas como

actividad, selectividad y estabilidad, lo que los hace adecuados para procesos de transesterificación específicos en la producción de biodiésel. Estas variaciones atienden a diferentes requisitos del proceso de producción de biodiésel, optimizando la eficiencia y el rendimiento.

Un estudio destacado en este campo se centra en las HTs mixtas de óxido, como las S-CaMgAl MO, que se preparan a partir de desechos de escoria de acero (Fattah *et al.*, 2020). Estos materiales, cuando se calentan a diferentes temperaturas, muestran variaciones en su basicidad y, por lo tanto, en su rendimiento catalítico. Por ejemplo, la basicidad y la conversión de glicerol de estas HTs aumentan con la temperatura de calcinación, aunque se observa una disminución en el rendimiento de carbonato de glicerol a temperaturas más altas. Los estudios sugieren que 600 °C es la temperatura óptima para la síntesis de estos catalizadores, resultando en el mejor rendimiento catalítico. Estos catalizadores son útiles en la transesterificación de glicerol y carbonato de dimetilo, una reacción clave en la producción de biodiésel. Además, se han realizado análisis detallados para caracterizar estos catalizadores, incluyendo difracción de rayos X, espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier, y microscopía electrónica de barrido, entre otros (Liu *et al.*, 2020).

La versatilidad de estos materiales para ser modificados en su composición con cationes divalentes y trivalentes, abren un amplio campo en la investigación para realizar pruebas de eficiencia con diferentes composiciones. Por ejemplo, en estudios con HTs modificadas tipo Ni-Al, se encontró que la actividad del



catalizador para la transesterificación de tributirina (Tajuddin, 2022).

Conclusiones

Las hidrotalcitas han resultado ser de notable interés como materiales catalíticos innovadores y alternativos para la producción de biodiésel gracias a su bajo costo, su versatilidad para ser modificadas, eficiencia y reducción del impacto ambiental. Están compuestos principalmente de hidroxicarbonatos de magnesio y aluminio, se destacan por sus propiedades únicas que favorecen la transesterificación de aceites.

La estructura de estos minerales incluye cationes divalentes y trivalentes, que pueden ser modificados y convertirlos en potenciales catalizadores heterogéneos muy eficientes para su uso industrial. Entre las ventajas más destacadas se tiene: reducción de costos de procesamiento, minimización de contaminantes, facilidad de recuperación y reutilización, y tolerancia a altos contenidos de ácidos grasos libres y humedad. Además, soportan condiciones extremas como altas temperaturas y presiones, y pueden ser modificadas para mejorar su actividad, selectividad y vida útil.

Se clasifican en cuatro grupos principalmente: las que contienen aniones inorgánicos, las calcinadas, las modificadas orgánicamente, y aquellas que incluyen compuestos de carbono. Cada tipo ofrece propiedades distintas que son útiles para diferentes aplicaciones, incluyendo la producción de biodiésel.

Los estudios destacados en este campo han examinado varios tipos de hidrotalcitas, incluyendo las de magnesio-aluminio y zinc-

aluminio, cada una con propiedades catalíticas únicas. Investigaciones recientes han explorado las hidrotalcitas mixtas de óxido, preparadas a partir de desechos de escoria de acero, las cuales muestran variaciones en su rendimiento catalítico dependiendo de la temperatura de calcinación.

Estos materiales representan una alternativa prometedora en la producción de biodiésel debido a su capacidad para ser modificadas y adaptadas a diferentes procesos catalíticos. Su versatilidad, combinada con su alta actividad catalítica, buena estabilidad, condiciones de reacción suaves y bajo costo de producción, las convierte en candidatos ideales para su uso industrial. La continua investigación y desarrollo en este campo puede abrir nuevas vías para procesos de producción de biodiésel más eficientes y sustentables.

9. Referencias

- Benedicto, G. P., Basaldella, E. I., & Sotelo, R. M. (2016). Síntesis de biodiesel empleando catalizadores heterogéneos derivados de estructuras del tipo hidrotalcitas Mg-Al. *Actas del III Congreso Argentino de Ingeniería: CADI 2016*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129154>
- Espinoza D., S. (2016). Evaluación del hidróxido de doble capa (CaAl-LDH-NO₃) para la adsorción de sulfatos presentes en residuos de construcción y demolición (RCD). [Tesis Máster en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo Agroforestal]. Universidad de Valladolid.
https://www.researchgate.net/publication/311365635_Evaluacion_del_hidroxido_de_doble_capa_CaAl-LDH-NO3_para_la_adsorcion_de_sulfatos_presentes_en_residuos_de_construccion_y_demolicion_RCD/citation/download



- Fattah, I. R., Ong, H. C., Mahlia, T., Mofijur, M., Silitonga, A., Rahman, S., & Ahmad, A. (2020). State of the art of catalysts for biodiesel production. *Frontiers in Energy Research*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00101>
- Liu, G., Yang, J., & Xu, X. (2020). Synthesis of hydrotalcite-type mixed oxide catalysts from waste steel slag for transesterification of glycerol and dimethyl carbonate. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67357-z>
- OCDE-FAO. (2023). *Biocombustibles. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas*. <https://www.fao.org/3/CC6361ES/Biocombustibles.pdf>
- Shrivastava, S., Prajapati, P., Virendra, Srivastava, P., Lodhi, A. P. S., Kumar, D., Sharma, V., Srivastava, S., & Agarwal, D. D. (2023). Chemical transesterification of soybean oil as a feedstock for stable biodiesel and biolubricant production by using Zn Al hydrotalcites as a catalyst and perform tribological assessment. *Industrial Crops and Products*, 192, 116002. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116002>
- Silva, C. C. C., Ribeiro, N. F., Souza, M. M., & Aranda, D. A. G. (2010). Biodiesel production from soybean oil and methanol using hydrotalcites as catalyst. *Fuel Processing Technology*, 91(2), 205-210. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.09.019>
- Tajuddin, N.A.; Manayil, J.C.; Lee, A.F.; Wilson, K. (2022). Alkali-Free Hydrothermally Reconstructed NiAl Layered Double Hydroxides for Catalytic Transesterification. *Catalysts*

2022,12,
<https://doi.org/10.3390/catal12030286>

286.