

Evaluación fisicoquímica del aceite obtenido de la borra de café (*Coffea arabica*) empleando diferentes métodos de extracción para su potencial uso en la producción de biodiesel

Physicochemical evaluation of the oil obtained from the coffee bean (*Coffea arabica*) using different extraction methods for its potential use in the production of biodiesel

Miguel Oscar Gomez Castañeda^a, Leidy Marcela Núñez Sanchez^b, Javier Valenzuela Bravo^c, y Marcela Duarte Muñoz^{†d}, Dally E. Gáfar^e.

Resumen: El biodiesel es un combustible renovable, biodegradable y no tóxico, compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales. A nivel mundial ha surgido la necesidad de buscar nuevas alternativas de producción a partir de residuos agroindustriales tales como la borra de café. El objetivo de este trabajo es fue buscar un método de extracción del aceite de la borra de café para su posterior uso en la producción de biodiesel. La extracción se realizó mediante los métodos de arrastre de vapor, Soxhlet y agitación con solvente; empleando diferentes solventes como agua, hexano, éter y metanol, obteniendo los mejores resultados por el método Soxhlet con hexano. Se hizo una caracterización fisicoquímica del aceite obtenido. Concluyendo que el aceite obtenido a partir de la borra de café presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas para ser empleado en la producción de biodiesel según las normas técnicas colombianas, debido a que su baja humedad, índice de acidez, de yodo y saponificación le otorgan estabilidad, frente a reacciones indeseadas como la formación de jabones o gomas, disminuyendo procesos de oxidación, polimerización o hidrólisis.

Palabras claves: Biodiesel, biodegradable, renovable, aceite, borra de café.

Abstract: Biodiesel is a renewable, biodegradable, and non-toxic fuel, comprised of monoalkyl esters of long-chain fatty acids derived from vegetable oils or animal fats. Worldwide, the need has arisen to search for new production alternatives from agro-industrial residues such as coffee grounds. The purpose of this research was to find a method for oil extraction from spent coffee grounds for its subsequent use in the production of biodiesel. The oil extraction process was carried out through steam stripping, Soxhlet, and mechanical agitation methods; using different solvents such as water, hexane, ether, and methanol, the best result was observed with the Soxhlet method using hexane as a solvent. Physicochemical characterization of the oil obtained was made. It was concluded that the oil obtained from spent coffee grounds presents adequate physicochemical properties to be used in the biodiesel production according to Colombian technical standards, because its low humidity, acidity, iodine, and saponification index give it stability against undesired reactions such as the formation of soaps or gums as well as reducing oxidation, polymerization or hydrolysis processes.

Key words: Biodiesel, biodegradable, renewable, oil, Coffee grounds.

Recibido 22 de noviembre de 2022
Aceptado 30 de mayo de 2023
www.unipaz.edu.co

a. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.

b. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.

c. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.

d. Docente Escuela de Ingeniería Agroindustrial

e. Docente Escuela de Ingeniería Agroindustrial

† marcela.duarte@unipaz.edu.co

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda de petróleo ha aumentado de manera significativa debido a aspectos como el desarrollo económico y la industrialización, lo anterior ha significado un aumento en la demanda energética de combustibles fósiles provenientes de recursos como el petróleo, carbón y gas. La generación de energía y el uso de la misma, ha enmarcado el desarrollo de las civilizaciones a nivel mundial; la industrialización, se ha consolidado gracias a los combustibles fósiles y en especial al petróleo, por tener una alta densidad energética, ser fácilmente extraíble, manejable y transportable. Sin embargo, la incertidumbre por aspectos como el medio ambiente y una posible extinción de los mismos, ha incentivado el interés por la búsqueda de fuentes alternativas que permitan mitigar los aspectos mencionados anteriormente (MEN, 2019). El desarrollo y producción de energías renovables se presenta como una solución prometedora, no solo para encontrar un sustituto del petróleo, sino también para contrarrestar el cambio climático a nivel mundial. En esta línea, los biocombustibles representan uno de los tipos de energía renovable de mayor posicionamiento en los últimos años, representando un sector importante en la economía de diversos países, gracias a su contribución en aspectos como la independencia y seguridad energética (reducción de importaciones de combustibles derivados del petróleo); el fortalecimiento del desarrollo rural y la consolidación de un nuevo sector de la economía que permite la creación de nuevos puestos de trabajo y disminuye los índices de desempleo tanto en el campo como en las ciudades y sin duda alguna su aporte en el cuidado y preservación del medio ambiente al reducir los niveles de contaminación atmosférica (ONU, 2019).

En Colombia, el desarrollo de los biocombustibles especialmente el del biodiesel; se ha fomentado a nivel gubernamental con la entrada en vigencia de la ley 939, de diciembre de 2004 que regula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal (MEN, 2019), así mismo a lo largo del tiempo se ha incursionado en la producción

de biodiesel de primera, segunda y tercera generación, estas últimas con el propósito de identificar fuentes de producción no alimentarias, que permitan continuar incentivando el desarrollo del sector sin afectar la seguridad alimentaria del país, mediante acciones orientadas a impulsar el desarrollo y fortalecimiento del sector; tales como la estandarización del porcentaje de las mezclas de biocombustibles con combustibles fósiles; el fortalecimiento de los programas de investigación y desarrollo enfocado en la generación de biocombustible de segunda generación, así como el establecimiento de incentivos para implementar su producción en el país (Lombana, 2015).

Sin embargo, aun cuando se han implementado medidas de protección para el desarrollo del sector, los impactos de los biocombustibles sobre los precios de los alimentos, el crecimiento económico, la seguridad energética, la deforestación, el uso de la tierra y el cambio climático, dependen en gran medida del tipo de materia prima que se emplee, el método o tecnología usada en la producción, la ubicación del país y de la gestión del sector en pro de disminuir dichos impactos; en otras palabras, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (ONU, 2019) considera que el efecto neto de la bioenergía sobre los precios altos de los alimentos y la seguridad alimentaria, varía en cada país, es decir, siempre existirá un porcentaje de la población que se beneficiará con el aumento de los precios de los alimentos porque sus ingresos aumentarán y otro que podrá percibir el aumento de los precios como una amenaza para su seguridad alimentaria.

Por lo anterior, queda claro que la evolución de los biocombustibles está determinada por la investigación y el desarrollo de procesos tecnológicos de transformación e identificación de materias primas alternativas, que permitan aumentar la producción de biodiésel de segunda generación y de esta manera dar aprovechamiento a residuos generados durante procesos agroindustriales y mitigar el riesgo de seguridad alimentaria.

La presente investigación planteó evaluar el potencial de la borra de café (*Coffea arabica*), como fuente alternativa para la producción de biodiesel, mediante la extracción de las grasas con solvente; lo cual contribuirá al sector de los biocombustibles a aumentar sus alternativas de producción con materias primas provenientes de residuos agroindustriales.

MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló en el laboratorio de investigación del centro de investigaciones Santa Lucía, perteneciente al Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), ubicado en la vereda el Zarzal, km 14 vía que conduce de Barrancabermeja a Bucaramanga y se implementó una metodología tipo descriptiva y cuantitativa.

OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se recolectó la borra obtenida como residuo del proceso de catación del laboratorio de calidad de café, de los Almacenes generales de depósito de café - Almacafé; ubicado en el parque industrial de Bucaramanga, durante los meses de septiembre y octubre; tiempo en el cual se obtuvo la cantidad de borra necesaria para el desarrollo de la extracción de aceite.

ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

El acondicionamiento de la materia prima se realizó utilizando un harnero construido en madera de 0.60 cm x 1 metro con malla tipo mosquitero en fibra de vidrio, el cual se extendió formando una capa de 10 mm y un peso de 3 kilos de borra húmeda; exponiéndola a secado natural (exposición al sol) durante un tiempo de 8 horas aproximadamente. Con dicha actividad se busca secar la muestra con el fin de evitar la producción de hongos a causa de la humedad.

SECADO DE LA MATERIA PRIMA

Una vez acondicionada la materia prima, se realizó el proceso de secado en horno de secado Memmert a temperatura de 105 °C, con el fin de eliminar la humedad

presente en la misma; para dicho proceso se tuvieron en cuenta las siguientes variables reportadas en la tabla 1.

Tabla 1. Variables de secado.

Variable	Tiempo	Temperatura
M1	24 horas	105 °C
M2	48 horas	105 °C

EXTRACCIÓN DE ACEITE

La extracción de aceite a partir de la borra de café, se realizó mediante los métodos de arrastre de vapor, soxhlet y agitación con solvente; empleando diferentes solventes.

Método de arrastre de vapor. La extracción de aceite por método de arrastre de vapor, consistió en hacer pasar vapor de agua por una capa de borra de café, el cual se mezcla con las sustancias insolubles en agua, produciendo su separación y posterior arrastre hasta un recipiente recolector; el proceso de extracción de aceite por método de arrastre de vapor (Tabio, 2017).

Método Soxhlet. La extracción de aceite por método soxhlet, consistió en extraer el aceite de la borra de café, mediante un tratamiento con solvente para este caso hexano, éter de petróleo y metanol (Nuñez, 2007).

Método de agitación con solventes. La extracción de aceite por método de agitación con solvente, consistió en colocar la muestra en contacto con los solventes de estudio (metanol, hexano y éter de petróleo) en un recipiente, que se encontraba sumergido en un baño termostático con agitación constante (Tabio, 2017).

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE DE CAFÉ

El análisis fisicoquímico del aceite de café (*Coffea arabica*) obtenido a partir de la borra de café, se realizó de acuerdo a los métodos y técnicas establecidas en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico del aceite de café obtenido a partir de la borra de café (*Coffea arabica*).

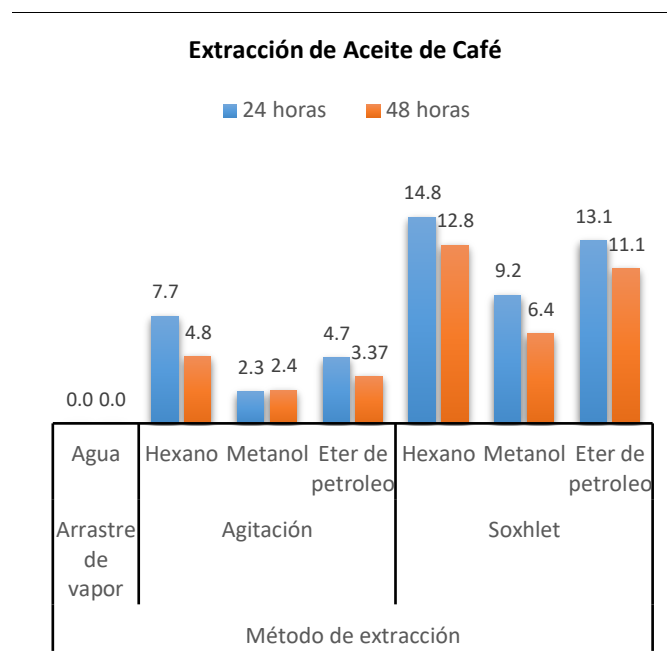
Prueba	Norma	Método
Fisicoquímica		
Humedad	NTC – 287	Gravimetría
Índice de acidez	NTC – 218	Titulación con etanol en caliente
Índice de saponificación	NTC – 335	Ebullición + Recirculación
Índice de refracción	NTC – 289	Refractómetro tradicional
Punto de fusión	NTC – 213	Tubos Capilares
Densidad	NTC – 336	Picnómetro Gay-Lussac
Índice de yodo	NTC – 283	Reactivo de Wijs

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de aceite a partir de la borra de café. El proceso de extracción de aceite se realizó por métodos de arrastre de vapor, Soxhlet y agitación con solventes; utilizando como agente de extracción hexano, metanol y éter de petróleo; con el objetivo de comparar el porcentaje de rendimiento por cada uno de los tres métodos.

Se utilizó borra de café secada al horno durante 24 y 48 horas a 105 ± 2 °C; lo cual permitió evaluar el efecto del tiempo de secado en el rendimiento del aceite extraído; en la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los procesos de extracción.

Gráfica 1. Rendimiento en porcentaje de la extracción de aceite a partir de la borra de café (*Coffea arabica*)



De acuerdo al contenido de grasa extraído de la borra de café, así como los valores reportados por autores como López (López, 1999) el contenido de grasa presente en la borra de café se encuentra en un rango entre el 10-15% (López, 1999), se puede observar que tanto con hexano, como con éter de petróleo fue posible realizar la extracción de grasas, observándose un leve aumento en la extracción de la borra de café secada a 24 horas, posiblemente asociado a que la exposición prolongada a temperatura de la materia prima, puede provocar oxidación de los lípidos generando nuevos compuestos, y degradación de los ácidos grasos (Arias, 2017).

De igual manera, se observa que, la técnica que permite una mayor extracción de grasas es el método soxhlet, esto debido a que, la muestra está en contacto repetidas veces con porciones frescas del disolvente en caliente, lo que favorece la solubilidad de los analitos, sin embargo, a diferencia de la agitación con solvente, puede generarse la descomposición térmica de los analitos termolábiles, debido a la temperatura de trabajo (Arias, 2017).

Por otro lado, se encontró que los solventes que presentan mayor rendimiento de extracción son el hexano y el éter de petróleo, asociada a la mayor capacidad de difusión de estos solventes en la materia oleaginosa. Teniendo en cuenta que la transferencia de masa se da por el contacto íntimo entre el solvente y el soluto mediante un proceso de solvatación, donde las moléculas del solvente rodean la materia oleaginosa permitiendo la disolución y arrastre del aceite a través de la interface entre el solvente y la borra de café, y que para los tres casos, se mantuvieron parámetros como temperatura y tiempo de extracción constantes, se evidencia que el hexano presenta mayor coeficiente de transferencia, o mayor capacidad de solubilizar el aceite.

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL ACEITE DE CAFÉ

Una vez determinadas las mejores condiciones de extracción del aceite, tiempo de secado de 24 horas, método soxhlet y hexano como solvente, se continuó la extracción del aceite bajo estas condiciones hasta obtener una cantidad que permitiera evaluarlo fisicoquímicamente.

El aceite obtenido de la borra de café, se caracterizó teniendo en cuenta la metodología planteada en las normas técnicas colombianas para cada parámetro fisicoquímico, Los datos obtenidos se compararon con los del aceite de palma, debido a que, es el aceite empleado como principal fuente para la producción de biodiesel en Colombia y, con el biodiésel comercial B100, con objeto de estudiar la similitud del aceite objeto de estudio con el aceite de palma y determinar la viabilidad de su uso en la producción de biodiésel. En la tabla 3 se pueden observar los resultados de la caracterización del aceite extraído de la borra de café.

Tabla 3. Caracterización del aceite extraído.

PROPIEDAD	DATO
Humedad	0,055%
Densidad a 25 °C	0,919 g/cm ³
Índice de acidez	0,4 mg KOH/g aceite
Índice de refracción	1,465
Índice de saponificación	de 1,052 mg KOH/g aceite
Índice de yodo	7,614 g yodo/g aceite
Punto de fusión	5 °C

El aceite obtenido a partir de la borra de café tiene una humedad similar al biodiésel y significativamente inferior al aceite de palma, disminuyéndose así, la posibilidad de formar jabones o gomas en la producción de biodiésel, al reaccionar con catalizadores básicos como el hidróxido de sodio o potasio. De igual manera, este contenido de humedad es favorable para su almacenamiento, ya que se disminuye la proliferación de hongos y bacterias, y los procesos de oxidación y degradación que afectan la calidad del aceite y del biodiésel que se pueda obtener del mismo, así como reacciones indeseadas de saponificación que pueden retardar las reacciones de transesterificación (Bravo, 2016).

Se observa que la densidad del aceite obtenido de la borra de café, es superior al del aceite de palma (0,899 g/cm³) y el biodiésel comercial (0,9 g/cm³), lo cual podría afectar en la producción de biodiésel a partir de este aceite, debido a que la densidad influye en la eficiencia de atomización³. En adición, a medida que aumenta la densidad, más combustible es inyectado en el cilindro de inyección. Según los estándares ASTM D6751 y EN14214, la densidad debe estar entre 0,860 g/cm³- 0,900 g/cm³ para biodiésel estándar (Atabani, 2012).

Para el aceite objeto de estudio, el valor del índice de acidez es similar al del B100 (0,5 mg KOH/g aceite), alrededor de 0,5 mg KOH/g aceite, lo que se relaciona con una mayor estabilidad del mismo,

debido a que, el índice de acidez es una base para el nivel de degradación de los lípidos⁹. De igual manera, se resalta que al presentar una acidez inferior a los 5 mg KOH/g aceite, el aceite de la borra de café, disminuye la probabilidad de generar ataque químico a elementos metálicos (tanques de almacenamiento, motores), como corrosión, oxidación, decapado entre otros (González, 2010).

Con respecto al índice de refracción (1,465) el resultado obtenido no supera el límite establecido para dicho parámetro en la ISO 6320 (1,4), pero sí está un poco por encima de la norma para el aceite de palma (1,456), lo cual es indicativo de la calidad del aceite extraído (INCOTEC, 2002).

El índice de saponificación para el aceite de la borra de café (1,052 mg KOH/g aceite) es considerablemente inferior al del aceite de palma (190 mg KOH/g aceite), lo cual se puede asociar a la longitud de la cadena ácidos grasos que componen el aceite, los ácidos grasos de cadena larga consumen menos álcali exhibiendo valores pequeños de Índice de saponificación. De igual manera, se resalta, que un bajo índice de saponificación, es muestra de que el aceite no genera con facilidad la formación de gomas o jabones, lo cual concuerda con el índice de acidez obtenido para el aceite. Además, el valor de este índice se puede asociar a la apariencia de los aceites. El aceite de palma, a temperatura ambiente, presenta tres fases compuestas por diferentes ácidos grasos de apariencia gomosa, y se hace necesario un pretratamiento para el empleo del mismo, por su parte, el aceite obtenido de la borra de café, es líquido y fluido a temperatura ambiente (Bravo, 2016)

El aceite de la borra de café es más estable que el aceite de palma, y, por ende, en el proceso de transesterificación otorgará al biodiésel la misma característica, lo anterior debido a que, el índice de yodo elevado refleja mayor presencia de ácidos grasos no saturados, que pueden reaccionar con el ambiente, permitiendo procesos de polimerización o hidrólisis, desfavorables tanto para el aceite almacenado como para el biodiésel producido a

partir del mismo. En comparación el valor dado del aceite de café (7,614 g yodo/g aceite) con la normatividad colombiana vigente para el aceite de palma (58 g yodo/g aceite), B100 (120 g yodo/g aceite), teniendo en cuenta que el aceite extraído arrastra características de la matriz base (borra de café) (López, 1999).

El punto de fusión del aceite de café (5 °C), es menor al reportado para el aceite de palma (34 °C), lo que garantizará que no se lleve a cabo un proceso de cristalización a temperaturas mayores a 5 °C; lo cual facilitará su manejo en producción, almacenamiento y transporte (Rivas, 2017).

CONCLUSIONES

El pretratamiento de secado a 24 horas a 105 °C, así como el empleo de hexano como solvente favorecen la extracción del aceite de la borra de café. Con el método Soxhlet y con dichas condiciones de pretratamiento y solvente se obtuvieron mejores rendimientos (entre el 85 y 98%), mientras que el método de agitación permitió obtener rendimientos entre el 32% y 51%.

El aceite obtenido a partir de la borra de café presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas para ser empleado en la producción de biodiésel según las normas técnicas Colombianas, debido a que su baja humedad, índice de acidez, de yodo y saponificación le otorgan estabilidad, frente a reacciones indeseadas como la formación de jabones o gomas, disminuyendo procesos de oxidación, polimerización o hidrólisis. Además, el punto de fusión de aproximadamente 5 °C lo hace apto para ser empleado en cualquier ambiente en Colombia.

Con base al desarrollo del proyecto y de los resultados obtenidos, se recomienda realizar estudio económico que permita determinar el costo de extracción de aceite con método Soxthel utilizando hexano como agente extractor, con el fin de evaluar la relación costo

beneficio y desarrollar estudio que permita analizar el efecto del tamaño de las partículas y la tostión de la borra de café, en el rendimiento de extracción de aceite.

REFERENCIAS

REPÚBLICA DE COLOMBIA, Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Bogotá D.C.; [Consultado: 16 de octubre de 2019] Disponible en <http://www.minambiente.gov.co>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Bioenergía y seguridad alimentaria “BEFS”: El análisis del BEFS para el Perú. Yasmeen Khwaja. 2010, [consultado el 13 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i1713s/i1713s01.pdf>.

Lombana Coy, Jahir; Vega Jurado, Jaider; Britton Acevedo, Emyle y Herrera Velásquez, Silvia. (2015). Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro. Editorial Universidad del Norte, 23 ed. Barranquilla (Colombia). ISBN 978-958-741-648-0.

Tabio García Danger. (2017). Extracción de aceites de origen vegetal. (Tesis, Universidad tecnológica de la Habana). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication>

Núñez Carlos E. (2007). Extracciones con equipos Soxhelt. Disponible en: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-ExtraccinconequipoSoxhlet.pdf>

López Fontal, Elkin.; Castaño Castrillón, José. (1999). Extracción de aceite a partir de subproductos del café. *Cenicafé Revista ingeniería e investigación*. Vol. 50 (1): 66-77. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2801%29066-077.pdf>

Arias, Lorena; Gómez, Leidy J y Zapata, José E. (2017). Efecto de Temperatura-Tiempo Sobre los Lípidos Extraídos de Visceras de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*) Utilizando un Proceso de

Calentamiento-Congelación. *Inf. tecnol.* Vol. 28 (5). 131-141. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000500014>

Bravo Murillo, Daniel Alejandro y Montes Bernal, Manuel Fernando. (2016). Influencia de factores de almacenamiento en la estabilidad química de biodiésel de palma. (Tesis. Universidad libre, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería ambiental).

Atabani, A. E. et al. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. Vol. 16 (4). pp. 2070-2093. ISSN 1364-0321. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112000044>

González Valdés, Roberto P.; Rodríguez López, Yanara; García Taín, Yelene; Fernández, Lucía. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Universidad Agraria de La Habana, Fructuoso Rodríguez Pérez. La Habana (Cuba). Vol. 19 (1), pp. 1-6. ISSN 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93218954001.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (INCONTEC). (2002). Grasas y aceites animales y vegetales: Determinación del índice de refracción. NTC 289, Bogotá D.C.

Rivas, Cleodaris; Rondón, Jairo; Meléndez, Hildemaro; Lugo, Claudio; Belandría, Lynda; Uzcátegui, Álvaro; Del Castillo, Héctor; Rodríguez, Pedro; Gonzáles-Cortes, Sergio. (2017). Transesterificación de aceite de palma en biodiesel utilizando como catalizador un óxido mixto proveniente de hidrotalcita (Mg/Al). *Ciencia e Ingeniería*. Vol. 38 (3). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555085002>.