

## Aprovechamiento de cenizas de cáscara de *Musa x paradisiaca* L. variedad Valery como catalizador heterogéneo básico en la obtención de biodiesel.

Use of shell ash from *Musa paradisiaca* variety Valery as a basic heterogeneous catalyst in obtaining biodiesel

Rosa Souza<sup>1</sup>; Jorge Suarez<sup>1</sup>; Daniel Carrasco<sup>1</sup>; Ancelmo Castillo<sup>2</sup>

1 Facultad de Ingeniería química, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Av. Freyre N° 616, Iquitos, Perú.

2 Docente de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n - Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

\* Autor correspondiente: [rossy64souza@hotmail.com](mailto:rossy64souza@hotmail.com) (R. Souza)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2021.04.05](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.04.05)

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como fin usar las cenizas de cáscara de *Musa x paradisiaca* L (plátano) maduro de la variedad "valery" como catalizador heterogéneo básico en la reacción de transesterificación. La cáscara de plátano fueron secadas a temperatura de 80°C por 48 horas y luego calcinadas a 700°C por 4 horas. En las cenizas de cáscara de plátano calcinada (CCPC) se determinaron su contenido de potasio (K), por el método colorimétrico, calcio (Ca) por el método volumétrico y su fuerza básica empleando el método de Hammett. Debido a la humedad (0,42%) e índice de acidez (0,27%) del aceite vegetal usado se realizó una transesterificación alcalina directa para la obtención del biodiesel. El mayor rendimiento en biodiesel fue de 86,94 % con 2% con respecto al peso del catalizador (CCPC), relación molar metanol/aceite 6/1, tiempo de reacción, 60 minutos. Los resultados de Potasio 515 mg K/Kg y la fuerza básica  $9,8 < H_+ < 12,2$  mostró que el catalizador obtenido presenta potencial para ser usado en la reacción de transesterificación, el cual es atribuido por su alta alcalinidad debido a la gran cantidad de potasio (K) presente en su composición.

**Palabras clave:** Biodiesel; transesterificación; cáscara de plátano; catalizador.

### ABSTRAC

The purpose of the present investigation was to use the peel ash of mature *Musa x paradisiaca* L (plantain) of the variety "valery" as a basic heterogeneous catalyst in the transesterification reaction. The banana peel was dried at a temperature of 80 ° C for 48 hours and then calcined at 700 ° C for 4 hours. In the calcined banana peel ash (CCPC) their potassium (K) content was determined by the colorimetric method, calcium (Ca) by the volumetric method and its basic strength using the Hammett method. Due to the humidity (0.42%) and acidity index (0.27%) of the used vegetable oil, a direct alkaline transesterification was carried out to obtain biodiesel. The highest yield in biodiesel was 86.94% with 2% with respect to the weight of the catalyst (CCPC), methanol / oil molar ratio 6/1, reaction time, 60 minutes. The results of Potassium 515 mg K / Kg and the basic force  $9.8 < H_+ < 12.2$  showed that the catalyst obtained presents potential to be used in the transesterification reaction, which is attributed by its high alkalinity due to the large amount of potassium (K) present in its composition.

**Keywords:** Biodiesel; transesterification; banana peel; catalyst.

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, se considera que la utilización de la biomasa tiene el potencial para resolver muchos problemas ambientales y proporcionar una fuente de energía renovable y respetuosa con el medio ambiente. (Piker *et al.* 2016).

Los científicos realizan estudios orientados para hallar procesos fundamentados en la aplicación de materiales renovables, en el empleo de sustancias químicas menos tóxicas, búsqueda de nuevas exigencias de reacción, el reciclado de desechos, así como el desarrollo de la catálisis disminuyendo la demanda de energía y aumentando la selectividad de una reacción. (Costarrosa, 2016).

La catálisis es el proceso que consiste en aumentar la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia química llamada catalizador. Los catalizadores lo que hacen es reducir la energía de activación necesaria para que comience la reacción. La catálisis se clasifica en catálisis homogénea (el catalizador se une a las sustancias de la reacción) y heterogénea (las sustancias de la reacción son adsorbidas por el catalizador). Así mismo, (Costarrosa, 2016), manifiesta que la preparación de catalizadores sólidos constituye la parte más importante de todo proceso catalítico, ya que parte de sus características y efecto en el proceso principal dependen de los procedimientos experimentales de su elaboración. Los carbonos se constituyen como los sólidos más usados y estudiados como catalizadores de carácter básico.

Por su parte, (Kong et. al. 2015) indica que el carbón activado es un material que se caracteriza por ser carbonoso, microcristalino, debido a un proceso de carbonización y luego son activados con la finalidad de elevar su porosidad y desarrollar su superficie interna, dándole una alta capacidad adsorbente. Así mismo menciona que existen diversos métodos para la producción de carbonos activos usando la biomasa incluso residuos plásticos o cauchos. Estos materiales son sometidos a un proceso de pirolisis obteniendo un producto conocido como carbonizado, libre de compuesto volátiles, aunque también se puede encontrar en su composición nitrógeno, hidrogeno, oxígeno y azufre los cuales están presentes como grupos funcionales superficiales en el carbón y le otorgan diversas características, de tal manera que los carbonos activos pueden ser de carácter ácidos, básicos y más o menos hidrófobos. Por otra parte, manifiesta que los carbonos activos por presentar propiedades de inercia y estabilidad química, resistencia mecánica, elevada porosidad y alta superficie específica son usados como catalizadores heterogéneos,

La caracterización de catalizadores heterogéneos básicos se realiza por la identificación de minerales y cristalografía, por la composición química de elementos presentes, debido a la estabilidad térmica y la pérdida de masa, mediante la identificación de grupos funcionales, para obtener información sobre la morfología (textura, tamaño y forma de partícula), volumen de poro, diámetro medio de poro, por área específica, por basicidad a través del tipo de fuerza y cantidad de sitios básicos. (Correia, 2012).

Dentro de estas características del catalizador es importante la determinación de la basicidad o acidez el cual se puede realizar mediante el método de los indicadores coloreados (Hammett), mediante una técnica de espectroscopía (FT-IR) o bien por desorción a temperatura programada (TPD) de una molécula sonda.

Por su parte, (Carrillo, 2014) manifiesta que la fuerza básica ( $H_-$ ) de la superficie de un sólido es la habilidad de convertir un ácido adsorbido en su base conjugada, y por tanto la disposición de dar sus electrones a la molécula adsorbida. La actividad catalítica de catalizadores sólidos puede estar influenciada por su acidez o basicidad. Por lo que es importante saber el carácter ácido-básico de los compuestos. En la superficie de los compuestos se pueden encontrar centros de naturaleza básica (grupos hidroxilo  $OH^-$ , aniones  $O^{2-}$  y enlaces metal-oxígeno), así como centros de naturaleza ácida (centros ácidos de Lewis y de Brønsted).

Por otro lado, AlSharifi y Znad, (2019) indica que el biodiésel es un producto no tóxico, biodegradable y renovable derivado del proceso de alcoholisis de aceite vegetal o grasa animal utilizando catalizadores homogéneos o heterogéneos. Mohammed et al. (2018) sostiene que la producción de biodiesel mediante la catálisis convencional que usa catalizador básico homogéneo genera enormes aguas residuales y es propenso a problemas de purificación, lo que aumenta el costo de la producción, así mismo indica que los catalizadores derivados de diversas fuentes renovables han producido rendimiento significativo de ésteres metílicos de pureza mejorada, esto se debe a que estos catalizadores presentan ventajas que van desde bajo costo, recuperabilidad y reutilización, benignidad ambiental, estabilidad térmica y alta calidad de productos. Betiku et al. (2016), menciona que catalizadores sólidos a base de desechos de la biomasa han sido desarrollados y utilizado con éxito para las reacciones de transesterificación incluyendo catalizadores derivado de las cáscaras de plátano e indica que existen estudios que han demostrado que las muestras de cenizas calcinadas de la biomasa se pueden usar directamente como catalizadores sólidos heterogéneos, sin modificación química.

Por otra parte, la cáscara de plátano es un desecho y su eliminación se ha convertido en una preocupación importante ya que todos residuos biológicos liberan gases tóxicos cuando sufren descomposición y biodegradación produciendo la contaminación de nuestro medio ambiente. Majeed et al. (2015). Las cenizas de la cascara de plátano contienen óxidos de potasio y de sodio que cuando se disuelven en agua producen sus correspondientes hidróxidos. (Olabanjid et al., 2012). Según Zabeti et al., (2009) hidróxidos de metales alcalinos del grupo I tales como NaOH, KOH y metal del grupo II óxidos como CaO, BaO, SrO infieren alta actividad de transesterificación correspondiente a su alta basicidad.

Betiku et al. (2016), en su estudio obtuvo biodiesel usando ceniza de cáscara de plátano maduras (Musa "Gross Michel") calcinadas a  $700^{\circ}C$  con un contenido de 615,03 mg K/kg, como catalizador al 2,75% en peso, relación molar metanol/ aceite 3/1 y 69,02 minutos de tiempo de reacción, convirtieron el aceite de la semilla de Napoleon's plume (*Bauhinia monandra*) a éster metílico de ácidos grasos (FAME) con un rendi-

miento de 98,5%. y por su lado Gohain et al. (2017) obtuvo 100% en peso de rendimiento de metil ésteres de ácidos grasos (FAME) emplearon la cáscara de plátano maduro (*Musa balbisiana Colla*) calcinada a 700°C con 255,12 mg K/Kg como catalizador al 2% en peso, relación molar 6/1 y residuos de aceite de cocina, y tiempo de reacción 180 minutos.

Esta investigación tuvo como objetivo el aprovechamiento de las cenizas de (*Musa x paradisiaca L.*) maduro de la variedad Valery como catalizador heterogéneo básico en la obtención de biodiesel. Se ha cuantificado la cantidad de potasio por el método colorimétrico empleando un espectrofotómetro UV-VIS, calcio por el método volumétrico con EDTA, la fuerza básica y basicidad del catalizador por el método de Hammett. Se evaluó la actividad del catalizador obtenido en la reacción de transesterificación con aceite vegetal usado determinando el rendimiento en biodiesel.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Objeto de estudio

Para el desarrollo del presente estudio se empleó la cáscara de plátano maduro (*Musa x paradisiaca L.*) de la variedad Valery conocido como plátano “capirona” y el aceite vegetal usado (AVU) generado en el comedor universitario de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP), ubicado en la calle Nanay quinta cuadra, del Distrito de Iquitos, Provincia de Maynas, Departamento de Loreto.

### 2.2 Métodos y Técnicas

Preparación del catalizador a partir de la cáscara de plátano.

Las cáscaras de plátano (*Musa x paradisiaca L.*) de la variedad Valery conocido como plátano “capirona” en estado de madurez fueron colectados en el comedor universitario de la UNAP por 15 días, se acopiaron 2100 gramos. Las cáscaras fueron limpiadas, seleccionadas, cortadas en pequeños trozos y secadas durante 48 horas a 80 °C. Luego las cáscaras frías fueron molidas hasta polvo. El polvo obtenido fue tamizado para obtener una fina ceniza la cual se calcinó en un horno a 700 °C durante 4 horas, obteniéndose cenizas de cáscara de plátano calcinadas (CCPC) las cuales fueron almacenadas para su uso posterior. Betiku et al. (2016) y Gohain et al. (2017).

Determinación de concentración de potasio y calcio en las cenizas de la cáscara de plátano calcinadas (CCPC).

La determinación de la concentración de potasio se realizó por el método colorimétrico precipitándolo con cobaltinitrito de sodio y la de calcio por el método volumétrico con EDTA.

Determinación de fuerza básica y basicidad del catalizador obtenido a partir de la cáscara de plátano calcinadas (CCPC).

La fuerza básica (H-) y la basicidad del catalizador (CCPC), se estimaron por la prueba de Hammett. Se usaron los indicadores azules de bromotimol (pKBH=7,2), fenolftaleína (pKBH=9,8) y Índigo de Carmin (pKBH = 12,2). El procedimiento empleado consistió en mezclar 0,1 g del catalizador en un tubo de ensayo con 2ml de tolueno, que contenía 0,2 mg de indicador, y se agito fuertemente el cambio de color entre las formas ácidas y básicas del indicador permitió determinar en qué rango de basicidad se encuentra el material. A partir de los resultados obtenidos de la prueba de Hammett se realizaron pruebas cuantitativas valorando una suspensión del catalizador (0,05g) con 2 ml de tolueno y el indicador deseado (0,1 mg de indicador por 1 ml de tolueno), con ácido benzoico 0,01 M. Prihod'ko, et al (2002). Para el presente estudio se realizó solo con la fenolftaleína, ultimo indicador en el cual viró el catalizador.

### **Tratamiento del aceite vegetal usado (AVU).**

La colecta del aceite vegetal usado (AVU) se realizó en las dos primeras semanas del mes de enero del 2019. Se colectaron 9,2 L de aceite vegetal usado (AVU), generado por cerca de 150 raciones diarias. Con el propósito de obtener un aceite libre de impurezas y de agua, la fracción de aceite vegetal usado (AVU) se dejó decantar de un día para otro con el objeto que las partículas con mayor peso sedimenten al fondo del recipiente. Luego se filtró usando papel filtro para eliminar las partículas pequeñas y de bajo peso. El aceite vegetal usado (AVU) filtrado se colocó en un depósito y se guardó en un lugar oscuro para evitar las reacciones de fotooxidación.

### **Caracterización física y química del aceite vegetal usado (AVU).**

Las determinaciones se realizaron siguiendo procedimientos de las Normas Técnicas Peruanas (Indecopi 2010) y de Métodos Oficiales de alimentos (1994). El peso molecular del aceite vegetal usado (AVU) se estimó a partir del índice de saponificación e índice de acidez. Rossi et al. (2018).

### Procedimiento para la obtención de biodiesel.

Se realizó a nivel de laboratorio, mediante el proceso de transesterificación alcalina directa debido a que el porcentaje de ácidos grasos determinado en el (AVU) fue de 0,27%. Gohain et al. (2017). El aceite vegetal usado (50 g) se vertió en un balón de fondo redondo de tres bocas de 250 mililitros acoplado un sistema de reflujo, se calentó a 100 °C para eliminar los restos de humedad absorbida, luego se dejó enfriar hasta una temperatura de 60 °C. Se añadió metanol (16 g), la mezcla aceite /metanol, se mezcló por 5 minutos y enseguida se agregó la carga del catalizador CCPC (2% y 4% en peso) con respecto al aceite, con una velocidad de agitación de 600 rpm. Gohain et al (2017). La reacción se continuo durante 90 minutos manteniendo el valor de temperatura (60 °C). El sistema se colocó en baño maría sobre una plancha de calentamiento con agitador magnético. Al término de la reacción, se observa tres fases biodiesel (superior) glicerina (media) y catalizador (inferior), en seguida por medio de un embudo y papel filtro, se recuperó el catalizador utilizado durante la reacción. Calderón (2012). La mezcla biodiesel / glicerina se colocó en un pera de decantación durante 12 horas para que se asienten las dos fases formadas por biodiesel y el glicerol. Transcurrido el tiempo se separó el biodiesel y el glicerol obtenido. El biodiesel obtenido se llevó a calentamiento a 110 °C para ser secado, eliminando de esta manera las pequeñas cantidades de metanol que no reaccionaron, así como la humedad que puede haberse formado. El biodiesel seco, se pasó primero por una columna que contenía carbonato de sodio para absorber el metanol residual, enseguida el biodiesel se pasó por una segunda columna que contenía carbón activado para eliminar las impurezas que podían haberse quedado en él, así como el aceite que no reaccionan. Finalmente, el biodiesel purificado se almaceno en un frasco ámbar, para evitar que reaccione con la luz y absorba la humedad. Calderón (2012). Se realizó un ensayo de la reacción de transesterificación sin catalizador y con el catalizador CCPC con las siguientes condiciones de operación: Relación Molar metanol/aceite (6/1), tiempo de reacción (60 minutos) y carga de catalizador (2% y 4% en peso con respecto al peso del aceite). Betiku et al. (2016) y Gohain et al. (2017).

### Evaluación de la actividad del catalizador (CCPC)

La evaluación de la actividad del catalizador (CCPC) en la reacción de transesterificación se realizó determinando el rendimiento en biodiesel. La conversión a biodiesel se representa, como porcentaje de rendimiento (% Rendimiento), definida como la relación entre la masa de biodiesel obtenido y la masa del aceite empleado, multiplicado por 100. Betiku et al. (2016).

$$\% \text{ Rendimiento} = \text{gramos de biodiesel purificado} / \text{gramos (AVU)} \times 100 \quad (1)$$

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 1.** Concentración de potasio y calcio en las cenizas de la cascara de plátano calcinadas (CCPC).

Determinaciones	1	2	3	Promedio	DS
Potasio (K) mg K/kg	545,10	514,95	485,03	515,02	± 24,523
Calcio (ca) mg Ca/Kg	42,08	39,55	41,80	41,14	± 1,132

**Tabla 2.** Rango de basicidad por la prueba Hammet.

Muestra	Indicador		
	Azul de bromotimol pK <sub>BH</sub> =7,2	Fenolftaleína pK <sub>BH</sub> =9,8	Índigo de Carmín pK <sub>BH</sub> =12,2
Catalizador (CCPC)	√	√	x

**Tabla 3.** Características físicas y químicas del aceite vegetal usado.

Determinaciones	Promedio	DS
Humedad (%)	0,42	±0,030
Densidad (g/ml) a 15,6°C	0,92	±0,010
Viscosidad Cinemática (cSt) a 40 °C	35,10	±0,173
Índice de Acidez (mg de KOH/ g aceite)	0,53	±0,010
Grado de Acidez (% Ac.Oleico)	0,27	±0,017
Índice de Peróxido (mEq O <sub>2</sub> /Kg aceite)	10,88	±0,325
Índice de Saponificación (mg KOH/g aceite)	28,11	±1,270
Peso molecular (g/mol)	600,95	±2,274

**Tabla 4.** Resultados del rendimiento de biodiesel sin catalizador y usando el catalizador (CCPC)

Ensayo	RM	TR	CC%	T°C	Rendimiento (%)			Prom.	DS
	M/A	Minutos	CCPC		1	2	3		
1	6/1	60	0,0	60	0,0	0,0	0,0	0,0	±0,0
2	6/1	60	2,0	60	85,21	86,85	88,66	86,94	±1,409
3	6/1	60	4,0	60	85,92	87,59	86,23	86,58	±0,725

En la tabla 1, se observa el valor promedio de la concentración de potasio de 515,02 mg K/kg obtenido en el presente estudio, valor cercano a los 615,03 mg K/kg reportado por Betiku et al. (2016), en sus estudios en la cáscara de plátano maduro de Musa “Gross Michel”. Por su parte, Gohain et al. (2017), reportó en su investigación 255,12 mg K/kg con respecto a la cáscara de plátano de Musa balbiisiana Colla, valor por debajo de lo obtenido en el presente estudio.

Betiku et al. (2016) manifiesta que el potasio (K) presente en la cáscara de plátano de Musa “Gross Michel” se mostró como un potente catalizador para la producción de biodiesel y su actividad catalítica es atribuible al alto porcentaje de potasio presente. Por su parte Gohain et al. (2017), indica que altos porcentajes de potasio (K) presentes en la cascara de plátano infieren alta actividad de transesterificación debido a su alta alcalinidad. Lo que fortalece que las cenizas de la cáscara de plátano calcinadas (*Musa x paradisiaca L.*) de la variedad Valery tienen potencial para ser utilizadas como catalizador en la obtención de biodiesel.

En la tabla 2, se observa que los indicadores azules de bromotimol y fenolftaleína cambiaron a su color básico sobre el catalizador (CCPC), pero el indicador Índigo de carmín no presentó cambio a su base conjugada. Esto indica que la fuerza básica presentada por el catalizador (CCPC) es de 9,8 <math>H\_{-}</math>12,2 lo que lo confiere un carácter de base fuerte capaz de eliminar protones de metanol y formular especies activos de metoxi en la reacción de transesterificación. Gohain et al. (2017). Por su parte Becerra et al. (2010) menciona que los catalizadores sólidos básicos con una fortaleza básica de 7,2 <math>H\_{-}</math>9,3 y 9,3 <math>H\_{-}</math>15,0 y sin ningún tratamiento adicional influye de forma significativa en la actividad catalítica en la reacción de transesterificación ya que estos presentan excelente actividad en esta reacción.

El valor promedio de los ácidos grasos en el aceite vegetal usado (AVU) en el presente estudio fue de 0,27%, (tabla 3) valor muy por debajo a lo obtenido por Gohain et al. (2017) (0,98%). Este valor es recomendado para realizar una transesterificación alcalina directa, ya que, mayores a 1% pueden interferir en la obtención de biodiesel produciendo jabones.

Luego, la Tabla 4 muestra los resultados de ensayos de la reacción de transesterificación sin catalizador. Como es evidente, no se produce la reacción de transesterificación en las condiciones de estudio. Belén (2018) menciona e a que en la reacción de transesterificación no catalítica implica mayores presiones y temperaturas y para que la producción de biodiesel sea económico y viable se usan procesos catalíticos en condiciones de reacción relativamente suaves.

Asimismo, se observa en la tabla 4, la actividad catalítica del catalizador CCPC en la reacción de transesterificación obteniendo rendimientos en biodiesel de 86,94 % con 2% y 86,58% con 4% del catalizador con respecto al peso del aceite, relación molar alcohol/ aceite 6/1, tiempo de reacción 60 minutos. Según Gohain et

al (2017) podría ser debido a la alta cantidad de potasio presentes en el catalizador generando especies altamente reactivas para la reacción de transesterificación.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación, de acuerdo al rendimientos reportados de 86,94 % y 86,58% en biodiesel con 2% y 4% del peso del catalizador respectivamente, relación molar alcohol/ aceite 6/1, tiempo de reacción 60 minutos, encontró que las cenizas de la cáscara de plátano calcinadas de *Musa x paradisiaca L.*, debido a su alto contenido de potasio (K), responsable de su alta alcalinidad, fuerza básica ( $H_+$ ) y basicidad presenta un gran potencial para ser utilizadas como un catalizador heterogéneo básico en la reacción de transesterificación. La fuerza básica es uno de los parámetros más importantes que influyen en la reacción de transesterificación.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AlSharifi, M.; Znad, H. 2019. Development of a lithium based chicken bone (Li-Cb) composite as an efficient catalyst for biodiesel production. *Renew. Energy*. doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.052.
- Becerra, M.; Centeno, A.; Giraldo, S. 2010. Búsqueda de Catalizadores Sólidos Básicos para la Producción de Biodiesel. Universidad Industrial de Santander (UIS), Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT), Escuela de Ingeniería Química, Carrera 27 Calle 9, Bucaramanga-Colombia *Información Tecnológica* 21(4), 57-66. doi: 10.1612/inf.tecnol.4361it.09
- Belén, M. 2018. Estudio de catalizadores sólidos heterogéneos en la transesterificación de triglicéridos para obtener biodiesel de segunda generación. Tesis para optar el grado de Doctor. Facultad de ciencias Exactas Universidad Nacional de la Plata.
- Betiku, E.; Mistura, A.; Ojumu, T. 2016. Banana peels as a biobase catalyst for fatty acid methyl esters production using Napoleon's plume (*Bauhinia monandra*) seed oil: A process parameters optimization. *Energy* 103: 797-806. doi, org/10.1016/j.energy.2016.02.138
- Calderón, N. 2012. Estudio de catalizadores alcalinos para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal comestible residual. Tesis para obtener título de Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Mexico D.F
- Carrillo, E. 2014. Catalizadores heterogéneos basados en óxido de calcio para la síntesis de Biodiesel. Trabajo fin de master, Departamento de Química Aplicada. Universidad Pública de Navarra.
- Correia, L. M. 2012. Caracterização e aplicação de catalisadores heterogêneos obtidos a partir de fontes naturais à base de óxidos básicos para produção de biodiesel. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Costarrosa, L. 2016. Sistemas catalíticos de carácter básico en procesos de interés industrial enmarcados en la química verde. © Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2016. Campus de Rabanales. Ctra. Nacional IV, Km. 396 A. 14071 Córdoba  
[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)
- Gohain, M.; Devi, A; Deka, D. 2017. Musa balbisiana Colla peel as highly effective renewable heterogeneous base catalyst for biodiesel production. *Industrial Crops & Products*. 109:8-18. doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.006.
- Kong, J.; Yue, Q.; Zhao, P.; Gao, B.; Li, Q.; Wang Y.; Ngo, H.; Guo, W. 2015. Comparative study on microstructure and surface properties of keratinand lignocellulosic-based activated carbons, *Fuel Processing Technology*, 140: 67-75.
- Indecopi. 2010. Catalogo Especializado de Normas Técnicas Peruanas. Centro de Información y documentación. CS.67 Aceites y Grasas.
- Madrid, A. (1994). Métodos Oficiales de Análisis de Alimentos. Edición Ilustrada. Editor Mundi-Prensa Libros, S.A. Castello, 37. 28001 Madrid. 212 pp.
- Majeed, A.; Khaliq, K.; Sadiq, R. 2015. Investigation of waste banana peels and radish leaves for their biofuels potential. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 29(2), 239-245.

- Mohammed, N.; Kabbashi, N.; Alade, A.; Sulaiman, S. 2018. Advancement in the Utilization of Biomass-Derived Heterogeneous Catalysts in Biodiesel Production. *Green and Sustainable Chemistry*, 8: 74-91. doi.org/10.4236/gsc.2018.81006
- Olabanji, I.; Oluyemi, E.; Ajayi, O. 2012. Metal analyses of ash derived alkalis from banana and plantain peels (*Musa spp.*) in soap making. *Afr. J. Biotechnol* 11:16512–16518.
- Piker, A.; Tabah, B.; Perkas, N.; Gedanken, A. 2016. A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. *Journal Fuel* 182: 34–41
- Prihod'ko, R.; Sychev, M.; Kolomitsyn, I.; Stobbelaar, P.; Hensen, E.; Santen, R. 2002. Microporous and Mesoporous Mater. 56:241–255.
- Rossi, G.; Borges, I.; Perego, T.; Toledo, V.; Ferreira, L. 2018. Análise Técnica Da Producao Do Biodiesel A Partir Do Óleo De Fritura Residual. *The Journal of Engineering and exact Sciences* 4(1), 101-108. doi.org/10.18540/jcecv14isslpp0101-0108
- Zabeti, M.; Daud, W.; Aroua, M. 2009. Activity of solid catalysts for biodiesel production: a review. *Fuel Process. Technol* 90:770–777. DOI: 10.1016 / j.fuproc.2009.03.010