

Influencia del catalizador en las propiedades fisicoquímicas de metil ésteres obtenidos a partir de aceite de *Chrysobalanus icaco*

Influence of catalyst in the physicochemical properties of methyl esters obtained from *Chrysobalanus icaco* oil

Andres G. Rueda^{id}, Leidy A. Carreño^{id}, Olga C. Alarcón^{id}, Luisa F. Medina^{id}, Ana M. Salazar^{id}, Sandra M. Montesino^{id}

¹Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de investigación en Innovación, Desarrollo Tecnológico y Competitividad en Sistemas de Producción Agroindustrial (GIADAI), Barrancabermeja, Colombia.

Resumen

El icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) es una planta de máximo 6 metros de altura que crece de manera silvestre en regiones de clima tropical como el Distrito de Barrancabermeja; a pesar de su alto potencial agrícola, es aprovechado pocas veces de manera artesanal o medicinal, sin embargo, el aceite extraído de su semilla puede tener diferentes usos en la industria energética; tal es el caso de la presente investigación, en la cual mediante la reacción de transesterificación y la utilización de dos catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) se obtiene una mezcla de metil ésteres con potencial uso como biodiesel. Como producto de la reacción se obtuvieron rendimientos volumétricos entre el 61 - 90 %, siendo el hidróxido de sodio el catalizador que tuvo el mejor rendimiento para el aceite de icaco como material de partida. Finalmente, para la evaluación de la calidad de los metil ésteres obtenidos en la reacción se realizaron pruebas fisicoquímicas, arrojando valores de densidad entre 0.87 - 0.89 g/mL, índice de acidez entre 0.32 - 1.2 mg KOH/100 gramos, índice de peróxidos entre 1.68 - 2.05 meq O₂/Kg e índice de yodo entre 13.19 - 18.2 g I₂/100 gramos; valores que pueden brindar un uso potencial como biocombustible.

Abstract

The icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) is a plant with a maximum height of 6 meters that grows wild in regions with a tropical climate such as the District of Barrancabermeja; Despite its high agricultural potential, it is rarely used in craft or medicinal way, however, the oil extracted from its seed can have different uses in the energy industry; Such is the case of the present investigation, in which through the transesterification reaction and making the comparison with two homogeneous catalysts such as sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) a mixture of methyl esters with potential use is obtained. like biodiesel. As a product of the reaction, volumetric yields between 61-90% were obtained, with sodium hydroxide being the catalyst that had the best performance for icaco oil as starting material. Finally, for the evaluation of the quality of the methyl esters obtained in the reaction, physicochemical tests were carried out, giving values of density between 0.87 - 0.89 g/mL, acidity index between 0.32 - 1.2 mg KOH/100 gr, peroxide index between 1.68 - 2.05 meq O₂/Kg and iodine index between 13.19 - 18.2 g I₂/100 gr; results that could give a potencial use as biofuels.

Keywords:

Transesterification, Biofuels, Icaco, Homogeneous catalyst, Methyl esters.

Palabras clave:

Transesterificación, Biocombustibles, Icaco, Catalizadores homogéneos, Metil ésteres

Cómo citar:

Rueda, A.G., Carreño, L.A., Alarcón, O.C., Medina, L.F., Salazar, A.M., Montesino, S.M. Influencia del catalizador en las propiedades fisicoquímicas de metil ésteres obtenidos a partir de aceite de *Chrysobalanus icaco*. *Ingeniería y Competitividad*.2023,25(3) e-20912696. doi: <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i3.12696>

Recibido: 12-20-22

Aceptado 07-07-23

Correspondencia:

§andresg.rueda@unipaz.edu.co

Este trabajo está licenciado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual4.0.



Conflicto de intereses:
Ninguno declarado



¿Por qué se realizó el estudio?

La investigación Influencia del catalizador en las propiedades fisicoquímicas de metil ésteres obtenidos a partir de aceite de *Chrysobalanus icaco* se realizó por la necesidad buscar otras fuentes de biocombustibles en la que su producción se realice de manera sostenible, el icaco es un fruto silvestre poco atractivo para consumo por lo cual no se ha aprovechado en su totalidad, convirtiéndose en una nueva alternativa como potencial biocombustible.

¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

Mediante la reacción de transesterificación del aceite de icaco *Chrysobalanus icaco* y la utilización de dos catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), dio como resultado que el de mayor rendimiento fue con el catalizador hidróxido de sodio- NaOH, obteniéndose una mezcla de metil ésteres con potencial uso como biodiesel. Como producto de la reacción se obtuvieron rendimientos volumétricos entre el 61 - 90 %. Finalmente, para la evaluación de la calidad de los metil ésteres obtenidos en la reacción se realizaron pruebas fisicoquímicas, arrojando valores de densidad entre 0.87 - 0.89 g/mL, índice de acidez entre 0.32 - 1.2 mg KOH/100 gramos, índice de peróxidos entre 1.68 - 2.05 meq O₂/Kg e índice de yodo entre 13.19 - 18.2 g I₂/100 gramos; valores que se compararon con el biodiésel obtenido a partir del aceite de palma que es el que se produce actualmente en el país.

¿Qué aportan estos resultados?

Al observar los resultados en los parámetros fisicoquímicos, se observa una mejor calidad en el producto de transesterificación del aceite de icaco usando KOH como catalizador básico a pesar de tener el menor rendimiento, esto revela un potencial uso del aceite de icaco como biodiesel, un precursor que poco se ha estudiado en el campo de los biocombustibles y genera la necesidad de estudios posteriores en este fruto y el análisis de concentraciones de catalizador y relación molar con el fin de aumentar el rendimiento.

Graphical Abstract

Influencia del catalizador en las propiedades fisicoquímicas de metil ésteres obtenidos a partir de aceite de icaco (*Chrysobalanus icaco*)



Conclusión: Se observa una mejor calidad en el producto de transesterificación del aceite de icaco usando KOH como catalizador básico a pesar de tener el menor rendimiento, esto revela un potencial uso del aceite de icaco como biodiesel, un precursor que poco se ha estudiado en el campo de los biocombustibles.

Introducción

A partir de la problemática global causada por el cambio climático y buscando una mayor sostenibilidad del planeta a través de diferentes alianzas internacionales como el acuerdo de París, se propone reducir las emisiones de CO₂ para el año 2030 mediante el uso de nuevas fuentes de energía que sean limpias con el planeta; tal es el caso de los biocombustibles, los cuales aumentaron entre el 2000 y el 2017 de 16 a 143 billones de litros(1); uno de estos biocombustibles es el biodiesel, el cual es un compuesto líquido formado por una mezcla de metil ésteres que se obtiene a partir de ácidos grasos mediante la reacción de transesterificación. En la última década este biocombustible tuvo un crecimiento acumulado del 140%, alcanzando 50 millones de metros cúbicos para el año 2019 (2).

Debido a las múltiples aplicaciones y el gran interés que generan los extractos de fuentes vegetales, los aceites extraídos de diferentes materias primas como semillas oleaginosas, aceites extraídos de microorganismos como las microalgas, aceite de cocina usado, biomasa lignocelulósica y grasas animales han sido utilizados como fuentes de ácidos grasos para la producción de biocombustibles mediante la reacción de transesterificación (3), sin embargo, para la elección de la materia prima se debe tener en cuenta el costo de la obtención del aceite, ya que en el caso de semillas como la colza, el girasol, la soja y el aceite de palma, su aceite debe ser refinado con el fin de eliminar los ácidos grasos libres y poder ser utilizado en la producción de Biodiesel (4)

Otro aspecto a tener en cuenta en la elección de la materia prima es la seguridad alimentaria, ya que los aceites convencionales no solo tienen un uso energético sino también alimentario, y su producción debe competir con las necesidades alimentarias de la población (5), además de esto, la plantación de cultivos de este tipo es causante de efectos colaterales como la deforestación (6); por esta razón, es necesario el uso de nuevas fuentes de triglicéridos que sean usadas de manera sostenible para la producción de biocombustibles. En la búsqueda de reducir los costos de la materia prima y las problemáticas mencionadas anteriormente, la semilla de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) ha surgido como fuente de ácidos grasos para la reacción de transesterificación (7), teniendo la ventaja de ser una planta silvestre y que la semilla del fruto no es comestible y se toma como producto de desecho, sin embargo, se ha reportado la presencia de ácidos grasos insaturados como el esteárico, linoleico, oleico y palmítico (8), revelando suficiente cantidad de estos ácidos para ser transformados en metil ésteres. Además de esto se reporta un porcentaje de extracción de aceite de 51.90% a partir de la semilla de icaco, mostrando potencial uso para su conversión en biocombustible (7).

En el caso del corregimiento El Centro de Barrancabermeja, a pesar de que sus habitantes han tenido contacto con el fruto de icaco ya que conocen sus propiedades medicinales al ser consumido, desconocen otros beneficios económicos, nutricionales e industriales de esta planta mencionados en estudios anteriores (9) y el que se realiza en el presente estudio. Otra de las problemáticas en la disponibilidad del fruto es la disminución de la especie debido a acciones antrópicas como el aumento de los asentamientos de viviendas y la intervención de empresas de extracción de hidrocarburos en la región (10). Es por esta razón que, si se promueve el uso de el icaco como fuente de crecimiento económico en la región, se pueden encontrar nuevas alternativas en el uso de energías renovables a partir de material vegetal no comestible, además de potenciar el consumo del fruto para el beneficio de la salud.

En la reacción de transesterificación se hace reaccionar metanol con los triglicéridos presentes en los aceites; esta reacción necesita el uso de catalizadores con el fin de producir especies nucleofílicas que faciliten la unión al grupo carbonilo ($C=O$) del acilglicérido y el posterior rompimiento para formar los metil ésteres [\(11\)](#). En el estudio catalítico de esta reacción, se han propuesto tres tipos principales de catalizadores: Los catalizadores homogéneos, heterogéneos y enzimáticos.

En el caso de los catalizadores homogéneos, estos se caracterizan por estar en el mismo estado de los componentes de la transesterificación, formando una disolución en la reacción. En este grupo se encuentran los catalizadores básicos, principalmente hidróxidos de sodio ($NaOH$) o de potasio (KOH), los cuales forman alcóxidos con el alcohol para unirse al triglicérido; y los catalizadores ácidos, entre los que se encuentran el ácido sulfúrico (H_2SO_4), Nítrico (HNO_3) y Fosfórico (H_3PO_4), los cuales interactúan protonando el grupo carbonilo ($C=O$) del triglicérido para facilitar el rompimiento y posterior formación del metil éster [\(12\)](#). Al comparar la eficiencia de los dos tipos de catalizadores, se han observado mejores resultados con los catalizadores básicos, los cuales tienen un porcentaje de conversión del aceite de más del 98 %, reacciones más rápidas y menor probabilidad de producir reacciones secundarias [\(13\)](#); por otro lado, este porcentaje de conversión también depende del tipo de materia prima, ya que si el aceite tiene alta concentración de ácidos grasos libres, es necesario usar el catalizador ácido con el fin de evitar la formación de sales de esteres producidos en la reacción de saponificación, mientras que si el aceite tiene menos concentración de ácidos grasos libres, la reacción llevada a cabo con catalizadores básicos tienen mayor actividad de conversión del aceite [\(14\)](#).

En el estudio de la influencia de la concentración del catalizador, se realizó la reacción de transesterificación del aceite de girasol a presión atmosférica modificando condiciones como la relación alcohol : aceite, la concentración del catalizador básico ($NaOH$) y la temperatura; el estudio cinético de la reacción con concentraciones entre 0.06 % y 0.30 % en peso mostró mayor porcentaje de conversión a la concentración más alta (0.30 %), y para el caso de la relación alcohol : aceite 12:1 una conversión total del aceite a esta concentración [\(15\)](#).

Para evaluar la calidad del aceite y determinar su potencial uso como biodiesel se realizan pruebas de parámetros fisicoquímicos; entre estos parámetros se encuentra el índice de acidez, el cual mide la cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra, su importancia está en que un valor alto promueve la rancidez oxidativa disminuyendo su calidad [\(16\)](#); el índice de peróxidos mide la concentración de hidroperóxidos formados en la oxidación de los aceites durante su almacenamiento; un valor alto en este índice muestra una baja calidad en el aceite debido a la degradación de los hidroperóxidos para formar alcoholes, cetonas y aldehídos contaminantes del aceite [\(17\)](#); la medida de la densidad también evalúa la calidad del aceite; este valor es inversamente proporcional a la viscosidad y una diferencia alta en este valor comparado con aceites de referencia indica presencia de metales contaminantes o presencia de humedad, los cuales disminuyen la calidad del aceite [\(18\)](#); finalmente, la cantidad de insaturaciones en el aceite se calcula mediante el índice de yodo, la presencia de estas insaturaciones facilita la oxidación del aceite para formar los hidroperóxidos, por esta razón, un valor aceptado para el índice de yodo debe estar entre 50 – 55 gr I_2 /100 g muestra [\(19\)](#).

En el presente trabajo, se estudiará el efecto de los catalizadores en la reacción de transesterificación del aceite de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.); ya que es una materia prima novedosa reportando pocos estudios en su uso para la obtención de Biodiesel, sin embargo, con el fin de comparar parámetros como el rendimiento de la reacción y las propiedades fisicoquímicas con el uso de una fuente convencional de aceite, los resultados se compararon con el aceite de palma (*Elaeis guineensis* Jac.).

Metodología

Obtención de la materia prima

Para el caso del icaco, la semilla se recolectó en las inmediaciones de la ciénaga de paredes en el Distrito Especial de Barrancabermeja, Santander. Posteriormente se clasificó y se descartó el material sobre maduro, para luego pesar y secar al sol, seguidamente se extrajo la almendra y se trituró en molino manual para luego obtener el aceite por el método de extracción soxhlet. En el caso del aceite de palma, este se obtuvo del municipio de San Pablo, Bolívar, realizando un posterior tratamiento de desgomado y centrifugado para mejorar la calidad del aceite.

Obtención del aceite

El aceite de icaco se extrajo a partir de la semilla molida por el método soxhlet utilizando hexano como solvente de extracción; para el aceite de palma, se realizó un tratamiento con el fin de eliminar contaminantes de este, los cuales se mencionan a continuación:

Desgomado. Se colocaron 600 mL de aceite crudo de palma en un embudo de decantación y se adicionaron 100 ml de agua destilada a 60°C, separando el agua en exceso junto con las gomas por decantación, este proceso se realizó siete veces. Al persistir la presencia de gomas se procedió a calentar el aceite hasta 90 °C y seguidamente adicionar 3 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4).

Centrifugado. La separación de gomas y sólidos disueltos en el aceite se separaron por el método de centrifugación en un equipo Z 206 A.

Desodorización. Se adicionó el aceite a un vaso de precipitado y se dispuso en una plancha de calentamiento para aumentar su temperatura a 150 °C en agitación durante 30 minutos, esto con el fin de evaporar las impurezas, seguidamente se dejó reposar hasta 50 °C para conservar las propiedades del aceite, finalmente se realizó un filtrado al vacío.

Reacción de transesterificación

La reacción de transesterificación se llevó a cabo con hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) para los dos tipos de aceite de la siguiente manera:

Se utilizó una relación volumétrica (5:1) de aceite: metóxido (CH_3NaO o CH_3OK). Para la preparación del metóxido se utilizaron: 3,5 gramos de hidróxido (NaOH o KOH) por cada 200 mL de metanol (CH_3OH). En cada una de las transesterificaciones sus mezclas se realizaron en matraz y fueron llevadas a calentamiento con constante agitación por 2 horas a 55 °C, finalizado el tiempo se envasaron las mezclas en embudos de decantación para separación de fases (glicerina y biodiesel) por un periodo de 6 a 7 días (144 – 168 horas).

Caracterización de los metil ésteres

Con el fin de evaluar la calidad del producto obtenido en la reacción, se realizaron las siguientes pruebas fisicoquímicas:

Densidad aparente. Utilizando la metodología establecida en la NTC 336, se pesó el picnómetro vacío con el tapón esmerilado, seguidamente se llenó el picnómetro con el producto de la transesterificación y se colocó el tapón esmerilado, teniendo cuidado de no incluir burbujas de aire. Se sumergió el picnómetro por 2 horas en el baño de agua manteniendo una temperatura de 50 °C, al remover el picnómetro del baño de agua se limpió cuidadosamente hasta secar completamente. Por último, se pesó el picnómetro lleno con el tapón esmerilado. El proceso se realizó por triplicado para los productos obtenidos con NaOH y KOH, el resultado se obtuvo en g/mL (Ec. 1).

$$Densidad (\delta) = \frac{masa\ picnómetro\ lleno - masa\ picnómetro\ vacío}{Volumen\ del\ picnómetro} \quad (1)$$

Índice de acidez. De acuerdo con la metodología de la NTC 218, Se pesó en un matraz 7 gramos del producto obtenido, posteriormente, en un Erlenmeyer se calentaron 50 mL de etanol que contenía 0,5 mL del indicador de fenolftaleína hasta alcanzar una temperatura de 70 °C y se neutraliza el etanol con una solución de hidróxido de potasio (KOH) 0,1 N. Después se agregó etanol neutralizado a la porción de ensayo en el primer matraz y se mezcló. Se llevó el contenido a ebullición y se tituló con la solución de KOH, agitando el contenido del matraz vigorosamente durante la titulación. Se realizó el procedimiento para las muestras en estudio expresando el resultado en mg de KOH/ 100 g (Ec. 2).

$$I_A = \frac{P.M * V * N}{P} \quad (2)$$

Donde:

I_A = Índice de acidez

P.M = Peso molecular del KOH (56.1 g/mol)

V = Volumen utilizado de KOH para la titulación

N = Concentración Normal del KOH (0.1 N)

P = Peso de la muestra

Índice de peróxidos. El procedimiento se basó en la norma NTC 236. Se calentó el producto de la transesterificación en una plancha de calentamiento a 60 °C hasta lograr homogenización. Por otro lado, se pesó $5,00 \pm 0,05$ gramos de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL. Después se disolvió completamente la muestra adicionando 50 mL de solución ácido acético: cloroformo 3:2 V/V, seguido a esto se adicionaron 0.5 mL de KI saturado agitando por espacio de 1 minuto y se detuvo la reacción adicionando 30 mL de agua destilada, luego se adicionó 1 mL de la solución indicadora de almidón. Se tituló con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0.01 N hasta que el color negro de la muestra desapareció dando lugar al amarillo inicial realizando el mismo procedimiento con un blanco. El resultado se expresa en mmol O_2 /kg muestra (Ec. 3).

$$I_p = \frac{(S-B)*N*1000}{P} \quad (3)$$

Donde:

I_p = Índice de peróxidos

S = Volumen de tiosulfato gastado en la titulación (mL)

B = Volumen de tiosulfato gastado en el blanco (mL)

N = Concentración Normal de tiosulfato

P = Masa de muestra usada en el ensayo

Índice de yodo. Siguiendo los parámetros señalados por la AOAC 920.159, al matraz cónico de 500 mL se adicionaron 20 mL de tetracloruro de carbono (CCl_4), posteriormente, se adicionó con una pipeta 25 mL del reactivo de Wijs, se tapó el matraz y se mantuvo en un sitio oscuro por 1 hora, terminado el tiempo de reacción, se adicionaron 20 mL de yoduro de potasio (KI) y 100 mL de agua. Finalmente se tituló con una solución normalizada de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N hasta obtener una coloración amarilla, que indica la desaparición del yoduro producido. Se adicionaron unas gotas de la solución de almidón al 15 % P/V y se continuó la titulación hasta la desaparición del color azul después de una agitación vigorosa. El procedimiento se repitió para los productos obtenidos y el resultado se expresó en gramos de yodo/100 g de muestra (Ec. 4).

$$I_Y = \frac{(B-S)*N*meq I}{P} \quad (4)$$

Donde:

I_p = Índice de peróxidos

S = Volumen de tiosulfato gastado en la titulación (mL)

B = Volumen de tiosulfato gastado en el blanco (mL)

N = Concentración Normal de tiosulfato

P = Masa de muestra usada en el ensayo

meq I = miliequivalente de yodo (12,69)

Resultados y discusión

A partir del proceso de transesterificación, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1, comparando el rendimiento y los parámetros de densidad e índice de acidez entre el aceite de icaco y el aceite de palma.

Tabla 1. Rendimientos obtenidos en la reacción de transesterificación y esterificación del aceite de palma e icaco.

Fuente del producto		Icaco (<i>Chrysobalanus icaco</i> L.)	Palma (<i>Elaeis guineensis</i> Jac.)
Porcentaje de rendimiento (%)	KOH	50.8	90
	NaOH	90	85
Densidad (g/mL)	KOH	0.88	0.89
	NaOH	0.87	0.90
Índice de acidez (mg de KOH/ 100g)	KOH	0.32	1.1
	NaOH	0.40	1.2

Como se puede observar en la tabla, hay diferencias en los rendimientos de la reacción para ambos aceites, ya que, en el caso del icaco, su rendimiento fue mayor usando hidróxido de sodio como catalizador, mientras que, para el aceite de palma, la reacción con hidróxido de potasio reportó el mayor rendimiento. Este resultado puede ser debido a la presencia de ácidos grasos libres en el aceite al interactuar con los catalizadores, ya que el KOH es una base más fuerte que el NaOH (11). En estudios previos, se llevó a cabo la reacción de transesterificación con estos dos catalizadores a partir de grasa de pollo, mostrando un mayor rendimiento con el KOH (80-87 %) en comparación al NaOH (73-79 %) de manera similar que con el aceite de palma en el presente estudio, este resultado fue debido a que las capas de glicerina y metil ésteres después de la reacción no se separaron al usar el catalizador NaOH y se tuvo que adicionar agua destilada para separarlas (20). Al comparar los parámetros fisicoquímicos de densidad e índice de acidez, se observa que los valores de densidad están dentro del rango reportado para aceites en la norma ASTM 4052 (0.86 – 0.90 g/mL), además de ser muy cercanos tanto para los dos catalizadores como para los dos tipos de aceite, mostrando similitudes entre el aceite de icaco y el de palma, sin embargo, se observa un índice de acidez más bajo en el aceite de icaco, revelando una mejor calidad en este al comparar con el aceite de palma, además, en reportes previos realizados por Gorey et al., se reporta un índice de acidez para el aceite de palma de 0.451 mg KOH/100 g muestra (21), lo cual indica un valor menor para el caso del estudio realizado en la presente investigación.

Al comparar los catalizadores en la transesterificación del aceite de icaco, se puede deducir a partir de la tabla 1 que el menor índice de acidez se obtuvo al utilizar hidróxido de potasio como catalizador, y ya que, como se menciona en la introducción, un menor valor disminuye la rancidez oxidativa del aceite, este valor reportado para el hidróxido de potasio sería el de mejor calidad para los metil ésteres producidos a partir del aceite de icaco. Obtenidos estos valores para de la transesterificación del aceite de icaco con hidróxido de potasio como catalizador, se procede a realizar los análisis del índice de peróxidos e índice de yodo mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Determinación del índice de peróxido y yodo del producto de la transesterificación a partir del aceite de icaco.

Catalizador	Índice de peróxido (meq O ₂ /Kg)	Índice de yodo (g I ₂ /100 g muestra)
KOH	1.68	13.19
NaOH	2.05	18.2

Los resultados mostrados en la tabla 3 revelan una mejor calidad del producto obtenido con KOH como catalizador, ya que muestran los menores valores que evitan la degradación de los hidroperóxidos y la formación de subproductos indeseados, sin embargo, los valores del índice de yodo no se encuentran en el rango mostrado anteriormente (50 – 55 gramos I₂/100 gramos de muestra). En general, los parámetros fisicoquímicos de los productos obtenidos en la transesterificación muestran un potencial uso como biodiesel, obteniéndose mejor calidad con el KOH como catalizador básico a pesar de reportarse el menor porcentaje de rendimiento para este catalizador, sin embargo, se puede estudiar la cantidad de este catalizador en la reacción con el fin de mejorar su rendimiento en estudios posteriores.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en la reacción de transesterificación, se puede observar un mayor rendimiento al utilizar aceite de palma como precursor, sin embargo, aunque los resultados variaron en los dos tipos de aceite al comparar los catalizadores básicos, la mejor calidad de los metil ésteres se obtuvo con el aceite de icaco.

Al observar los resultados en los parámetros fisicoquímicos, se observa una mejor calidad en el producto de transesterificación del aceite de icaco usando KOH como catalizador básico a pesar de tener el menor rendimiento, esto revela un potencial uso del aceite de icaco como biodiesel, un precursor que poco se ha estudiado en el campo de los biocombustibles y la posibilidad de modificar las variables usadas en la reacción como aumentar la concentración del KOH en la reacción y la relación volumétrica aceite : metanol con el fin de mejorar el porcentaje de conversión del aceite en biodiesel.

Bibliografía

1. World Bioenergy Association. WBA GLOBAL BIOENERGY STATISTICS [Internet]. 2018. Available from: www.worldbioenergy.org
2. Torroba A. Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2020;

3. Nayab R, Imran M, Ramzan M, Tariq M, Taj MB, Akhtar MN, et al. Sustainable biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification of feedstock materials - A review. *Fuel*. 2022 Nov 15;328. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125254>
4. Santacesaria E, Vicente GM, Di Serio M, Tesser R. Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges. Vol. 195, *Catalysis Today*. 2012. p. 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2012.04.057>
5. Rasheed T, Anwar MT, Ahmad N, Sher F, Khan SUD, Ahmad A, et al. Valorisation and emerging perspective of biomass based waste-to-energy technologies and their socio-environmental impact: A review. *J Environ Manage*. 2021 Jun 1;287. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112257>
6. Srirangan K, Akawi L, Moo-Young M, Chou CP. Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources. *Appl Energy*. 2012;100:172-86. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.012>
7. Okonkwo CP, Ajiwe VIE, Obiadi MC, Okwu MO, Ayogu JI. Production of biodiesel from the novel non-edible seed of *Chrysobalanus icaco* using natural heterogeneous catalyst: Modeling and prediction using Artificial Neural Network. *J Clean Prod*. 2023 Jan 20;385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135631>
8. Medeiros De Aguiar T, Luo R, Mello AA, Hess Azevedo-Meleiro C, Ubirajara A, Sabaa-Srur O, et al. Chemical Characterization of *Cocoplum* (*Chrysobalanus icaco*, L) Seed Oil and Seeds. *Journal of Regulatory Science*. 2017;5(2):15-28. <https://doi.org/10.21423/JRS-V05N02P015>
9. David Jiménez-Escobar N, Estupiñán-González AC. RIQUEZA DE ESPECIES ARBÓREAS UTILIZADAS POR LAS COMUNIDADES CAMPESINAS DEL CARIBE COLOMBIANO. *Código Ltda*. 2012;12:653-76.
10. Acuña KG. Caracterización de *Chrysobalanus icaco* L. desde el componente etnobotánico, morfológico, fisicoquímico, organoléptico y agrologico del corregimiento El Centro-Barrancabermeja. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2018.
11. Meher LC, Vidya Sagar D, Naik SN. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. Vol. 10, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2006. p. 248-68. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
12. Pérez-Bravo SG, Aguilera-Vázquez L, Castañeda-Chávez MDR, Gallardo-Rivas NV. Condiciones del proceso de transesterificación en la producción de biodiésel y sus distintos mecanismos de reacción. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [Internet]. 2022 Sep 14;25. Available from: <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/481> <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.481>
13. Nisar S, Hanif MA, Rashid U, Hanif A, Akhtar MN, Ngamcharussrivichai C, et al. Trends in Widely Used Catalysts for Fatty Acid Methyl Esters (FAME) Production: A Review Academic Editors: José María. 2021; Available from: <https://doi.org/10.3390/catal11091085>
14. Vilas Bôas RN, Mendes MF. A Review Of Biodiesel Production From Non-Edible Raw Materials Using The Transesterification Process With A Focus On Influence Of

Feedstock Composition And Free Fatty Acids. Vol. 67, J. Chil. Chem. Soc. 2022. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072022000105433>

15. Reyero I, Arzamendi G, Zabala S, Gandía LM. Kinetics of the NaOH-catalyzed transesterification of sunflower oil with ethanol to produce biodiesel. Fuel Processing Technology. 2015 Jan 1;129:147-55. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.008>

16. Ferreira MJA, Mota MFS, Mariano RGB, Freitas SP. Evaluation of liquid-liquid extraction to reducing the acidity index of the tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) pulp oil. Sep Purif Technol. 2021 Feb 15;257. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117894>

17. Zhang N, Li Y, Wen S, Sun Y, Chen J, Gao Y, et al. Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review. Vol. 358, Food Chemistry. Elsevier Ltd; 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129834>

18. Hoang AT, Pham VV. Impact of Jatropha Oil on Engine Performance, Emission Characteristics, Deposit Formation, and Lubricating Oil Degradation. Combustion Science and Technology. 2019 Mar 4;191(3):504-19. <https://doi.org/10.1080/00102202.2018.1504292>

19. Ruswanto A, Ramelan AH, Praseptianga D, Partha IBB. The study of carotene content and iodine value of oil from different ripening levels and storage duration of palm fresh fruit bunches. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd; 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/709/1/012022>

20. Alptekin E, Canakci M. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. Fuel. 2011 Aug;90(8):2630-8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.042>

21. Gorey N, Ghosh S, Srivastava P, Kumar V. Characterization of Palm Oil as Biodiesel. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing; 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012220>