




# Use of biodiesel from used oils in the last ten years: A review of the scientific literature

Angela Magallanes Contreras, Br<sup>1</sup>, Ariana Barja Huaroc, Br<sup>2</sup>, and Magda Velásquez Marín, Mtr<sup>3</sup>  
1,2,3 Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, angelamagallanes117@gmail.com, arianaayleenbarjahuaroc@gmail.com, magda.velasquez@upn.edu.pe

**Abstract—***Biodiesel from used oils is a biofuel that was born out of concern about the increase in greenhouse gases and the poor disposal of waste used oils. Based on this, the present work aims to describe the performance of biodiesel from used oils according to the research journals published in scientific databases in the last 10 years. For this, a systematic review was carried out with the prisma methodology, mainly using the ALICIA, Scielo and ScienceDirect databases, between the years 2012 and 2022. Through the exclusion and selection process, 30 articles were selected for their topicality and relevance. When analyzing the articles, the result was that to generate biodiesel, transesterification through KOH is mostly used; on the other hand, the highest yield was 98.82% with NaOH. Regarding the limitations that were visualized, they were the exclusion of several articles due to their age and their different methodologies. From the analysis carried out, it is inferred that having a high percentage of yield will generate an optimal biodiesel from used oils, which gives a high viability and benefit both for the environment and for society.*

**Keywords—***Biodiesel Yield, Used Oils, Transesterification, Biodiesel with Used Oils.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Uso del biodiesel a partir de aceites usados en los últimos diez años: Una revisión de la literatura científica

Angela Magallanes Contreras, Br<sup>1</sup>, Ariana Barja Huaroc, Br<sup>2</sup>, and Magda Velásquez Marín, Mtr<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, angelamagallanes117@gmail.com, arianaayleenbarjahuaroc@gmail.com, magda.velasquez@upn.edu.pe

**Abstract**– *El biodiesel a partir de aceites usados es un biocombustible que nació por la preocupación del aumento de los gases de efecto invernadero y por la mala disposición de los residuos de aceites usados. En base a ello, el presente trabajo tiene como objetivo describir el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados de acuerdo a las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años. Para ello, se realizó una revisión sistemática con la metodología prisma, utilizando principalmente la base de datos ALICIA, Scielo y ScienceDirect, entre los años 2012 y 2022. Mediante el proceso de exclusión y selección 30 artículos fueron seleccionados por su actualidad y relevancia. Al analizar los artículos se tuvo como resultado que para generar el biodiesel se usa mayormente la transesterificación mediante KOH; por otro lado, el mayor rendimiento fue de 98.82% con NaOH. En cuanto a las limitaciones que se visualizaron fueron la exclusión de varios artículos por su antigüedad y por sus diferentes metodologías. Del análisis realizado, se infiere que al tener un alto porcentaje de rendimiento se generará un óptimo biodiesel a partir de aceites usados, lo cual da una alta viabilidad y beneficio tanto para el ambiente como para la sociedad.*

**Keywords**– *Rendimiento del biodiesel, Aceites usados, Transesterificación, Biodiesel con aceites usados*

## I. INTRODUCCIÓN

El biodiesel se define como un biocombustible el cual se obtiene por transesterificación de triglicéridos, constituyentes principales de los aceites vegetales y grasas animales, con un alcohol de cadena corta, en presencia de un catalizador adecuado [1]. Implementando esta técnica resulta altamente efectiva ya que la mayoría de la población no da una correcta disposición final a los residuos de aceite vegetal usado, el cual ha ido en aumento por la demanda de alimentos fritos. Con el tiempo esto puede traer consigo múltiples consecuencias para la comunidad, afectando a la salud de las personas, animales y al ambiente [2].

Actualmente, la contaminación ambiental ha crecido considerablemente debido al aumento invasivo de las actividades humanas en el ecosistema. Este problema se debe mayormente al mal uso de los recursos naturales, especialmente los combustibles fósiles. Por lo tanto, en las dos últimas décadas, se ha convertido en un aspecto fundamental encontrar recursos renovables para la sustitución de los derivados del petróleo [3]. La situación plantea razones para encontrar y obtener combustibles alternativos que sean menos nocivos para el planeta, tengan un bajo costo y cumplan con los parámetros de calidad aceptables por la comunidad internacional. Es por esta razón que la producción de biodiesel

a partir de aceites usados es una magnífica elección, tanto por el lado económico, ambiental y social; lo que conllevará a que haya un impacto positivo en el país [4].

A nivel mundial, muchos países han adoptado políticas para incentivar y fortalecer la producción de biocombustibles. En el caso del biodiesel, el cual está catalogado como biocombustible de segunda generación, la producción de este es mayormente mediante la transesterificación, el cual es usado principalmente por aceites para un segundo uso [5]. La producción del biodiesel con el tiempo mostró un crecimiento acumulado de 140% en la última década de 2010 y 2019. Esto se debe principalmente a su fijación como mecanismo adicional para la reducción de gases de efecto invernadero. Se visualizó que los países con mayor participación en su consumo y producción fueron: Estados Unidos con un 14%, Indonesia con un 13%, Brasil con 12%, Francia con 8% y Alemania con 5% sobre el total mundial [6].

A nivel nacional, el Perú tiene un alto consumo de combustibles fósiles, lo cual ha afectado el equilibrio ecológico a tal punto que los efectos sobre el clima son cada vez más relevantes. Por lo tanto, el gobierno peruano impulsó la producción de biodiesel, mediante la Ley N°28054 el cual trata sobre la de Promoción del Mercado de Biocombustibles. Estos biocombustibles se presentan como una solución al problema de la escasez de combustible, al problema de la contaminación ambiental y a la falta de aprovechamiento de tierras de cultivo, siendo un medio renovable de energía menos contaminante y una fuente alternativa al combustible diésel [7].

Tomando en cuenta el contexto actual y la estrecha relación entre el biodiesel y la reutilización de los aceites usados que generan una gran contaminación al ambiente, se decidió investigar sobre el biodiesel y su rendimiento preparado a partir de aceites usados, para así aprovechar los residuos, evitar una mayor degradación ambiental y poder fomentar una economía circular. Por lo tanto, para reforzar este planteamiento surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados, de acuerdo a las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años? Esto nos conlleva a plantearnos el siguiente objetivo: Describir el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados de acuerdo a las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años.

## II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura científica; por lo cual, se utilizó la metodología prisma. Por otro lado, se ha considerado como principales requisitos de inclusión aquellas investigaciones relevantes, que contengan algún tipo de información útil sobre el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados. Teniendo en consideración lo mencionado, nuestra metodología se dividió en los siguientes puntos:

### A. Etapa 1: Selección de estudios

Para nuestra revisión sistemática se ha considerado como principales requisitos de inclusión aquellas investigaciones relevantes, que contengan algún tipo de información útil sobre el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados. Por lo cual, se seleccionó el año de publicación, el cual debe de estar comprendido entre los años 2012 y 2022, el idioma que puede estar tanto en inglés como español y que se encuentren en bases de datos confiables.

En cuanto a la exclusión se consideró lo siguiente: a) Artículos sin fecha de creación, b) No se encuentran dentro del rango de tiempo establecido, c) No se alinea al objetivo de investigación de nuestra revisión sistemática y d) No se encuentra disponible o se encuentra restringido dentro de su base de datos por derechos de autor.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto, se realizó una revisión sistemática de 49 artículos científicos teóricos y empíricos vinculados con el objetivo principal de investigación. Luego del análisis y el correspondiente proceso de descarte e inclusión, se escogieron 30 artículos por su actualidad y relevancia en relación al objetivo de la investigación planteada

### B. Etapa 2: Búsqueda especializada

Para desarrollar el trabajo de investigación se ha realizado una búsqueda sistemática en base de datos confiables, cuyos temas están relacionados directamente con el rendimiento del biodiesel en un tiempo de 10 años. De estos artículos científicos se identificaron cuales aportan al sustento de la investigación.

Para una eficiente búsqueda, se utilizaron palabras claves en la búsqueda de la información que tenían relación con la pregunta de información planteada: “Rendimiento del biodiesel”, “Biodiesel”, “Biocombustibles”, “Biodiesel a partir de aceites usados”, “Frying oils” y “Aceites de frituras”.

Por otro lado, para una mejor especificación en las búsquedas se usaron los operadores booleanos, donde se escogieron principalmente 3, los cuales ayudaron a filtrar la información deseada. Por lo tanto, se usaron las siguientes palabras: (“Biodiesel” AND “Aceites usados”), (“Biodiesel”

AND “Rendimiento”), (“Biodiesel con aceites usados” OR “Biodiesel a partir de aceites usados”), (“Biodiesel” AND “Frying oils”), (“Aceites de fritura” OR “Aceites usados”), (“Biodiesel” AND “Performance”), (“Aceites usados” NOT “Grasas de origen animal”) y (“Biodiesel con aceites usados” NOT “Biodiesel con aceites de cultivos energéticos”).

### C. Etapa 3: Características del estudio

Para la realización de la revisión sistemática se utilizaron diferentes bases de datos confiables como ALICIA, Redalyc, Scielo y ScienceDirect donde se encontraron artículos de diversos países. Sin embargo, se utilizaron criterios de selección para excluir estudios que no contribuyan principalmente al objetivo planteado y que tengan una antigüedad mayor de 10 años (figura 1).

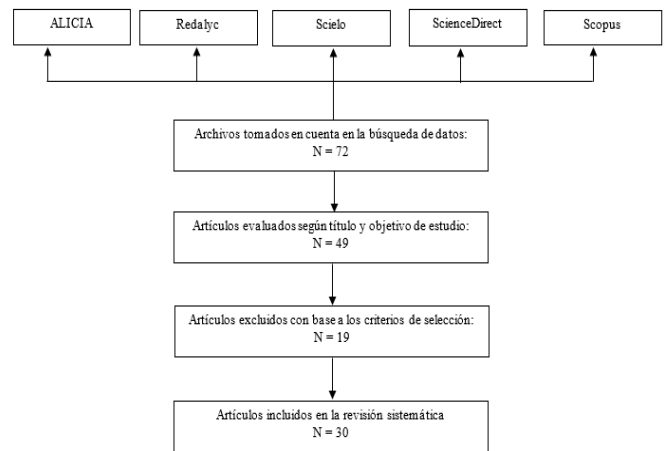


Fig. 1 Diagrama de flujo del proceso de selección de datos.

### D. Etapa 3: Características del estudio

De los 30 artículos escogidos, se pudo visualizar que, dentro de las bases de datos escogidas, el que mayor inclusión tuvo con respecto a los artículos escogidos fue ALICIA con 12, Scielo con 8 y ScienceDirect con 4; mientras que las otras tuvieron un porcentaje menor en comparación a los mencionados (figura 2).

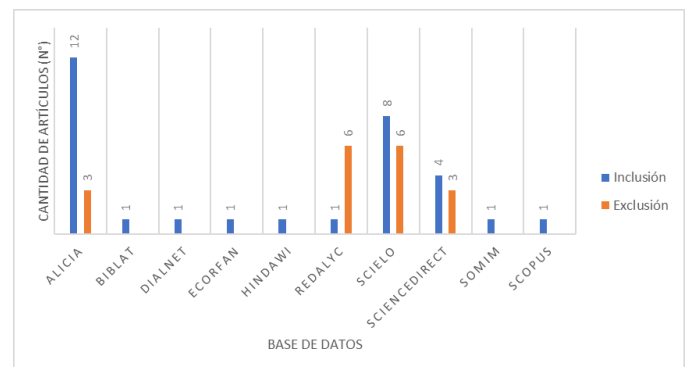


Fig. 2 Inclusión y exclusión de los artículos en base de datos.

Por otro lado, se pudo visualizar que Perú con un 42% es el país con mayor inclusión en nuestra revisión sistemática debido a su semejanza al objetivo planteado, seguido de Colombia que tiene un porcentaje del 23%. Mientras que los países con menos semejanza fueron Turquía, Nigeria, Bolivia, Irán, Indonesia y Cuba (figura 3).

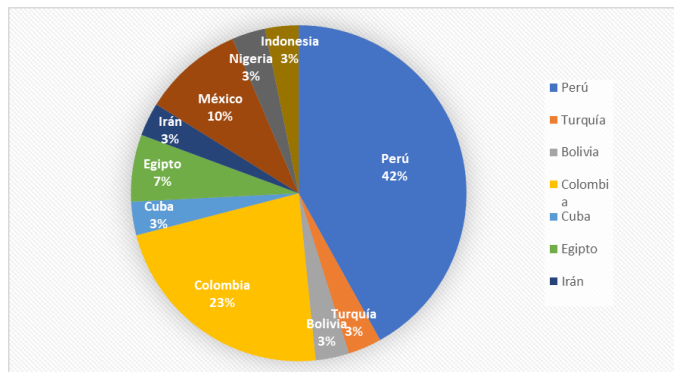


Fig. 3 Inclusión de los artículos según países.

En última instancia, se pudo observar la inclusión de los artículos científicos según los años de publicación, donde se aprecia la cantidad de los estudios tomados en cuenta para la revisión sistemática. Se visualizó que 2013, 2015, 2018 y 2019 fueron los años en donde se encontraron mayores artículos de nuestro interés.

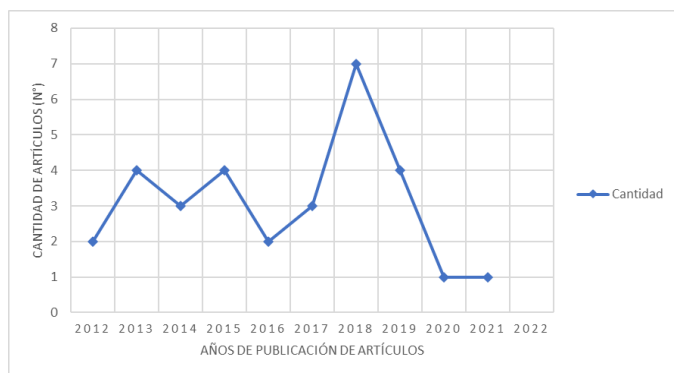


Fig. 4 Inclusión de los artículos según los años.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Comparación de los resultados en diversos estudios

El presente trabajo tiene como pregunta de investigación ¿Cuál es la eficacia del uso del biodiesel a partir de aceites usados, de acuerdo a las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años? Para generar una mayor sustentación al objetivo planteado. Teniendo en cuenta lo mencionado, se decidió hacer una comparación de los resultados y conclusiones de los 30 artículos científicos usados en este estudio (tabla 1).

TABLA 1  
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES  
SEGÚN LA EFICACIA DEL BIODIESEL

Referencia	Resultados y Conclusiones
[8]	El presente estudio mostró que es posible generar biodiesel a partir de aceite de cocina usado. Las mejores condiciones fueron: catalizador NaOH al 1 % p/p, con una relación molar alcohol: aceite 12:1; en estas condiciones se obtuvo un rendimiento de aceite en biodiesel de 98 %. Debido a que el costo del aceite usado es menor que el del aceite virgen, se podría usar dicho subproducto como materia prima para la <b>generación de biodiesel</b>
[3]	El rendimiento en porcentaje del proceso de producción del biodiésel obtenido a partir de la relación entre el peso de biodiésel y la cantidad inicial a nivel de laboratorio obtenido fue del 90% y el excedente del 10% está compuesto por glicerol y otras sustancias. Estas fueron las condiciones obtenidas a partir del proceso de transesterificación empleando <b>catalisis alcalina (NaOH)</b> .
[9]	Se preparó biodiesel a partir de aceite domestico usado, con un rendimiento del 78%. Mediante el análisis por H-RMN del biodiesel obtenido, se determinó que el porcentaje de conversión de los triglicéridos en ésteres mono alquilados fue del 98,82% valor que indica una calidad optima del biodiesel preparado. Los residuos de aceites domésticos pueden ser transformados en biodiesel mediante una reacción de transesterificación sencilla y rápida. Es una respuesta ecológica para descartar adecuadamente los restos de aceite y evitar que puedan contaminar el agua.
[10]	A través de esta investigación, se produce un biocombustible alterno que favorecerá a la protección y conservación del medio ambiente en la región, utilizando aceites de origen vegetal derivado de los hogares de la región, además se ha comprobado que producir biodiesel es práctico, sencillo y económico, se observó que el mejor rendimiento fue con KOH con un porcentaje del 98.4% el cual nos aporta un combustible alterno para sustituir a los energéticos convencionales, con el objeto de disminuir los GEI basándonos en un producto domestico
[11]	La obtención de biodiesel a partir de aceite residual de fritura en general fue satisfactoria a pesar del bajo rendimiento de biodiésel obtenido a partir del aceite residual de fritura (68,5% frente al 85,15% del aceite vegetal), tiene un gran impacto social y económico por el aprovechamiento de este aceite residual y la vía etílico.
[12]	El presente estudio mostro que los aceites vegetales residuales son aptos para la elaboración del biodiesel, debido a que el grado de acidez es menor al 3%. Con base a un diseño factorial de experimentos se pudo determinar que la máxima conversión de transesterificación se alcanzó cuando se usó una concentración de metanol de 30% una concentración de KOH de 0.4%. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento de biodiesel de 85.97%. Las propiedades determinadas del biodiesel obtenido, han sido comparadas con las especificaciones técnicas nacionales e internacionales.
[13]	El presente estudio mostró que la entrada de energía total y la salida de energía se calculan como 30,05 y 44,91 MJ L1, respectivamente. El aceite de cocina de desecho tiene la proporción más alta del consumo total de energía. Para reducir la entrada de energía y tener una mayor eficiencia, se sugiere el uso de <b>algas</b> .
[2]	El rendimiento en el proceso de extracción de la grasa de material de desecho del pollo es del 70,5%, y de la grasa de cerdo es del 90%, con lo que se plantean como alternativas viables para la obtención de biodiesel en Colombia, y

	sostenibles desde el punto de vista técnico, económico y ambiental permitiendo la valorización de los desechos orgánicos producidos por la industria pecuaria. De la caracterización realizada a la grasa de pollo y cerdo se pudo establecer que ambas materias primas son de baja acidez lo que garantizó un alto grado de transesterificación.		norma Austrian Standard C1190 y la norma técnica peruana (NTP), ajustándose a este rango todos los tratamientos. Asimismo, el porcentaje de rendimiento más alto en la producción de biodiesel fue de 86% a una temperatura óptima necesaria de 45-65 °C.
[14]	El biodiésel y la glicerina que se obtienen poseen características similares a los reportados en la literatura, aunque se debe definir el número de veces que se ha utilizado la materia prima (aceite) pues solo así se podrán comparar adecuadamente los resultados. A pesar de que se obtienen rendimientos superiores al 80 % los resultados demuestran que los niveles de las variables independientes y/o las variables no son significativos para la variable dependiente fijada.	[21]	Los resultados indicaron que el costo del catalizador de CaO (Preparado a partir de desechos de moluscos y caparazones de cangrejos) y la producción de biodiesel de alta calidad, se puede recomendar la efectividad de la producción de biodiesel a partir de desechos de aceite de cocina recolectados en restaurantes de mariscos.
[15]	El índice de acidez del aceite doméstico residual en promedio es 0,3976 mg de NaOH/g de aceite. Por otro lado, la temperatura óptima necesario para obtener un mayor rendimiento en la obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual se encuentra en el rango de 45 - 65 °C. Por último, el porcentaje de rendimiento más alto en la producción de biodiesel fue del 86%, correspondiente al tratamiento 8, que fue evaluado a una temperatura de 55 oc y a una cantidad de metano de 40 ml.	[22]	Los resultados indicaron que la producción sostenible de biodiesel a base de OMA es posible en Cali si se implementan estrategias sociales que apunten a cambios en las prácticas de disposición de la OMA con el objetivo de aumentar la eficiencia del sistema de recolección a través de la densificación de los SP.
[16]	Los resultados del análisis de las propiedades físicas y químicas del aceite de cocina usado, empleado como materia prima para la producción de biodiesel, fueron satisfactorios, debido a que cumplen con los requerimientos establecidos. El rendimiento de biodiesel bajo las condiciones establecidas está por encima del 60 % a una temperatura de 60°C y usando NaOH como catalizador.	[23]	Las pruebas se realizaron a diferentes condiciones de operación del motor diésel de prueba. Las mediciones de opacidad obtenidas con las mezclas B10, B20 y B30 en el régimen nominal de revoluciones del motor de 1600 r.p.m. a carga constante, son menores comparados con el combustible comercial B5 en 0,3%, 24% y 46%, respectivamente. Como resultado, es viable el uso de biodiésel de aceite de fritura usado, en mezclas con diésel puro y comercial para disminuir las emisiones tóxicas como el material particulado de los motores diésel en el medio ambiente.
[17]	Para los dos catalizadores evaluados (NaOH y KOH), el mayor rendimiento se obtiene para una baja concentración de catalizador (1,0%) y una baja relación molar de metanol: aceite, 6:1. Sin embargo, la mayor cantidad de FAME se obtiene con una relación molar metanol: aceite de 9:1, para ambos catalizadores, con un porcentaje de 1,5% para el KOH y del 1,0% para el NaOH. Los resultados anteriores concuerdan con algunos reportados en la literatura, donde se concluye que industrialmente se prefiere el KOH por generar una mayor cantidad de metilésteres cuando se produce biodiesel a partir de aceites vegetales usados	[24]	El biodiesel obtenido a partir de aceite de fritura usado, cumple con las especificaciones técnicas de la norma internacional ASTM 6751 (B100) con respecto a la viscosidad cinemática. Pero no cumple con la norma técnica peruana (NTP) con respecto a la cantidad de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de 96.5% ya que en el en el presente trabajo se obtuvo (90.95%).
[18]	Se logró verificar la viabilidad de obtener aceites residuales de restaurantes de mediano tamaño y las cantidades que desechan estos son buenos para usar como materia prima en la obtención de biodiesel, añadiendo que se consiguen de manera gratuita o a muy bajo costo ya que la mayoría de estos establecimientos no le dan ningún uso. Los aceites residuales de cocina presentaron buenas propiedades de acidez e índice de peróxido. El color y la humedad son altos debido al uso que recibieron estos aceites, por ende, es bueno tener en cuenta que a esta materia prima se le debe hacer un pretratamiento muy riguroso para acondicionar los aceites.	[25]	En el presente trabajo de investigación se demuestra que es factible el uso de tecnologías no convencionales, como es el uso de ultrasonido para la producción del biodiésel, lo cual generó múltiples ventajas como rendimientos aceptables para el metiléster, reducción de los subproductos como glicerina y jabones, aprovechamiento de residuos líquidos como son los aceites usados, disminución de la energía y tiempo del proceso. La calidad del biodiésel obtenido se puede mejorar controlando de manera adecuada los parámetros del proceso, para ello es necesario hacer más investigaciones en el área.
[19]	Los resultados indicaron que la optimización del proceso de reacción catalítica reveló que las variables estudiadas fueron significativas para el rendimiento de biodiesel, se mostró que el rendimiento máximo de biodiesel se logró en las condiciones óptimas de temperatura de reacción de 65 °C, tiempo de reacción de 2,5 h, 12:1 molar de metanol/aceite relación y carga de catalizador de 1,5% en peso. Asimismo, el catalizador ASCC tiene buena actividad.	[26]	Se han revisado los diferentes procesos usados para la producción de biocombustibles de primera generación, específicamente el bioetanol, el biodiesel y el biogás. La decisión de producir alguno de ellos está limitada por la biomasa disponible, las regulaciones existentes y por la demanda del mercado, así como por los costos de inversión y operación.
[1]	Los resultados indicaron que el procesamiento de las GAR (La cantidad de grasas y aceites) provenientes de la industria restaurantera podría incrementar la producción de biodiésel en México y reducir las emisiones de CO2 generadas por el uso de diésel fósil.	[27]	De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas preliminares del motor, podemos decir que el uso de biodiesel a partir de aceite de cocina es menos contaminante que el combustible diésel, en el caso de las emisiones, ya que se nota una reducción del óxido de azufre.
[20]	Los resultados indicaron que biodiesel obtenido a partir de aceite doméstico residual se encontraban dentro de los parámetros establecidos por la norma europea EN14214, la	[29]	El biodiesel obtenido por el proceso químico presentó los mayores porcentajes de conversión con la transesterificación mediante KOH (96,15%) sin cumplir con la norma de calidad (96,5%). Este resultado puede ser que se deba a la calidad de la muestra de aceite recolectada, ya que los residuos de ácidos grasos libres no fueron eliminados en la purificación del biodiesel, lo que provocó una disminución en el rendimiento del producto obtenido.
		[30]	Los resultados indicaron que el catalizador que proporcionó un mayor rendimiento (87.50%), para la obtención del biodiesel bajo las condiciones de la Amazonia colombiana, es KOH 0,537%p/v/MeOH a una temperatura de 60°C por dos horas y con una proporción catalizador- aceite de 38:190. Cabe

	mencionar que al biodiesel obtenido en cada caso se le determinó peso específico, índice de refracción, humedad y materia volátil, cenizas sulfatadas, carbón residual, corrosión a la lámina de cobre y perfil de ácidos grasos.
[31]	Los resultados indicaron que es satisfactorio obtener biodiesel a partir de una mezcla de aceite doméstico residual y aceite de soya, ya que el uso de la mezcla de estos dos aceites permite obtener un biodiesel que cumple con la mayoría de los parámetros estudiados en la Norma Técnica Peruana. Además, el desempeño del biodiesel es óptimo, ya que, al usarlo en un motor diésel, este funciona adecuadamente.
[32]	Los resultados indicaron que las dosis adecuadas de metóxido para la obtención de biodiesel, a través del proceso de transesterificación, partiendo de AVU por las pollerías de Juliaca, son óptimas aquellas que presentan las proporciones de 20, 25 y 30% de metanol en relación al AVU a tratar, estas concentraciones nos ayudaran a obtener rendimientos que van de 70 a 80% en relación al volumen de AVU tratado. Al probar la efectividad del biodiesel en un motor diésel, se comprobó su efectividad y correcto funcionamiento.
[33]	Para el objetivo de este trabajo, se hizo uso del método en metanol sub crítico con el catalizador NaOH, en el rango de temperatura de 160-200°C; además, la relación molar de aceite a metanol se fijó en 1:6 y 1:9 y la concentración de NaOH como catalizador fue de 0,5-1%. Una vez mencionado lo anterior, se tuvo como resultado que dependiendo de la temperatura y la concentración del catalizador puede variar su rendimiento, siendo el más óptimo una temperatura de 180°C el cual genera un rendimiento de 90.56%.
[34]	Los resultados del biodiesel producido a partir de aceite de cocina usado por un proceso de transesterificación para reconocer el rendimiento y las emisiones de escape que genera en un motor diésel, fueron los siguientes: Las eficiencias térmicas de las mezclas de biodiesel fueron inferiores a las de gasóleo; el consumo específico de combustible de las mezclas de biodiesel fue mayor que el del combustible diésel, las emisiones de CO, opacidad de humo y HC para las mezclas de biodiesel fueron inferiores al diésel y las emisiones de Nox para las mezclas de biodiesel fueron más altas que el combustible diésel.
[35]	Los resultados indicaron que las condiciones óptimas (El contenido de éster 92,76%) de producción de biodiesel se obtuvieron a una temperatura de 66.5oC, una relación molar de metanol a aceite de 6,18:1 y 1% en peso de KOH. Además, el producto de biodiesel de aceite de cocina de segundo uso obtenido es apropiado para el Estándar de Indonesia de Biodiesel, los cuales tienen los siguientes parámetros: Gravedad Específica 877 kg/m3, Viscosidad Cinemática 4.971 mm2/s, punto de inflamación 180.5oC y punto de fluidez 3oC.

Los aportes más resaltantes que los autores dieron fueron los siguientes: Las mejores condiciones para generar biodiesel son mediante el catalizador NaOH [8]. Además, la temperatura óptima necesaria para obtener un mayor rendimiento en la obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual se encuentra en el rango de 45 - 65 °C y al tener como materia prima aceites usados se tendrá un menor costo en comparación al aceite virgen [9]. Asimismo, al usar aceites de origen vegetal derivado de los hogares de la región beneficiará a la protección y conservación del medio ambiente [10].

Cabe mencionar que producir biodiesel es práctico, sencillo y económico; además, al usar aceites de origen vegetal derivado de los hogares de la región beneficiará a la protección y conservación del medio ambiente [10]. Además,

se mencionan que para reconocer de una manera más detallada que el biodiesel es óptimo se deberá de analizar mediante el H-RMN [11]. Mientras que, un autor en comparación con los otros mencionados, se han demostrado que es factible el uso de tecnologías no convencionales, como es el uso de ultrasonido para la producción del biodiésel [12].

Por otro lado, Quispe [31] menciona que es satisfactorio y óptimo mezclar aceite domestico residual con aceite de soya, ya que el uso de esta mezcla permite obtener un biodiesel que cumple con la mayoría de los parámetros que se encuentran en la Normativa Técnica Peruana. Adicionalmente, Sanaguano [33] menciona que para tener como resultado un rendimiento óptimo en la producción del biodiesel, se deberá de prestar mucha atención a la temperatura y la concentración del catalizador en el proceso de transesterificación. Por último, dos autores coinciden que la producción de biodiesel a base de aceites residuales de cocina ayudará a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de combustibles fósiles, pero se deberán de implementar estrategias a la población y a los restaurantes para una buena disposición de los aceites residuales, de esta manera se reducirá la contaminación tanto en el agua y el suelo [13], [1].

### B. Rendimiento del biodiesel según su proceso de transesterificación en diversos estudios

La siguiente revisión sistemática tiene como objetivo principal: Describir el rendimiento del biodiesel a partir de aceites usados de acuerdo a las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años. Teniendo en cuenta lo mencionado, se decidió hacer una comparación del tipo de aceite usado, el proceso que se le dio y el rendimiento del proceso para la obtención del biodiesel que se encuentran en los artículos científicos usados en la revisión sistemática (tabla 2).

TABLA 2  
COMPARACIÓN DEL PROCESO Y PORCENTAJE DEL RENDIMIENTO DEL BIODIESEL

N°	Tipo de aceite usado	Proceso	Rendimiento	Referencia
1	Aceite de cocina usado	Transesterificación mediante NaOH	98%	[8]
2	Aceite de cocina usado	Transesterificación mediante NaOH	90%	[3]
3	Aceite domestico usado	Transesterificación mediante NaOH	98.82%	[11]
4	Aceite de origen vegetal usado	Transesterificación mediante KOH	98%	[10]
5	Aceite residual de fritura	Transesterificación mediante etanol	68.50%	[14]
6	Aceites vegetales residuales	Transesterificación alcalina	85.97%	[15]
7	Aceites de frituras usados	Transesterificación mediante KOH	88.90%	[16]
8	Aceite de cocina usado	Transesterificación y saponificación	80%	[17]
9	Aceite domestico residual	Transesterificación mediante NaOH	86%	[18]
10	Aceite de cocina usado	Transesterificación	80%	[19]

mediante NaOH				
11	Aceites vegetales usados	Transesterificación mediante NaOH y KOH	88%	[20]
12	Aceites residuales de restaurante	Transesterificación por catálisis ácida y alcalina	84%	[21]
13	Aceite de cocina usado	Transesterificación por reacción alcali-catalizada (KOH)	90.01%	[22]
14	Aceite doméstico residual	Transesterificación alcalina	86%	[23]
15	Aceite de cocina residual	Transesterificación mediante catalizador CaO	84.80%	[24]
16	Aceite de cocina residual	Transesterificación	Óptimo	[13]
17	Aceite de fritura usado	Transesterificación	Óptimo	[25]
18	Aceites de frituras usados	Transesterificación mediante NaOH y KOH	90.95%	[26]
19	Aceite de canola refinada, aceite de canola reciclada de frituras y aceite de linaza	Transesterificación mediante KOH y uso de ultrasonido	83.37%, 82.10% y 80.16%	[12]
20	Aceites de origen vegetal, frituras y grasa de pollo	Transesterificación	82%	[27]
21	Aceites usados	Transesterificación general	Óptimo	[28]
22	Aceite de cocina usado	Transesterificación mediante KOH y enzimática	96.15%, 48.81% y 47.53%	[29]
23	Aceite residual de cocina	Transesterificación mediante KOH	87.50%	[30]
24	Aceite doméstico residual y aceite de soya	Transesterificación mediante KOH	Óptimo	[31]
25	Aceites vegetales usados	Transesterificación mediante KOH	Entre 70% y 80%	[32]
26	Aceite de fritura usado procedente de restaurantes	Transesterificación mediante NaOH como catalizador	93.06% y 90.56%	[33]
27	Aceite de cocina usado	Transesterificación mediante NaOH	No óptimo	[34]
28	Aceite de cocina de segundo uso	Transesterificación mediante KOH	92.76%	[35]

De los 30 artículos seleccionados se logra apreciar que el proceso que más se usa es la transesterificación mediante el catalizador KOH, siguiéndole el NaOH; además, se pudo visualizar que en 2 artículos no se visualizan los catalizadores que se usaron en su proceso para obtener biodiesel. Otro punto a considerar es que en 5 artículos no se observa el porcentaje de rendimiento del biodiesel; sin embargo, se conoce que 4 son óptimos y uno no lo es. Por otro lado, se visualizó que un estudio tuvo el mayor porcentaje de rendimiento con un 98.82% usando la transesterificación mediante NaOH [11]; tras esto, el segundo mayor porcentaje de rendimiento fue usando la transesterificación mediante KOH con un 98.4% [10]. Sin embargo, se deberá de tomar en cuenta que el resultado está estrechamente relacionado con el tipo de metodología que se usará para generar el biodiesel; por lo

tanto, se deberá de tener cuidado con los respectivos materiales. No obstante, hubo un estudio que tuvo un porcentaje de 47.53% siendo el que menor rendimiento generó a comparación de los otros autores [29]; una de las causas podría ser por la calidad de la muestra de aceite recolectada, ya que los residuos de ácidos grasos no fueron eliminados en el proceso de purificación del biodiesel, lo cual generó una disminución en el rendimiento del producto obtenido.

#### IV. CONCLUSIONES

Durante la revisión sistemática se plasmaron 49 artículos, donde solo se seleccionaron 30 ya que cumplían con los criterios de inclusión y seguían las estructuras acordes a una revisión sistemática. La presente investigación cumplió tanto con el objetivo como a la pregunta de investigación, esta fue de vital interés demostrándose en las categorías que existe una variada información sobre el rendimiento del biodiesel utilizando aceite residual como materia prima realizándose a través de diferentes procesos, especialmente con la transesterificación. El porcentaje del rendimiento del biodiesel que se observaron en la comparación de resultados y conclusiones de los artículos escogidos, sustentaron un óptimo resultado que genera el biodiesel a partir de aceites usados, lo cual da una alta viabilidad y un alto beneficio al ambiente y a la sociedad debido a que su proceso es sencillo, práctico y económico. Esto con el tiempo, podrá ser una de las alternativas de solución que más se emplearán para dejar de usar combustibles fósiles que emiten gases de efecto invernadero.

Sin embargo, se ha podido visualizar diversas limitaciones que dificultaron generalizar los resultados, originando una motivación para realizar nuevas investigaciones que ayuden a validar completamente su eficacia. Entre las limitaciones más destacadas se encuentra el uso excesivo de transesterificación mediante el catalizador KOH y/o NaOH en su metodología; el difícil acceso de algunos artículos en la plataforma digital, ya que, algunos artículos tenían un costo adicional por descarga o sugerían la suscripción a dicha página web; y, la antigüedad de documentos que superaban el límite de búsqueda y la exclusión de artículos que no seguían la metodología que se había planteado. Finalmente, se recomienda utilizar otro tipo de catalizador que no sea KOH y NaOH, para reconocer las diferencias que generan en comparación a las mencionadas; y, utilizar otro tipo de temperatura para reconocer como varía el rendimiento del biodiesel a comparación de las temperaturas ya usadas con anterioridad.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra apreciada UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por fomentar la investigación y por habernos formarnos con conocimiento. A nuestra familia, por su apoyo incondicional y todo su amor.

## REFERENCIAS

- [1] Tacias, V., Rosales, A., Torrestiana, B. Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiesel: Un caso de estudio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [Internet]. 2015; 32(3): 303-313. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992016000300303](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000300303)
- [2] Tejada, C., Tejada, L., Villabona, A., Monroy, L. Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Luna Azul* [Internet]. 2013; 55: 62-70. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742013000100002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742013000100002)
- [3] Bulla, E., Sierra, F., Guerrero, C. Producción de biodiesel usando aceites residuales de fritura y etanol por catálisis alcalina. *Ingeniería Solidaria* [Internet]. 2014; 10(17): 61-69. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/806/765>
- [4] Alvarez, J. Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio [Internet]. Repositorio SC. 2013. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/349>
- [5] Alejos, C., Calvo, E. Biocombustibles de Primera Generación. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* [Internet]. 2015; 18(2): 19-30. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/11784>
- [6] Torroba, A. Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [Internet]. 2020; 1: 1-42. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/13974>
- [7] García, M., Gandon, J., Maqueira, Y. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química* [Internet]. 2013; 33(2): 162-169. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852013000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005)
- [8] López, L., Bocanegra, J., Malagón, D. Obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina por transesterificación. *Ingeniería y Universidad* [Internet]. 2015; 19(1): 155-172. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.odba>
- [9] Falcon, I., Guerrero, T. Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual. *Revista virtual Investigación y Amazonía* [Internet]. 2018; 6(1): 37-44. Disponible en: <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/48/37>
- [10] Caro, J., Castellanos, L., Romero, F., Ruiz, M. Generación de biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso. *Revista de Energía Química y Física* [Internet]. 2017; 4(11): 16-27. Disponible en: [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia\\_Quimica\\_y\\_Fisica/vol4num11/Revista\\_de\\_Energ%C3%ADa\\_Qu%C3%ADmica\\_y\\_F%C3%ADsica\\_V4\\_N11\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol4num11/Revista_de_Energ%C3%ADa_Qu%C3%ADmica_y_F%C3%ADsica_V4_N11_3.pdf)
- [11] Cedrón, J., Moncada, A., Mendoza, P. Análisis de biodiesel preparade a partir de residuos de aceite doméstico, mediante RMN. *Sociedad Química del Perú* [Internet]. 2014; 80(1): 1-6. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i1.206>
- [12] Fuentes, M., Aranda, M., Gómez, S. Ondas ultrasónicas aplicadas en el biodiésel producido con diferentes tipos de aceites vegetales. *Revista del Instituto de Investigación de la facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas* [Internet]. 2016; 19(38): 147-151. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/13581>
- [13] Benavides, A., Lozano, J. Evaluación ambiental y logística de la producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina en Cali. *Revista Facultad de Ingeniería* [Internet]. 2018; 88: 9-15. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-62302018000300009&lng=e&nrm=iso&tng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-62302018000300009&lng=e&nrm=iso&tng=es)
- [14] Jiménez, H., Villegas, J., Camiña, M., Palma, G., Miranda, L. Characterization of Biodiesel from residual friture oil, sunflower, through the ethanolic base transesterification process. *VERITAS: Investigación, Innovación y Desarrollo* [Internet]. 2019; 20(2): 51-54. <https://doi.org/10.35286/veritas.v20i2.243>
- [15] Zavaleta, L., Suavo, J. Obtención de biodiesel por transesterificación alcalina a partir de aceites vegetales residual en Lima. *TECNIA* [Internet]. 2016; 26(1): 107. Disponible en: <http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/116>
- [16] Tanzer, E., Faith, A., Lacina, A., Faruk-Emre, B., Husevin, A., Seda, S., Murat-Kadir, Y. Process optimization for biodiesel production from neutralized waste cooking oil and the effect of this biodiesel on engine performance. *CT&F – Ciencia Tecnología y Futuro* [Internet]. 2018; 8(1): 121-127. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53832018000100121&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53832018000100121&lang=es)
- [17] García, M., Gandon, J., Maqueira, Y. Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química* [Internet]. 2013; 33(2): 162-169. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852013000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005)
- [18] Falcón, V. Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual [Internet]. Repositorio UNAS. 2012. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/355>
- [19] Monsefú, Y. Propuesta técnica para la producción de biodiesel a pequeña escala a partir de aceites usados dentro del campus de la Universidad Nacional de Piura [Internet]. Repositorio UNP. 2019. Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2067>
- [20] Riesco, J., Flores, E., Elizalde, F., Marínez, S., Malagón, D. Evaluación del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados. *Memorias del XXII Congreso Internacional Anual de la SOMIM* [Internet]. 2017; 22: 144-151. Disponible en: [http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A4\\_212.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A4_212.pdf)
- [21] Medina, M., Ospino, Y., Tejada, L. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. *Luna Azul* [Internet]. 2015; 40: 25-34. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742015000100003&script=sci\\_abstract&tng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742015000100003&script=sci_abstract&tng=es)
- [22] Yusuff, A., Owolabi, J. Synthesis and characterization of alumina supported coconut chaff catalyst for biodiesel production from waste frying oil. *South African Journal of Chemical Engineering* [Internet]. 2019; 30: 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.09.001>
- [23] Falcón, I., Guerrero, T. Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual. *Revista virtual Investigación y Amazonía* [Internet]. 2018; 6(1): 37-44. Disponible en: <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/48/37>
- [24] El-Gendy, Nour Sh., Hamdy, A., Abu Amr, Salem S. An Investigation of Biodiesel Production from Wastes of Seafood Restaurants. *International Journal of Biomaterials* [Internet]. 2014; 2014: 1-17. <https://doi.org/10.1155/2014/609624>
- [25] Cuty, E., Mejía, A. Influencia del biodiésel de aceite de fritura usado, sobre las emisiones: Índice de opacidad. *Tecura* [Internet]. 2018; 23(59): 60-67. <https://doi.org/10.14483/22487638.13722>
- [26] Rivas, J., Matamorros, M. Obtención de biodiesel a partir de aceite de fritura usado en establecimientos de comida rápida en Iquitos [Internet]. Repositorio UNAP. 2020. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/7047>
- [27] Alejos, C., Calvo, E. Biocombustibles de Primera Generación. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* [Internet]. 2015; 18(2): 19-30. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/11784>
- [28] Ramírez, J. Evaluación del uso de biodiésel obtenido a partir de aceite de cocina usado en un motor diésel. *El hombre y la Maquina* [Internet]. 2012; 40: 102-110. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47826850011>
- [29] Acevedo, J., Urbina, N., Acevedo, A., Becerra, L. Estudio de la producción de biodiesel por procesos químicos y enzimáticos a partir de aceite de cocina usado. *AiBi Revista de Investigación, Administración E Ingeniería* [Internet]. 2019; 7(2): 20-26. <https://doi.org/10.15649/2346030X.566>
- [30] Murcia, B., Chaves, L., Rodríguez, W., Murcia, M., Alvarado, E. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista Colombiana de Biotecnología* [Internet]. 2013; 15(1): 61-70. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752013000100007&script=sci\\_abstract&tng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752013000100007&script=sci_abstract&tng=es)



- [31] Quispe Puma, K. Obtención de biodiesel a partir de la mezcla de aceite doméstico residual y aceite de soya en la región de Cusco – 2020 [Internet]. Repositorio UCV Institucional. 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61327>
- [32] Mollenido, P. Reaprovechamiento de aceites usados en pollerías para la producción de biodiesel – Juliaca [Internet]. Repositorio UNAP. 2017. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6650>
- [33] Sanaguano, H. Conversión de los aceites residuales de la industria de alimentos en biodiesel [Internet]. Repositorio Cybertesis UNMSM. 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7315>
- [34] Abed, K.A., El Morsi, A.K., Sayed, M.M., El Shaib, A.A., Gad, M.S. Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. Egyptian Journal of Petroleum [Internet]. 2018; 27: 985-989. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.008>
- [35] Asri Kawentar, Wanodya., Budiman, Arief. Synthesis of biodiesel from second-used cooking oil. Energy Procedia [Internet]. 2013; 32: 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.025>