



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites
vegetales”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

Antón Fernández, Marlon (ORCID: 0000-0002-2312-5821)

ASESOR:

MSc. Seminario Atarama, Mario Roberto (ORCID: 0000-0002-9210-3650)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

Piura – Perú

2021

Dedicatoria

Este logro obtenido va dedicado en primer lugar a Dios, seguido de las personas muy importantes en mi vida como lo son mi Padre, mi Madre, mis Hermanos, ya que con su amor, apoyo incondicional y confianza que han tenido hacia mi persona, me ha permitido motivarme en mis estudios.

A mi tío Hipolito, por sus consejos y apoyo para seguir adelante como persona y como profesional.

A mis abuelitas por inspirarme a ser mejor persona.

A mis abuelos, que desde el cielo guían cada paso que doy en mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a las personas que me apoyaron y ayudaron a lo largo del proceso de la tesis.

Así mismo, agradezco a mi metodólogo y asesor de tesis por su apoyo y tiempo dedicado para concluir mi trabajo de investigación.

A los profesores e ingenieros que a lo largo de los años de estudio me brindaron sus conocimientos en cada materia de la universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	27
3.1 Tipo y diseño de Investigación	27
3.2 Operacionalización de variables.....	27
3.3 Población, muestra y muestreo	28
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	29
3.5 Procedimientos	31
3.6 Métodos de análisis de datos	32
3.7 Aspectos éticos	32
IV. RESULTADOS	33
V. DISCUSIÓN	63
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS	72
ANEXOS.....	78
Anexo 1. Matriz de consistencia.	
Anexo 2: Instrumentos de recolección de datos.	
Anexo 3: Validación de instrumentos de recolección de datos.	
Anexo 4: Propiedades del biodiesel.	
Anexo 5: Operacionalización de variable.	
Anexo 6: Matrices de análisis documental.	
Anexo 7: Precio nominal y real del biodiesel y materias primas.	
Anexo 8. Consumo (Mml) y crecimiento (%) por país de biocombustibles.	
Anexo 9: Demanda del biodiesel.	
Anexo 10: Precio del combustible.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población.....	28
Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
Tabla 3: Estado del arte del biodiesel.	33
Tabla 4: Estado actual del biodiesel en el Perú.....	40
Tabla 5: Caracterización física y química del biodiesel.....	49
Tabla 6: Número de actividades para la elaboración del biodiesel.....	59
Tabla 7: Especificaciones del biodiesel NTP 321.125.....	60
Tabla 8: Propiedades del biodiesel.	92
Tabla 9: Operacionalización de variable.....	93
Tabla 10: Matriz de Análisis Documental: Estado del Arte del biodiesel.	94
Tabla 11: Matriz de Análisis Documental: Estado Actual del biodiesel en el Perú. ...	97
Tabla 12: Proyectos de empresas e instituciones de producción de biodiesel.....	99
Tabla 13: Investigaciones para la producción del biodiesel.....	100
Tabla 14: Caracterización física y química del biodiesel.	101
Tabla 15: Precio nominal y real del biodiesel y materias primas.	111
Tabla 16: Consumo (Mml) y crecimiento (%) por país de biocombustibles.....	112
Tabla 17: Comparación entre la demanda del biodiesel y diesel en MBPD.	113
Tabla 18: Comparación del precio del biodiesel entre 2019 y 2020.	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Cantidad de Lípidos por método del estado del arte.....	35
Gráfico 2: Porcentaje de lípidos por materia prima del estado del arte.	36
Gráfico 3: Precio nominal y real del biodiesel (2009-2028)	37
Gráfico 4: Consumo mundial del biodiesel.	38
Gráfico 5: Porcentaje de crecimiento del consumo por país (2018-2028).....	39
Gráfico 6: Cantidad de Lípidos por método del estado actual.	42
Gráfico 7: Porcentaje de lípidos por materia prima del estado actual.	42
Gráfico 8: Demanda del biodiesel.	46
Gráfico 9: Precio del biodiesel en el Perú.....	47
Gráfico 10: Rendimiento (%) del biodiesel.	50
Gráfico 11: Densidad (kg/m ³) del biodiesel.....	51
Gráfico 12: Punto de inflamación (°C) del biodiesel.	52
Gráfico 13: Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s) del biodiesel.....	53
Gráfico 14: Poder calorífico (MJ/kg) del biodiesel.	54
Gráfico 15: Cenizas (%) del biodiesel.....	55
Gráfico 16: Número de cetano.	55
Gráfico 17: Contenido de azufre (%) en el biodiesel.	56
Gráfico 18: Índice de acidez (mg KOH/g) de biodiesel.....	57
Gráfico 19: Contenido de agua y sedimentos (%) del biodiesel.	58
Gráfico 20: Costo (S/) por hectárea para producir biodiesel.....	62

RESUMEN

La investigación estuvo enfocada en realizar una revisión sistemática de la situación del consumo a nivel internacional y nacional del biodiesel elaborado a partir de las microalgas y aceites vegetales, destacando las características fisicoquímicas del biodiesel, por último, identificar el proceso adecuado para la elaboración del biodiesel, mediante la Norma Técnica Peruana 321.125 para que el producto sea de calidad y de uso comercial. Es una investigación que tuvo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, transversal y descriptivo, el tipo de investigación fue bibliográfica o documental. Se logró determinar que las microalgas *Chlorella sp* y *Scenedesmus Obliquus Var* y los aceites vegetales *Omphales diandra* y zapote mamey, como materia prima son buenos insumos para la producción de biodiesel, así como el método bligh & dyer, soxhlet y de extracción química, para la extracción de lípidos. Por otra parte, la materia prima que está dentro de los parámetros que establece la norma en las características físicas y químicas, es la microalga *Macrosystis pyrifera*, además, se logró determinar el proceso adecuado del biodiesel, mediante el diagrama de operaciones y el costo unitario del mismo según la materia prima que se emplee.

Palabras claves: biomasa, lípidos, microalgas, aceites vegetales, biodiesel.

ABSTRACT

The research was focused on carrying out a systematic review of the situation of consumption at the international and national level of biodiesel made from microalgae and vegetable oils, highlighting the physicochemical characteristics of biodiesel, and finally, identifying the appropriate process for the production of biodiesel, through Peruvian Technical Standard 321.125 so that the product is of quality and for commercial use. It is an investigation that had a quantitative approach, with a non-experimental, cross-sectional and descriptive design, the type of investigation was bibliographic or documentary. It was possible to determine that the microalgae *Chlorella* sp and *Scenedesmus Obliquus* Var and the vegetable oils *Omphales diandra* and *sapote mamey*, as raw materials, are good inputs for the production of biodiesel, as well as the bligh & dyer, soxhlet and chemical extraction methods, for the lipid extraction. On the other hand, the raw material that is within the parameters established by the standard in the physical and chemical characteristics is the microalga *Macrosystis pyrifera*, in addition, it was possible to determine the appropriate biodiesel process, through the operation diagram and the unit cost of the same according to the raw material that is used.

Keywords: biomass, lipids, microalgae, vegetable oils, biodiesel.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, la contaminación del medio ambiente no conoce fronteras, sumado a la baja perspectiva que presentan los combustibles fósiles, como el petróleo, por derivar de materia prima no renovable y producir gran parte de esta contaminación en el proceso de combustión, determinándose además que dentro de estas características que posee, el azufre es un elemento natural en el petróleo, por eso, está dentro de las especificaciones de las normas, ya que cuando los combustibles son quemados, el azufre se expulsa como dióxido de azufre, óxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno y las emisiones de partículas. Cualquier aminoramiento en el contenido de azufre en los combustibles disminuye las emisiones de estos compuestos y cuando este contenido reduce más allá de cierto punto, el beneficio aumenta hasta una disminución importante de las emisiones totales de contaminantes, reduciendo el efecto invernadero e incrementando la durabilidad de los motores.

A nivel mundial, el biodiesel es considerado como una solución amigable con el medioambiente, puesto que es producido a partir de aceites vegetales y grasas animales, entre otros. El biodiesel, es definido como, la mayor fuente de componentes de triglicéridos, formados por aceites vegetales y grasas animales, los cuales, químicamente, son ésteres de ácidos grasos con glicerol y que son sometidos por procesos como la transesterificación (KNOTHE, y otros, 2010).

En países como Estados Unidos, la producción de biodiesel ha ido aumentando de forma exponencial entre los años 2011 al 2017, esto motivado en la premisa de que la producción de biodiesel representa una solución más económica y más sustentable que diésel convencional o alguna otra fuente de combustible vegetal o fósil (SÁNCHEZ, 2017).

Esta misma cultura, ha sido adoptada por otros países de Latinoamérica como Argentina, en cuya producción de biodiesel se basaba en un 76% teniendo una ventaja competitiva con otros productores a partir de su elaboración del aceite de soja. Posicionándose, además, en el tercer productor a nivel mundial, luego de EE.UU., y Alemania (CALZADA, y otros, 2019).

A nivel nacional, la temática de producción de biodiesel no ha sido muy explorada. Sin embargo, de acuerdo con el interés despertado por producir biocombustibles a partir de fuentes que representen una viabilidad desde la perspectiva medioambiental, se introdujo la posibilidad de extraer los lípidos y/o aceites a base de vegetales como el aceite de colza, soja, girasol, coco, palma, entre otros.

Además, se conoció que las microalgas poseen un rendimiento de hasta 30 veces más de aceite por área, en comparación con otros cultivos explorados para la producción de biodiesel. En cuanto a esto, según (LEYVA GUERRERO, 2017) menciona, que las microalgas pueden generar hasta un 80% de biomasa y aceite seco entre 20% - 50%. No obstante, su explotación ha sido de sólo 0.06% de las 25 000 especies que existen.

Es por ello que, para este trabajo de investigación, se hizo una revisión sistemática o documental de la situación del consumo del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, además, de la caracterización física y química del biodiesel de dichas materias primas, y a cerca de su proceso adecuado y costo unitario para la elaboración del biodiesel.

La pregunta general de esta investigación se formuló de la siguiente manera: ¿Qué diferencias existieron en los patrones de la caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?

para dar como respuesta a esta pregunta general se formularon las siguientes preguntas específicas:

primera, ¿Cuál fue el estado del arte del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?, segunda, ¿Cuál fue el estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú?, tercera, ¿Cuáles fueron las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?, y cuarta, ¿Cómo fue el proceso adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales?

La justificación de este estudio, a nivel teórico, se enfocó en el aporte a las nuevas investigaciones en materia de producir biodiesel a partir de microalgas y/o aceites de origen vegetal, las cuales representan una alternativa a los combustibles convencionales que generan un impacto considerable al medioambiente. Del mismo modo, a nivel práctico, en esta investigación se analizó las características del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites de origen vegetal, la cual, de poseer las propiedades físicas y químicas adecuadas, según las normas a nivel nacional e internacional que están ya establecidas, podrían ser presentadas como un producto alternativo a nivel comercial en el país para el desarrollo de actividades industriales. Finalmente, a nivel metodológico, este estudio también permitió aplicar los conocimientos y herramientas adquiridos durante la formación profesional para tener como resultado el análisis adecuado de las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, además serviría de aporte para futuras investigaciones en el desarrollo de productos de dichos orígenes.

Para responder a las preguntas generadas, se planteó el objetivo general: Analizar el patrón de diferencias de la caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales. Así mismo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: primero, describir el estado del arte del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, segundo, definir el estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú, tercero, determinar las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir microalgas y aceites vegetales, y, cuarto, determinar el proceso adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales.

II. MARCO TEÓRICO

Después de haber realizado la búsqueda de trabajos previos en artículos científicos y documentos electrónicos, donde se encontraron investigaciones cercanas y que se relacionan directa o indirectamente con lo que se está investigando en el presente trabajo. Estos trabajos previos de investigación se dividen en 2 niveles: internacionales y nacionales.

Según (TEJEDA BENITEZ, y otros, 2015) en su artículo “Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas” en la que tuvo como objetivo estudiar el cultivo de microalgas *Chlorella Vulgaris* sp. Y *Dunaliella salina* bajo diferentes condiciones de pH y concentración de nitrógeno (mg/L) y la caracterización de los aceites obtenidos, para evaluar su potencial uso como materia prima en la producción de biodiesel. La muestra de ambas microalgas fueron de 300 mL, donde los resultados que se obtuvo de esta investigación fueron los siguientes: para la microalga *Chlorella* sp. la producción de biomasa fue de 98.61 mg/L y para la microalga *Dunaliella salina* fue de 71.89 mg/L. Para el contenido de lípidos para dichas microalgas fueron de 40.23% para la *Chlorella* sp. y 23.48% para la *Dunaliella salina*. Para la producción de biodiesel se utilizó el metanol y cloroformo como catalizador. Este artículo de investigación, tuvo relación con el primer objetivo correspondiente al estado del arte.

Según (MORENO CEPEDA, 2016) en su tesis de pregrado “Identificación y caracterización de microalgas de la laguna limoncocha para su uso como biomasa en la elaboración de biocombustibles, 2016” cuyo objetivo principal fue obtener cultivos axénicos de microalgas de la laguna de la reserva biológica de Limoncocha que sirvan de materia prima para la obtención de biocombustible, en la que dentro de dicha laguna se encontraron diversos tipos de microalgas, estas son: *D. subspicatus* y *subcapitata*. Obteniendo el valor en biomasa y lípidos, para la *D. subspicatus* se obtuvo 763.9 mg de biomasa y 18.5% en lípidos; y para la *subcapitata* con un valor de 842.3 mg en biomasa y 11.0% en lípidos. A pesar de que el volumen utilizado en *P. subcapitata* para la extracción de lípidos fue mayor, su porcentaje en contenido de lípidos es menor

a la especie *D. subspicatus*. Es por estos valores que tuvieron relación con el estado del arte del biodiesel, teniendo en cuenta los lípidos y biomasa de dichas microalgas.

Según (MARTÍNEZ TORRES, 2006) en su tesis “Obtención de biodiesel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera” en Cuba, donde tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica, tratando de conocer en detalles la naturaleza, producción, perspectivas, limitaciones, ventajas y desventajas del biodiesel, así como las características de las materias primas a utilizar. El autor utilizó el metanol y el hidróxido de potasio como catalizador. Dentro de los resultados, se destacó la cantidad de aceite y lípidos extraídos, en la cual son 1200 g y 150.25 ml respectivamente. Se escogió este antecedente, ya que tiene relación con el primer objetivo específico, es decir, con el estado del arte del biodiesel, en este caso, en Cuba.

Según (MARCHENA MORA, 2019) en su tesis “producción biotecnológica de biodiesel a partir de rastrojo de piña” tuvo como objetivo principal establecer una metodología de obtención de biodiesel de *Umbelopsis isabellina* alimentado con rastrojo de piña, realizada en Costa Rica. Además, usó las normas internacionales ASTM D 6751-07 y EN 14214:2003. De 190 gramos de biomasa, se obtuvo 40% de lípidos, es decir, la solubilidad relativa los lípidos de la biomasa son más solubles en el método cloroformo: agua. Concluyó que el rastrojo de piña en la elaboración de biodiesel es una opción al método actual, por otra parte, es primordial mejorar el proceso para obtener un producto con mayor pureza. Esta investigación tuvo relación con el primer objetivo específico, teniendo en cuenta el estado del arte del biodiesel.

Según (LINO ARANA, y otros, 2019) en su tesis “Obtención de aceite a partir de la semilla de zapote mamey (*Pouteria sapota*) para su uso como biocombustible” tuvo como objetivo obtener aceite a partir de la semilla de Zapote Mamey (*pouteria sapota*) para el uso como materia prima en la producción de biocombustibles. Empleó una metodología en la cual empieza con la recolección de la semilla, extracción de la almendra, triturado, secado y uso del método Soxhlet para extraer el aceite, después se destila al vacío para eliminar impurezas, se enfría, se almacena y se realizaron

análisis fisicoquímicos. Se obtuvo un mayor rendimiento de la extracción de aceite en 45.37% del peso de la almendra que es 136.1 gramos. Esto quiere decir que, el aceite de zapote mamey en comparación con otros aceites vegetales que se usan para la producción de biocombustibles, tiene propiedades muy similares a aceites como el de soja, piñón, higuera y de palma. Se escogió esta investigación, ya que se tuvo relación con el primer objetivo específico, como el estado del arte del biodiesel.

Según (OCDE/FAO, 2019) en el libro “OCDE/FAO perspectivas agrícolas 2019-2028” mencionó que en 2018 la producción de biocombustibles aumentó a nivel mundial, excepto en Argentina, ya que allí la producción disminuyó debido a que las oportunidades de exportación no fueron favorables. Si bien es cierto, el precio del biodiesel bajó debido a su amplia oferta. Por otro lado, las materias primas para elaborar biocombustibles se mantuvieron con respecto al año 2017, excepto los de aceite vegetal. Los precios a nivel mundial de los biocombustibles están ligados rigurosamente a como evolucionan los precios de las materias primas, que en su mayoría disminuyen. Hoy, cerca del 77% del biodiesel se basa en aceites vegetales, considerando que 30% de soja, 25% de aceite de palma, 18% de acenite de canola, entre otros. Por otro lado, la materia prima celulósica como las microalgas, no representan un porcentaje significativo en la producción de biocombustibles. Este libro, me permitió considerarlo para el primer objetivo específico, estado del arte.

De acuerdo con (MERCADO TUPIÑO, 2016) en su tesis “Cultivo de la microalga *Scenedesmus Obliquus* var. *Dimorphus* (TURPIN) para la obtención de biomasa y lípidos” para obtener el grado de maestría en Ecología y Gestión Ambiental, tuvo como objetivo principal determinar de qué manera con un medio de cultivo para *Scenedesmus obliquus* var. *Dimorphus* (TURPIN) se obtiene cantidad de biomasa y contenido de aceite. Tuvo como resultados, la sustracción de aceites se molió la biomasa de 36.58 g, donde se alcanzó un total de 30 mL de lípidos, en otros términos sería 86.5 mg/L y 82.79% respectivamente. Estos resultados de la tesis de postgrado, tuvieron relación con el segundo objetivo correspondiente al estado actual del biodiesel.

Según (SOUZA NÁJAR, 2016) en su tesis “Obtención de biodiesel a partir de aceite de *Omphalea diandra*” donde el objetivo de su estudio fue elaborar biodiesel a partir del aceite obtenido de las almendras de la *Omphales diandra*, mediante el método de transesterificación con alcohol, en este caso el metanol y aplicando el hidróxido de sodio como catalizador. Como resultados obtenidos en esta tesis, se obtuvo 50 g de masa y lípidos en 42.83%. Teniendo así un rendimiento de biodiesel del 86.14%. Dentro de las características físicas y químicas del aceite de dicha materia prima, fueron las siguientes: índice de refracción a 25 °C 1.4610, densidad a 25 °C 0.890 m/ml, viscosidad a 25 °C 17.57 mm²/s, índice de acidez 0.80 mg de KOH/g de aceite, ácidos grasos libres 0.40% de ácido oleico. Estos datos obtenidos, cumplen con la norma ASTM y Europea. Esta tesis tiene relación con el segundo objetivo, es decir, para poder definir el estado actual del biodiesel en el Perú.

Según (AGUILAR DÍAZ, 2019) en su investigación, “Producción de biodiesel a partir del aceite de semillas de piñón (*jatropha curcas*) para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en motores, Chiclayo”, tuvo como objetivos específicos el producir biodiesel utilizando semillas de piñón (*jatropha curcas*), analizar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y medir la cantidad de CO₂ que se emite al combustionar el biodiesel de piñón. Este biodiesel tuvo un rendimiento de 50% de 80 ml de aceite de los 5 kg de masa, obtuvo 40ml de biodiesel. En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, con un Ph de 5, temperatura a 22°C, Densidad de 913 Kg/m³. Concluyendo que es un producto que se asemeja a los estándares y las normas internacionales que requieren, con un proceso más detallado se podría llegar a obtener una mejor calidad de producto. Esta investigación se relaciona con el segundo objetivo específico, correspondiente al estado actual del biodiesel en el Perú, en este caso, usó como materia prima el aceite de semillas de piñón.

De acuerdo a (PARY HILARI, 2019) en su tesis titulada “Obtención del biodiesel a partir de lentejas de agua (*lemna gibba*) por transesterificación” donde tuvo como objetivo obtener biodiesel de dicha materia prima, utilizando como alcohol el metanol y como catalizador el Hidróxido de Sodio. Dentro de los resultados, obtuvo un total de

5.86% en lípidos a partir de 109.469 g de materia prima seca de Lentejas de agua (*Lemna gibba*), obteniendo aproximadamente 6 ml de lípidos totales. Estos datos, no fueron aptos para obtener biodiesel ya que presenta ceras y clorofila. Aunque el rendimiento de la obtención del biodiesel crudo de Lentejas de agua fue de 95%. Se eligió esta tesis, debido a la relación con el segundo objetivo específico, representando el estado actual del biodiesel en el Perú.

De acuerdo a (RAMIREZ LIZANA, 2018) en su tesis “Eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de *Ricinus communis* (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo” en la cual, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de *Ricinus communis* (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo. La investigación fue de tipo aplicada y un diseño cuasi experimental. El aceite que fue extraído de la semilla de *Ricinus communis* fue de 5 litros de aceite a partir de los 18 kilos. Dentro de todo esto, se obtuvo 11kg de biomasa, en donde la extracción de lípidos fue de 41.82%, es decir, 4.6 kg de la biomasa obtenida. El biodiesel tuvo un rendimiento de 87.47%. Se concluyó que la eficiencia del biodiesel a partir de dicho aceite, obtuvo un buen rendimiento con el alto índice de porcentaje y las propiedades obtenidas de dicho biodiesel presentan una alta eficiencia, considerando que es una estupenda alternativa ecológica y económica para ser aprovechado. Es por ello, que esta investigación se escogió ya que presenta relación con el segundo objetivo específico, considerando el estado actual del biodiesel en el Perú.

Según (ATLAS, 2010) en su libro “Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel” analizó y organizó información suministrada de países y otras fuentes, referenciándose en la cadena de producción, donde se dividió en sectores, estos son, el productor del aceite o materia prima para la obtención del biodiesel, sector de la producción de biodiesel, el mercado de biodiesel, documentando el consumo a nivel nacional y el marco legal para el funcionamiento de la producción del mismo. Además, mencionó que, en el Perú, no se reportan cifras en la producción del biodiesel, aunque, existen algunas empresas que han instalado plantas piloto para producir a partir del aceite de palma, en la actualidad esta es la principal fuente, en

cambio, el biodiesel a partir del aceite de soja se produce en menor medida. El rendimiento según la materia prima en litros por hectárea para la producción de biodiesel es para la soja 420 lt/ha y para la palma aceitera es 5550 lt/hr. Sin embargo, el aceite de soja tiene mejor rendimiento con 86.2%, en cambio la palma aceitera se encuentra en 78.2% en rendimiento. De este libro se pudo usar para el segundo objetivo específico, con respecto al estado actual del consumo del biodiesel en el Perú.

Según (VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016) en su libro “Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales” donde describe las características principales del mercado internacional de biocombustibles, también incluye los porcentajes mínimos en la participación de mercado, como evolucionó el consumo del mismo, su oferta, los principales agentes en Europa y Latinoamérica, así como también la evolución de los precios y costos de producción. Las expectativas están llevando al estudio de que nuevos tipos de cultivos sean viables, entre estos, han comenzado con la producción a pequeña escala, estos son a base de algas, entre otros. Las plantas productoras de biodiesel en el Perú, en San Martín, producen este producto a base de aceite de palma, en Lima, a base de *Jatropha* y microalgas. Por otro lado, en el 2015, se obtuvo 5.4 de miles de barriles por día de biodiesel, esto se proyecta para el 2020 en adelante. Esta fue útil para el segundo objetivo específico con respecto a mi estudio.

Según (ECHEVERRÍA VISCAYA, y otros, 2013) en su artículo “Obtención de biodiesel a partir de aceites usados y catalizadores básicos” en la que tuvo como objetivo principal Determinar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel, comparando las muestras con el biodiesel comercial. Dentro de las propiedades fisicoquímicas están, la densidad, viscosidad, poder calorífico. Utilizó el metanol y como catalizador el hidróxido de potasio. ASTM 445, 240 fue la norma que empleó para tomar en cuenta con dichas propiedades. En la relación aceite/metanol, fue de 0.2 y el catalizador empleado usó 0.35 g. Donde los resultados que se obtuvieron para el biodiesel fueron los siguientes: 5.40 mm²/s de viscosidad cinemática a 40 °C, el poder calorífico fue de 43.19 MJ/Kg, y una densidad de 0.882 g/cm³. Este artículo tuvo relación con el tercer objetivo que corresponde a las características fisicoquímicas del biodiesel.

De acuerdo a (ARIAS, y otros, 2011) en su artículo “Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico” donde tuvo como objetivo caracterizar las propiedades del biodiesel obtenido a partir del aceite de girasol. Se efectuó mediante la norma NTC DE100/04. Se empleó el metanol para la reacción de transesterificación y el hidróxido de sodio como catalizador. Dentro de las propiedades se obtuvieron resultados de punto de inflamación de 178,67 °C, viscosidad cinemática de 5,03 mm²/s, poder calorífico de 39,000007 MJ/kg, cenizas en 0,0013%, número de cetano en 45,55, contenido de agua y residuos de 0,1992% y densidad del biodiesel de 884,0 kg/m³. Como cualquier biodiesel, este destacó por sus bondades ambientales, ya que procede de una fuente renovable, contenido de azufre cercano a cero. Además, contribuye a fuentes alternativas de energía. Se seleccionó este artículo por la relación con el tercer objetivo específico, que corresponde a las características físicas y químicas del biodiesel.

De acuerdo con (ARCE PORTUGAL, 2018) en su investigación “Caracterización Físicoquímica de Biodiesel a partir de la Microalga *Chlorella Vulgaris*, Obtenida en Fotobiorreactor Tubular”, tuvo por finalidad obtener y caracterizar el biodiesel a partir de la microalga *Chlorella Vulgaris*, obtenida en fotobiorreactor tubular para la producción de biodiesel dentro de las especificaciones técnicas de Petroperú NTP 321.139. Dicha investigación se enmarcó en un tipo experimental. Los análisis que se efectuaron en la extracción de lípidos para la producción de biodiesel, presentaron valores de 619,67 hasta 5636,33 mg/L, en la cual se produjo un rendimiento de 85,6%. En las características físicoquímicas, obtuvo un 0,0% de residuos de agua y sedimentos, punto de inflamación de 123,58 °C, la densidad de 0,88131 g/mL, número de cetanos de 42,83 y con un índice de diésel de 45,829. Todos estos valores muy cercanos comparados a la norma antes mencionada. Se seleccionó esta investigación por la relación que existe con el tercer objetivo específico, correspondiente al estado actual del biodiesel y características físicas y químicas del mismo, tomando en cuenta la NTP 321.139. Además, usó como materia prima la microalga *Chlorella Vulgaris*.

Según (AMAYA, 2018) en su tesis de investigación, “Producción de Biocombustible a partir de Residuos de Flora Bentónica del Distrito de Marcona, 2018”, el cual tuvo como objetivo general de producir de forma adecuada biocombustible a partir de residuos de la flora bentónica del distrito de Marcona, 2018. Esto conllevó a determinar la calidad de biodiesel a partir de dichas muestras. Esta investigación tuvo un diseño experimental, pre experimental, de tipo aplicada a nivel explicativo. Se utilizó el alga marina *Macrocystis pyrifera*, con muestras de 30 g en 3 etapas, la extracción del aceite se realizó mediante deshidratación al sol, llevando a la fase de transesterificación agregando también metóxido de sodio para la separación de las fases. Los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas, fueron las siguientes: densidad 0,89999 g/mL, viscosidad cinemática a 40 °C de 2,3314 cST, número de acidez de 0,344 mg KOH/g, residuo de carbón de 0,024% y cenizas de 0,017%, se obtuvo el poder calorífico de 38 a 40 MJ/kg. Estas propiedades determinaron que la calidad del biocombustible cumple con las normas especificadas EN14214, ASTM D6751, NTP 321.125.2008. Se seleccionó esta investigación, ya que tiene relación con el tercer objetivo, según los datos de las características fisicoquímicas del biodiesel, teniendo en cuenta las normas especificadas.

Según (GARCÍA, y otros, 2017) en su artículo “Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador” donde tuvo como objetivo principal determinar las propiedades físicas y químicas del aceite y del biodiesel obtenido de la semilla de *Jatropha curcas* L. oriunda de la provincia de Manabí, Ecuador. Para esta investigación usó el método de transesterificación, donde utilizó el metanol y como catalizador 1% de hidróxido de sodio. La determinación de las propiedades fue realizada bajo la norma ASTM. Los resultados obtenidos de esta investigación fueron los siguientes: 2,73 mg KOH/g como índice de acidez, densidad a 15 °C a 938 Kg/m³, la temperatura de inflamación a 160 °C, viscosidad cinemática de 30.85 mm²/s, el índice de cetano fue de 57, punto de nube de 5 °C. concluyendo así que las características fisicoquímicas del biodiesel son buenas y apropiadas correspondiendo a las normas y estándares. Este objetivo tuvo relación con el tercer objetivo de esta investigación.

De acuerdo a (KEERA, y otros, 2018) en su artículo de investigación “Producción y optimización del biodiesel de aceite de ricino” tuvo como objetivo general reportar datos experimentales sobre la producción de ésteres metílicos de ácidos grasos a partir del aceite de ricino. Dichos autores utilizaron el hidróxido de potasio (KOH) como catalizador, además, investigaron los factores que afectan el rendimiento del biodiesel a partir de dicho aceite. Dentro de las propiedades del biodiesel, tomaron en cuenta los siguientes: Punto de inflamación a 194 °C, viscosidad cinemática a 40 °C en 15,40 mm²/s, poder calorífico de 38,34 MJ/kg, número de cetano en 43.7, el contenido de azufre fue nulo, el índice de acidez de 0,63 mg KOH/g, el contenido de agua y sedimentos en 0,15% y la densidad de 0,9461 g/cm³. Estas propiedades del biocombustible de aceite de ricino estuvieron dentro de los estándares que se recomienda. Además, este artículo tuvo relación con el tercer objetivo de esta tesis de investigación, referenciándose en las características físicas y químicas del biodiesel.

Según (ECHEVERRÍA, 2018) en su tesis “Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel a base de aceite de Higuera B10” tuvo el objetivo de realizar el análisis de las propiedades físicas y químicas del biodiesel a base de aceite de higuera B10, los resultados de las propiedades se obtuvieron con base en las normas internacionales ASTM, EN y la INEN con respecto a la norma nacional, Ecuador. Así mismo, los resultados obtenidos son los siguientes: Densidad 544.62 kg/m³, punto de inflamación 72.1 °C, sedimentos y agua residuales 0.05%, Cenizas 0.0080%, viscosidad cinemática a 40 °C 4.21 mm²/s, cantidad de azufre 0.014 mg/kg y número de cetano 51. Concluyendo que el índice de cetano según las normas nacionales e internacionales es 47 como mínimo, esto significa que es de una mejor calidad al tener un cetanaje elevado, así mismo con la cantidad de azufre, ya que cumple con el requisito máximo, siendo muy amigable con el medio ambiente. Esta tesis de investigación, tiene relación con el tercer objetivo específico, teniendo en cuenta las características o propiedades fisicoquímicas del biodiesel.

Según (GALLEGOS ARDILES, y otros, 2013) en su tesis titulada “Simulación del proceso para la obtención de biodiesel a partir de aceites usados usando datos

obtenidos a nivel de laboratorio” tuvo el objetivo de hacer un estudio a nivel de laboratorio del proceso de transesterificación del aceite para la producción del biodiesel y su escalamiento mediante un simulador, con el fin de dar a conocer otro medio que contribuya a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y permitir de esta manera el desarrollo socio económico del país. El biodiesel se caracterizó comparándose con las especificaciones técnicas que se encuentran en la norma internacional ASTM. Los autores tuvieron en cuenta el proceso para elaborar el biodiesel, donde señala que se realizó en las siguientes etapas: preparación del aceite, transesterificación del aceite con metanol en presencia de un catalizador básico como el hidróxido de sodio, seguido de la separación, lavado y secado del biodiesel. Dicha tesis tuvo relación con el cuarto objetivo específico con esta investigación, para así determinar el proceso adecuado.

De acuerdo a (MELOSEVICH CHICO, y otros, 2013) en su tesis “Simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad nacional de Trujillo” donde su objetivo principal fue estudiar los componentes químicos, reacciones, propiedades y equipos en el proceso de elaboración de biodiesel a partir del aceite vegetal de soya. La simulación se estableció en seis etapas, estas son: mezclado, seguida de la reacción, luego la recuperación de metanol, lavado, después sigue la purificación de biodiesel y purificación de glicerol. Donde se indicó que del proceso se obtiene el 96.5% en peso como mínimo, es decir, por cada 35.42 kg/hr de aceite, se producen 33.48kg/hr de biodiesel. Esta tesis tuvo relación con el objetivo de determinar el proceso adecuado del biodiesel.

Según (OSORIO MENIZ, 2018) en su tesis “Mejora de procesos para optimizar los volúmenes de obtención de glicerina y biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado en la Universidad César Vallejo – ATE, 2018” tuvo como objetivo general determinar de qué manera la mejora de procesos optimiza los volúmenes de obtención de glicerina y biodiesel en laboratorio a partir de aceite vegetal reciclado en dicha universidad y sede, además, demostrar como la mejora de procesos optimiza el volumen de obtención de biodiesel en laboratorio a partir de aceite vegetal reciclado. Las

condiciones de reacción por transesterificación fueron de alcohol en 11 ml de metanol, el catalizador fue Hidróxido de Sodio en 0.9 gramos. Además, se indicó un total de 24 actividades, en las cuales, 13 son actividades de operaciones, 2 de almacenamiento, 1 en demora y 8 en inspección. Se eligió esta investigación, ya que tiene relación con el quinto objetivo específico, mejor dicho, con determinar el proceso adecuado para elaborar biodiesel que en este caso usó como materia prima el aceite vegetal reciclado.

De acuerdo (BINDA GARCÍA, y otros, 2007) en su tesis de maestría “Análisis estratégico de la industria del biodiesel en el Perú” tuvo como objetivo analizar la industria del biodiesel, describiendo también las características técnicas y las materias primas que se pueden utilizar en el proceso productivo. Dichas materias primas fueron las siguientes: Palma aceitera, piñón, canola, girasol, soya y algas. Además, mencionó que el biodiesel de soya está estimado en US\$ 833/barril, esto equivale a S/ 8.8/galón, el precio estimado por Petroperú y el precio del biodiesel son referenciales, puesto que el precio final dependerá de que materia prima se utilice, de los insumos, de la disponibilidad de estos, entre otros factores particulares de cada país o empresa. Dentro del proceso, se dividió en 9 etapas, estas son: Semillas oleaginosas, extracción del aceite, aceite crudo, refinación, reacción de transesterificación, separación de fases, recuperación de ésteres y alcohol, purificación de ésteres y finalmente se obtiene el biodiesel. Esta tesis de maestría, se escogió por la relación con el cuarto objetivo específico, para determinar el proceso adecuado del biodiesel y el costo del mismo.

Según (PINTO ROMERO, y otros, 2020) en su proyecto de investigación “Diseño in silicio de un proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) en el Cantón Shushufindi, Provincia de Sucumbíos” tuvo como objetivo recopilar los datos para modelar un diseño de un sistema de producción de biodiesel a partir de aceite de palma como una alternativa al uso de combustibles fósiles. Los equipos diseñados tuvieron la capacidad de procesamiento de 5000 Kg/h de aceite crudo de palma, todo bajo la norma técnica ASME, el costo de la compra de los mismos se basó en la capacidad, material y la estandarización. Se concluyó que el

método más utilizado y eficiente para producir biodiesel a partir de dicha materia prima, se realiza mediante el método de transesterificación, ya que tiene ventajas con respecto al costo, tiempos cortos de reacción y conversión directa. Además, el diseño de producción del biodiesel tiene como resultado 5031,14 kg/h de producción de biodiesel. Las etapas de producción del biodiesel se dividen en: reacción, refinación y purificación del glicerol. Esta investigación podría tener relación con el cuarto objetivo específico, para determinar el proceso adecuado del biodiesel.

Según (CAMPOS COLORADO, y otros, 2013) en su tesis titulada “Diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de las semillas de higuera en el Valle Condebamba, Cajamarca” en la cual, tuvo el objetivo primordial determinar la factibilidad técnica y económica del diseño de una planta productora de biodiesel, aprovechando el potencial industrial de la higuera en el Valle de Condebamba, Cajamarca. En la cual concluyó que la planificación de negocios es factible, amparado en la creciente demanda de biocombustibles, tanto a nivel nacional como internacional y el potencial industrial de higuera en Cajamarca. Además, se realizó un DOP donde tuvo las siguientes etapas: esterificación, transesterificación, separador de fases, evaporación, transporte a enfriamiento, enfriamiento, lavado, transporte a deshidratado, deshidratado, filtrado, enfriamiento, transporte a tanques de almacenamiento y almacenamiento del biodiesel. En total fueron 13 actividades. Esta investigación tuvo relación con el objetivo de determinar el proceso adecuado para elaborar el biodiesel.

Según (TARNOUSKY, 2011) en su tesis de maestría “El biodiesel en Argentina / Plan de Negocios” tuvo como objetivo desarrollar un proyecto de inversión para la instalación de una planta de biodiesel en Argentina como una alternativa competitiva y sostenible para el uso de hidrocarburos, considerando su eficiencia y rentabilidad en el mercado, como su sustentabilidad a un plazo largo. Se analizó a partir de la estructura de costos, que el aceite de soja es de gran influencia. Se llegó a concluir que se puede presentar un producto de calidad para sustituir al diesel que deriva del petróleo, ya que este no es un recurso renovable, que tenga un precio competitivo que

permite obtener una rentabilidad aceptable para el nivel de riesgo del proyecto. Por otra parte, se observó que para elaborar el biodiesel a partir de dicha materia prima, sus actividades son las siguientes: en primer lugar el control de calidad del ácido fosfórico, seguido del control de calidad del aceite crudo, acompañado del calentamiento del aceite, en segundo lugar el control de calidad del hidróxido de sodio, seguido de la purificación del aceite, continuando con el secado del aceite purificado, para tomar el control de calidad del metanol, luego pasa al mezclado del hidróxido de sodio y metanol para formar el metóxido, en la siguiente actividad de transesterificación, decantación, purificación, lavado, secado, filtrado, control de calidad del biodiesel. Esta tesis de postgrado, se escogió por la relación con el cuarto objetivo específico, para determinar el proceso adecuado del biodiesel.

De acuerdo a (TEQUÉN ARROYO, 2017) en su tesis de pregrado “Calidad de biodiesel a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado” tuvo como objetivo general evaluar el rendimiento del aceite de cocina usado para la obtención de biodiesel. Dicha investigación tomó como muestra aceites usados de un restaurante del pueblo joven 9 de octubre, en la cual fueron 150 ml por cada tratamiento, donde tuvo un total de 5 litros por conveniencia. Además, usó 166 ml de etanol e hidróxido de potasio como catalizador en concentraciones de 1% (1.34 g). También analizó los parámetros tales como: densidad 876.56 Kg/cm^3 , índice de acidez 0.36 mg KOH/g , viscosidad 1.85 cp y porcentaje de conversión 76.67% . Estos datos fueron establecidos en la norma NTP 321.215.2008. Así mismo, para la estimación del costo del biodiesel, se consideró la materia prima que se necesita, donde para producir 240 ml de biodiesel, costó 0.69 soles, por lo tanto, 1 litro serían 2.88 soles. Tomando en cuenta que los grifos tienen el precio por galón, entonces 1 galón estaría costando 11.52 soles, compara con el diésel convencional que está costando 10.79 soles. Se escogió esta tesis, ya que tiene relación con el cuarto objetivo específico, mejor dicho, para determinar el costo del biodiesel.

Según (ALAVA VÉLEZ, y otros, 2012) en su tesis de maestría “Producción de biodiesel a base de Piñón” tuvo como objetivo principal estudiar y justificar el desarrollo de una

empresa productora de biodiesel en Ecuador a base de piñón que pueda suplir la demanda local regional. Teniendo en cuenta que la industria del biodiesel en el Ecuador aún no se había desarrollado, hubo iniciativas por parte del gobierno en la que en ese tiempo fueron incipientes para la magnitud que representaba el consumo de combustibles fósiles en dicho país. Esto significó un atraso en materia de protección del medio ambiente, comparándose con países vecinos donde ya existían porcentajes de mezcla entre diesel y biodiesel, representando un porcentaje de 5% en Perú y en Colombia 7/10%. Reportó que el biodiesel tuvo un costo de US \$1.46 el litro o US \$5.52 el galón. Se escogió esta investigación por el cuarto objetivo específico, para determinar el costo del biodiesel.

Esta investigación se sustentó con teorías en las cuales se relacionan con microalgas, aceites vegetales, lípidos, biodiesel, método para elaborar el biodiesel y las características físicas y químicas del biodiesel.

Las microalgas son organismos unicelulares o pluricelulares que se encuentran en ambientes marinos y de agua dulce, además contienen clorofila α (pigmento orgánico capaz de absorber y transformar la energía solar) y otros pigmentos fotosintéticos que pueden conducir a la fotosíntesis. Aunque su mecanismo fotosintético es similar al de las plantas superiores, estos microorganismos son más eficientes en la conversión de la energía solar en biomasa por dos razones: su estructura celular es más simple y se encuentran también en un medio acuoso que forma toda su superficie como área de intercambio de nutrientes y CO_2 (CHICO, 2017).

Las microalgas son capaces de poseer remediación en la que consiste en eliminar o transformar los contaminantes de un líquido o gaseoso. La Biomasa algal capta estos compuestos que contaminan y son recuperados mediante su cultivo. El propósito que resulta de esta capacidad del sistema de cultivo es la eliminación de contaminantes y producir biomasa para fines comerciales (HERNÁNDEZ PÉREZ, y otros, 2014).

Las microalgas son buenas candidatas para producir biomasa, la producción de aceite, ya que progresan en términos de alta eficiencia fotosintética, buena producción de biomasa y alto crecimiento que otros cultivos energéticos. Los principales

componentes de la fracción lipídica son los triacilgliceroles, ácidos grasos libres, ceras, esteroides, hidrocarburos, glucolípidos, fosfolípidos y pigmentos. También pueden estar contenidos en compuestos como los ácidos grasos halogenados e hidroxilados y las alquenosas de cadena larga. No todos los lípidos de estas microalgas son esenciales para producir biodiesel, pero los más adecuados son: los ácidos grasos libres unidos covalentemente al glicerol y sus derivados. También son la mayor parte de los lípidos totales, generalmente entre un 20% y un 40%. El biodiésel derivado de microalgas juega un papel crucial en el desarrollo sostenible del biodiésel en los últimos años (MA, y otros, 2018).

Para obtener la biomasa de la microalga, es preciso deshidratar y obtener la biomasa seca, por lo tanto, existen 2 métodos para dicho proceso: el secado solar que es el más económico y el método más costoso es el de tambores de secado en caliente, en el cual el líquido que contiene la microalga se vierte sobre unos rodillos que se calientan artificialmente que van disecando la biomasa y estas se convierten en polvo de textura fina. Una vez que se ha secado la biomasa, se extrae los lípidos, es decir, el aceite, los triglicéridos o los ácidos grasos. Aquí, también existen diferentes métodos que son la extracción por solventes, ultrasonido, extracción por fluidos supercríticos y la prensa de aceite, cuyo objetivo principal es destruir la pared celular de la microalga y extraer el aceite. El método más eficiente es el de extracción supercrítica, por lo que es muy común y el factor tiempo que se emplea, ya que hace uso de altas presiones y temperaturas para romper las células.

Para la extracción de lípidos, se usan disolventes como el etanol, hexano, además de mezclar con cloroformo: metanol en proporciones 1:2 y 2:1. Se asocian con diferentes mecanismos de disrupción celular, por ejemplo, el uso de homogeneizador y/o tratamiento con ultrasonido. La más eficiente es la mezcla de cloroformo: metanol (2:1) con ultrasonido, extrayendo así un promedio de 19% de lípidos, en la cual el 55% de estos fueron triglicéridos (DOS SANTOS, y otros, 2015).

Otro de los métodos de extracción de lípidos, es el Bligh & Dyer, este es un método que determina los lípidos totales, donde las muestras son analizadas sin secarlas

previamente y los lípidos que se obtienen pueden ser usados para el biodiesel, la desventaja de usar este método es que se utiliza cloroformo, ya que este es un compuesto tóxico con el ambiente. También, está el método soxhlet, este se utiliza comúnmente mediante una extracción sólida – líquida en un instrumento de laboratorio con el mismo nombre, en este se añade un solvente que es calentado hasta su ebullición, luego se condensa, por último, se extrae el aceite que contiene la biomasa. Otro, es el método por extracción química, es una técnica muy utilizada para la separación de un componente de una mezcla mediante un disolvente, que consiste en agitarlos con un disolvente orgánico con agua y dejar que ambas sustancias se separen (MIGUELA, 2018).

El método por extracción física, se realiza con molinos, cilindros o molturación de la semilla, con la finalidad de destruir las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado y según las características que tenga el aceite, se puede realizar el refinado en tanques de acero inoxidable para obtener la mayor cantidad de aceite (TABIO GARCÍA, y otros, 2017).

Los aceites vegetales, se obtienen a base de las semillas u otras partes de las plantas, estas no se utilizan solamente para la alimentación, sino que también, son utilizadas para fines industriales. Para obtener el aceite se separa el líquido o aceite de la parte sólida. Estos están compuestos por lípidos, es decir, ácidos grasos. La proporción de estos ácidos grasos y sus características, son las que dan las propiedades a los diferentes aceites vegetales que existen. También, son usados para hacer biodiesel, que se pueden utilizar en el diesel convencional, se utilizan en vehículos que estén preparados especialmente que cuyo método para calentar el aceite le permita reducir su viscosidad. El aceite vegetal proviene de distintos frutos o semillas como, por ejemplo: el girasol, la soya, la palma, el coco, la colza, entre otros (BUNGE, 2013).

Los lípidos o grasas son un conjunto de moléculas orgánicas, estas están constituidas por átomos de hidrógeno, carbono oxígeno, este último en menor medida, así como otros elementos, que tienen la característica de ser insolubles en agua. Estos, son vitales en la alimentación de los seres vivos, a la vez, ciertos lípidos forman el tejido

adiposo o grasa como se le conoce comúnmente, el cual su rol que cumple es de soporte, protección y almacenamiento energético. Los lípidos se clasifican en saponificables y no saponificables, dentro de los saponificables están los ácidos grasos, acilglicéridos y fosfolípidos; y dentro de los no saponificables están los terpenos, esteroides y prostaglandinas (ESTELA RAFFINO, 2020).

Por otra parte, el biodiesel es un éster mono alquílico de cadena larga de ácidos grasos procedentes de fuentes renovables, como los aceites o las grasas de los animales, el cual es utilizada en los motores diésel. Se han probado varios aceites para la producción de biodiesel, principalmente los que son abundantes en el área de investigación o en el país. En los Estados Unidos, el aceite obtenido a partir del maíz se utiliza principalmente, mientras que en continente europeo se utiliza el aceite de colza. En otros países, como Malasia, han utilizado como materia prima la palma africana. Los países tropicales están estudiando el uso del aceite obtenido del coco y la palma. La producción depende del costo de la materia prima (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2019).

Los ésteres de ácidos grasos que resultan en biodiesel determinan las propiedades que son importantes en el combustible. Por ello, depende de la composición de la materia prima porque son compuestos de ácidos grasos variables, que pueden usarse para la producción del mismo (KNOTHE, y otros, 2017).

Para la obtención del biodiesel, se realiza en 6 etapas, estas son: Mezclar alcohol o catalizador, reacción de transesterificación, separación, lavado del biodiesel, luego se realiza el secado del biodiesel, y, por último, pero importante, la purificación de la glicerina. Por tratarse de una reacción química con un alcohol (metanol o etanol) para dar como consecuencia mono alquil ésteres y glicerol. La misma se efectuará en presencia de un catalizador básico, ya que este es el que presenta buen desempeño y mayor velocidad de reacción en condiciones moderadas de presión y temperatura. Después de la reacción, el biodiesel crudo presentará un alto contenido de alquil ésteres y otras impurezas, que deben ser eliminadas en la etapa de purificación. El proceso de purificación consistirá en lavar el biodiesel obtenido para eliminar las

impurezas presentes, seis soluciones de ácidos para neutralizar el catalizador y evitar saponificación, además de la formación de emulsiones por acción de los jabones formados en la etapa de transesterificación (ARBELÁEZ MARÍN, y otros, 2007).

El biodiesel es un combustible alternativo similar al diesel convencional que en general, es producido a partir de aceites vegetales, grasas animales, microalgas, entre otros. Este es ventajoso sobre el diesel, ya que no es tóxico, está libre de azufre y aromáticos, además, es biodegradable. Por ello, emite menos contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero distintos de los óxidos de nitrógeno (GEBREMARIAM, y otros, 2018).

Las características o propiedades físicas y químicas del biodiesel, son aquellas que se basan en la estructura de la sustancia, que es visible y medible, además, estas nos informan sobre el comportamiento del material ante las diversas acciones externas. La diferencia entre estas propiedades es que las físicas son visibles, medibles y no alteran el biodiesel, en cambio, las químicas comportan la reacción del biodiesel con respecto a otras sustancias, creando una nueva sustancia (TORRES BÚA, 2014).

A continuación, se presentó la Tabla 8, en donde se identifican las propiedades del biodiesel para su producción. (Ver Anexo 4)

El rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del biodiesel, tienden a variar dependiendo de la materia prima de donde se obtiene. Este se determina mediante el método gravimétrico utilizando la relación del peso del biodiesel puro entre el peso del aceite más el peso de aditivos, eso multiplicado por el 100%.

La densidad, es una de las propiedades importantes, ya que el biodiesel que ingresa a los motores debe ser medido con mucha precisión, para tener una calidad óptima, por lo tanto, se utilizará un densímetro de flotación, se considera que para una correcta medición se debe tener un control constante de la temperatura del biodiesel, también, es la relación entre la masa y el volumen de aceite medido a 15.6°C (BUHELLI CARPIO, y otros, 2015).

El punto de inflamación mide con que facilidad se produce la combustión de un petróleo diésel mediante un motor y un combustible de referencia. Es decir, es la temperatura en la que el combustible empezará a quemarse cuando está en contacto con fuego. Este parámetro es importante desde la perspectiva en seguridad, como en el transporte, para manipular y almacenar. Según la norma ASTM D-6751, el biodiesel tiene un punto de inflamación mayor o igual a 130 °C. Este tiende a ser mayor comparado con el diésel de petróleo que tiene el punto de inflamación en aproximadamente 71 °C. El punto de inflamación del biodiesel de *Jatropha curcas* L. tiene menos impurezas volátiles, este rasgo de combustible es importante para la puesta en marcha y calentamiento de motores. Sin embargo, un combustible con mayor punto de inflamación causaría depósitos de carbón en la combustión (GARCÍA, y otros, 2017).

La viscosidad cinemática a 40 °C es la más importante característica del combustible y se define como la resistencia del líquido a fluir, ya que afecta la operación de inyección del combustible y procesos de combustión, este cálculo se realiza de acuerdo a norma, debe estar comprendida entre los parámetros que especifica la norma. Este consiste en utilizar agua destilada, medir el tiempo que tardan los fluidos en descender por el viscosímetro (DÍAZ DOMINGUEZ, y otros, 2019).

La estructura que está presente en la composición de los ácidos grasos como cadenas largas, entre otros, pueden influir en este parámetro, debido a que se incrementa con el aumento en la longitud de la cadena y disminuye con el número de dobles enlaces. El valor de este parámetro puede estar entre 1,9 – 6 mm²/s (García, y otros 2018). El procedimiento a seguir es colocar 10 mL de grasa o aceite en la cubeta del viscosímetro. Se coloca la cubeta en el viscosímetro y se termostatiza a 40°C. Una vez que alcanza la temperatura que se desea, se selecciona la velocidad de giro en función de la viscosidad esperada, se enciende el aparato y se ajusta a cero. Se pone en funcionamiento el rotor para comenzar la medida. Cuando el valor se mantiene, dicho valor se anota y multiplica por el factor de corrección que corresponda (SÁNCHEZ, 2015).

La energía que es contenida en un combustible es medida por su poder calorífico. Este es la energía que se desata al producirse una combustión completa del combustible, por consiguiente, los gases de combustión se enfrían y se condensan los vapores. Este también influye en el uso del calor de la condensación. El poder calorífico se determina quemando una muestra del combustible y haciendo seguimiento de las variaciones de temperatura antes y después de la combustión (OILTANKING, 2019). El biodiesel que se obtiene a partir de aceites reciclados posee un poder calorífico menor que el diésel siendo aproximadamente de 37.20 a 39.83 MJ/Kg, en comparación con el diésel que es de 43 a 45 MJ/Kg, es decir, el poder calorífico es de 14 a 15% menor por su peso (FARFAN, y otros, 2017).

Las cenizas que se forman en la combustión se presentan en tres maneras: sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y catalizador remanente. Este último, del 5 al 20 % que está en circulación, este ingresa a través de una corona de tubos periféricos y mantiene la parte superior del lecho catalítico al nivel que se requiere para dar la alimentación el tiempo suficiente de reacción para así, el rendimiento que se desea se pueda lograr, es importante rescatar que los sólidos abrasivos y el catalizador remanente provocan un desgaste rápido al inyector, y otros componentes del motor (ECHEVERRÍA, 2018).

El sulfatado disminuye las pérdidas por volatilización y así beneficia la culminación de una completa combustión, en el proceso las sustancias fusibles y volátiles se transforman en sulfatos más fijos y por ende da lugar a que la composición de las cenizas sea uniforme. Los residuos de cenizas que se forman en el motor tienen como efecto llenar de ceniza o carbonilla en las piezas del motor. Lo ideal es que contenga cenizas en un rango de 0,001 a 0,180% en masa de combustibles (ECHEVERRÍA, 2018).

El número de cetano se calcula a partir de la volatilidad (correspondiente a la temperatura del 50% destilado) y la densidad del biodiesel. Es un medio en la cual se determina la calidad de la combustión del diésel y equivale al porcentaje por volumen

del cetano en la mezcla con hepta-metil-nonano (alcano de cadena ramificada con fórmula molecular $C_{10}H_{22}$), la cual se compara con la calidad de ignición del combustible prueba. En el diésel, el índice de cetano se incrementa a medida que aumenta la longitud de la cadena (CHASI, 2015).

En otras palabras, este parámetro indica el retraso de ignición del gasóleo, es decir, el tiempo que se requiere entre la inyección del combustible en la cámara de combustión y el comienzo de combustión. Por lo tanto, si el número de cetano es bajo, esto indica que hay retraso en la ignición y llevan asociados mayores emisiones de óxidos de nitrógeno (SERRANO MARTINEZ, 2016).

El contenido de azufre existe por naturaleza en el petróleo. Si este no se elimina durante la refinación, contaminaría al combustible. Además, el biodiésel no debe contener más del 0.05 % en peso de contenido de azufre (CHASI, 2015).

El biodiesel no contiene azufre, lo cual permite que sea utilizado como una alternativa para reducir el contenido de éste, en la misma proporción en la que se adiciona (ARIAS QUINTERO, y otros, 2018).

El índice de acidez se expresa como la cantidad de Hidróxido Potásico (KOH) o Hidróxido de Sodio (NaOH) en mg que se requiere para neutralizar 1g de ácidos grasos de metil ésteres. Esto evidencia la existencia de ácidos grasos o ácidos usados en la elaboración de biodiesel y también la degradación del biodiesel. Mayor cantidad de ácidos libres significa mayor índice de acidez, por lo que puede ocasionar una corrosión en los sistemas que alimentan combustible en un motor. El límite que especifica la norma ASTM D-6751, es menor a 0,5 mg KOH/g biodiesel (GARCÍA, y otros, 2017).

Por último, el contenido de agua y sedimentos, es fundamental para la calidad del combustible, este señala la cantidad de agua por circunstancias del proceso o del mismo ambiente, este contribuye a la contaminación microbiológica (BRAVO MURILLO, y otros, 2016).

Son las gotas de agua o partículas de sedimentos que quedan. El parámetro para el biodiesel B100 es el mismo que se permite en el diésel convencional, el número máximo para el % en agua y sedimentos es de 0.05 (ECHEVERRÍA, 2018).

El agua puede corroer ciertos componentes en un motor, además contribuye a la aparición y crecimiento de microorganismos. Los sedimentos pueden formarse debido a que existe un mal proceso en purificar el combustible, afectando a la temperatura de cristalización y al número de cetano (MAFLA YEPEZ, y otros, 2018).

El biodiesel es un combustible higroscópico que absorbe agua hasta más de 40 veces que el diésel. Por eso, en los tanques de almacenamiento, se puede formar agua por medio de condensación de acuerdo en qué condiciones manipulan y transportan el combustible (HERNÁNDEZ, 2016).

Por otra parte, uno de los factores que genera la contaminación del medioambiente es por las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles, estos combustibles emiten factores contaminantes a través del proceso de combustión mediante los motores, es por ello que dentro de estos factores contribuyen negativamente en gran medida a las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), entre otros.

Los beneficios que tiene el ambiente al uso de biocombustibles, es que, hay una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en relación con los combustibles. Así, las emisiones CO y disminución del CO₂ están presentes en el biodiésel, debido al contenido de oxígeno en el mismo y al aumento de la velocidad del motor durante la combustión. De manera similar, en el CO disminuye en un 30% cuando se utiliza una mezcla B25. Por otro lado, las emisiones de NO_x aumenta con el uso de biodiesel (B100) comparado con diesel puro (B0). Esto es debido a que el uso de biodiesel genera mayores emisiones de NO_x, a pesar de su alto índice de cetano. Este oxígeno mejora la oxidación del combustible durante combustión. Las emisiones de SO₂, disminuyen cuando el porcentaje del biodiésel en la mezcla aumenta, con un valor mínimo, para biodiésel, a diferencia del diésel puro que generaba 17ppm (ACEVEDO PÁEZ, y otros, 2019).

El monóxido de carbono, es un gas pesado más pesado que el oxígeno o el aire, que se obtiene a partir de la combustión incompleta de los combustibles fósiles. Estos son emitidos mediante los vehículos en una cantidad significativa. Este se produce dependiendo en cómo se quema el combustible, además, este desplaza al oxígeno de la atmósfera en cantidades pequeñas, puesto que a la larga puede ser mortal, tanto para el ser humano como para el medioambiente (COLCHA PROAÑO, 2019).

El óxido de nitrógeno, son gases que están conformados por el nitrógeno y oxígeno, valga la redundancia. Donde el nitrógeno, es un elemento que representa el 78% del aire que todo ser humano respira. Este incluye compuestos como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂); es por ello que el NO_x se refiere a que se combinan estas dos sustancias mencionadas anteriormente. Además, estas pueden causar efectos dañinos en la salud y al ambiente con el pasar de los años (COLCHA PROAÑO, 2019).

Prácticamente el biodiesel no es tóxico, el impacto en la salud del humano es un criterio cuando es considerado la idoneidad del combustible para aplicaciones comerciales. Además, es más biodegradable que el diésel en el suelo (MARENGO, y otros, 2019). El biodiesel es biodegradable y no tóxico y puede disminuir sustancialmente cantidad de emisiones de escape, particularmente de hidrocarburos no quemados, partículas, materiales y monóxido de carbono. Sin embargo, el biodiesel puede caracterizarse como una espada de doble filo con impactos tanto positivos como negativos. Los defensores del biodiesel afirman que tiene el potencial de ser "carbono neutral" durante su ciclo de vida y puede conducir a una combustión más limpia (MARCHETTI, 2018).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de Investigación

El tipo de esta investigación, según el enfoque fue cuantitativa, según (HERNÁNDEZ, y otros, 2014) utiliza la recolección de datos, con el fin de establecer y probar teorías, además representa un conjunto de procesos ya que es secuencial y probatorio, es decir, no podemos evadir pasos, teniendo así un orden. Este enfoque se origina de una idea que una vez delimitada, se derivan de objetivos y preguntas de investigación, para que así hacer una investigación de trabajos que ya han sido elaborados y armar bases teóricas, determinando la variable, el cual se medirá en un contexto establecido, para analizar y finalmente sacar conclusiones de ello.

Según su finalidad, fue de tipo bibliográfica o documental, esta es una técnica que consiste en seleccionar y recoger información por medio de artículos científicos, documentos, tesis de grado, archivos, entre otros, en sí, consiste en revisar el material bibliográfico con respecto al tema que se va a investigar. Se considera esencial ya que incluye fases que abarcan en observar, indagar, interpretar, analizar para obtener teorías necesarias para desarrollar cualquier estudio.

Según su nivel de alcance, fue transversal descriptiva, ya que se recolectan datos en un solo momento, cuya intención es puntualizar variables y analizar su incidencia en un momento dado. Así mismo, tienen como propósito averiguar la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población.

El diseño de esta investigación fue no experimental. Según (HERNÁNDEZ, y otros, 2014), es una investigación que se realiza sin el manejo deliberado de variables y sólo se observa los fenómenos para posteriormente analizarlos. No se origina ninguna circunstancia, sino que se observan situaciones que ya existen, no causadas de manera intencional en la investigación por quien la realiza.

3.2 Operacionalización de variables

Según (CAUAS, 2015) indica que la variable es una característica observable, con una relación determinada a otros aspectos observables.

En la Tabla 9 se indicó la operacionalización de variable (Ver Anexo 5).

3.3 Población, muestra y muestreo

Según (LÓPEZ, 2004) la población es el grupo de personas u objeto en los cuales se desea conocer en un estudio, es decir, puede ser constituido por diversos tipos, como, por ejemplo: las personas, animales, registros, documentos electrónicos, entre otros. La muestra es una parte de la población de la que se llevará a cabo en la investigación, es decir, es una parte de la población.

Para la realización de este estudio, se tomó en cuenta la población finita, ya que, estuvo constituida por investigación documentada de varias fuentes, las cuales son artículos de investigación, tesis de grado, entre otros materiales.

Para esta investigación, se utilizó un total de 28 investigaciones que están vinculadas con el tema a desarrollar, en este caso caracterización del biodiesel, 5 son artículos científicos, 3 libros y 20 son investigaciones de tesis de grado.

A continuación, en la Tabla 1, se indicó la población que corresponde a cada categoría de la variable de la investigación.

Tabla 1: Población.

CATEGORIAS	SUB CATEGORIAS	UNIDAD DE ANÁLISIS	POBLACIÓN
Estado del arte	Biomasa (g)	(TEJEDA BENITEZ, y otros, 2015) (MORENO CEPEDA, 2016) (MARTÍNEZ TORRES, 2006)	6
	Lípidos (%)	(MARCHENA MORA, 2019) (LINO ARANA, y otros, 2019) (OCDE-FAO, 2019)	
Estado actual	Biomasa (g)	(MERCADO TUPINO, 2016) (SOUZA NÁJAR, 2016) (AGUILAR DÍAZ, 2019)	7
	Lípidos (%)	(PARY HILARI, 2019) (RAMIREZ LIZANA, 2018) (VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016) (ATLAS, 2010)	
Características físicas	Rendimiento (%)	(ECHEVERRÍA VISCAYA, y otros, 2013)	7
	Densidad (kg/m ³)		
	Punto de inflamación (°C)		
	Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s)		
Características químicas	Poder calorífico bruto (MJ/Kg)	(ARCE PORTUGAL, 2018)	8
	Cenizas (% peso)	(AMAYA, 2018)	
	Número de cetano (Mín.)	(GARCÍA, y otros, 2017)	
	Contenido de azufre (% peso)	(KEERA, y otros, 2018)	
	Índice de acidez (mg KOH/g)	(ECHEVERRÍA, 2018)	
Proceso	Contenido de agua y sedimentos (%V)	(GALLEGOS ARDILES, y otros, 2013) (MELOSEVICH CHICO, y otros, 2013) (OSORIO MENIZ, 2018) (BINDA GARCÍA, y otros, 2007) (PINTO ROMERO, y otros, 2020) (CAMPOS COLORADO, y otros, 2013)	8
	Número de operaciones (DOP)		
	Costo unitario (S/)	(TARNOUSKY, 2011) (OCDE-FAO, 2019)	

Elaboración propia, 2020.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Para evaluar cada indicador que se propuso, con su correspondiente recolección de datos, se tuvo como técnica el análisis documental y la observación documental indirecta.

Según (CASTILLO, 2005) el análisis documental es una ejecución que da lugar a un documento secundario que trabaja como intermediario o instrumento de búsqueda. Así mismo, es una acción teórica que da lugar a un producto derivado que actúa como herramienta de indagación entre la investigación y la recepción de la información.

Los instrumentos que se emplearon en esta investigación fueron los siguientes: 3 matrices de análisis documental, estas consistieron en cuadros de las investigaciones, que se realizaron de forma continua y sistematizada con el fin de determinar la conexión de cada uno de ellos. Así mismo, fichas de registros de los datos según corresponda. Por otra parte, el DOP y la hoja de costos.

La confiabilidad del instrumento de medición, no fue medida o respaldada, por lo que estuvo sometida a criterios propios para así recoger el material informativo o documental.

La validez del contenido de las investigaciones, se analizó por medio de criterios, tomando en cuenta principalmente el juicio de especialistas para disponer la congruencia de cada categoría y unidad de análisis, para interpretarla, analizarla, redactar la información de documentos con razón a la variable estudiada.

De igual forma, es importante acotar que los instrumentos se validaron acudiendo a tres expertos, evaluando la metodología y aspectos técnicos. La validación, de acuerdo (HERNÁNDEZ, y otros, 2014) señala que: “se apunta al grado en que un instrumento realmente mide la variable que quiere medir”.

A continuación, en la tabla 2, se indicó la técnica e instrumento de recolección de datos para cada categoría de la variable.

Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

CATEGORIAS	SUB CATEGORIAS	UNIDAD DE ANÁLISIS	TÉCNICA	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Estado del arte	Biomasa (g)	(TEJEDA BENITEZ, y otros, 2015) (MORENO CEPEDA, 2016) (MARTÍNEZ TORRES, 2006) (MARCHENA MORA, 2019)	Análisis Documental	Matriz de Análisis Documental: Estado de Arte y Actual del Biodiesel (Anexo 2.3)
	Lípidos (%)	(LINO ARANA, y otros, 2019) (OCDE-FAO, 2019)		
Estado actual	Biomasa (g)	(MERCADO TUPIÑO, 2016) (SOUZA NÁJAR, 2016) (AGUILAR DÍAZ, 2019) (PARY HILARI, 2019) (RAMIREZ LIZANA, 2018)	Análisis Documental	
	Lípidos (%)	(VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016) (ATLAS, 2010)		
Características físicas	Rendimiento (%)	(ECHEVERRÍA VISCAYA, y otros, 2013)	Análisis Documental	Ficha de registro de datos de características físicas y químicas (Anexo 2.4)
	Densidad (kg/m ³)			
	Punto de inflamación (°C)	(ARIAS, y otros, 2011)		
	Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s)	(ARCE PORTUGAL, 2018)		
	Poder calorífico bruto (MJ/Kg)	(AMAYA, 2018)		
Características químicas	Cenizas (% peso)	(GARCÍA, y otros, 2017)	Análisis Documental	
	Número de cetano (Mín.)	(KEERA, y otros, 2018)		
	Contenido de azufre (ppm)	(ECHEVERRÍA, 2018)		
Proceso	Índice de acidez (mg KOH/g)			
	Contenido de agua y sedimentos (%V)			
Proceso	Número de operaciones (DOP)	(GALLEGOS ARDILES, y otros, 2013) (MELOSEVICH CHICO, y otros, 2013) (OSORIO MENIZ, 2018) (BINDA GARCÍA, y otros, 2007) (PINTO ROMERO, y otros, 2020)	Observación indirecta	Diagrama de Operaciones del Biodiesel (Anexo 2.1)
	Costo unitario (S/)	(CAMPOS COLORADO, y otros, 2013) (TARNOUSKY, 2011) (OCDE-FAO, 2019)	Análisis cuantitativo de contenido	Hoja de costos del biodiesel (Anexo 2.2)

Elaboración propia, 2020.

3.5 Procedimientos

En primer lugar, se eligió el tema que corresponde a la caracterización de biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales. En segundo lugar, se hizo una búsqueda de referencias especializadas, enfocada o que guarden vínculo y coherencia con la caracterización de biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales.

Las informaciones halladas, se clasificaron de acuerdo a la importancia meritoria, empezando por el principio de la investigación, luego se realizó el análisis del objetivo de ella, posteriormente se describió el estado del arte y el estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, luego se analizó las características del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, y, finalmente se determinó el proceso adecuado para elaborar biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales.

Para determinar el proceso adecuado del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales, se realizó mediante antecedentes relacionados para elaborar diagramas de operaciones y el análisis de costos unitarios.

Se elaboró tres tablas donde se adjuntaron las informaciones recopiladas, colocando como encabezado, el título, autor, categoría, subcategorías, unidad de análisis, objetivos, localización, datos, entre otros. Después de realizarlo se procedió a leer los capítulos de las investigaciones que se han seleccionado para elaborar un borrador de la información a redactar. Finalmente, se realizó un documento limpio con la información, el cual se usó para la redacción de la investigación.

Por último, se realizó un resumen de las informaciones encontradas, detallando cada uno de los objetivos, tanto para el estado del arte, estado actual, caracterización y proceso adecuado. Después, se analizó cada una de ellas, para sacar conclusiones y discusiones en esta investigación. Tomando en cuenta todos los antecedentes encontrados.

3.6 Métodos de análisis de datos

Según (MARTÍNEZ, y otros, 2014) el análisis de datos se cumple con el fin de verificar la información que esté organizada y estructurada correctamente, ya que el investigador debe percatarse de manera eficiente las relaciones establecidas entre los aspectos de la investigación.

En este caso, se trabajó con el análisis de datos cualitativos, ya que es un proceso dinámico, la cual permite obtener conocimiento de un conjunto de apuntes, datos o documentos en forma narrativa o textual. Además, permite establecer al investigador significados para resolver el problema de estudio. Estos pueden derivan de diferentes fuentes que pueden ser en forma de texto, audio, imagen o vídeo.

3.7 Aspectos éticos

Según (ACEVEDO PÉREZ, 2002) los aspectos éticos en una investigación prueban hasta donde el autor estuvo dispuesto a llegar para su desarrollo, reflexionando sobre la ejecución de la investigación, tomando en cuenta como parámetro que no se dañe o perjudique a una o más personas de manera intelectual.

Para la elaboración de la investigación toda la información que se utilice y los datos que se coloquen dentro del mismo fueron elaborados de una forma veraz y confiable por el investigador.

De esta manera, el trabajo de investigación que se realizó, el investigador se comprometió a que todos los datos que se utilizaron para la caracterización del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales, se realizaron de manera propia y verdadera, sin plagio de trabajos que ya existen para que así no se produzcan alteraciones en los resultados, determinando de esa manera la efectividad en la investigación. Así mismo, la captura del porcentaje de similitud y la declaratoria de autenticidad de la tesis se encuentra, donde se indicó en el turnitin el 17%.

IV. RESULTADOS

Determinación del estado del arte del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales.

Para determinar el estado del arte del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales, los trabajos hallados y analizados, se agruparon considerando cuatro factores fundamentales, el tipo de materia prima, el método utilizado, así como la cantidad de biomasa y por ende los lípidos que aportan.

A continuación, en la Tabla 3 se mostraron las investigaciones para el análisis del estado del arte se consideraron a Tejeda Benitez, y otros (2015) y Moreno Cepeda (2016) orientados al estudio de las microalgas con base de la materia prima utilizada; Martínez Torres (2006), Marchena Mora (2019) y Lino Arana, y otros (2019) orientados al estudio de los aceites vegetales con base en la materia prima utilizada; realizada esta categorización se pudo determinar que la aplicación de un determinado proceso sobre la materia prima seleccionada, especialmente sobre la biomasa para la obtención de lípidos fue concluyente, ya que de esta dependió la efectividad para la obtención en cantidad de lípidos neutros para la producción de biodiesel, considerando que se buscó un producto competente en costo, calidad y seguridad para el medio ambiente y los seres vivientes.

Tabla 3: Estado del arte del biodiesel.

AUTOR	Tejeda Benitez, y otros (2015)		Moreno Cepeda (2016)		Martínez Torres (2006)	Marchena Mora (2019)	Lino Arana, y otros (2019)
PAÍS	Colombia		Ecuador		Cuba	Costa Rica	Ecuador
MATERIA PRIMA	Chlorella sp.	Dunaliella Salina	D. subspicatus	subcapitata	Aceite de cachaza	rastrojo de piño	semilla de Zapote Mamey (pouteria sapota)
CANTIDAD DE M.P. BIOMASA	20 L		1 L		1.2 L	0.19 L	0.3 L
	98.61 mg/L	71.89 mg/L	0.7639 mg/L	0.8423 mg/L	1.2 mg/L	0.19 mg/L	0.1361 mg/L
MÉTODOS	Bligh & Dyer		Método Soxhlet		Método por extracción química (Solvente: Nafta)	Método por extracción química (Metanol: Cloroformo)	Método Soxhlet
LÍPIDOS	40.23 %	23.48 %	18.50 %	11 %	12.52 %	40 %	45.37 %

Elaboración propia, 2020.

Entre los métodos de separación utilizados, se pudo apreciar a Bligh & Dyer, Soxhlet y Extracción Química, en el caso de Tejeda Benitez, y otros (2015) quien seleccionó como materia prima microalgas siendo particularmente la especie *Chlorella Sp* y *Dunaliella Salina*, se aplicó el método Bligh & Dyer que consistió en la homogeneización a alta velocidad de la biomasa de 98.61 mg/L de *Chlorella Sp* y 71.89 mg/L de *Dunaliella Salina*, la misma que fue mezclada con un alcohol y catalizador, seguido de una homogeneización, filtración y una centrifugación con la cual quedaron separadas las fases del alcohol y el catalizador, para luego seguir con la evaporación obteniendo el aceite o lípidos de 40.23 % derivado de la especie *Chlorella Sp* y 23.48% derivado de la especie *Dunaliella Salina*, resultando mucho más efectivos los lípidos derivados de la *Chlorella Sp*.

En Moreno Cepeda (2016), quien también seleccionó como materia prima a las microalgas siendo las especies *D. Subspicatus* y *Subcapitata*, se aplicó el método Soxhlet, que consistió en el calentamiento de la biomasa, 0.7639 mg/L de *D. Subspicatus* y 0.8423 mg/L de *Subcapitata*, hasta su ebullición dentro de un tubo de extracción soxhlet, contenida en un cartucho de celulosa y un condensador, después de evaporarse, el solvente utilizado es condensado y cae al tubo Soxhlet siendo este proceso recursivo, del cual se obtuvo el aceite o lípidos de 18.50% derivados de la especie *D. Subspicatus* y 11 % de la especie *Subcapitata*, resultando mucho más efectivos los lípidos derivados de la *D. Subspicatus*.

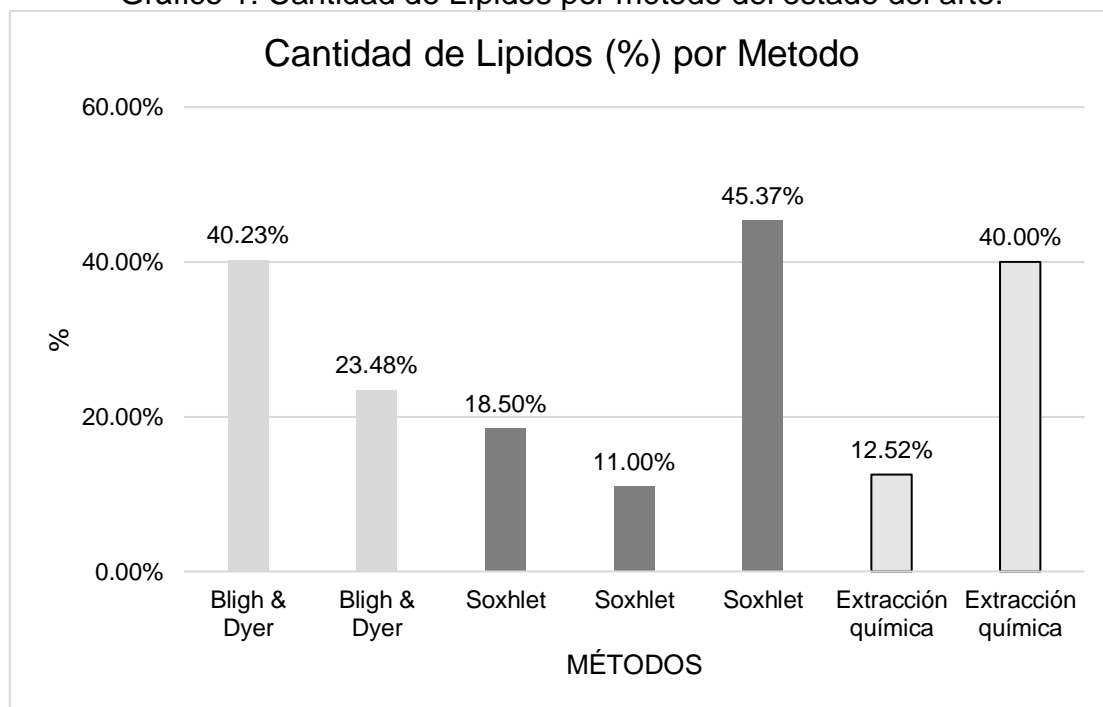
En Martínez Torres (2006), quien seleccionó como materia prima una semilla vegetal siendo la especie Cachaza, se aplicó el método Extracción Química, que consistió en la aplicación de un solvente químico directamente a la biomasa de 1.2 mg/L de la materia prima, del cual se obtuvo el 12.52 % de aceite o lípidos de Cachaza.

En Marchena Mora (2016), quien seleccionó como materia prima una semilla vegetal siendo la especie Rastrojo de Piño, se aplicó el método Extracción Química, que consistió en la aplicación de un solvente químico directamente a la biomasa de 0.19 mg/L de la materia prima, del cual se obtuvo 40.00 % de aceite o lípidos de Rastrojo de Piño.

En Lino Arana, y otros (2019), quien seleccionó como materia prima una semilla vegetal siendo la especie Zapote Mamey (pouteria sapota), se aplicó el método Soxhlet, que consistió en el calentamiento de la biomasa de 0.1361 mg/L de Zapote Mamey (pouteria sapota), hasta su ebullición dentro de un tubo de extracción soxhlet, contenida en un cartucho de celulosa y un condensador, después de evaporarse, el solvente utilizado es condensado y cae al tubo Soxhlet siendo este proceso recursivo, del cual se obtuvo el aceite o lípidos de 45.37 % derivados de la especie Zapote Mamey (pouteria sapota).

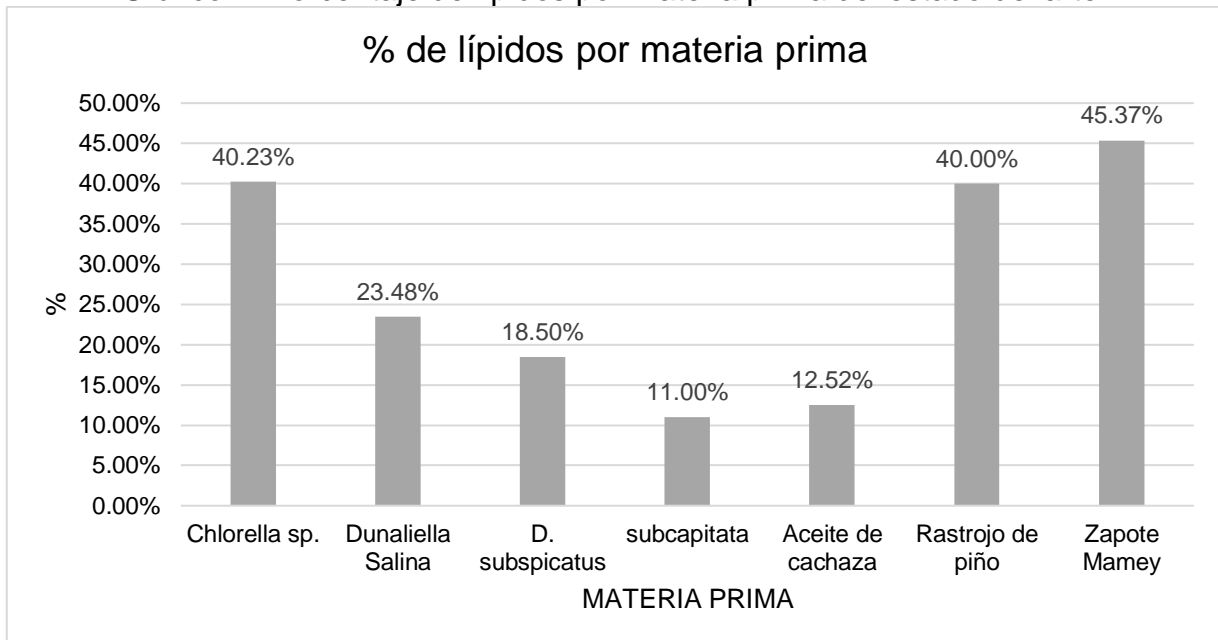
A continuación, se presentó un resumen general en gráficos de los métodos empleados para obtener la biomasa y lípidos (Ver Gráfico 1), y otro gráfico con respecto a los porcentajes obtenidos de los lípidos por cada materia prima (Ver Gráfico 2) estos son factores que influyen de cierta manera para la elaboración del biodiesel.

Gráfico 1: Cantidad de Lípidos por método del estado del arte.



Elaboración propia, 2020.

Gráfico 2: Porcentaje de lípidos por materia prima del estado del arte.



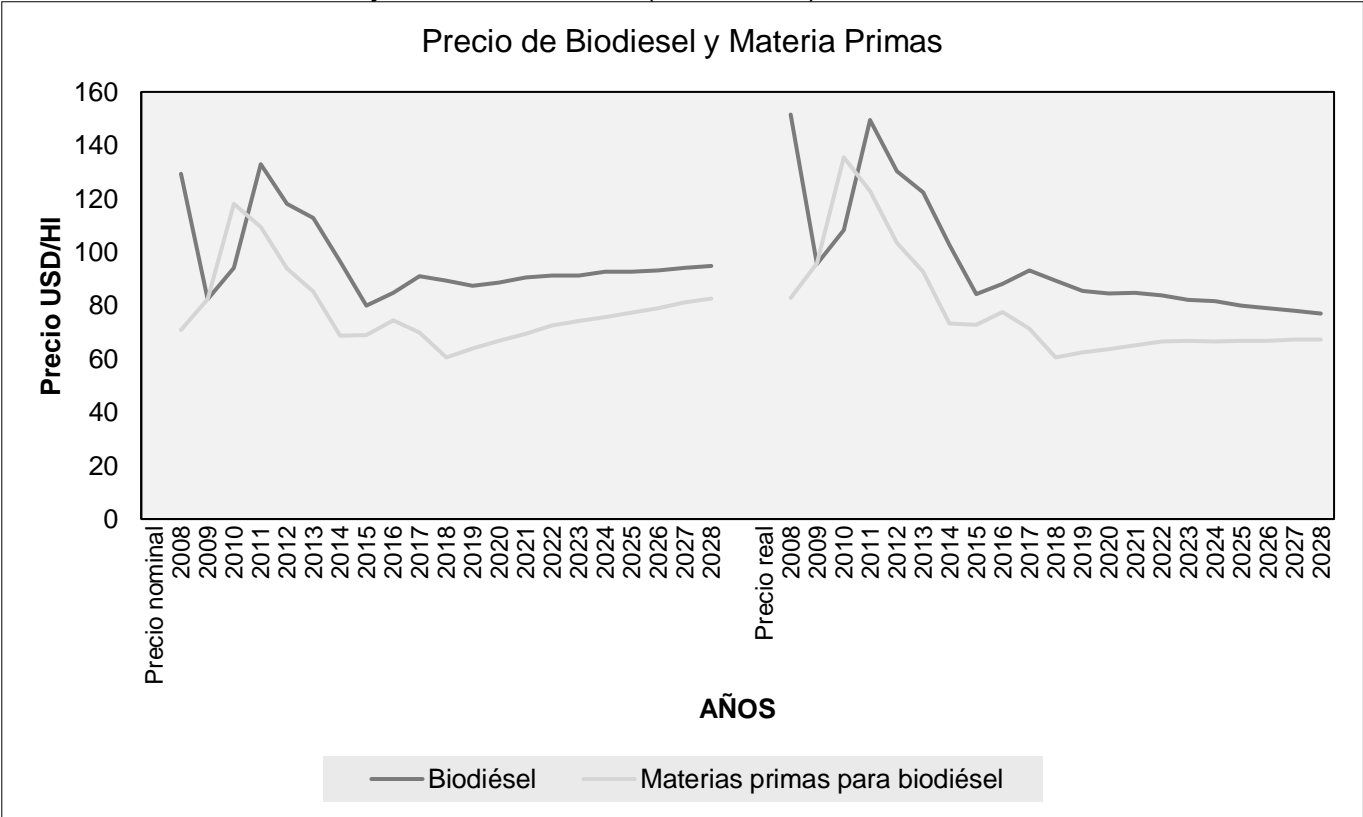
Elaboración propia, 2020.

Además, de las investigaciones y/o artículos revisados, trascendió de forma integrada que el método Bligh & Dyer resultó ser más efectivo para materias primas relacionadas a las microalgas dado el 40.23 % de Lípidos obtenido especialmente de la microalga *Chlorella sp.* en comparación de la *Dunaliella Salina* que obtuvo 23.48 % a la cual se le aplicó el mismo método, de la investigación de Tejeda Benitez y otros (2015), y el método Soxhlet más efectivo para materias primas relacionadas a semillas vegetales dado el 45.37 % de Lípidos obtenido especialmente de la semilla Zapote Mamey de la investigación de Lino Arana y otros (2019), siendo este mismo método aplicado también a las microalgas pero con menos efectividad obteniendo un 18.50% de la especie *D. subspicatus* y un 11% de la especie *Subcapitata* según la investigación de Moreno Cepeda (2016), lo que llevó a determinar que es de suma importancia seleccionar el método según la materia prima para incrementar la efectividad, bajo costo y reducir la contaminación para la producción de biodiesel.

A continuación, en el Gráfico 3, la OCDE /FAO (2019) en su informe OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas, que contiene una proyección al 2028, se observó que el precio nominal y el precio real tanto del biodiesel como de las materias primas desde el año 2008 hasta el 2019 tienen una tendencia a la baja. Sin embargo, a partir del 2019 hasta

la proyección del 2028, se observó que el Precio Nominal tiene una tendencia al alza y es directamente proporcional en el precio de biodiesel como de las materias primas; caso contrario, sucede con el valor real dado que se observó que son inversamente proporcionales ya que el precio del biodiesel sigue en decrecimiento sustentado en la políticas gubernamentales que impactan directamente en los impuestos y/o aranceles a los que son afectos, así como los subsidios otorgados y en el caso de la materia primas por la escasez de los mismos considerando que se vienen priorizando los aceites para la industria alimentaria.

Gráfico 3: Precio nominal y real del biodiesel (2009-2028)

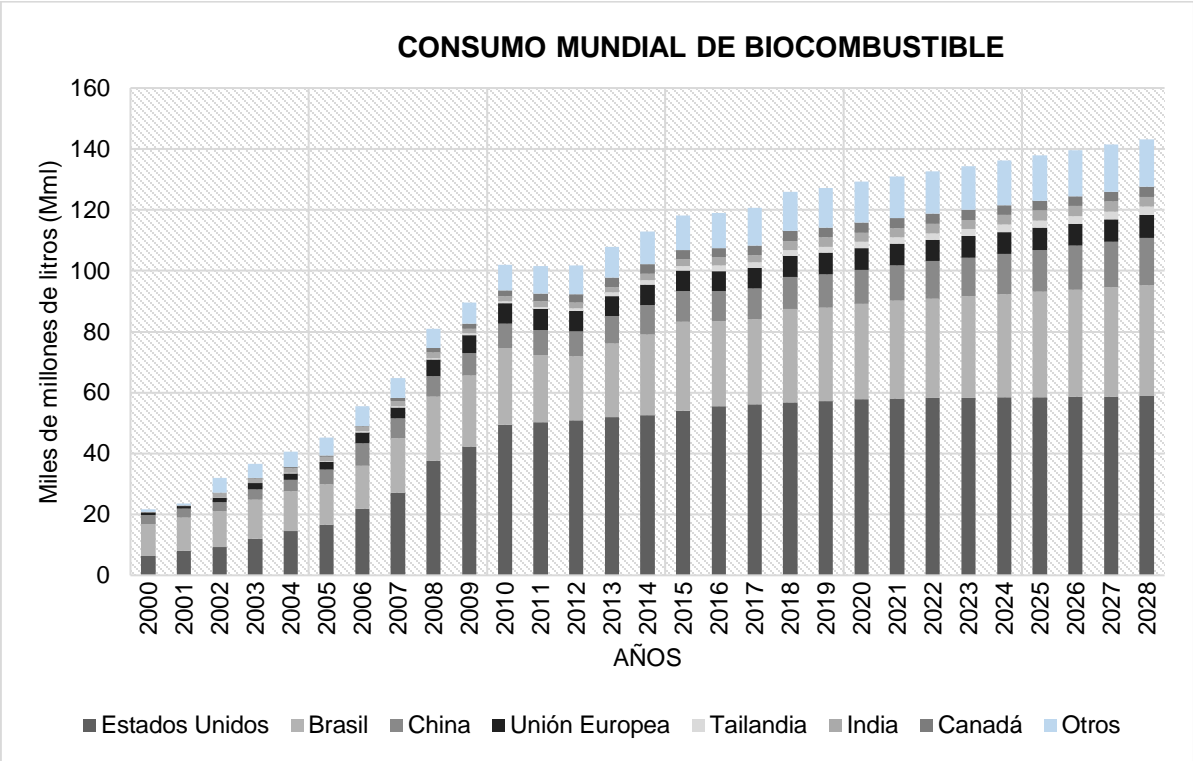


Fuente: (OCDE/FAO, 2019)

En el siguiente Gráfico 4, la OCDE /FAO (2019) en su informe OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas, que contiene una proyección al 2028, se observó que el consumo de biocombustible en el mundo viene en aumento, siendo respaldado esto por el impacto positivo que tiene en el medio ambiente y las políticas de gobierno en el mundo que han sido dictaminadas e implementadas para fortalecer su consumo,

siendo esto incorporados de manera paulatina en puntos porcentuales en los derivados de los hidrocarburos existentes.

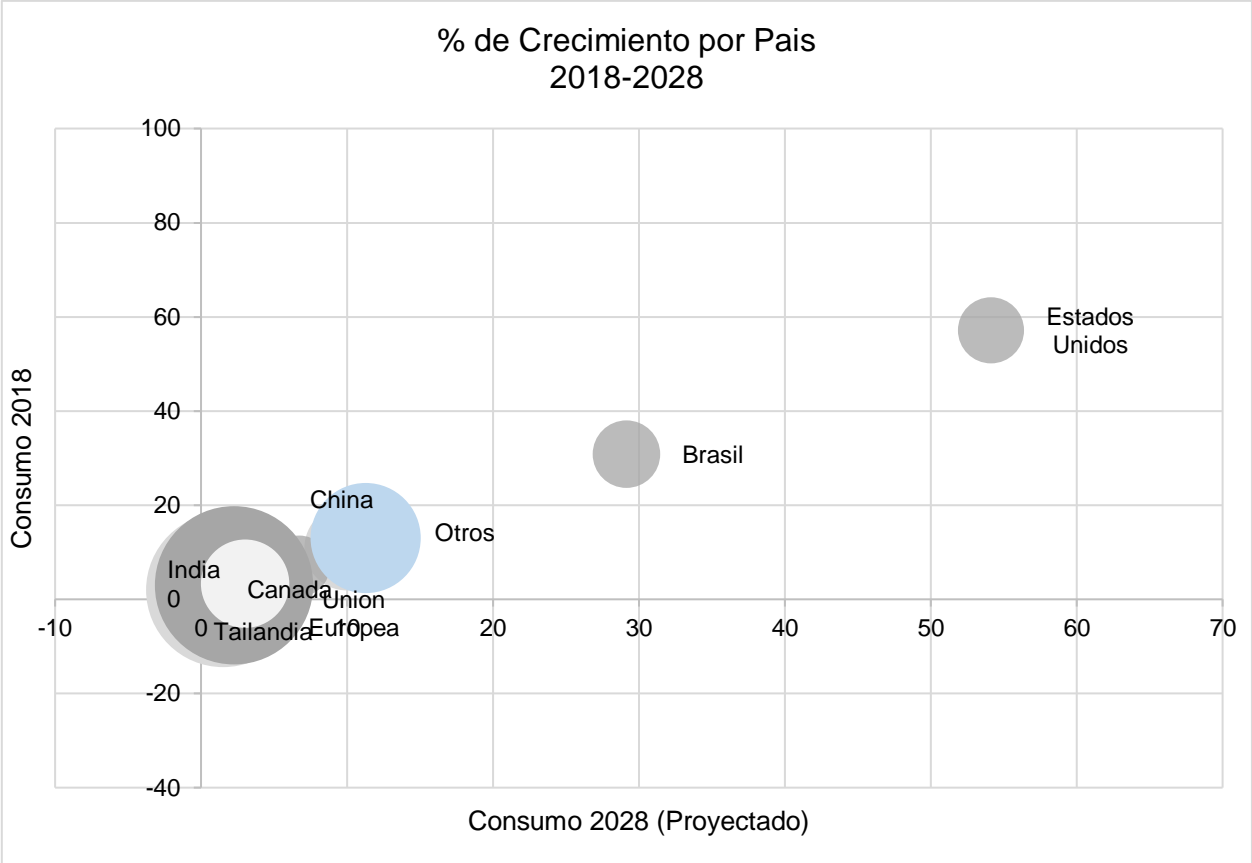
Gráfico 4: Consumo mundial del biodiesel.



Fuente: (OCDE/FAO, 2019)

En el Gráfico 5, Perú está incluido dentro del grupo “otros” debido a que se encuentra en una etapa incipiente de producción en comparación con los demás países del mundo y aún muy por debajo de Brasil y Argentina pertenecientes a Latinoamérica, quienes vienen trabajando en esto desde hace ya varios años y cuya implementación ha sido mucho más acelerada debido a la gestión y exigencias gubernamentales.

Gráfico 5: Porcentaje de crecimiento del consumo por país (2018-2028).



Fuente: (OCDE/FAO, 2019).
 Elaboración propia, 2020.

Así mismo, se pudo observar dentro del Gráfico 5, que el promedio de crecimiento mundial respecto del consumo del biocombustible a nivel mundial fue de 14% y el grupo “otros” pudo crecer un 15% dentro del cual se encuentra Perú, en el lapso de 4 años considerando como año base 2015 al 2019. Asimismo, considerando la proyección al año 2028 se pudo observar que seguirá en crecimiento, siendo en promedio 17% a nivel mundial y de 21% en el grupo “Otros” donde se encuentra Perú. En general se observó que el panorama para el mercado de consumo relacionado al biodiesel está fortalecido y tiene muy buena proyección a nivel mundial.

Definición del estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú.

Así mismo, para definir el estado actual del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú, los trabajos hallados y analizados, se agruparon considerando cuatro factores fundamentales, el tipo de materia prima, el método utilizado, así como la cantidad de biomasa y por ende los lípidos que aportan.

De la misma forma, se mostró en la Tabla 4, las investigaciones para el análisis del estado actual en el Perú se consideraron a Mercado Tupiño (2016) orientado al estudio de las microalgas con base de la materia prima utilizada; Souza Nájjar (2016), Aguilar Díaz (2019), Pary Hilari (2019) y Ramirez Lizana (2018) orientados al estudio de los aceites vegetales con base en la materia prima utilizada; realizada esta categorización se pudo determinar que la aplicación de un determinado proceso sobre la materia prima seleccionada, especialmente sobre la biomasa para la obtención de lípidos fue concluyente, ya que de esta dependió la efectividad para la obtención en cantidad de lípidos neutros para la producción de biodiesel, considerando que se buscó un producto competente en costo, calidad y seguridad para el medio ambiente y seres vivientes.

Tabla 4: Estado actual del biodiesel en el Perú.

AUTOR	Mercado Tupiño (2016)	Souza Nájjar (2016)	Aguilar Díaz (2019)	Pary Hilari (2019)	Ramirez Lizana (2018)
MATERIA PRIMA	Microalga Scenedesmus Obliquus Var (TURPIN)	Aceite de Almedra de la Omphales Diandra	Semillas de piñón (jatropha curcas)	lentejas de agua (lemna gibba)	semillas de Ricinus communis (higuerilla)
CANTIDAD DE M.P.	0.014 L	16 L	5 L	1.652 L	18 L
BIOMASA	0.036585 mg/L	0.050 mg/L	5 mg/L	0.10947 mg/L	11 mg/L
MÉTODO	Método por extracción química	Método Soxhlet	Método por extracción física: Prensado	Método Soxhlet	Método por extracción física: Molienda
LÍPIDOS	82.79 %	42.83 %	0.60 %	5.86 %	41.82 %

Elaboración propia, 2020.

Entre los métodos de separación utilizados, se pudo apreciar Soxhlet, Extracción Física y Extracción Química, en el caso de Mercado Tupiño (2016) quien seleccionó como materia prima microalgas siendo particularmente la especie *Scenedesmus Obliquus* Var, se aplicó el método por extracción química que consistió en solventar con propanol y hexano, obteniendo una biomasa de 0.036585 mg/L, en la cual, de esa cantidad de biomasa, se extrajo 82.79 % de lípidos.

En Souza Najar (2016), quien seleccionó como materia prima el aceite de almendras de la especie *Omphalea Diandra*, se aplicó el método Soxhlet, que consistió en el calentamiento de la biomasa, 0.050 mg/L, hasta su ebullición dentro de un tubo de extracción soxhlet, después de evaporarse, el solvente utilizado es condensado y cae al tubo Soxhlet siendo este proceso recursivo, del cual se obtuvo el aceite o lípidos de 42.83 %.

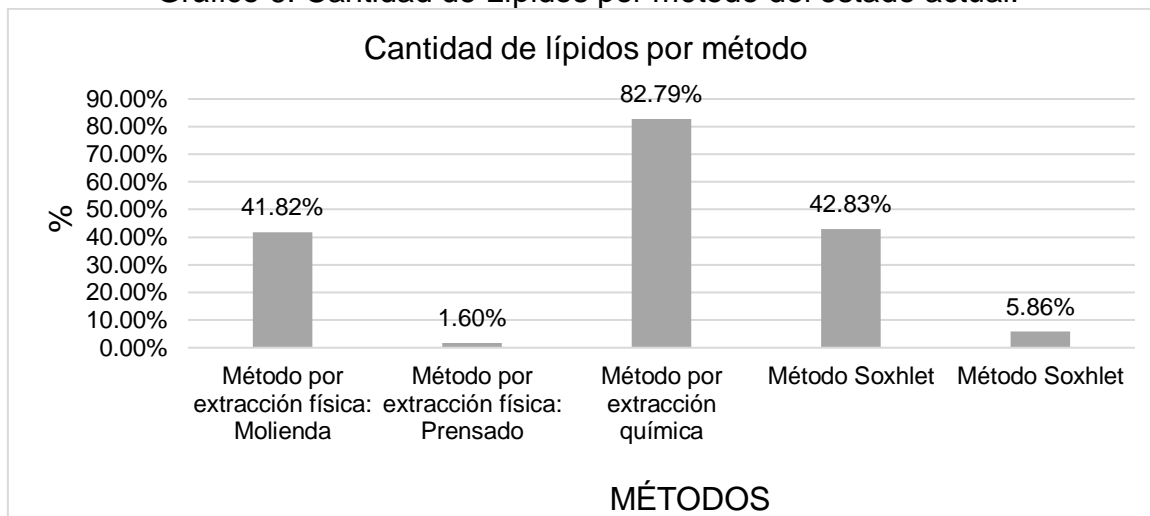
En Aguilar Diaz (2019), quien seleccionó como materia prima semilla de piñón (*Jatropha curcas*) aplicando el método Extracción Física, que consistió en la aplicación de prensado directamente a la biomasa de 5 mg/L de la materia prima, del cual se obtuvo 1.60 % de aceite o lípidos.

En Pary Hilari (2019), quien seleccionó como materia prima lentejas de agua siendo la especie *Lemna gibba*, se aplicó el método Soxhlet, que al aplicarlo resultó la biomasa de 0.10947 mg/L de la materia prima, del cual se obtuvo 5.86 % de aceite o lípidos.

En Ramirez Lizana (2018), quien seleccionó como materia prima una semilla de higuera siendo la especie (*Ricinus communis*), se aplicó el método Extracción Física, que consistió en la molienda de la biomasa de 11 mg/L de higuera, del cual se obtuvo el aceite o lípidos de 41.82 % derivados de la semilla de higuera (*Ricinus communis*).

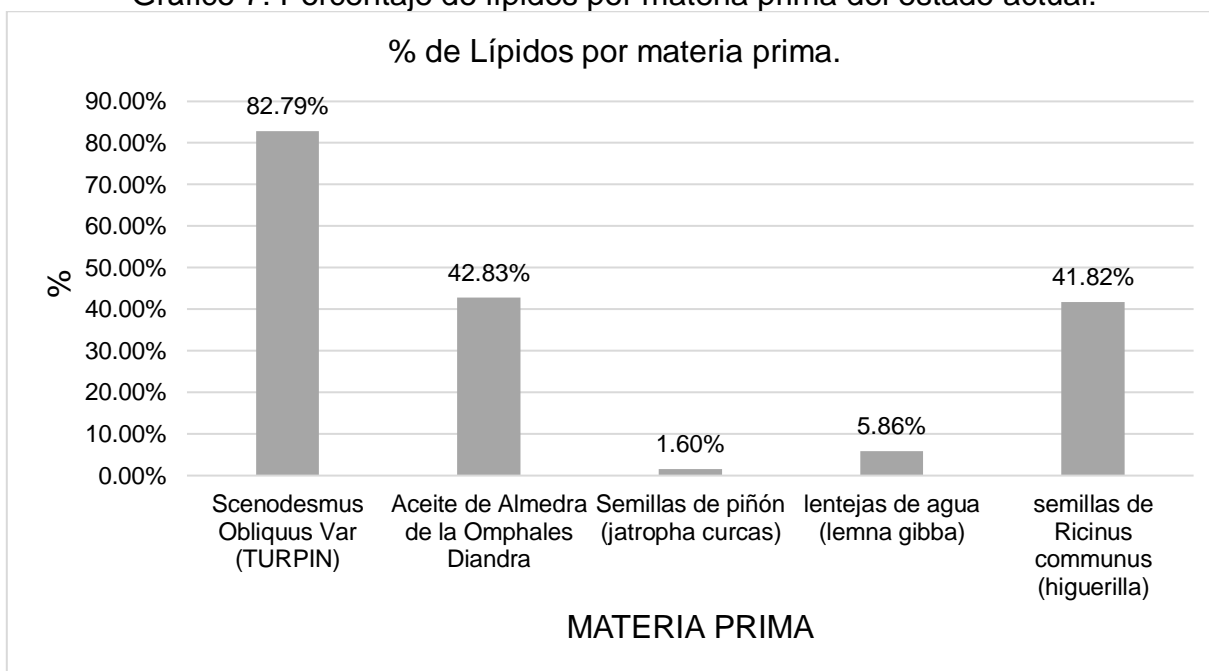
En los siguientes gráficos, se presentó un resumen general de los métodos empleados para obtener la biomasa y lípidos (Ver Gráfico 6), y otro gráfico con respecto a los porcentajes obtenidos de los lípidos según la materia prima (Ver Gráfico 7) estos factores influyen en la elaboración del biodiesel.

Gráfico 6: Cantidad de Lípidos por método del estado actual.



Elaboración propia, 2020.

Gráfico 7: Porcentaje de lípidos por materia prima del estado actual.



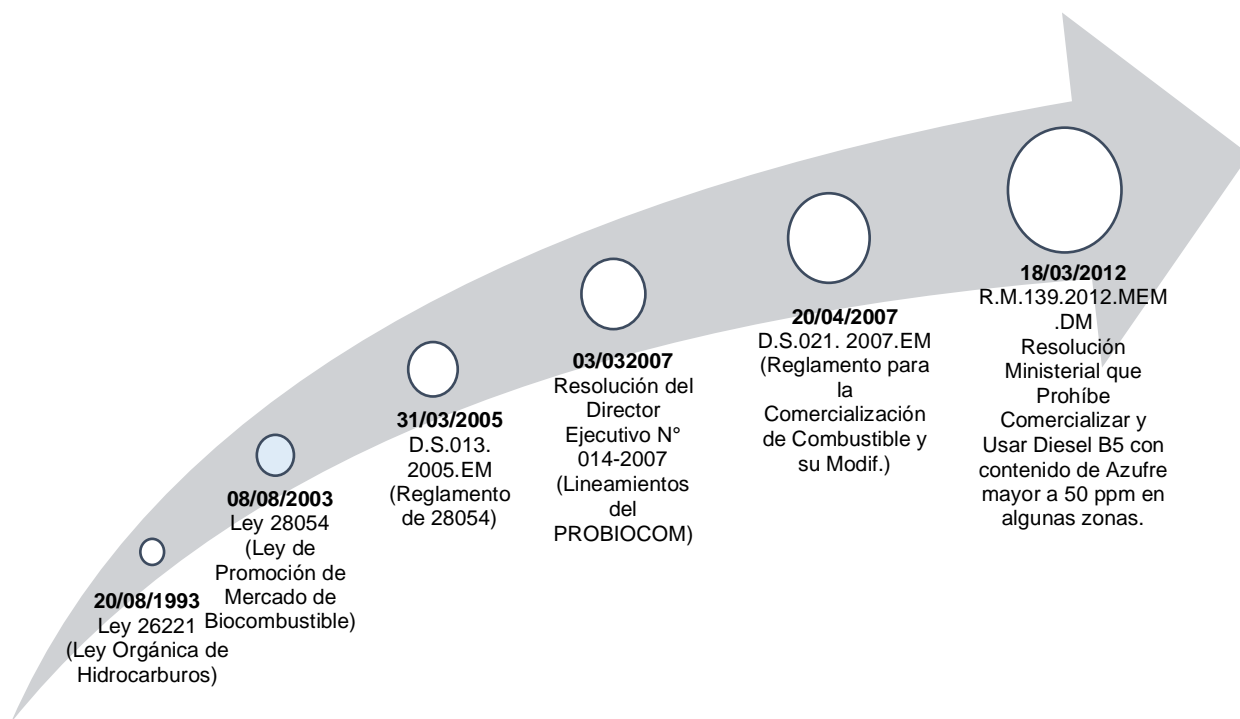
Elaboración propia, 2020.

De las documentos investigados del estado actual en el Perú, dio como resultado que el método por Extracción Química resultó ser muy efectivo para la microalga como materia prima, ya que representó el 82.79% en Lípidos extraídos de la biomasa de la especie Scenodesmus Obliquus, siendo el autor de la investigación Mercado Tupiño (2016), por otro lado, para la materia prima relacionada a aceites vegetales, los

métodos más efectivo fueron por método Soxhlet y por Extracción Física: molienda, puesto que representaron un porcentaje en Lípidos de 42.83 y 41.82%, respectivamente. Obtenidos del aceite de Almendra de la Omphales Diandra y de las semillas de Ricinus communis (higuerilla), de las investigaciones de Sôuza Najar (2016) y Ramirez Lizana (2018), respectivamente. Dichos métodos y materias primas son buenas alternativas para la producción de biodiesel, debido a su efectividad para extraer lípidos, menor costo al diésel convencional y reducción de la contaminación, no obstante, es importante mencionar que se consideró que la Extracción Física debe ser completado por métodos adicionales para conseguir lípidos o aceite neutros dado las impurezas que son filtradas en el método inicial.

Se ha podido observar que actualmente el gobierno peruano como en todo el mundo vienen dictaminando e implementando políticas de gobierno que regulan la producción y consumo del biodiesel. (Ver Imagen 1)

Imagen 1: Leyes del mercado del biodiesel.



Elaboración propia, 2020.

Así en el 2003, se observó que promulgó la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, donde se establece el marco general; con el objetivo de diversificar el consumo de combustibles, sobre la base de la libre competencia y el acceso libre al mercado en cuestión, en consecuencia, se plantean un conjunto de políticas, siendo el primer grupo relacionado con la I+D y un segundo grupo relacionado al mercado mediante el incentivo a la participación privada y a la demanda.

Asimismo, en el reglamento se establece que los productores nacionales de Biodiesel deben manifestar al MEM, en el primer mes del año, sus planes de producción quinquenal de Alcohol y de Biodiesel, especificando el volumen de producción mensual. Además, los distribuidores mayoristas de combustibles líquidos debidamente inscritos en el MEM son los únicos que se les permite a comprar Alcohol Carburante y Biodiesel en el mercado nacional.

Luego, la primera disposición complementaria del director ejecutivo crea los lineamientos de PROBIOCOM que tiene como propósito “promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso.” Asimismo, también se crea una Comisión Técnica Interinstitucional responsable de proyectar el cronograma de porcentajes de aplicación y uso del etanol y el biodiesel, y de presentar un programa de sensibilización a los usuarios.

El Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles mediante el D.S. 021-2007-EM,43 tiene como finalidad establecer los requisitos para la venta y distribución de los biocombustibles, así como lo referente a las normas técnicas de calidad de los biocombustibles.

Por último, las características técnicas del biodiesel se establecen en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas aprobadas por el Instituto Nacional de la Calidad (Inacal). Estas características técnicas o especificaciones de calidad deben ser avaladas por el productor mediante un certificado de calidad.

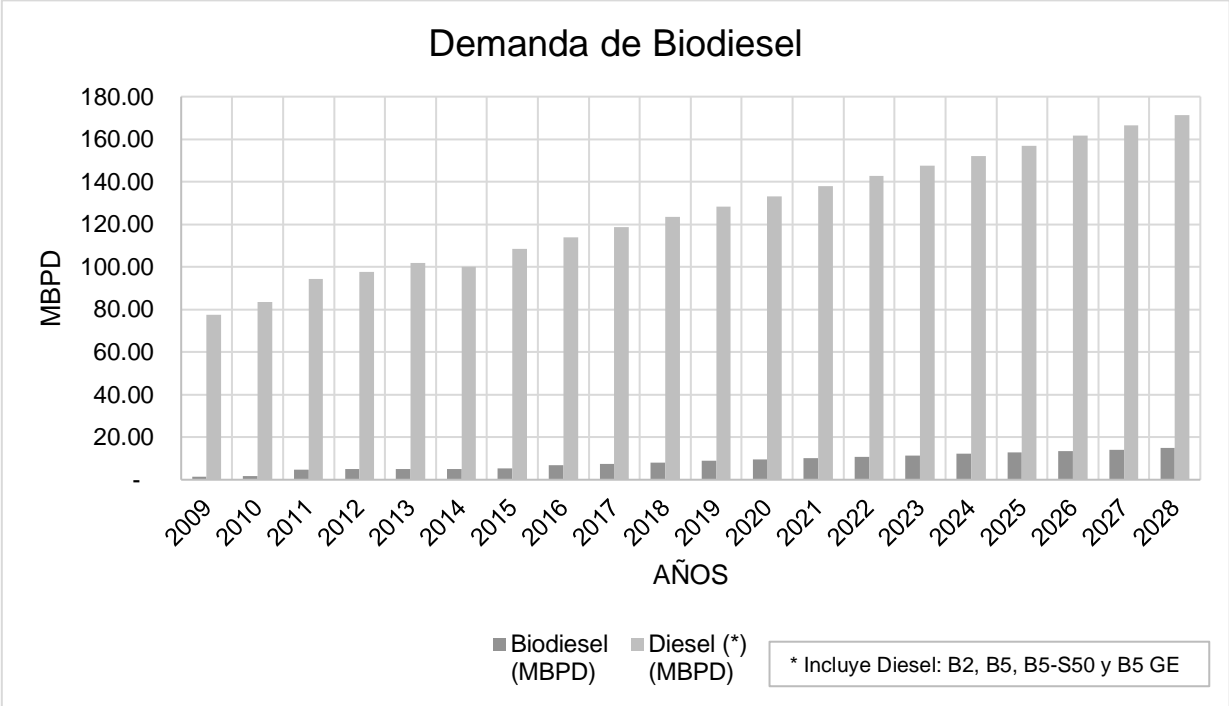
Basados en estas políticas gubernamentales dictaminadas en el Perú, es que existen ciertas empresas e instituciones con proyectos emprendedores (Ver Tabla 12), dentro

de ellas está la empresa Pure Biofuels iniciada el 2007 en el Callao utilizando como materia prima el aceite de palma. otra de las empresas es Biodiésel Perú Internacional S.A.C. inició la puesta en marcha en la provincia de Huarochirí con capacidad de producción de 12 mil toneladas al año. Herco combustibles S.A. es otra de las empresas encargadas de la producción de biodiesel con tecnología 100% peruana. DEVIDA Y EMBRAPA, firmó un convenio para introducir el cultivo de higuierilla, una de las materias primas para producir biodiesel. Garodi S.R.L. tuvo un proyecto para construir una planta de biodiesel con una producción de 10 000 litros por año, los insumos que se utilizaría son el de palma, aceites vegetales reciclados y aceites de pescado. Por último, está la Asociación Agropecuaria Nuevo Tiwinsa, de la región de Ucayali, esta tuvo interés en emprender cultivos oleaginosos para producir biocombustibles en tierras deforestadas de la región. La descripción a mayor detalle de dichas empresas se encuentra en el Anexo 6.2.1.

Por otro lado, están las investigaciones para la producción y consumo de biodiesel (Ver Tabla 13) dentro de ellas está Pure Biofuels, que está integrada por institutos de Investigación del Estado, academias, organizaciones empresariales, comunidades, teniendo como finalidad dirigir, orientar, supervisar, evaluar las acciones del Estado en el ámbito de la ciencia, tecnología e innovación tecnológica y promover e impulsar su desarrollo. Otra de las investigaciones está Biodiésel Perú Internacional S.A.C. que está comprometida a servir a la sociedad basada en una sólida formación científica, tecnológica, humanística y de gestión para el manejo de los recursos renovables. Por último, está Herco Combustibles S.A. donde se han desarrollado diversas tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables apropiadas para la región, además, se han gestionado acciones para el desarrollo y difusión de los biocombustibles, en especial el biodiésel. Así mismo, con más detalle de estas investigaciones se encuentran en el Anexo 6.2.1.

Como se pudo observar, el consumo de biodiesel en el Perú, ha venido en aumento, no solo apalancado por empresas e instituciones con proyectos emprendedores y empresas de investigación, sino también por las políticas gubernamentales establecidas en el Perú como se mencionó en párrafos anteriores donde se estableció que partes porcentuales del biodiesel deben ser incluidos dentro del diésel y de los derivados de los hidrocarburos pre establecidos.

Gráfico 8: Demanda del biodiesel.

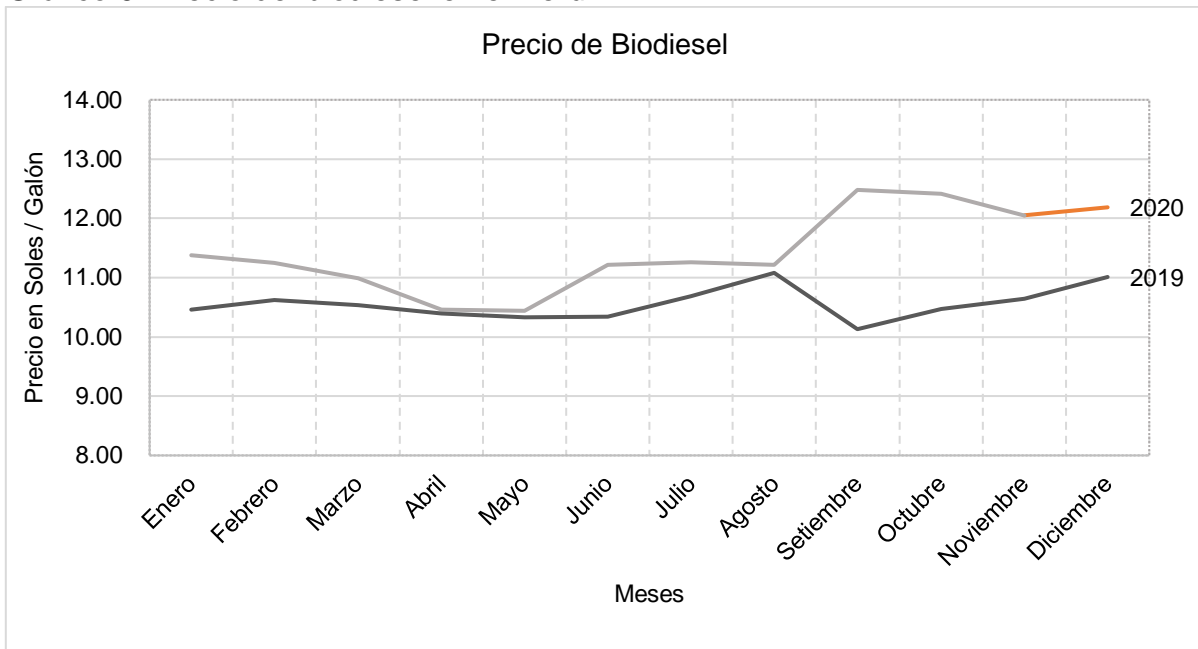


Fuente: (VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016)
Elaboración propia, 2020.

Por ello, en el Gráfico 8, muestra el incremento de consumo de biodiesel el mismo que fue directamente proporcional al diésel, en los último 5 años (2015-2019) se pudo apreciar un 62.78% de crecimiento en el biodiesel y un 18.08% en el diésel, siendo así, la proyección para los años venideros el crecimiento de consumo será muy positivo, proyectándose un incremento de 68.38% en el biodiesel y de 33.66% en el diésel para el año 2028.

En el Gráfico 9 se observó la evolución de los precios de Biodiesel en el Perú.

Gráfico 9: Precio del biodiesel en el Perú.



Fuente: (OSINERGMIN, 2020)

Como se puede observar el promedio de Precio 2019 = 10.56 soles teniendo un precio mínimo de 10.13 soles y un precio máximo de 11.08 soles y el promedio de Precio 2020 = 11.45 soles, teniendo un precio mínimo de 10.44 soles y un precio máximo de 12.48 soles, presentando un incremento anual porcentual de 18.53% a medido en el mes de octubre.

Esta variación que se observó en los precios está supeditada al origen de la fuente de la materia prima, influenciando directamente en el precio final del biodiesel. Como se conoció, el Perú es un país incipiente en la fabricación de biodiesel con base en semillas vegetales y aún más en microalgas, por ello, en su gran mayoría de la producción la materia prima es importada, aun así, la demanda del biodiesel está en constante crecimiento por el gran impacto positivo que tiene, incrementando la duración de los motores, reduciendo el impacto ambiental y gestionando la escasez a ser la materia prima derivada de productos renovables.

Determinación de las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir microalgas y aceites vegetales.

Para determinar las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales, las investigaciones halladas y analizadas, se agruparon considerando cuatro factores, el país, la norma aplicada, el tipo de materia prima utilizado y el alcohol y/o catalizador usado para el proceso de obtención del biodiesel.

Las investigaciones que se emplearon para determinar las características físicas y químicas del biodiesel a partir de microalgas fueron Arce Portugal (2018), Amaya (2018) y García, y otros (2017). Así mismo, en base a aceites vegetales como materia prima, fueron los siguientes: Echeverría Viscaya, y otros (2013), Arias, y otros (2011), Keera, y otros (2018) y Echeverría (2018).

Los países de los que fueron elaborados las investigaciones o documentos electrónicos fueron de México, Colombia, Ecuador, Egipto y Perú. Cada uno de estos elaboraron el biodiésel con respecto a sus normas nacionales e internacionales, sobre todo rigiéndose de la norma de Estados Unidos, que corresponde a la ASTM D6751. En Europa se rigen de la norma EN 14214, y en Perú se rigen de la norma NTP 321.125. Dichas normas se refieren a las especificaciones del biodiésel.

Por otro lado, la materia prima que utilizaron en las investigaciones, fueron las siguientes, *Chlorella vulgaris*, *Macrocystis pyrifera* y *Jatropha curcas*, con respecto a las microalgas como materia prima, y con respecto a los aceites vegetales fueron los siguientes: aceite de girasol, aceite de ricino, aceite de higuera y usados.

Para el alcohol y catalizador que se emplean en el proceso de transesterificación, los autores usaron mayormente el metanol como alcohol y el hidróxido de potasio como catalizador, ya que estos son más eficientes en la obtención del biodiésel. Aunque también emplearon otras alternativas como el isopropanol y el hidróxido de sodio.

A continuación, en la Tabla 5 se mostró a detalle las características físicas y químicas de los documentos investigados.

Tabla 5: Caracterización física y química del biodiesel.

AUTOR	Echeverría Viscaya, y otros (2013)	Arias, y otros (2011)	Arce Portugal (2018)	Amaya (2018)	García, y otros (2017)	Keera, y otros (2018)	Echeverría (2018)
PAÍS	México	Colombia	Perú	Perú	Ecuador	Egipto	Ecuador
NORMA	ASTM D6751	NTC DE100/4, ASTM	NTP 321.139, ASTM D6751	EN 14214, ASTM D6751, NTP 321.125	ASTM D6751-02	ASTM, IP	ASTM D6751, EN 14214
MATERIA PRIMA	Aceites vegetales usados	Girasol	Microalga Chlorella vulgaris	algas marinas macrocystis pyrifera)	Jatropha curcas L.	Aceite de ricino	Aceite de Higuierilla
ALCOHOL / CATALIZADOR	Metanol / KOH	Metanol / NaOH	Metanol / KOH	Metanol / NaOH	Metanol / NaOH	Metanol / KOH	Metanol / NaOH
Rendimiento (%)	(*)	88.21	85.6	100	(*)	95	90
Densidad (Kg/m ³)	882.0	884.0	881.31	899.9	938	946.1	544.62
Punto de inflamación (°C)	(*)	178.67	123.58	(*)	160	194	72.1
Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s)	5.40	5.03	(*)	2.3314	3.55	15.40	4.21
Poder calorífico bruto (MJ/kg)	43.19	39	(*)	39.40	(*)	38.34	(*)
Cenizas (%)	(*)	0.0013	(*)	0.017	(*)	(*)	0.0080
Número de cetano	(*)	45.55	42.83	(*)	57	43.7	51
Contenido de azufre (%)	(*)	(*)	(*)	0.024	(*)	0.00	0.0148
Índice de acidez (mg KOH/g)	0.35	(*)	(*)	0.344	0.40	0.63	(*)
Contenido de agua y sedimentos (%)	(*)	0.1992	0.00	(*)	(*)	0.15	0.05

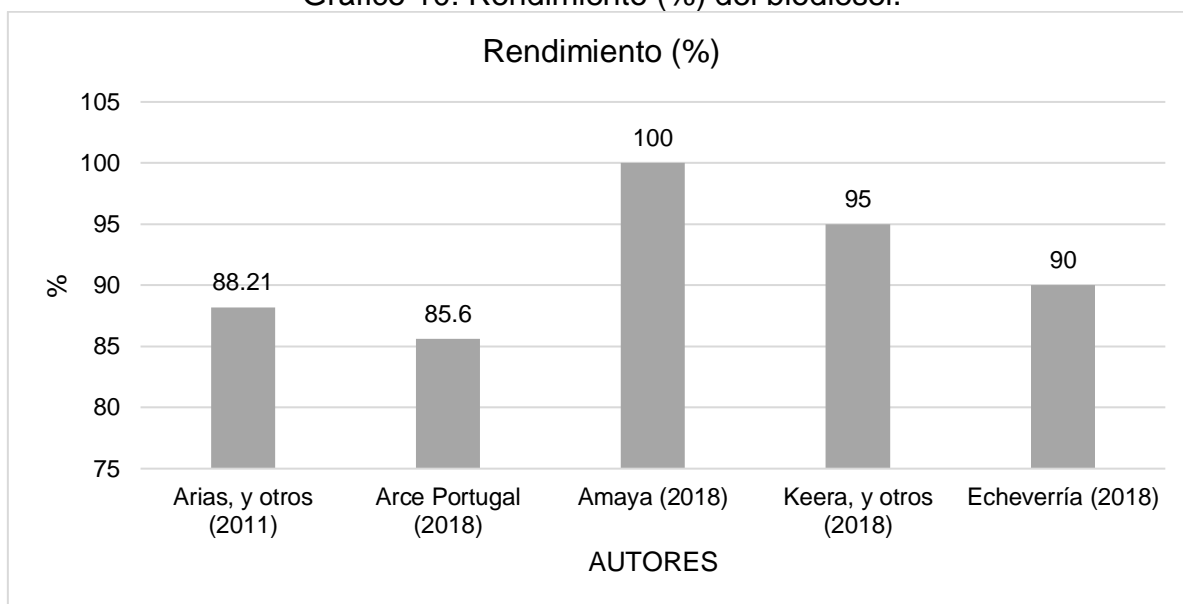
Elaboración propia, 2020.

(*) No aporta datos y/o cantidades.

Se analizó cada característica física y química del biodiésel, donde, de la tabla anterior se detalla que Amaya (2018) usó como materia prima el alga marina macrosystis pyrifera, como alcohol y catalizador usó el metanol y el hidróxido de sodio,

respectivamente, por lo que como rendimiento del biodiésel resultó ser el más efectivo con respecto a los otros tipos de materia prima. Tal como se mostró a detalle en el Gráfico 10, con respecto a cada autor o documento analizado.

Gráfico 10: Rendimiento (%) del biodiesel.

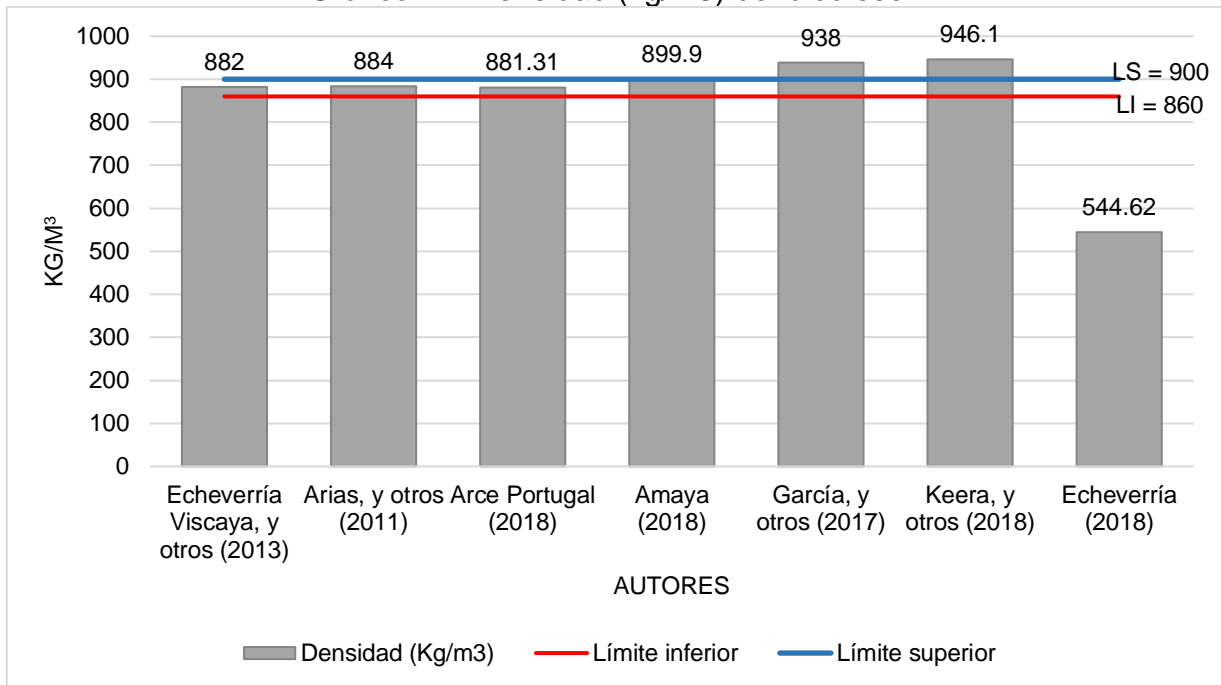


Elaboración propia, 2020.

El rendimiento que resulta del biodiesel elaborado a partir de las diferentes materias primas, como el aceite vegetal y la microalga, resultaron ser efectivas con un porcentaje mayor de 85%. Específicamente, Arias y otros (2011) con un rendimiento de 88.21%, Arce Portugal (2018) con 85.6% de rendimiento, Amaya (2018) es el más eficiente con un 100%, Keera, y otros (2018) es el segundo más eficiente con 95% de rendimiento, y, por último, Echeverría (2018) con un rendimiento de 90%.

Por otro lado, otra de las especificaciones del biodiésel, es la densidad, en la cual, de los documentos investigados se compara con las normas nacionales e internacionales, que dentro de los parámetros de densidad se encuentran entre los valores de 860 y 900 kg/m³. En el siguiente Gráfico 11, se mostraron los valores de densidad comparados con dichos parámetros.

Gráfico 11: Densidad (kg/m³) del biodiesel.

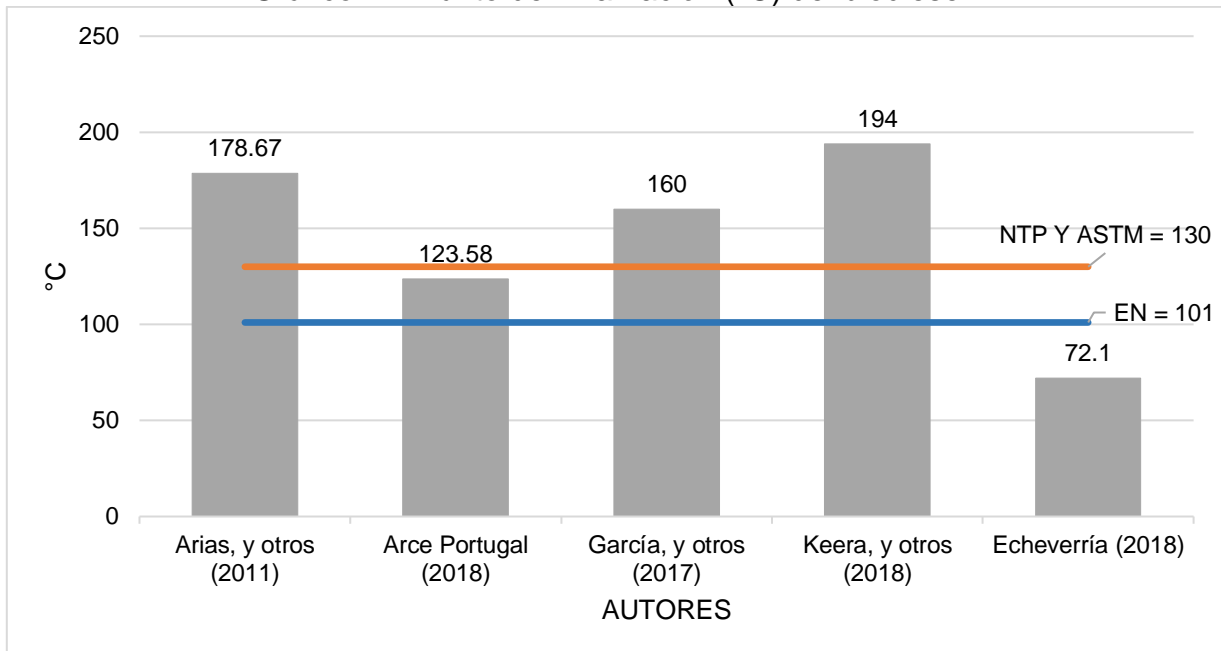


Elaboración propia, 2020.

Del gráfico anterior, los autores o documentos analizados, García, y otros (2017), Keera, y otros (2018) y Echeverría (2018), se descartaron, ya que están fuera de los parámetros o especificaciones del biodiésel, con los valores de 938 kg/m³, 946.1 kg/m³ y 544.62 kg/m³, respectivamente. Por otra parte, Echeverría Viscaya, y otros (2013), Arias, y otros (2011), Arce Portugal (2018) y Amaya (2018); obtuvieron valores dentro de los parámetros establecidos en las normas, estos son 882 kg/m³, 884 kg/m³, 881.31 kg/m³ y 899.9 kg/m³, respectivamente.

A continuación, en el Gráfico 12, se mostró a detalle los valores de punto de inflamación en °C que reportó cada autor o documento investigado, así mismo, estos valores fueron comparados con las normas nacionales e internacionales, donde la norma europea (EN 14214) como mínimo es 101°C, mientras que para la norma estadounidense (ASTM D6751) y peruana (NTP 321.125) es 130°C. Además, existieron dos autores que no reportaron datos de punto de inflamación, estos son Echeverría Viscaya, y otros (2013) y Amaya (2018). Por el contrario, los que sí reportaron datos, se encuentran en el Gráfico 7 para ser comparados con dichas normas.

Gráfico 12: Punto de inflamación (°C) del biodiesel.

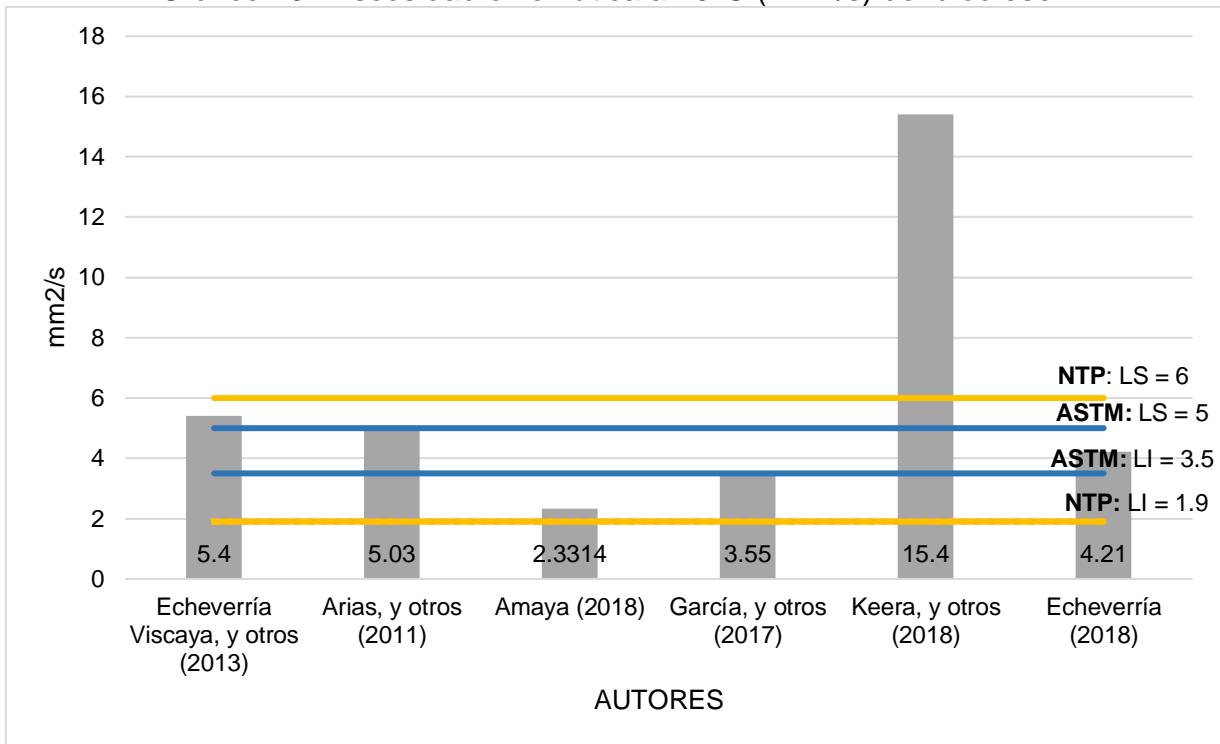


Elaboración propia, 2020.

Del gráfico anterior, dos de los autores o documentos revisados, están debajo del parámetro o especificación que establecen las normas, estos son Arce Portugal (2018) que se rige de la norma peruana NTP 321.125, cuyo valor mínimo es 130°C, así mismo, Echeverría (2018) que también presentó valores por debajo de lo especificado en dichas normas. Por otro lado, Arias y otros (2011) presentó el valor de 178.67 °C, García y otros (2017) con el valor de 160 °C y Keera y otros (2018) con un valor de 194 °C como punto de inflamación.

Otro de los parámetros establecidos en las normas de especificaciones del biodiésel, es la viscosidad cinemática a 40°C, estos datos se encontraron en el siguiente Gráfico 13, comparados con la norma peruana NTP 321.125, que sus valores están entre 1.9 y 6 mm²/s, y en la norma estadounidense ASTM D6751, que sus valores están entre 3.5 y 5 mm²/s.

Gráfico 13: Viscosidad cinemática a 40°C (mm²/s) del biodiesel.

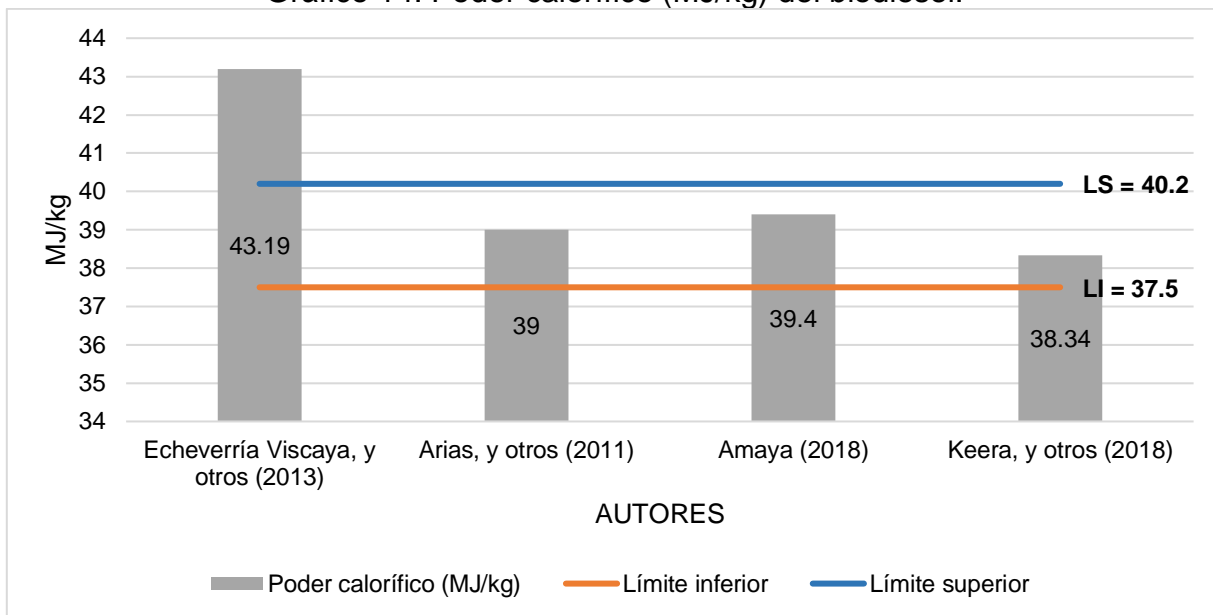


Elaboración propia, 2020.

En el gráfico se pudo apreciar que el único autor o documento revisado, Keera, y otros (2018) sobrepasa significativamente los valores permitidos por las normas nacionales e internacionales, con un valor de 15.4 mm²/s. En cambio, Echeverría (2018), García, y otros (2017), Amaya (2018), Arias, y otros (2011) y Echeverría Viscaya, y otros (2013), estuvieron dentro de dichos parámetros, con valores de 4.21 mm²/s, 3.55 mm²/s, 2.3314 mm²/s, 5.03 mm²/s y 5.4 mm²/s, respectivamente a los autores mencionados.

La siguiente propiedad del biodiésel es el poder calorífico (MJ/kg), donde las tres normas tienen el mismo parámetro, con valores como mínimo 3.5 MJ/kg y como máximo 40.2 MJ/kg, estos fueron comparados con los valores reportados por cada autor o documento investigado, en la cual cuatro de los siete reportaron estos valores, estos son Echeverría Viscaya, y otros (2013), Arias, y otros (2011), Amaya (2018) y Keera, y otros (2018), tal como se reflejó en el Gráfico 14.

Gráfico 14: Poder calorífico (MJ/kg) del biodiesel.

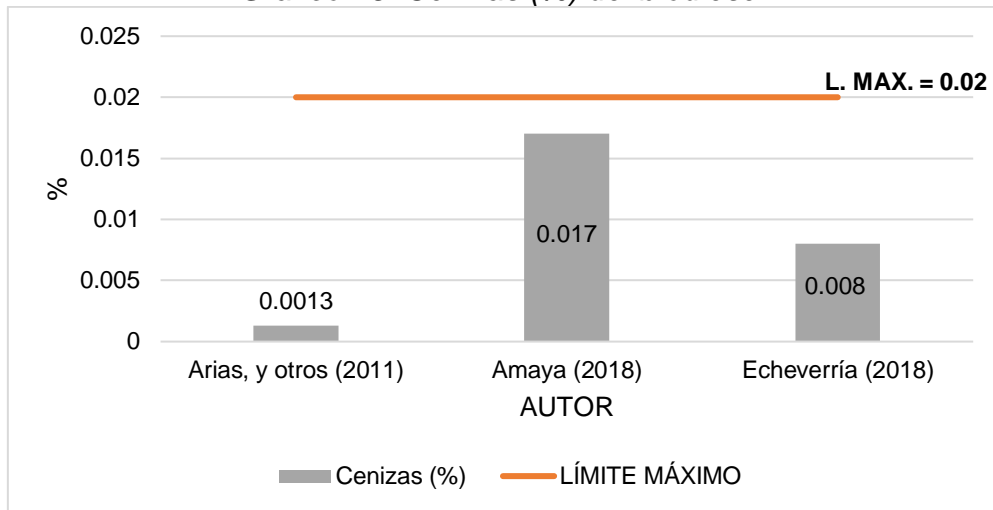


Elaboración propia, 2020.

En el gráfico anterior, se detallaron los valores del poder calorífico del biodiesel. Donde, Echeverría Viscaya, y otros (2013) es el único documento investigado que el valor que reportó estuvo fuera de los parámetros establecidos en las normas, con un valor de 43.19 MJ/kg, de lo contrario, Arias, y otros (2011), Amaya (2018), Keera, y otros (2018) presentaron los valores de 39 MJ/kg, 39.4 MJ/kg y 38.34 MJ/kg, respectivamente, estos valores estuvieron dentro de las especificaciones.

Las cenizas que se encuentren en el biodiesel también deben ser reportadas, cuyo valor como máximo que se encuentra establecido en las normas antes mencionadas, es de 0.02 % de cenizas. Los autores o documentos que reportaron dicha especificación, fueron los siguientes: Echeverría (2018), Amaya (2018) y Arias, y otros (2011). A continuación, se detalló en el Gráfico 15, los valores de cenizas que reportaron dichos autores.

Gráfico 15: Cenizas (%) del biodiesel.

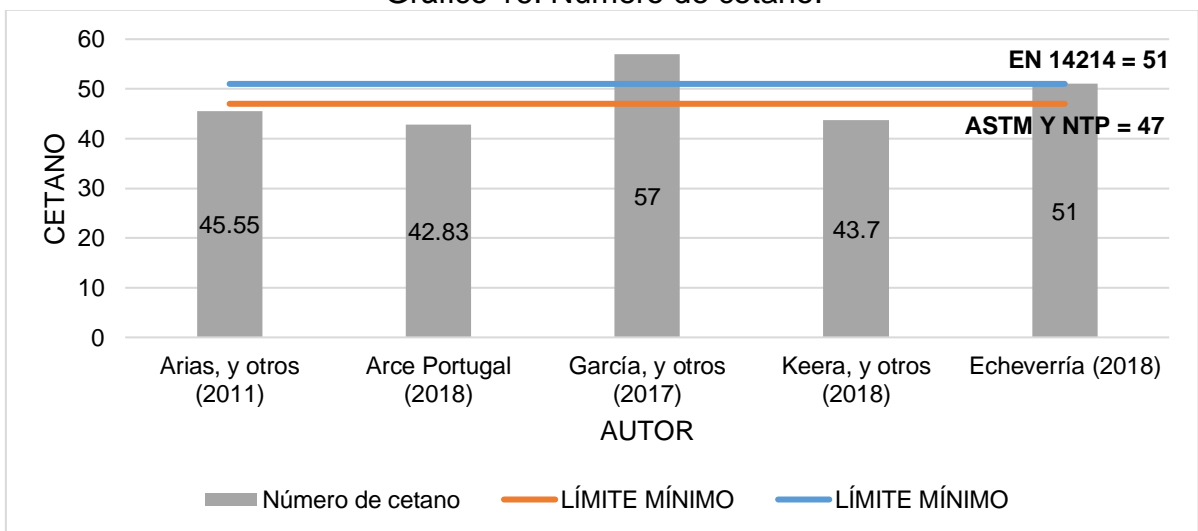


Elaboración propia, 2020.

Los datos que se reportaron en el gráfico anterior, estuvieron dentro de los parámetros de las especificaciones dadas, con valores de 0.008%, 0.017% y 0.0013% para Echeverría (2018), Amaya (2018) y Arias, y otros (2011), respectivamente. Estos valores son buenos para la producción del biodiesel, ya que mientras menos porcentaje de cenizas se reporten, el biodiesel tendrá será de buena calidad.

El número de cetano es una propiedad que indica la habilidad de los combustibles para encenderse. En el gráfico 16 se detalló los datos reportados por Arias, y otros (2011), Arce Portugal (2018), García, y otros (2017), Keera, y otros (2018) y Echeverría (2018).

Gráfico 16: Número de cetano.

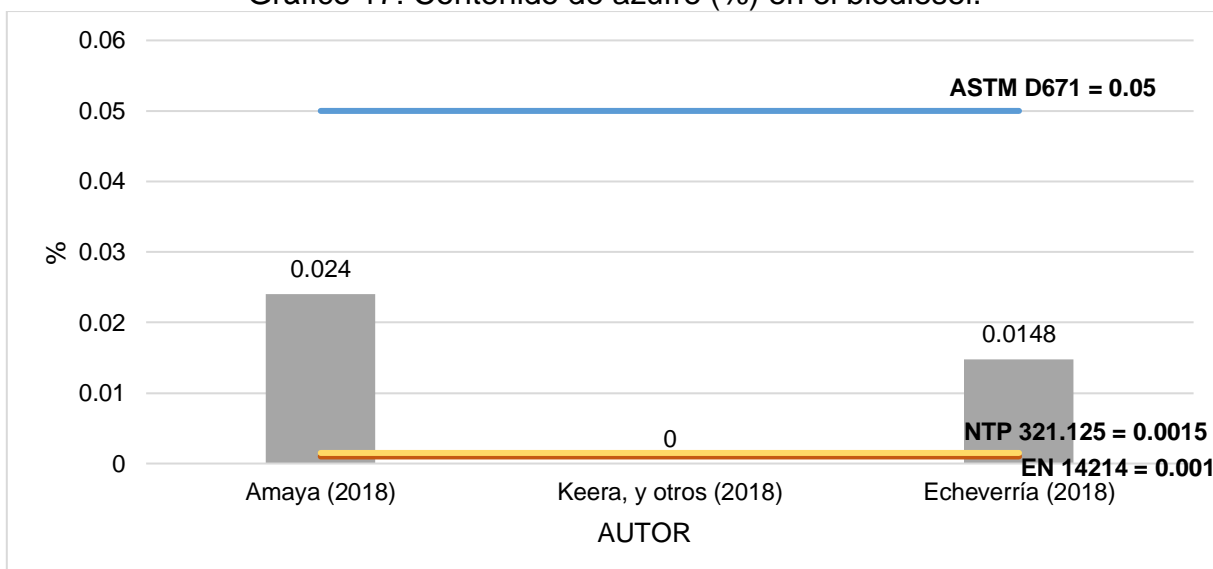


Elaboración propia, 2020.

De los datos obtenidos de los autores o documentos investigados se compararon con las normas, donde ASTM D6751 y NTP 321.125, el valor mínimo de cetano es 47 y en la norma EN 14214, el valor mínimo es 51. Arias, y otros (2011), Arce Portugal (2018) y Keera, y otros (2018), presentaron valores de 45.55, 42.83 y 43.7, respectivamente, estos valores están por debajo del valor mínimo que exige en las normas. Estos podrían ser peligrosos. De lo contrario, García, y otros (2017) y Echeverría (2018) presentaron valores mayores a los parámetros establecidos como mínimo en dichas normas, con un valor de 57 y 51, respectivamente.

En este punto, se empezó con las características químicas del biodiesel, por lo tanto, a continuación, en el Gráfico 17 se detalló el contenido de azufre en porcentaje, que se obtiene en el biodiesel. Los datos obtenidos fueron de Echeverría (2018), Keera, y otros (2018) y Amaya (2018), comparados con las tres normas nacionales e internacionales de las especificaciones del biodiesel.

Gráfico 17: Contenido de azufre (%) en el biodiesel.



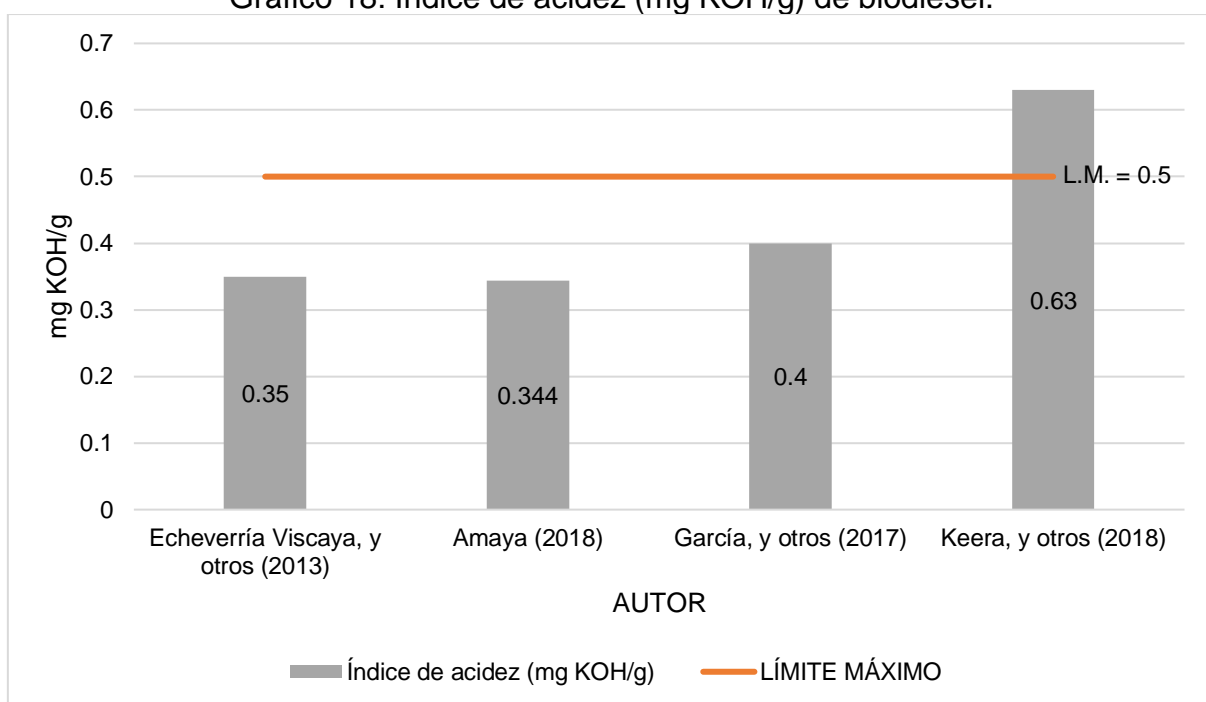
Elaboración propia, 2020.

Del gráfico anterior, Echeverría (2018) y Amaya (2018) sobrepasaron los límites mínimos de la NTP 321.125 y EN 14214, con valores de 0.0148% y 0.024%, pero aún así están dentro de la norma ASTM D6751, que es donde mayormente se rigen. Keera, y otros (2018) reportó el valor de 0.00% en azufre, este valor es considerado bueno

para la producción del biodiesel. Ya que, mientras menos contenido de azufre se obtenga, la calidad del biodiesel será mejor.

Por otro lado, el índice de acidez, representa la cantidad de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio en miligramos empleados para neutralizar y 1 gramo de biodiesel. El valor como máximo que pueden emplearse, según las normas, es de 0.5 mg KOH/g. En el Gráfico 18 se indicó cada valor reportado de los documentos investigados Echeverría Viscaya, y otros (2013), Amaya (2018), García, y otros (2017) y Keera, y otros (2018).

Gráfico 18: Índice de acidez (mg KOH/g) de biodiesel.



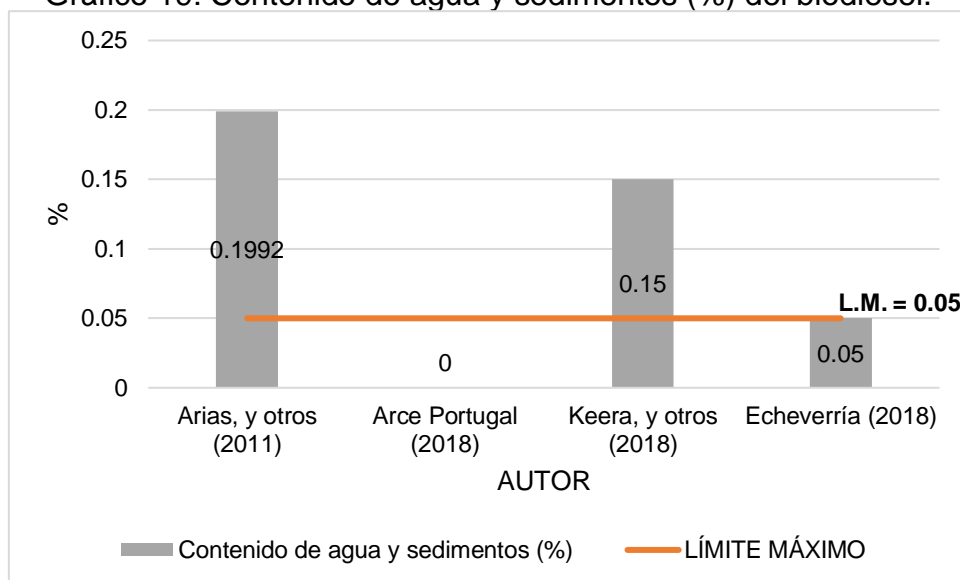
Elaboración propia, 2020.

Donde, Keera, y otros (2018) reportó un valor fuera de lo especificado en las normas, con 0.63 mg KOH/g, mientras que Echeverría Viscaya, y otros (2013), Amaya (2018), García, y otros (2017), con valores de 0.35, 0.344 y 0.4 mg KOH/g, estos están dentro de la cantidad mínima requerida por las normas.

Por último, el contenido de agua y sedimentos presentados en el biodiesel, pueden ser un problema, ya que, puede reducir el calor de combustión, causar corrosión, producir microbios, entre otras cosas negativas para la producción de biodiesel. Por ello, es

otra de las especificaciones que se deben reportar, que comparados con las normas que establecen un valor mínimo de 0.05% en contenido de agua y sedimentos. En el siguiente Gráfico 19, se mostró la comparación de los valores reportados de los siguientes documentos investigados: Arias, y otros (2011), Arce Portugal (2018), Keera, y otros (2018) y Echeverría (2018); con dichas normas.

Gráfico 19: Contenido de agua y sedimentos (%) del biodiesel.



Del gráfico anterior, Arias, y otros (2011) y Keera, y otros (2018), reportaron valores de 0.1992% y 0.15%, respectivamente. Estos no pueden ser considerados para la producción del biodiesel, por estar sobrepasando dichos valores que como mínimo es 0.05%. Por otro lado, Arce Portugal (2018), y Echeverría (2018), reportaron valores considerables, ya que estos fueron de 0% y 0.05%, respectivamente. Estando dentro de los parámetros, pueden ser considerados para la producción del biodiesel.

Determinación del proceso adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales.

Para determinar el proceso adecuado se realizó la búsqueda de diferentes documentos electrónicos, en la que se analizó los diagramas de operaciones para elaborar biodiesel y el costo unitario del mismo. Dentro de las investigaciones encontradas sobre diagrama de operaciones, de diferentes autores, fueron los siguientes: Gallegos Ardiles, y otros (2013), Melosevich Chico, y otros (2013), Osorio Meniz (2018), Binda García, y otros (2007), Pinto Romaero, y otros (2020), Campos Colorado, y otros (2013) y Tarnousky (2011), todas estas fueron analizadas para determinar el número de actividades con respecto al diagrama de operaciones adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales. (Ver Anexo 6.4)

A continuación, en la Tabla 6 se presentó un resumen de las actividades para elaborar biodiesel de cada autor investigado, donde se identifican las actividades de operación, inspección, combinada y otras.

Tabla 6: Número de actividades para la elaboración del biodiesel.

	Gallegos Ardiles, y otros (2013)	Melosevich Chico, y otros (2013)	Osorio Meniz (2018)	Binda García, y otros (2007)	Pinto Romero, y otros (2020)	Campos Colorado, y otros (2013)	Tarnousky (2011)	Elaboración propia (2020)
OPERACIÓN	4	5	6	3	0	9	10	8
INSPECCIÓN	0	0	3	1	0	0	5	1
COMBINADO	1	1	3	3	3	0	0	3
OTRAS	0	0	1	0	1	4	0	1
TOTAL	5	6	13	7	4	13	15	13

Elaboración propia, 2020.

Se realizó un diagrama de operaciones general, en la cual se obtuvo un total de 13 actividades. El proceso se inició con la recepción de materia prima, ya sea de microalga o aceite vegetal, se realiza la limpieza, secado, acondicionamiento, siguiente a ello, se extraen los lípidos. Posterior a ello, se realiza el proceso de transesterificación, donde se le agrega y/o mezcla el alcohol (metanol o etanol) y catalizador (KOH o NaOH), luego se realiza la separación del biodiesel y glicerina, para continuar con el lavado, secado y finalizar con la obtención del biodiesel. En la Imagen 2, se pudo apreciar dicho diagrama de operaciones.

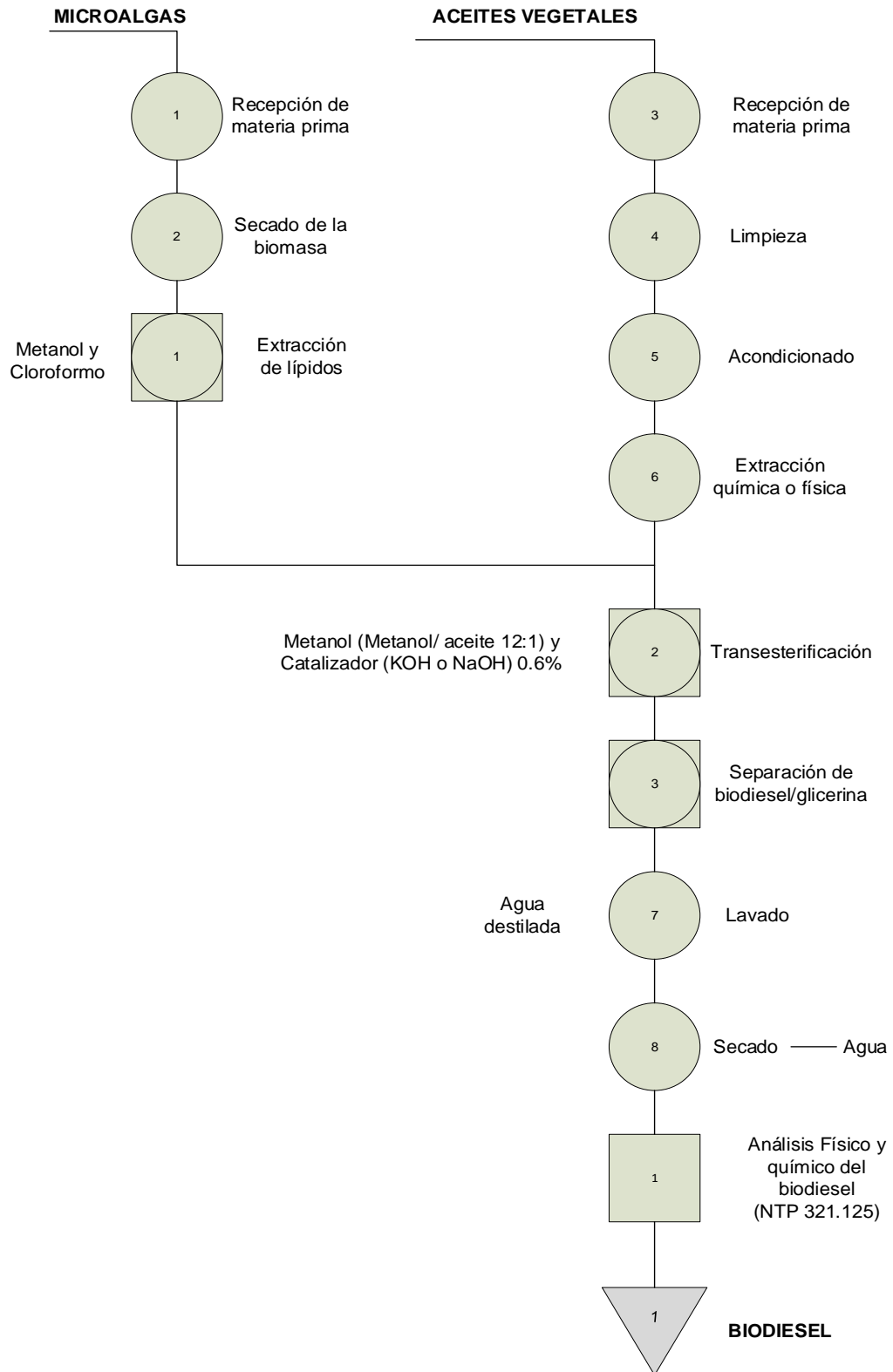
Por otro lado, para que el proceso sea adecuado, el biodiesel se rige por especificaciones, por eso existen normas internacionales y nacionales, para que el producto sea de calidad y pueda ser de uso comercial. Por lo tanto, para este estudio se guió mediante la Norma Técnica Peruana NTP 321.125 que establece las especificaciones del biodiesel. A continuación, en la Tabla 7 se visualizó las propiedades del biodiesel con sus respectivas unidades y parámetros bajo dicha norma.

Tabla 7: Especificaciones del biodiesel NTP 321.125.

Propiedad	Unidad	NTP 321.125
Densidad	Kg/m ³	860 – 900
Punto de inflamación	°C	>130
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	1.9 – 6.0
Poder calorífico	MJ/kg	37.5 – 40.2
Cenizas	%	<0.02
Número de cetano	Cetanos	>47
Contenido de azufre	%	0.0015
Índice de acidez	mg KOH/g	0.50
Contenido de agua y residuos	%	<0.05

Fuente: (NTP 321.125, 2008)

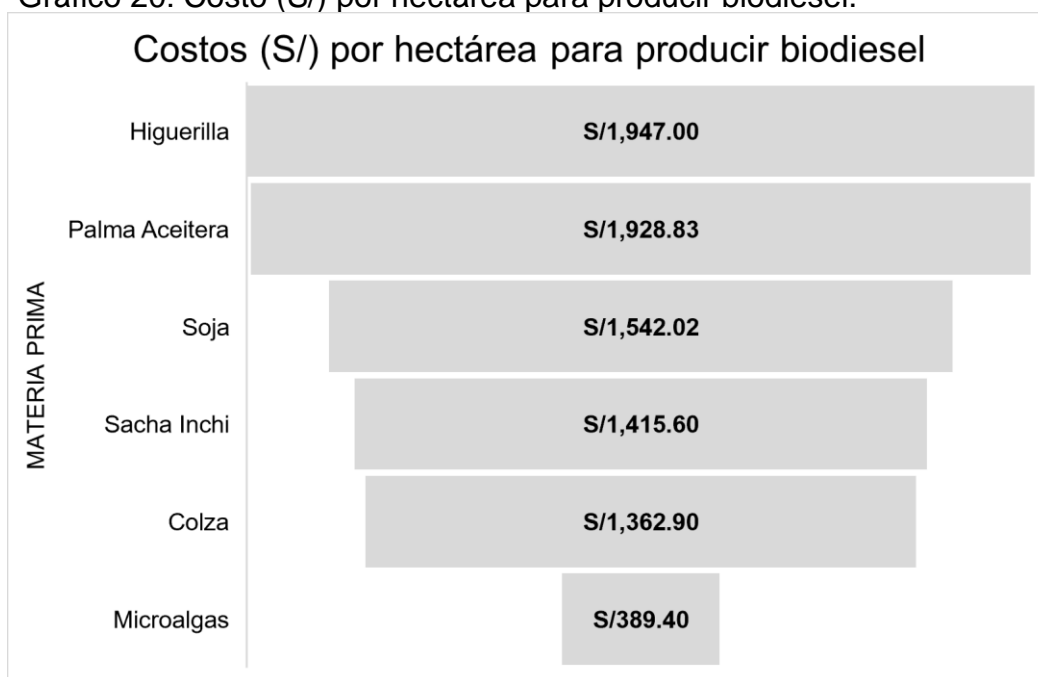
Imagen 2: Diagrama de operaciones del biodiesel.



Elaboración propia, 2020.

Por otro lado, se observó el costo del biodiesel por cada hectárea y por cada materia prima, se determinó cada detalle como la semilla y/o biomasa, la mano de obra, los materiales, insumos, equipos y/o herramientas durante la siembra, para los aceites vegetales y microalgas. A continuación, en el Gráfico 20 se detalla el costo para producir biodiesel.

Gráfico 20: Costo (S/) por hectárea para producir biodiesel.



Fuente: (OCDE/FAO, 2019)
Elaboración propia, 2020.

Del gráfico anterior, se pudo apreciar que, para producir biodiesel a partir de la higuierilla como materia prima, el costo es mayor comparado con las demás materias primas, con un costo significativo de S/ 1, 947.83. Seguido está la Palma aceitera con un costo de S/ 1,928.83. Así mismo, el aceite de soja tiene un costo de S/ 1,542.02. Por otro lado, la microalga como materia prima, es más económico comparado a la producción de biodiesel a partir de los aceites vegetales, estas microalgas tienen un costo de S/ 389.40. Esto es debido, ya que para producir biodiesel a partir de microalgas no se requiere de fertilizantes, insecticidas, mantenimiento, entre otros aspectos.

V. DISCUSIÓN

Al determinar el estado del arte del biodiesel a partir de materias primas derivadas de la microalga y aceite vegetal, se obtuvieron los resultados a partir de la revisión y análisis de los documentos y/o investigaciones, donde se analizó el tipo de materia prima, la cantidad de biomasa, los lípidos extraídos y el método de extracción de lípidos. Donde (TEJEDA BENITEZ, y otros, 2015), en su investigación utilizó dos tipos de microalgas, estas son la *Chlorella* sp. y *Dunaliella* salina, en la cual tuvo como cantidad de biomasa de 98.61 mg/L y 71.89 mg/L, respectivamente, obteniendo así el porcentaje de lípidos en 40.23% para la *Chlorella* y 23.48% para la *Dunaliella* salina, utilizándose el método para la extracción de los lípidos el método Bligh & Dyer. Por otra parte, (LINO ARANA, y otros, 2019), en su investigación utilizó aceite vegetal de la semilla de Zapote Mamey, nombrada científicamente como *Pouteria sapota*, donde se obtuvo 0.1361 mg/L en biomasa, a partir de dicha biomasa se extrajo 45.37% en lípidos, aplicando el método soxhlet para extraer los lípidos. Así mismo, (MARCHENA MORA, 2019), en su investigación utilizó el aceite vegetal del rastrojo de piña con una cantidad de 0.19 mg/L en biomasa, usando el método por extracción química para los lípidos, obteniendo así un porcentaje de 40%. En cuanto a los métodos de extracción de lípidos que se escogieron, uno de ellos fue el Bligh & Dyer, este es un método que determina los lípidos totales, donde las muestras son analizadas sin secarlas previamente y los lípidos que se obtienen pueden ser usados para el biodiesel, la desventaja de usar este método es que se utiliza cloroformo, ya que este es un compuesto tóxico con el ambiente (MIGUELA, 2018). Otro de los métodos que se usaron, fue el método soxhlet, este se utiliza comúnmente mediante una extracción sólida – líquida en un instrumento de laboratorio con el mismo nombre, en este se añade un solvente que es calentado hasta su ebullición, luego se condensa, por último, se extrae el aceite que contiene la biomasa (MIGUELA, 2018). Por otro lado, la situación del consumo del biodiesel a nivel mundial, según la (OCDE/FAO, 2019) viene en aumento e irá en aumento con proyección al año 2028, esto es debido a que tiene un impacto positivo con el medioambiente, además, su consumo ha sido fortalecido por las políticas de gobierno que han sido dictaminadas e implementadas. Es por eso que el promedio de crecimiento mundial respecto del consumo del biocombustible a

nivel mundial fue de 14% en el lapso de 4 años considerando como año base 2015 al 2019. En general se observó que el panorama para el mercado de consumo relacionado al biodiesel está fortalecido y tiene muy buena proyección a nivel mundial. En este sentido y con base a lo analizado en los documentos y/o investigaciones relacionadas al estado del arte, se pudo determinar que tanto la materia prima como el método de extracción seleccionado que se utilizaron son directamente relacionados para la efectividad en la obtención de lípidos; de esta manera para la microalga *Chorella sp.*, se utilizó el método Bligh & Dyer y se obtuvo un porcentaje considerable de lípidos para la producción de biodiesel, así mismo, para el caso de la materia prima como la semilla de Zapote Mamey se utilizó el método Soxhlet para la extracción de lípidos, en ambos casos determinaciones de suma importancia para la obtención de un buen porcentaje de lípidos y/o aceites de calidad. Situación muy favorable para que el consumo de biodiesel siga incrementándose, no sólo fortalecido por la materia prima renovable y de muy poco impacto para el medio ambiente, sino también respaldado en políticas gubernamentales que vienen apalancando su consumo proyectando su crecimiento en un 17% a nivel mundial, lo que hace a esta biotecnología amigable para el medio ambiente y muy rentable para su producción.

Para definir el estado actual del biodiesel elaborado ya sea a partir de microalgas y/o aceites vegetales, se revisaron y analizaron los documentos y/o investigaciones para la obtención de los resultados, donde se tuvo en cuenta el tipo de materia prima, la cantidad de biomasa, los lípidos extraídos y el método de extracción de lípidos. (MERCADO TUPIÑO, 2016) en su investigación utilizó la microalga *Scenedesmus Obliquus* Var como materia prima, con una cantidad de 0.03685 mg/L en biomasa, extrayendo un 82.79% en lípidos, estos lípidos se extrajeron mediante el método por extracción química. Del mismo modo, teniendo en cuenta como materia prima los aceites vegetales, (SOUZA NÁJAR, 2016) en su investigación usó el aceite de almendra de la *Omphales Diandra*, con una biomasa de 0.050 mg/L, en la cual se extrajo 42.83% en lípidos empleando el método soxhlet para extraer dichos lípidos. En el caso de, (RAMIREZ LIZANA, 2018) en su investigación tuvo como materia prima las semillas de *Ricinus communis* teniendo una biomasa de 11 mg/L, utilizando el método

por extracción física mediante la molienda, obteniendo así 41.82% en lípidos. El método por extracción física, se realiza con molinos, cilindros o molturación de la semilla, con la finalidad de destruir las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado y según las características que tenga el aceite, se puede realizar el refinado en tanques de acero inoxidable para obtener la mayor cantidad de aceite (TABIO GARCÍA, y otros, 2017). Según (MIGUELA, 2018) el método por extracción química es una técnica muy utilizada para la separación de un componente de una mezcla mediante un disolvente, que consiste en agitarlos con un disolvente orgánico con agua y dejar que ambas sustancias se separen. Por otro lado, según (VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016) mencionó que la situación del consumo del biodiesel en el Perú ha venido en aumento en los últimos cinco años, donde hay un crecimiento de 62.78% en biodiesel, siendo así, la proyección para los años venideros el consumo del biodiesel será muy positivo, si bien es cierto según (OSINERGMIN, 2020) el promedio del precio del biodiesel se incrementó en 8.5% entre los años 2019 y 2020, esto se debe no solo a la importación de la gran parte de la materia prima para la producción del biodiesel que influye en los precios como se indicó, sino también a la gran demanda de consumo de los clientes finales debido a su economía de escala, durabilidad de su motor y baja contaminación del medio ambiente. En este sentido y con base a lo analizado en los documentos y/o investigaciones relacionadas al estado actual, se pudo definir que tanto la materia prima como el método de extracción seleccionado que se utilizaron son directamente relacionados para la efectividad en la obtención de lípidos; de esta manera para la microalga *Escenodesmus Obliquus* Var., se utilizó el método por extracción química y se obtuvo un porcentaje considerable de lípidos para la producción de biodiesel, así mismo, para el caso de la materia prima como la almendra *Omphales Diandra* donde se utilizó el método Soxhlet para la extracción de lípidos, las semillas *Ricinus communis* en la que se utilizó la extracción física para extraer los lípidos, en estos casos, es determinante y de suma importancia la obtención de un buen porcentaje de lípidos y/o aceites de calidad. Situación muy favorable para que el consumo de biodiesel siga incrementándose, no sólo fortalecido por la materia prima renovable y de muy poco impacto para el medio ambiente, sino también respaldado en la política de gobierno que viene apalancando su consumo

proyectando al 2028 su crecimiento en una demanda de 14.8 de MBPD lo que hace a esta biotecnología amigable para el medio ambiente y muy rentable para su producción.

Al determinar las características tanto físicas como químicas del biodiesel, se investigaron y analizaron documentos y/o artículos científicos, teniendo en cuenta la materia prima, el alcohol y catalizador aplicado al proceso de transesterificación y la norma aplicada que nos otorgó los parámetros de calidad. Teniendo en cuenta las microalgas como materia prima, (AMAYA, 2018) en su investigación utilizó la alga marina *macrosystis pyrifera*, aplicando bajo la norma peruana NTP 321.125, además, para el proceso de transesterificación aplicó el metanol y el hidróxido de sodio, donde sus características tanto físicas como químicas estuvieron dentro de los parámetros que establece la norma, obteniendo un rendimiento de 100% en la relación biodiesel/aceite, no obstante, en (ARCE PORTUGAL, 2018) donde se utilizó como materia prima la microalga *chlorella vulgaris* y como alcohol y catalizador usó el metanol y el hidróxido de potasio, respectivamente, obteniendo un rendimiento de 85.60%, aplicando la NTP 321.139. Del mismo modo, teniendo en cuenta los aceites vegetales como materia prima, (ARIAS, y otros, 2011) usó el aceite de girasol para la elaboración del biodiesel, para obtener el biodiesel mediante el proceso de transesterificación usó el metanol y el hidróxido de sodio, obteniendo un porcentaje de rendimiento de 88.21%, además, empleó como estándar la Norma Estadounidense ASTM D6751 y la NTC DE100/4, estando las características físicas y químicas dentro de los parámetros establecidos en dichas normas. Así mismo, (ECHEVERRÍA, 2018) en su investigación utilizó el aceite de higuera, aplicando el metanol y el hidróxido de sodio, obteniendo un rendimiento de 90% en biodiesel, en la cual aplicó la norma internacional estadounidense ASTM D6751 y la europea EN 14214. El proceso de transesterificación, es un tipo de reacción en la que los lípidos de los aceites vegetales y/o microalgas se combinan con un alcohol que puede ser el etanol o metanol, en presencia de un catalizador que puede ser el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, para así formar el biodiesel (ALCAÑIZ PIQUERAS, y otros, 2019). Las características o propiedades físicas y químicas del biodiesel, son aquellas que se basan en la

estructura de la sustancia, que es visible y medible, además, estas nos informan sobre el comportamiento del material ante las diversas acciones externas. La diferencia entre estas propiedades es que las físicas son visibles, medibles y no alteran el biodiesel, en cambio, las químicas comportan la reacción del biodiesel con respecto a otras sustancias, creando una nueva sustancia (TORRES BÚA, 2014). Con lo referido en los párrafos anteriores, y como ya se determinó, parte fundamental para la obtención de un eficiente rendimiento, dado por relación biodiesel/aceite, estuvieron basados en los factores principales que condicionaron cierta característica fundamental, como el estándar seleccionado para el cumplimiento de las especificaciones de calidad, la materia prima, y el tipo de alcohol y catalizador utilizado en el proceso de transesterificación. En el mundo existen estándares que pueden ser seleccionados por cualquier empresa productora de biodiesel siendo estas potestativas, caso contrario sucedería si esta es declarada de uso obligatorio por alguna norma o ley gubernamental, considerando que muchos gobiernos vienen apalancando la producción de calidad de biodiesel bajo directivas gubernamentales. En tal sentido y como ha sido de libre selección del estándar en las investigaciones y/o documentos analizados se pudo determinar que dentro de un proceso productivo de biodiesel de calidad está en seleccionar en primer orden, el tipo de estándar a utilizar considerando sus requisitos, siendo la norma europea EN 14214 una de los más estrictas para lograr parámetros de calidad de biodiesel, siguiendo la norma estadounidense ASTM D6751 y la otras entre las que se encuentran la norma técnica peruana NTP 321.125 la misma que ha sido de aplicación más eficiente según las investigaciones y/o documentos analizados consecuente por seleccionar, en segundo orden, como materia prima la alga marina macrosystis pyrifera y en tercer orden seleccionar para el proceso de transesterificación como alcohol al metanol y como catalizador al hidróxido de sodio logrando un rendimiento del 100%, lo anterior en definitiva es condicionado por el know-how de los técnicos especialistas que dominan esta biotecnología de vanguardia que en definitiva viene cambiando el mundo por su producción sobre recursos renovables y que producen mucho menos contaminación al planeta.

Para determinar el proceso adecuado para elaborar el biodiesel, se analizaron los documentos y/o investigaciones que contenían el número de actividades del proceso productivo del biodiesel plasmándolo en un diagrama de operaciones, así como el costo que se requiere para elaborar el mismo. (OSORIO MENIZ, 2018) en su investigación donde realizó un diagrama de operaciones teniendo un total de 13 actividades 6 son de operación, 3 de inspección almacenamiento, 1 de demora y 3 actividades combinadas. El mismo que empieza con el análisis de la materia prima, siguiendo 3 actividades de operación para obtener el aceite, se realizó el análisis químico, para continuar con el proceso de transesterificación, para esto se le añade el metanol y el hidróxido de sodio, permitiendo la separación entre el biodiesel y la glicerina, donde se decanta, luego se recupera el metanol, neutralizando y lavando el biodiesel, se realiza el proceso de secado y por último su respectivo análisis de calidad del mismo. Así mismo, (CAMPOS COLORADO, y otros, 2013) en su investigación de elaborar biodiesel a partir de la semilla de higuera como materia prima, tuvo un total de 13 actividades donde, 9 fueron de operación y 4 de otras actividades siendo estas de transporte y almacenamiento, además, utilizó el proceso de transesterificación para obtener el biodiesel, siguiente al proceso de evaporación, enfriamiento, lavado, deshidratado, filtrado y almacenamiento del biodiesel. Del mismo modo, (TARNOUSKY, 2011) presentó un diagrama de operaciones teniendo un total de 15 actividades, siendo 10 de operación y 5 de inspección. Donde, todos los insumos como el aceite, el hidróxido de sodio y metanol pasan por un control de calidad, empezando por la obtención del aceite y para esto se debe calentar, purificar y secar. Luego, agregar el alcohol y catalizador para seguir con el proceso de transesterificación, decantación, purificación, lavado, secado y filtrado del biodiesel, por último, se realiza el control de calidad del biodiesel como producto terminado. El diagrama de operaciones es una representación gráfica que nos permite de alguna forma estandarizar las actividades de forma secuencial que pertenecen al flujo de un determinado proceso; en el caso en particular para la elaboración del biodiesel que va desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto terminado. Los encargados de analizar y realizar el proceso, ayuda a visualizar con detalles de tal forma que se pueden identificar nuevos y mejores procedimientos

(SALAZAR LÓPEZ, 2019). Por otro lado, también se determinó el costo para producir biodiesel a partir de diferentes materias primas, como los aceites vegetales y microalgas; según (OCDE/FAO, 2019) es más costoso hacer biodiesel a partir del aceite de la higuera con un total de S/ 1,947 soles por hectárea, esto es debido al cultivo que esta requiere. Además, se identificaron detalles como la mano de obra, los materiales, insumos, equipos y/o herramientas durante la siembra. Del mismo modo, el aceite de colza es el menos costoso teniendo en cuenta los aceites vegetales con un total de S/ 1,362.90 soles, por otro lado, para la elaboración del biodiesel a partir de la microalga es más económico con un total de S/ 389.40 soles, ya que no se requiere de fertilizantes, insecticidas, entre otros, como es en el caso de aceites vegetales. Con lo mencionado anteriormente, las actividades que corresponden a un proceso de elaboración no se encuentran estandarizadas en general para las empresas productoras de biodiesel, sino que están condicionadas en general a los métodos de ensayo para lograr los parámetros de calidad establecidos y la materia prima para la obtención de un biodiesel de alto rendimiento, como se ha analizado y revisado en los documentos y/o investigaciones, de los cuales se ha tenido en cuenta los diagramas de operaciones de los autores mencionados y con base en ello se realizó uno de elaboración propia donde se consideró un total de 13 actividades siendo 8 de operación, 1 inspección, 3 actividades combinadas y 1 de almacenamiento, considerando que el biodiesel es elaborado a partir de microalgas o aceites vegetales, extrayendo los lípidos a partir de la biomasa, para seguir con el proceso de transesterificación, para eso se agrega el metanol y un catalizador, ya sea hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, esto actúa en las sustancias separando el biodiesel y glicerina por decantación, luego se realiza un lavado con agua destilada, secado por burbujas, y ya obteniendo el biodiesel se realiza un análisis físico y químico del mismo para que el producto sea de calidad y que este dentro de los parámetros que establece la Norma Técnica Peruana 321.125, estándar seleccionado para el proceso de elaboración de biodiesel

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se determinó el estado del arte del biodiesel, donde el aceite que tenga un buen rendimiento para elaborar biodiesel, depende mucho del tipo de materia prima o biomasa, estas son la *Chlorella sp* y *Scenedesmus Obliquus* Var para las microalgas y la semilla de Zapote mamey para el aceite vegetal, además, la cantidad de lípidos que se obtengan de ella, esto complementado por el método de extracción de dichos lípidos, que pueden ser el método Soxhlet, Bligh & Dyer, extracción química y física.

En esta tesis, se determinó y definió que el consumo del biodiesel a nivel mundial y en el Perú viene en aumento, ya que está respaldada por el impacto positivo que tiene con el medioambiente, además, las políticas de gobierno fortalecen y apalancan su consumo, ya que el biodiesel está siendo incorporado paulatinamente en porcentajes de los hidrocarburos existentes.

En este informe de investigación se determinó el análisis físico y químico, para esto existen normas que establecen las especificaciones y los parámetros, por ello es importante que la densidad, punto de inflamación, viscosidad cinemática, poder calorífico, las cenizas, número de cetano, azufre, índice de acidez y contenido de agua y/o sedimentos, se encuentren dentro de los parámetros que exige la Norma Técnica Peruana 321.125, para así el producto sea de calidad y sea un combustible alternativo.

En el informe de investigación, se determinó que, para la elaboración del biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales, estuvo conformada por las siguientes etapas del proceso, que incluye la extracción de lípidos, el proceso de transesterificación, aquí se agrega el metanol y catalizador, sigue la decantación del biodiesel y glicerina, separación, lavado, secado, filtrado, se realiza el análisis fisicoquímico mediante los parámetros de la NTP 321.125. Por otro lado, el costo unitario del biodiesel, también depende del tipo de materia prima utilizado, ya que este representa en mayor porcentaje la estructura de los costos, por ello, es más económico producir biodiesel a partir de las microalgas que de los aceites vegetales.

VII. RECOMENDACIONES

Para la obtención de lípidos y/o aceite se recomienda hacer una comparación de los métodos de extracción para así poder determinar cuál método de los que existen es más efectivo para poder tener un buen rendimiento de aceite según la materia prima.

Se recomienda profundizar el estudio de las microalgas para la elaboración del biodiesel, ya que aproximadamente existen 2500 especies de microalgas, sin embargo, hay pocos documentos y/o investigaciones acerca de dicha materia prima. Con el fin de que aumenten los combustibles alternativos y que no reduzca el impacto negativo con el medioambiente.

Gestionar la baja de los costos en la producción del biodiesel con la reducción de las importaciones de la materia prima, lo que impactará directamente en los precios de forma positiva para el cliente final e incrementará su consumo.

En el método de transesterificación para la obtención del biodiesel, se recomienda usar como alcohol, el metanol y como catalizador, el hidróxido de potasio, previa realización de pruebas de laboratorio para determinar la cantidad exacta de reactivos a utilizar para optimizar costos debido a que los aceites provienen de distintas fuentes neutralizando esta manera los ácidos libres e incrementar potencialmente el rendimiento del biodiesel hasta a su óptimo y dentro de los parámetros que exigen las normas.

Para realizar el análisis físico y químico del biodiesel es necesario regirse de las normas nacionales como la Norma Técnica Peruana NTP 321.125 e internacionales como la estadounidense ASTM D6751 y la europea EN 14214 aplicadas de forma individual o una mezcla de estas, lo que nos permitirá evaluar y lograr la calidad del biodiesel que se requiere y sobre todo para que pueda ser un producto comercial.

REFERENCIAS

ACEVEDO PÁEZ, Juan Camilo, y otros. 2019. Study of the production of biodiesel by enzymatic and chemical processes from used cooking oil. Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, 2019, Vol. 7, 2.

ACEVEDO PÉREZ, Irene. 2002. Aspectos Éticos en la Investigación científica. [En línea] junio de 2002. [Citado el: 2 de septiembre de 2020.] <https://bit.ly/33C1OWL>. ISSN: 0717-9553.

AGUILAR DÍAZ, Henry Ricardo. 2019. *Producción del biodiésel a partir del aceite de semillas de piñón (Jatropha curcas) para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en motores, Chiclayo.* Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2019.

ALAVA VÉLEZ, David Eduardo y BRAVO CEVALLOS, Johnny Aldrin. 2012. *Producción de biodiésel a base de piñón.* Guayaquil, Ecuador : Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012.

ALCAÑIZ PIQUERAS, Nuria, ANDRÉS CARCELÉN, Amelia y DÍAZ PEDROSA, Elena. 2019. *Final de la uva: Biodiesel.* Albacete, España : Ministerio de sanidad, consumo y bienestar social, 2019.

AMAYA, Karen. 2018. *Producción de Biocombustible a partir de Residuos de Flora Bentónica del Distrito de Marcona.* Perú : Universidad César Vallejo, 2018. Tesis de pregrado.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. 2019. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. [En línea] 2019. <https://bit.ly/2QcGAcZ>.

ARBELÁEZ MARÍN, Ángela y RIVERA QUIROZ, Marcela. 2007. *Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiésel a partir de algunos aceites vegetales.* Medellín : Universidad EAFIT, Escuela de ingeniería, 2007.

ARCE PORTUGAL, John Alberto. 2018. *Caracterización fisicoquímica de biodiésel a partir de la microalga Chlorella vulgaris, obtenida en fotobiorreactor tubular.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín, 2018.

ARIAS QUINTERO, Diana Carolina y GARCIA RIVERA, Angela Magaly. 2018. Biodiesel production from waste cooking oil. A Review. Revista Nacional de Ingeniería, 2018, Vol. 1, 1.

ARIAS, Daniel, TEUTA, Augusto y PARRA, Jaime. 2011. *Caracterización de las propiedades del biodiésel de girasol bajo la norma NTC de 100/4 y medición de poder calorífico.* Universidad Libre sede Bosque Popular. Bogotá : AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 8 - No. 2, 2011.

ATLAS. 2010. *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las américas.* San José. Costa Rica : IICA, Programa Hemisférico de Agroenergía y Biocombustibles, 2010. ISBN: 978-92-9248-196-4.

BINDA GARCÍA, José Renzo, y otros. 2007. *Análisis estratégico de la industria del biodiésel en el Perú.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007.

BRAVO MURILLO, Daniel Alejandro y MONTES BERNAL, Fernando Manuel. 2016. *Influencia de factores de almacenamiento en la estabilidad química de biodiésel de palma.* Bogotá : Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, 2016. Tesis de pregrado.

BUHELLI CARPIO, Luis y GARCIA GRANIZO, Vicente. 2015. The use of using oil analysis for early detection of faults in diesel internal combustion engines. UNEMI, 2015, Vol. 8, 15.

BUNGE. 2013. Bunge North America, Inc. *Aceites Vegetales.* [En línea] 2013. [Citado el: 24 de agosto de 2020.] <https://bit.ly/2FN4gBu>.

CALZADA, Julio, MOLINA, Claudio y RAMSEYER, Frando. 2019. Bolsa de Comercio de Rosario. [En línea] 24 de Mayo de 2019. [Citado el: 4 de Setiembre de 2019.] <https://bit.ly/2EvGqGR>.

CAMPOS COLORADO, Sandra Luz y SALAZAR ALVARADO, Shirley Edelmira. 2013. *Diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de las semillas de higuera en el Valle Candebamba, Cajamarca.* Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2013.

CASTILLO, Lourdes. 2005. Tema 5 - Análisis Documental. [En línea] 2005. [Citado el: 1 de septiembre de 2020.] <https://bit.ly/2FkGRY8>.

CAUAS, Daniel. 2015. *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación.* Bogotá : Biblioteca Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia, 2015. Vol. 2.

CHASI, Joe. 2015. *Validación del método de ensayo de punto de inflamación mediante copa cerrada Penskymartens, del diésel comercializado en Ecuador, según la norma NTE INEN 1493 procedimiento A.* Quito : Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2015. pág. 152, Tesis de pregrado.

CHICO, Lidia. 2017. *Desarrollo y caracterización de salchichas de pollo con microalgas y chíá.* Valencia : Universidad Politécnica de València, 2017. pág. 57.

COLCHA PROAÑO, Danny Fabricio. 2019. *Caracterización del impacto de la conducción eficiente (ECODRIVING) en el consumo de combustible y emisiones contaminantes de un motor de combustión interna a gasolina con inyección indirecta a 2800 MSNM.* Quito : UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, 2019.

DÍAZ DOMINGUEZ, y otros. 2019. Rheological behavior and properties of biodiesel and vegetable oil from moringa oleifera lam. Universidad Tecnológica de La Habana, 2019.

DOS SANTOS, y otros. 2015. *sonoquímica, Comparación entre varios métodos de extracción de lípidos totales de la biomasa de Chlorella vulgaris. Ultrasonidos.* 2015, Vol. 22, págs. 95 - 99.

ECHEVERRÍA VISCAYA, José Adolfo, y otros. 2013. *Obtención de biodiésel a partir de aceites usados y catalizadores básicos.* Mazatlán : Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, 2013. ISBN: 978-607-95593-1-1.

ECHEVERRÍA, Juan. 2018. *Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuera B10.* Ibarra : Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, 2018. pág. 92.

ESTELA RAFFINO, María. 2020. Lípidos. [En línea] 26 de junio de 2020. <https://bit.ly/2Gxl0O1>.

FARFAN, Mena y otros, y. 2017. *Análisis del rendimiento del motor diésel utilizando biodiésel como combustible en la altitud.* La Paz : Universidad Mayor de San Andrés, 2017. Tesis doctoral.

GALLEGOS ARDILES, David y LLANOS VELESVILLE, Enrique José Rodolfo. 2013. *Simulación del proceso para la obtención de biodiésel a partir de aceites usados usando datos obtenidos a nivel de laboratorio.* Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2013.

GARCÍA, Segundo y otros, y. 2017. *Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiésel producidos de la Jatropha curcas L. en la provincia Manabí, Ecuador.* Manta : Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 2017. págs. 142-158. ISSN: 2224-5421.

GEBREMARIAM y MARCHETTI. 2018. Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management.* 2018, Vol. 168.

HERNÁNDEZ PÉREZ, Alexis y LABBÉ, José. 2014. Microalgae, cultivation and benefits. *Journal of Marine Biology and Oceanography.* 2014, Vol. 49, 2, págs. 157 - 173.

HERNÁNDEZ, Andrea. 2016. *Desarrollo de una propuesta de disminución de los sedimentos (HAZE) generados en el proceso de fabricación de biodiésel de la empresa biodiésel de la costa.* Bogotá : Universidad de América, Facultad de Ingenierías, 2016. pág. 126, Tesis de pregrado.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. 2014. *Metodología de la Investigación.* Ciudad de México : Interamericana Editores, 2014. 978-1-4562-2396-0.

KEERA, EL SABAGH y TAMAN. 2018. Castor oil biodiesel production and optimization. [ed.] Elsevier. 20 de noviembre de 2018, Vol. 27, 4, págs. 979-984.

KNOTHE, Gerhard y RAZON, Luis. 2017. Combustibles de biodiesel. Progress in Energy and Combustion Science. 2017, Vol. 58, págs. 36-59.

KNOTHE, Gerhard, KRAHL, Jürgen y GERPEN, Jon Van. 2010. *The Biodiesel Handbook*. Estados Unidos : AOC PRESS, 2010. 978-1-893997-62-2.

LEYVA GUERRERO, Carlos Antenor. 2017. *Revisión: Biocombustibles de segunda generación*. Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2017. pág. 46.

LINO ARANA, María Belén y LINO ARANA, María Isabel. 2019. *Obtención de aceite a partir de la semilla de zapote mamey (Pouteria sapota) para su uso como biocombustible*. Guayaquil : Universidad de Guayaquil, 2019.

LÓPEZ, Pedro Luis. 2004. *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO*. Cochabamba : Punto cero, 2004. ISSN: 1815-0276.

MA, Xiaoyu, y otros. 2018. Past, current, and future research on microalga-derived biodiesel: a critical review and bibliometric analysis. *Springer*. Environ Sci Pollut Res, 2018, Vol. 1, 25.

MAFLA YEPEZ, Carlos Nolasco, y otros. 2018. *Caracterización y análisis comparativo de biodiésel a base de higuera B10, respecto de diésel comercial de alta calidad*. Ecuador : Universidad Técnica del Norte, 2018. págs. 53-60. ISSN: 2477-9024.

MARCHENA MORA, Anthony. 2019. *Producción biotecnológica de biodiésel a partir de rastrojo de piña*. San Pedro, Montes de Oca : Universidad de Costa Rica, 2019.

MARCHETTI, GEBREMARIAM. 2018. *Economics of biodiesel production*. 2018. págs. 74-84.

MARENCO, Sebastián y PEREYRA, Rodrigo. 2019. *Automatización de planta de producción de biodiésel*. Córdova : Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, 2019. Tesis de pregrado.

MARTÍNEZ TORRES, Rosania. 2006. *Obtención de biodiésel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera*. Santa Clara : Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2006.

MARTÍNEZ, Catalina y GALÁN, Arturo. 2014. *Técnicas e instrumentos de recogida y análisis de datos*. Madrid : Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2014. ISSN: 978-84-362-6822-5.

MELOSEVICH CHICO, Ivan y SANTIAGO LLAXACONDOR, Alex. 2013. *Simulación de una planta piloto para la producción de biodiésel en el laboratorio de operaciones*

unitarias de la Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, 2013.

MERCADO TUPIÑO, Estefanía. 2016. *Cultivo de microalga Scenedesmus Obliquus var. Dimorphus (TURPIN) para la obtención de biomasa y lípidos*. Lima : Universidad Ricardo Palma, Escuela de Posgrado, 2016. Tesis de posgrado.

MIGUELA. 2018. Docsity. *Métodos de extracción de lípidos*. [En línea] 26 de septiembre de 2018. [Citado el: 28 de octubre de 2020.] <https://bit.ly/34DoasM>.

MORENO CEPEDA, Michelle Carolina. 2016. *Identificación y caracterización de microalgas de la laguna limoncocha para su uso como biomasa en la elaboración de biocombustibles, 2016*. Quito : Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, 2016. Tesis de pregrado.

NTP 321.125. 2008. *Norma Técnica Peruana. Biocombustibles. Biodiesel. Especificaciones*. Lima : Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2008.

OCDE/FAO. 2019. *OCDE/FAO Perspectivas agrícolas 2019-2028*. Roma : OCDE Publishing, París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2019. ISBN 978-92-64-18272-1.

OILTANKING. 2019. Fuels to generate heat or electricity. [En línea] 29 de octubre de 2019. <https://bit.ly/2CCKlQr>.

OSINERGMIN. 2020. Organismo supervisor de la Inversión en Energía y Minas. [En línea] World Products Trading S.A.C, 12 de octubre de 2020. [Citado el: 18 de octubre de 2020.] <https://bit.ly/3m0JRJa>.

OSORIO MENIZ, Marco Gerald. 2018. *Mejora de procesos para optimizar los volúmenes de obtención de glicerina y biodiésel a partir de aceite vegetal reciclado en la Universidad César Vallejo - ATE*. Lima : Universidad César Vallejo, 2018.

PARY HILARI, Gabi Vaneza. 2019. *Obtención del biodiésel a partir de lentejas de agua (lemna gibba) por transesterificación*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2019.

PINTO ROMERO, Jacqueline Alexandra y TACURI FAREZ, Bayron Javier. 2020. *Diseño in silico de un proceso de producción de biodiésel a partir de aceite de palma africana (Elaeis guineensis) en el Cantón Shushufindi, Provincia de Sucumbíos*. Puyo, Ecuador : Universidad Estatal Amazónica, 2020.

RAMIREZ LIZANA, Wilmer. 2018. *Eficiencia del biodiésel del aceite de semillas de Ricinus communis (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo*. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2018.

SALAZAR LÓPEZ, Bryan. 2019. Industrial Engineering Online. *Operation process diagram*. [En línea] 18 de junio de 2019. [Citado el: 30 de octubre de 2020.] <https://bit.ly/3jRf8fY>.

SÁNCHEZ, Carlos. 2017. Energy News Events, S.L. [En línea] 19 de Diciembre de 2017. [Citado el: 4 de Setiembre de 2019.] <https://bit.ly/3321jDe>.

SÁNCHEZ, Nuria. 2015. *Obtención del biodiésel mediante transesterificación de aceite ricino y grasas animales: Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso*. España : Universidad de Extremadura, 2015. Tesis doctoral.

SERRANO MARTINEZ, Marta. 2016. *Estudio de la influencia de las materias primas en la producción y propiedades de biodiésel como combustible*. Madrid : Universidad Complutense de Madrid, 2016.

SOUZA NÁJAR, Rosa Isabel. 2016. *Obtención de biodiésel a partir de aceite del *Omphalea diandra**. Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado, 2016. Tesis de Maestría.

TABIO GARCÍA, Danger, y otros. 2017. *Extraction of oils of vegetable origin*. La Habana : Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, 2017. ISBN: 978-959-261-553-3.

TARNOUSKY, Agustin. 2011. *El biodiésel en Argentina / Plan de Negocios*. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2011.

TEJEDA BENITEZ, Lesly, y otros. 2015. *Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas*. Colombia : Revista Facultad de Ingeniería, 2015. págs. 43-54. ISSN: 0121-1129.

TEQUÉN ARROYO, Yavar Edgar. 2017. *Calidad del biodiésel a partir del porcentaje de ácidos grasos libres de aceite usado*. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2017.

TORRES BÚA, Manuel. 2014. Materials for technical use. *Xunta de Galicia*. [En línea] 12 de mayo de 2014. [Citado el: 30 de octubre de 2020.] <https://bit.ly/3mJshty>.

VÁSQUEZ CORDANO, Arturo, DE LA CRUZ SANDOVAL, Ricardo y COELLO JARAMILLO, Jaramillo. 2016. *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales*. Lima, Perú : Gerencia de Políticas y Análisis Económico - Osinergmin, Perú, 2016. ISSN 2307 – 4272.


ANEXOS

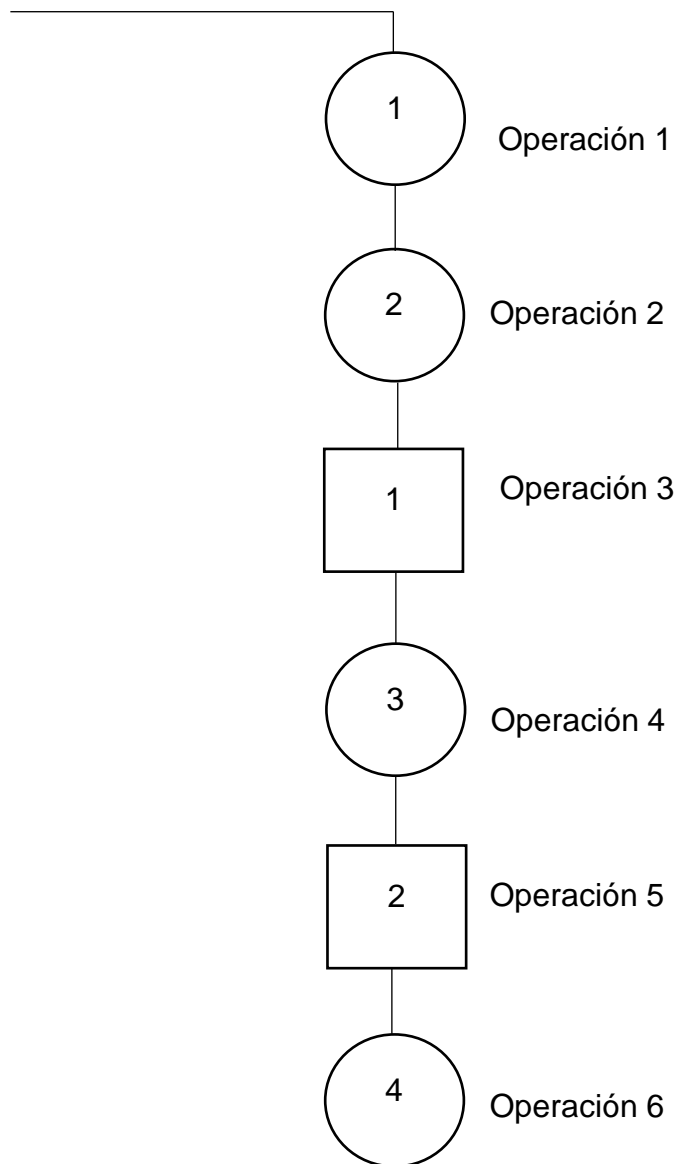
Anexo 1. Matriz de consistencia.

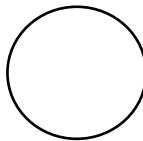

Título	Problema General	Objetivo General	Preguntas Específicas	Objetivos Específicos	Variable	Categorías	Sub categorías
CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO A PARTIR DE MICROALGAS Y ACEITES VEGETALES	¿Qué diferencias existieron en los patrones de la caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?	Analizar el patrón de diferencias de la caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales.	¿Cuál fue el estado del arte del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?	Describir el estado del arte del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales	CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL	Estado del arte	Biomasa (mg/L) Lípidos (%)
			¿Cuál fue el estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú?	Definir el estado actual del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales en el Perú.		Estado actual	Biomasa (mg/L) Lípidos (%) Rendimiento (%) Densidad (kg/m ³) Punto de inflamación (°C)
			¿Cuáles fueron las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales?	Determinar las características físicas y químicas del biodiesel elaborado a partir microalgas y aceites vegetales.		Características físicas	Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s) Poder calorífico bruto (MJ/Kg) Cenizas (% peso) Número de cetano (Mín.)
			¿Cómo fue el proceso adecuado para la elaboración de biodiesel a base de microalgas y aceites de origen vegetal?	Determinar el proceso adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas y aceites vegetales.		Características químicas	Contenido de azufre (% peso) Índice de acidez (mg KOH/g) Contenido de agua y sedimentos (%V)
						Proceso	Número de operaciones (DOP) Costo unitario (S/)

Anexo 2: Instrumentos de recolección de datos.


Anexo 2.1: Diagrama de operaciones.

	Diagrama de Operaciones	Fecha:
		Versión:
Proceso:		



Evento	N° de Operaciones
	
	

Anexo 2.2: Ficha de contenido de análisis de costos.

	Materia Prima
Semillas	
Guano	
Biomasa	
Mano de Obra	
Preparación de Terreno	
Siembra	
Fertilización	
Control de Plagas y Enfermedades	
Cosecha	
Secado	
Trilla	
Materiales, Insumos, Equipos y/o Herramientas	
Combustible	
Lubricantes	
Sacos	
Fertilizantes	
Fungicidas	
Transporte	
Tractor	
Trilladora	
Laboratorio	
SubTotal	
Gastos Financieros y Administrativos (10%)	
Impuestos	
Total	

Elaboración propia, 2020.

Anexo 2.3: Ficha de registro de los datos de la biomasa y lípidos.



Ficha de registro de los datos de la biomasa y lípidos

Tipo de Documento	
Nombre del Documento	
Autor (es) y año:	
País:	
Materia prima:	

Datos de:	Resultados
Biomasa (mg/L)	
Lípidos (%)	

Elaboración propia, 2020.

Anexo 2.4: Ficha de registro de datos de características fisicoquímicas.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Fiche de registro de los datos de características fisicoquímicas.

Antecedente:	
Autor (es):	
País:	
Norma:	
Materia prima:	
Alcohol / Catalizador:	

Características fisicoquímicas	Resultados
Rendimiento (%)	
Densidad (Kg/m ³)	
Punto de inflamación (°C)	
Viscosidad cinemática a 40 °C (mm ² /s)	
Poder calorífico bruto (MJ/Kg)	
Cenizas (% peso)	
Número de cetano (Mín.)	
Contenido de azufre (% peso)	
Índice de acidez (mg KOH/g)	
Contenido de agua y sedimentos (%V)	

Elaboración propia, 2020.

Anexo 3: Validación de instrumentos de recolección de datos.

Anexo 3.1: Constancia de validación: Gabriel Ernesto Borrero Carrasco.

Anexo 3: Validación de instrumentos de recolección de datos.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Gabriel Borrero Carrasco con DNI N° 03664280 Magister en Administración de Negocios y Relaciones Internacionales, de profesión Ingeniero Industrial, desempeñándome actualmente como Docente a tiempo completo en la Escuela de Ingeniería Industrial - UCV Piura.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación de instrumentos:

Ficha de diagrama de operaciones, ficha de análisis de costos, fichas de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos y características fisicoquímicas.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

Ficha de diagrama de operaciones	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					X
2. Objetividad					X
3. Actualidad					X
4. Organización					X
5. Suficiencia					X
6. Intencionalidad					X
7. Consistencia					X
8. Coherencia					X
9. Metodología					X

Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Ficha de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Ficha de registro de los datos de características fisicoquímicas	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				✓	
2. Objetividad				✓	
3. Actualidad				✓	
4. Organización				✓	
5. Suficiencia				✓	
6. Intencionalidad				✓	
7. Consistencia				+	
8. Coherencia				✓	
9. Metodología				+	

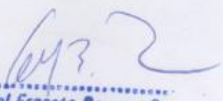
En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 13 días del mes de Noviembre del 2019

Mgtr. :

DNI :

Especialidad :

E-mail :



 Gabriel Ernesto Borrero Ca. ..
 Ingeniero Industrial
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 8922

Anexo 3.2: Constancia de validación: Hugo García Juárez.

Anexo 3: Validación de instrumentos de recolección de datos.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Hugo Darwin Gómez Juárez con DNI N° 41947560 Magister en Gerencia de Operaciones - Ing. Ind., de profesión INGENIERO INDUSTRIAL desempeñándome actualmente como DOCENTE en la UCV. FICHA - Puros

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación de instrumentos:

Ficha de diagrama de operaciones, ficha de análisis de costos, fichas de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos y características fisicoquímicas.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

Ficha de diagrama de operaciones	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					/
2. Objetividad				/	
3. Actualidad					/
4. Organización					/
5. Suficiencia					/
6. Intencionalidad					/
7. Consistencia					/
8. Coherencia				/	
9. Metodología					/

Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					/
2. Objetividad				/	
3. Actualidad					/
4. Organización					/
5. Suficiencia					/
6. Intencionalidad				/	
7. Consistencia					/
8. Coherencia					/
9. Metodología					/

Ficha de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					/
2. Objetividad					/
3. Actualidad					/
4. Organización				/	
5. Suficiencia				/	
6. Intencionalidad					/
7. Consistencia					/
8. Coherencia					/
9. Metodología					/

Ficha de registro de los datos de características fisicoquímicas	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				/	/
2. Objetividad				/	
3. Actualidad				/	
4. Organización				/	
5. Suficiencia					/
6. Intencionalidad					/
7. Consistencia					/
8. Coherencia					/
9. Metodología				/	/

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 18 días del mes de Noviembre del 2019

Mgtr. : Hugo Daniel García Juárez
DNI : 41947380
Especialidad : Ing. Industrial
E-mail : hgarcia@uev.edu.pe




Anexo 3.3: Constancia de validación: Omar Rivera Calle.

Anexo 3: Validación de instrumentos de recolección de datos.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Omar Rivera Calle con DNI N° 02884211 Magister en TSU
(concluido), de profesión Industria
 desempeñándome actualmente como DTC en la UCV-Piura

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación de instrumentos:

Ficha de diagrama de operaciones, ficha de análisis de costos, fichas de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos y características fisicoquímicas.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

Ficha de diagrama de operaciones	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Ficha de análisis de costos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Ficha de registro de los datos de la obtención de biomasa y lípidos	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

Ficha de registro de los datos de características fisicoquímicas	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 14 días del mes de Noviembre del 2019

Mgtr. :

DNI :

Especialidad :

E-mail :

Anexo 4: Propiedades del biodiesel.

Tabla 8: Propiedades del biodiesel.

Propiedad	Unidad	ASTM D6751	EN 14214	NTP 321.125
Densidad	Kg/m ³	860 – 900	860 – 900	860 – 900
Punto de inflamación	°C	>130	>101	>130
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	3.5 – 5	3.5 – 5	1.9 – 6.0
Poder calorífico	MJ/kg	37.5 – 40.2	37.5 – 40.2	37.5 – 40.2
Cenizas	%	<0.02	<0.02	<0.02
Número de cetano	Cetanos	>47	>51	>47
Contenido de azufre	%	<0.05	<0.001	<0.0015
Índice de acidez	mg KOH/g	<0.50	<0.50	<0.50
Contenido de agua y residuos	%	<0.05	<0.05	<0.05

Fuente: (ARIAS, y otros, 2011)

Anexo 5: Operacionalización de variable.

Tabla 9: Operacionalización de variable.

Variable	Definición Conceptual	Categorías	Definición Operacional	Subcategorías
CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL	Es un éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos procedentes de fuentes renovables, como los aceites vegetales o microalgas, el cual es utilizada en los motores Diésel (American Society for Testing Materials, 2019)	Estado del arte	Se evaluó la situación del consumo del biodiesel en el mundo	Biomasa (mg/L) Lípidos (%)
		Estado actual	Se evaluó la situación del consumo del biodiesel en el Perú	Biomasa (mg/L) Lípidos (%) Rendimiento (%) Densidad (kg/m ³) Punto de inflamación (°C)
		Características físicas	Se realizó el análisis físico	Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s) Poder calorífico bruto (MJ/Kg) Cenizas (% peso) Número de cetano (Mín.)
		Características químicas	Se realizó análisis químico	Contenido de azufre (% peso) Índice de acidez (mg KOH/g) Contenido de agua y sedimentos (%V)
		Proceso	Se realizó el diagrama de operaciones para la elaboración de biodiesel Se determinó el costo de producción unitario del biodiesel	Número de operaciones (DOP) Costo unitario (\$/)

Elaboración propia, 2020.

Anexo 6: Matrices de análisis documental.

Anexo 6.1: Matriz de análisis documental: Estado del arte del biodiesel.

Tabla 10: Matriz de Análisis Documental: Estado del Arte del biodiesel.

TIPO DE DOCUMENTO	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR (ES)	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	PAÍS	DATOS		
							MATERIA PRIMA	BIOMASA	LÍPIDOS
Artículo científico	Caracterización y perfil lipídico de aceites microalgas	Tejeda Benitez, y otros	2015	Estudiar el cultivo de microalgas <i>Chlorella Vulgaris</i> sr. Y <i>Dunaliella salina</i> bajo diferentes condiciones de pH y concentración de nitrógeno (mg/L) y la caracterización de los aceites obtenidos, para evaluar su potencial uso como materia prima en la producción de biodiesel.	En el aceite de <i>D. salina</i> se encontró una concentración de 51% de ácido linolénico y 25% de ácido oleico, mientras que para el aceite de <i>Chlorella</i> sp. Fue de 39% de ácido linoleico y 35 % de ácido oleico.	Colombia	<i>Chlorella</i> sp. <i>Dunaliella Salina</i>	98.61 mg/L 71.89 mg/L	40.23% 23.48%
Tesis	Identificación y caracterización de microalgas de la laguna limoncocha para su uso como biomasa en la elaboración de biocombustibles, 2016	Moreno Cepeda	2016	Obtener cultivos axénicos de microalgas de la laguna de la Reserva Biológica de Limoncocha que sirvan de materia prima para la obtención de biocombustible	A pesar de que el volumen de <i>P. subcapitata</i> utilizado para la extracción de lípidos fue mayor, su % en contenido de lípidos es menor a la especie <i>D. subspicatus</i>	Ecuador	<i>D. subspicatus</i> <i>Subcapitata</i>	763.9 mg 842.3 mg	18.5% 11%
Tesis	Obtención de biodiesel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera	Martínez Torres	2006	Desarrollar una metodología a nivel de laboratorio que permita obtener biocombustibles a partir del aceite de cachaza procedente de la industria azucarera.	El biodiesel da la oportunidad a la industria azucarera cubana a ser la protagonista de la nueva forma de obtención de biocombustibles a partir de recursos renovables.	Cuba	Aceite de cachaza	1200 g	150.25 ml

Tesis	Producción biotecnológica de biodiesel a partir de rastrojo de piña	Marchena Mora	2019	Establecer una metodología de obtención de biodiesel de Umbelopsis 95sabelina alimentado con rastrojo de piña.	El uso de rastrojo en la producción de biodiesel es una alternativa al método actual, sin embargo, es necesario mejorar el proceso para obtener un biodiesel con mayor pureza. Al obtener porcentaje de extracción de 40%, se debe a que el rendimiento de una extracción es directamente proporcional a la solubilidad relativa del compuesto a extraer, es decir, la solubilidad relativa los lípidos de la biomasa son más solubles en el sistema de cloroformo: agua.	Costa Rica	rastrojo de piño	190 g	40%
Tesis	Obtención de aceite a partir de la semilla de zapote mamey (Pouteria sapota) para su uso como biocombustible	LINO ARANA, y otros	2019	Obtener aceite a partir de la semilla de Zapote Mamey (Pouteria sapota) para su uso como materia prima en la elaboración de biocombustibles.	El método establecido para la extracción del aceite es el método químico Soxhlet, usando como solvente el éter de petróleo, aplicando este método, la mayor concentración de aceite de 45,37%, se obtuvo en la extracción donde se usó 1200 ml de solvente y 50°C de temperatura de ebullición en el proceso.	Ecuador	semilla de Zapote Mamey (pouteria sapota)	136.1 g	45.37%

Libro	OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2028	2019-	ACDE- FAO	2019	<p>Describir la situación del mercado y presentar proyecciones a mediano plazo para los mercados mundiales de biocombustibles durante el periodo 2019-2028. También, se examina la evolución de los precios, la producción, el consumo y el comercio del biodiesel.</p>	<p>Los riesgos e incertidumbres para el desarrollo futuro del sector de biocombustibles están relacionadas con el entorno de las políticas públicas. Otra incertidumbre se relaciona con la capacidad del sector agrícola de producir materias primas para satisfacer la creciente demanda de biocombustibles en muchos países para así cumplir con las normativas.</p>	--	--	--	--
-------	---	-------	--------------	------	---	---	----	----	----	----

Elaboración propia, 2020.

Anexo 6.2: Matriz de análisis documental: Estado actual del biodiesel en el Perú.

Tabla 11: Matriz de Análisis Documental: Estado Actual del biodiesel en el Perú.

TIPO DE DOCUMENTO	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR (ES)	AÑO	OBJETIVO	CONCLUSIONES	DATOS		
						MATERIA PRIMA	BIOMASA	LÍPIDOS
Tesis	Cultivo de la microalga <i>Scenedesmus Obliquus</i> var. <i>Dimorphus</i> (TURPIN) para la obtención de biomasa y lípidos	Mercado Tupiño	2016	Determinar de qué manera con un medio de cultivo para <i>Scenedesmus obliquus</i> var. <i>dimorphus</i> (turpin) se obtiene cantidad de biomasa y contenido de aceite.	La relación de variables: biomasa 36.5850 y lípidos 30mL obtuvo un promedio de 74.62%, esto demuestra que el <i>Scenedesmus dimorphus</i> como materia prima es muy productivo para la producción de biodiesel.	Microalga <i>Scenedesmus Obliquus</i> Var (TURPIN)	36.5850 g	82.79%
Tesis	Obtención de biodiesel a partir de aceite de <i>Omphalea diandra</i>	Souza Nájar	2016	Elaborar biodiesel a partir del aceite obtenido de las almendras de la <i>omphales diandra</i> , mediante el método de transesterificación en metanol.	La extracción del aceite mediante el método soxhlet con un rendimiento de 42.83%, los resultados fueron comparados con las especificaciones técnicas, la cual el biodiesel obtenido cumple con lo especificado, en dichas normas.	Aceite de Almendra de la <i>Omphales Diandra</i>	50 g	42.83%
Tesis	Producción de biodiesel a partir del aceite de semillas de piñón (<i>jatropha curcas</i>) para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) en motores, Chiclayo	Aguilar Díaz	2019	Determinar la concentración de dióxido de carbono (CO ₂) y producir biodiesel utilizando semillas de piñón, analizando las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido de las semillas de piñón.	Se analizaron las propiedades físico-químicas del biodiesel obtenido del aceite de semillas de piñón, estos análisis fueron pH, índice de refracción, viscosidad y densidad.	Semillas de piñón (<i>jatropha curcas</i>)	5000 g	80 ml
Tesis	Obtención del biodiesel a partir de lentejas de agua (<i>lemna gibba</i>) por transesterificación	Pary Hilari	2019	Obtener Biodiesel de las Lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) utilizando metanol e Hidróxido de Sodio.	El promedio del porcentaje de lípidos totales es de 5.86 %. La materia prima seca de Lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) que se requirió fue de 109.469 g obteniendo aproximadamente 6 mL de lípidos totales, sin embargo, no fueron aptos para la obtención de biodiesel por la presencia de ceras y clorofila. Aunque, el rendimiento de la obtención de Biodiesel crudo de Lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) fue del 95%.	Lentejas de agua (<i>lemna gibba</i>)	109.469 g	5.86%

Tesis	Eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de Ricinus communis (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo	Ramirez Lizana	2018	determinar la eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de Ricinus communis (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo donde se verificará su rendimiento e importancia para ser usado en reemplazo del combustible común.	La eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de Ricinus communis (higuerilla) como combustible alternativo es alta ya que genero altos índices de porcentajes de rendimiento de biodiesel y las propiedades fisicoquímico del biodiesel obtenido de Ricinus communis presentan una alta eficiencia, considerando así este combustible como una excelente alternativa ecológica y económica para ser utilizado y así poder disminuir los altos índices de contaminación que generan los combustibles fósiles.	Semillas de Ricinus communis (higuerilla)	11 000 g	41.82%
Libro	Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel	ATLAS	2010	Analizar y organizar la información disponible, suministrada por los países y suplementada de otras fuentes, reconociendo cuatro sectores interrelacionados como el sector productor del aceite, materia prima para la obtención del biodiesel, un sector de producción de biodiesel, un sector de mercado de biodiesel.	En la actualidad, la principal fuente de aceite vegetal, que se produce de forma significativa en el Perú es la palma africana y en menor medida la soja, existen otros cultivos que se están explorando como una fuente potencial de aceite para biodiesel.	--	--	--
Libro	Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales	Vásquez Cordano, y otros.	2016	Realizar una síntesis de las características de los principales biocombustibles y sus etapas de producción. Luego analizar el mercado local de biocombustibles donde se realiza una síntesis de producción nacional, la demanda, comercio internacional, los costos de producción.	La demanda del biodiesel ha venido aumentado debido a la existencia de porcentajes de mezcla establecidos en el reglamento de comercialización de biocombustibles. Para el biodiesel (B100) se registró una demanda de 5.4 miles de barriles por día	--	--	--

Elaboración propia, 2020.

Anexo 6.2.1: Proyectos, empresas, instituciones e investigaciones para la producción de biodiesel.

Tabla 12: Proyectos de empresas e instituciones de producción de biodiesel.

Nombre	Descripción
	<p>En el 2007 se inició la construcción de una planta de producción de biodiésel en el Callao. Se proyecta que la capacidad nominal anual de la planta producirá 180 mil toneladas de biodiésel por año, más de 197 millones de litros por año. Fue inaugurada el 15 de agosto de 2008. Esta refinería utilizará aceite de palma como materia prima para fabricar biodiésel, y ha firmado memorandos de entendimiento con distribuidores locales de combustible para cubrir toda la producción anual de biodiésel del Puerto de Callao.</p>
Pure Biofuels	<p>Pure Biofuels adquirió el negocio de producción de biodiésel de Interpacific Oil S.A.C. que es la procesadora de biodiésel más grande y antigua de Perú, que producía unos 32,7 millones de litros de biodiésel por año, y ha estado produciendo cantidades comerciales desde el 2002, cuando la empresa se convirtió en la primera productora de biodiésel de nivel comercial en Perú.</p> <p>Esta adquisición le brinda a la empresa un posicionamiento que le permitirá convertirse en la mayor productora de biodiésel de Perú y complementará aún más la posición de la empresa cuando finalice las obras de construcción en su planta principal de biodiésel en Callao, Perú, la cual estaba prevista para el cuarto trimestre del 2007 (Gestión pág. III – 18 set. 2007)</p>
Biodiésel Perú Internacional S.A.C	<p>Ha iniciado la puesta en marcha de una planta con tecnología de la firma argentina Ingeniería Bioquímica en la provincia de Huarochirí. Además, de acuerdo con Pro Amazonía, esta empresa estaría en la capacidad de producir 12 mil toneladas al año que son más de 3 millones aproximadamente de galones por año (Campbell 2007)</p>
Herco Combustibles S.A.	<p>De acuerdo con la página de Heaven Petroleum Operador, la empresa Herco Combustibles S.A., empresa dedicada al almacenamiento, abastecimiento y comercialización de productos derivados de los hidrocarburos, en el 2004 encarga a Heaven Petroleum Operators S.A.C., empresa del grupo dedicada a dar servicios de soporte, la construcción y puesta en funcionamiento de una Planta de Producción de Biodiésel a nivel industrial. De esta manera, se embarcan en el autoabastecimiento de combustibles alternativos y renovables. A la fecha, el Grupo Herco, a través de sus empresas, está por iniciar la operación de su Planta Agroindustrial de Biodiésel, con tecnología 100% peruana y desarrollada por la propia empresa. La construcción y puesta en valor de la planta ha permitido generar más de 200 puestos de trabajo directos.</p>
DEVIDA y EMBRAPA	<p>Ha firmado un convenio con el propósito de introducir el cultivo de higuierillas en el Perú para la producción de biodiésel, además de la capacitación de técnicos peruanos que trabajen con programas de desarrollo alternativo en el cultivo y procesamiento de higuierilla y otras oleaginosas</p>
Garodi S.R.L.	<p>Tiene un proyecto que consiste en la construcción de una planta de biodiésel para una producción de 10 mil litros por año. Los insumos utilizados para la producción provendrán de plantaciones de palma, aceites vegetales reciclados y aceite de pescado. El costo del proyecto es de US\$600 000, que incluye maquinaria y equipos (US\$200 000) y capital de trabajo (US\$400 000).</p>
Asociación Agropecuaria Nuevo Tiwinsa	<p>Hay interés de la Asociación Agropecuaria Nuevo Tiwinsa, de la región Ucayali, por emprender cultivos oleaginosos para la producción de biocombustibles en tierras deforestadas de dicha región, además de impulsar la constitución legal de la empresa biodiésel Ucayali S.R.L. y despertar el interés de la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. (OLAMSA) en la elaboración de biodiésel a nivel comercial.</p>

Fuente: Oficina del IICA en Perú. (ATLAS, 2010)

Tabla 13: Investigaciones para la producción del biodiesel.

Nombre	Descripción
Pure Biofuels	Está integrada por la Academia, los Institutos de Investigación del Estado, las organizaciones empresariales, las comunidades y la sociedad civil. Tiene por finalidad normar, dirigir, orientar, fomentar, coordinar, supervisar y evaluar las acciones del Estado en el ámbito de la ciencia, tecnología e innovación tecnológica y promover e impulsar su desarrollo. El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) promueve e incentiva la creación y el desarrollo de nuevas tecnologías limpias que son herramientas, métodos y prácticas necesarias para producir bienes y entregar servicios con menos impactos sobre el medio ambiente. De la misma manera, promueve la investigación, producción, comercialización y distribución de biocombustibles.
Biodiésel Perú Internacional S.A.C	Institución comprometida a servir a la sociedad con una oferta de educación superior de excelencia, basada en una sólida formación científica, tecnológica, humanística y de gestión para el manejo de los recursos renovables. La Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM), a través de su Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Agrícola, tiene por objeto promover la investigación de las energías renovables que contribuirán al desarrollo del país. Entre estas energías, se encuentran el biodiésel, un biocombustible derivado de aceites vegetales o grasas animales que mezclados con alcohol metílico o etílico en presencia de un catalizador y en condiciones dadas de temperatura y agitación, produce un biocarburante que reemplaza al diésel en motores de combustión interna.
Herco Combustibles S.A.	Equipo de cooperación técnica internacional que trabaja junto a las poblaciones rurales y urbanas de menores recursos. Busca soluciones prácticas ante la pobreza mediante el uso de tecnologías apropiadas. Fue fundado en Inglaterra en 1966 por el Dr. E. F. Schumacher. Hoy Soluciones Prácticas – ITDG está conformado por cerca de 400 personas que trabajan coordinadamente en Europa, Asia, África y América Latina. La oficina regional para América Latina tiene su sede en Lima, Perú desde 1985. En estos años se han desarrollado diversas tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables apropiadas para la región. Desde el 2003, conjuntamente con la Universidad Nacional Agraria La Molina, se han gestionado acciones para el desarrollo y difusión de los biocombustibles, en especial el biodiésel.

Fuente: Oficina del IICA en Perú. (ATLAS, 2010)

Anexo 6.3: Características físicas y químicas del biodiesel.

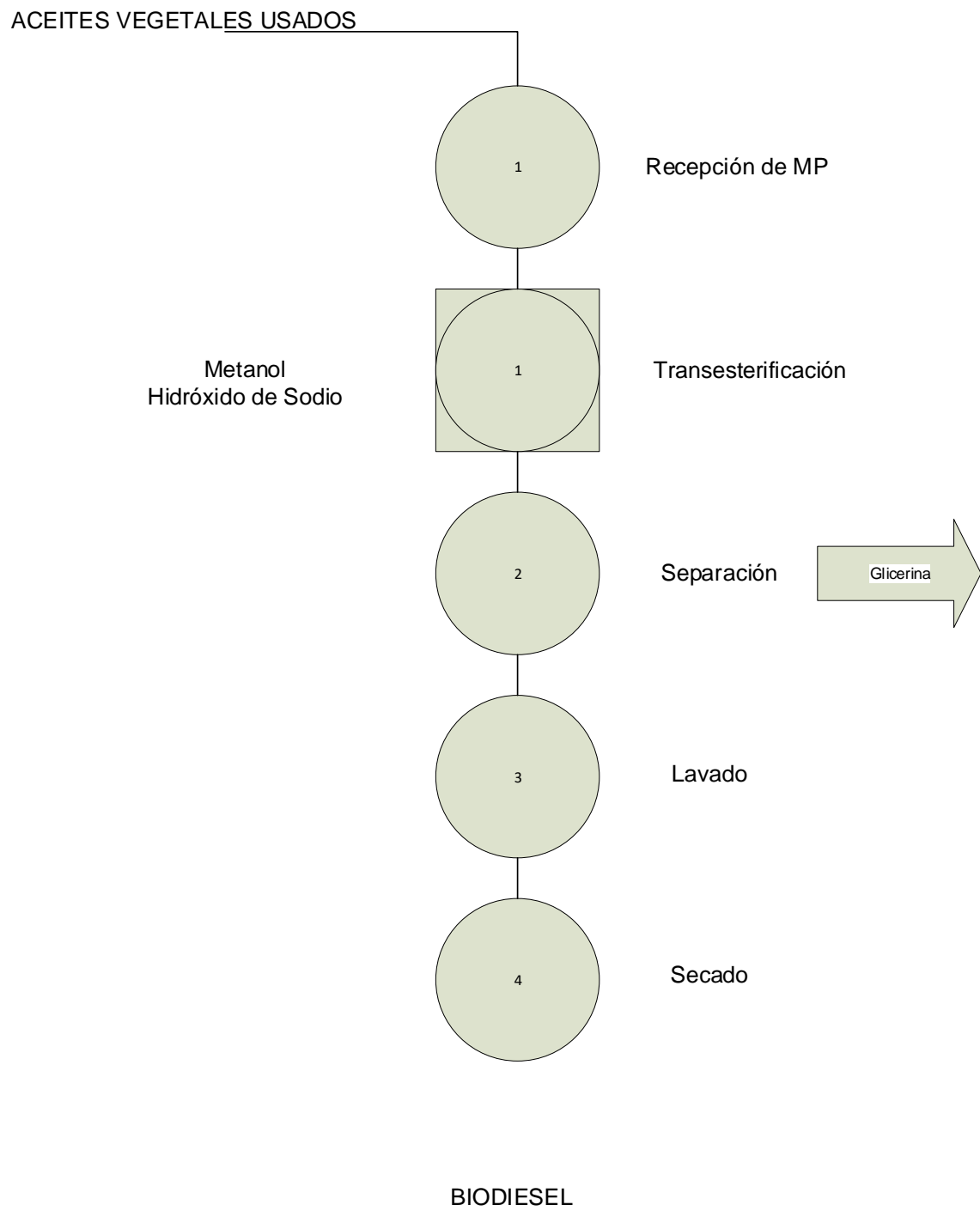
Tabla 14: Caracterización física y química del biodiesel.

AUTOR	Echeverría Viscaya, y otros (2013)	Arias, y otros (2011)	Arce Portugal (2018)	Amaya (2018)	García, y otros (2017)	Keera, y otros (2018)	Echeverría (2018)
PAÍS	México	Colombia	Perú	Perú	Ecuador	Egipto	Ecuador
NORMA	ASTM D6751	NTC DE100/4, ASTM	NTP 321.139, ASTM D6751	EN 14214, ASTM D6751, NTP 321.125	ASTM D6751- 02	ASTM, IP	ASTM D6751, EN 14214, INEN
MATERIA PRIMA	Aceites vegetales usados	Girasol	Microalga Chlorella vulgaris	algas marinas macrocystis pyrifera)	Jatropha curcas L.	Aceite de ricino	Aceite de Higuerilla
ALCOHOL / CATALIZADOR	Metanol / KOH	Metanol / NaOH	Isopropanol / Hexano	Metanol / NaOH	Metanol / NaOH	Metanol / KOH	Metanol / NaOH
Rendimiento (%)	(*)	88.21	85.6	100	(*)	95	90
Densidad (Kg/m ³)	882.0	884.0	881.31	899.9	938	946.1	544.62
Punto de inflamación (°C)	(*)	178.67	123.58	(*)	160	194	72.1
Viscosidad cinemática a 40°C (mm ² /s)	5.40	5.03	(*)	2.3314	3.55	15.40	4.21
Poder calorífico bruto (MJ/kg)	43.19	39	(*)	39.40	(*)	38.34	(*)
Cenizas (%)	(*)	0.0013	(*)	0.017	(*)	(*)	0.0080
Número de cetano	(*)	45.55	42.83	(*)	57	43.7	51
Contenido de azufre (%)	(*)	(*)	(*)	0.024	(*)	0.00	0.0148
Índice de acidez (mg KOH/g)	0.35	(*)	(*)	0.344	0.40	0.63	(*)
Contenido de agua y sedimentos (%)	(*)	0.1992	0.00	(*)	(*)	0.15	0.05

Elaboración propia, 2020.

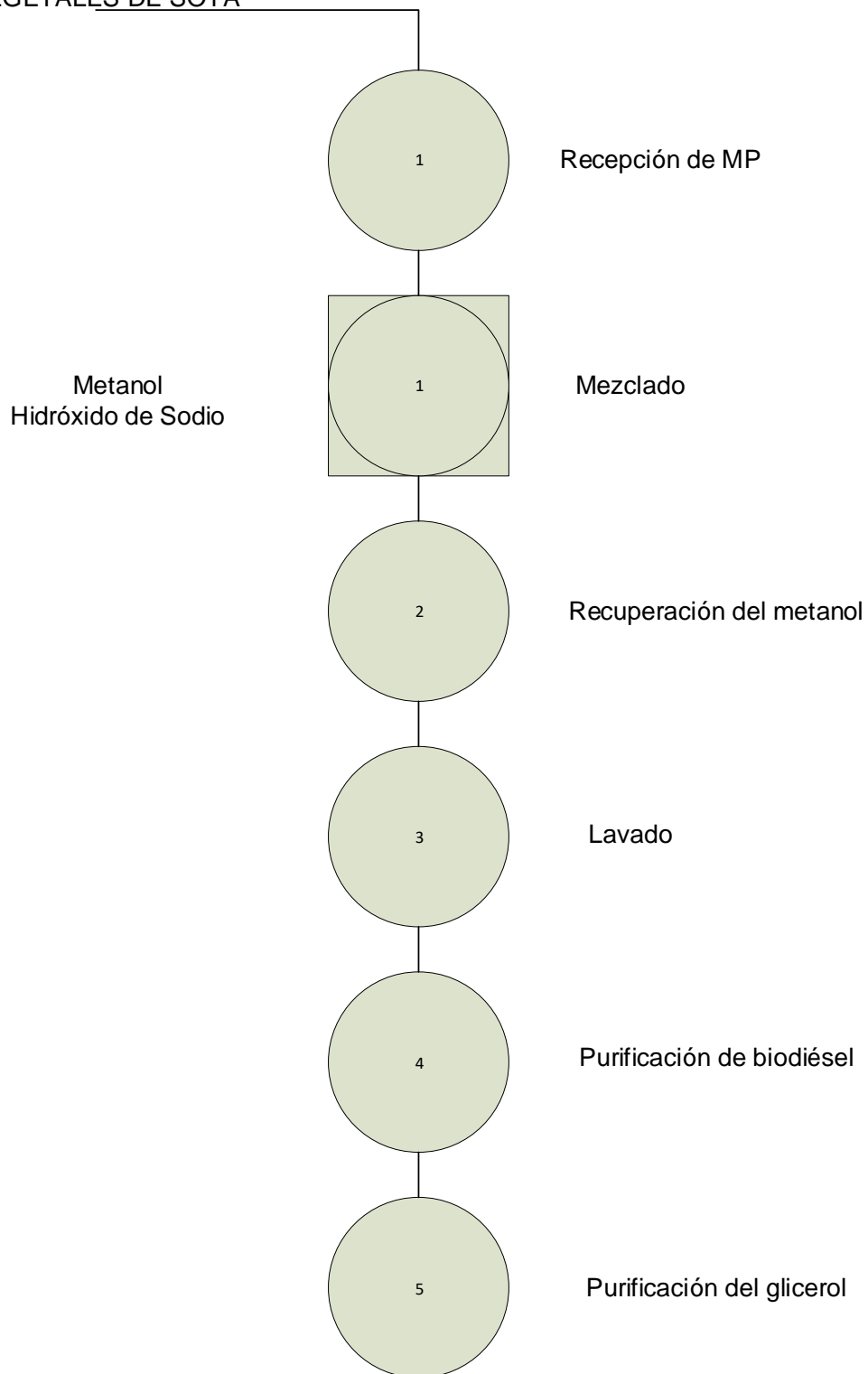
Anexo 6.4: Diagrama de operaciones del biodiesel´.

Anexo 6.4.1: DOP – Gallegos Ardiles, y otros (2013).

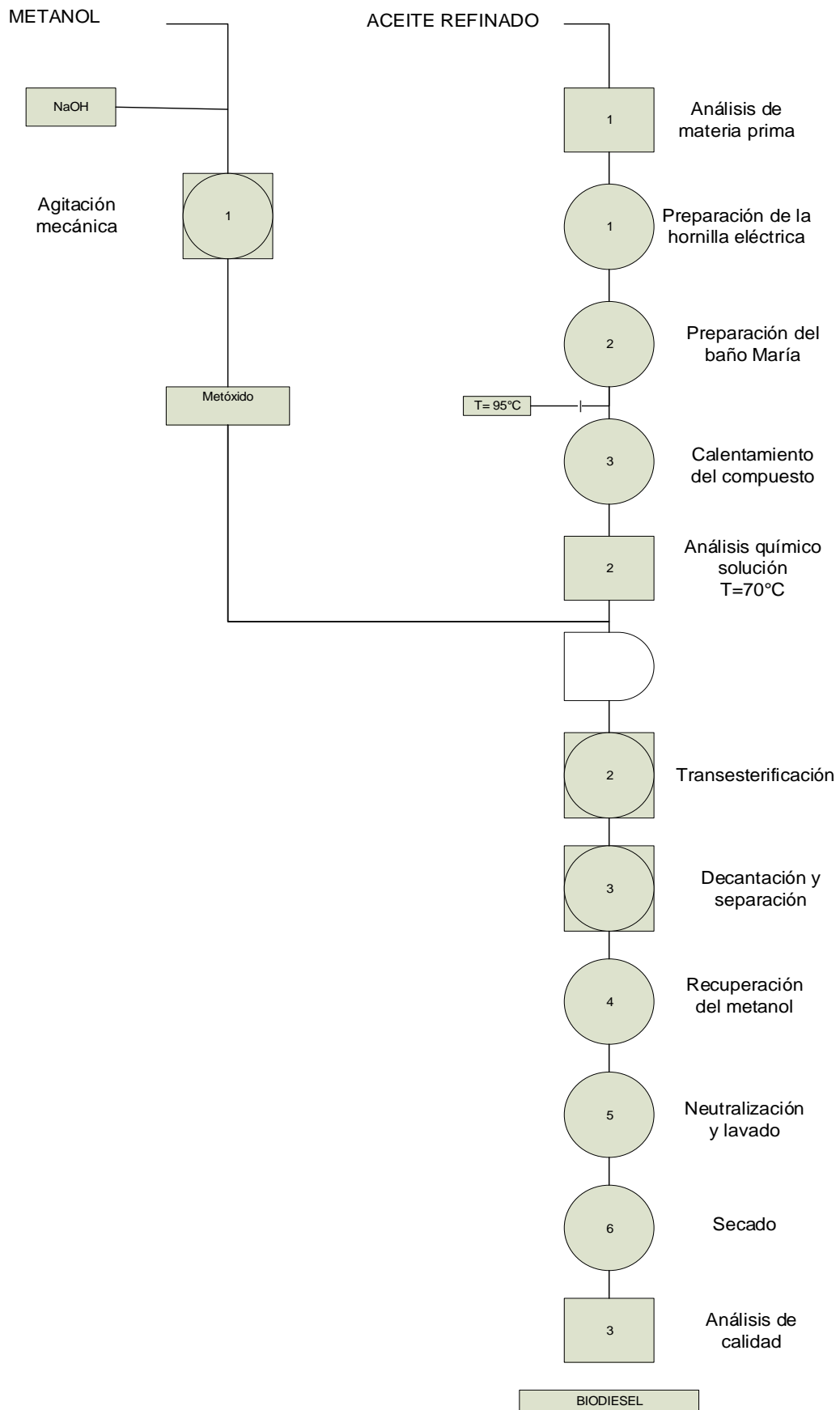


Anexo 6.4.2: DOP – Melosevich Chico, y otros (2013).

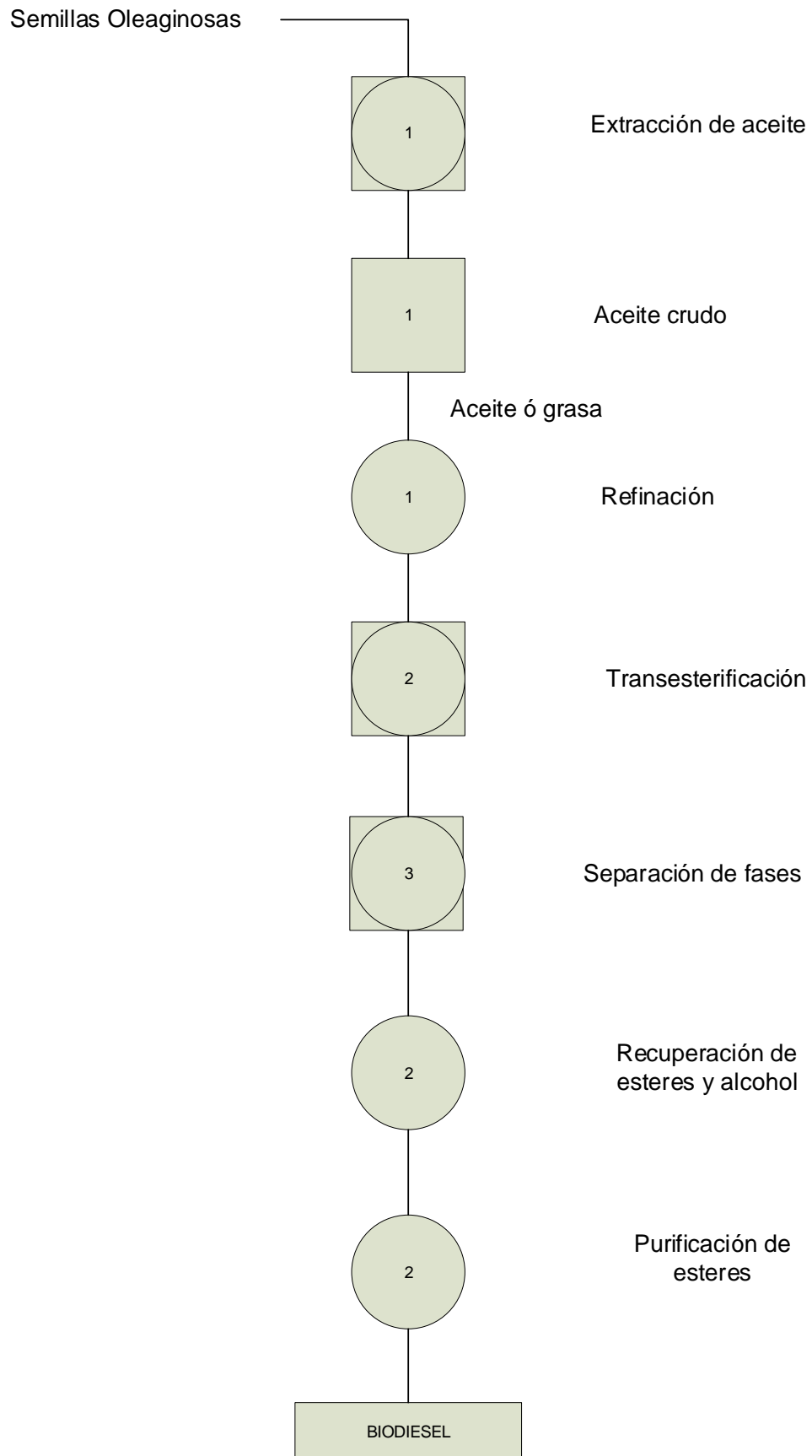
ACEITES VEGETALES DE SOYA



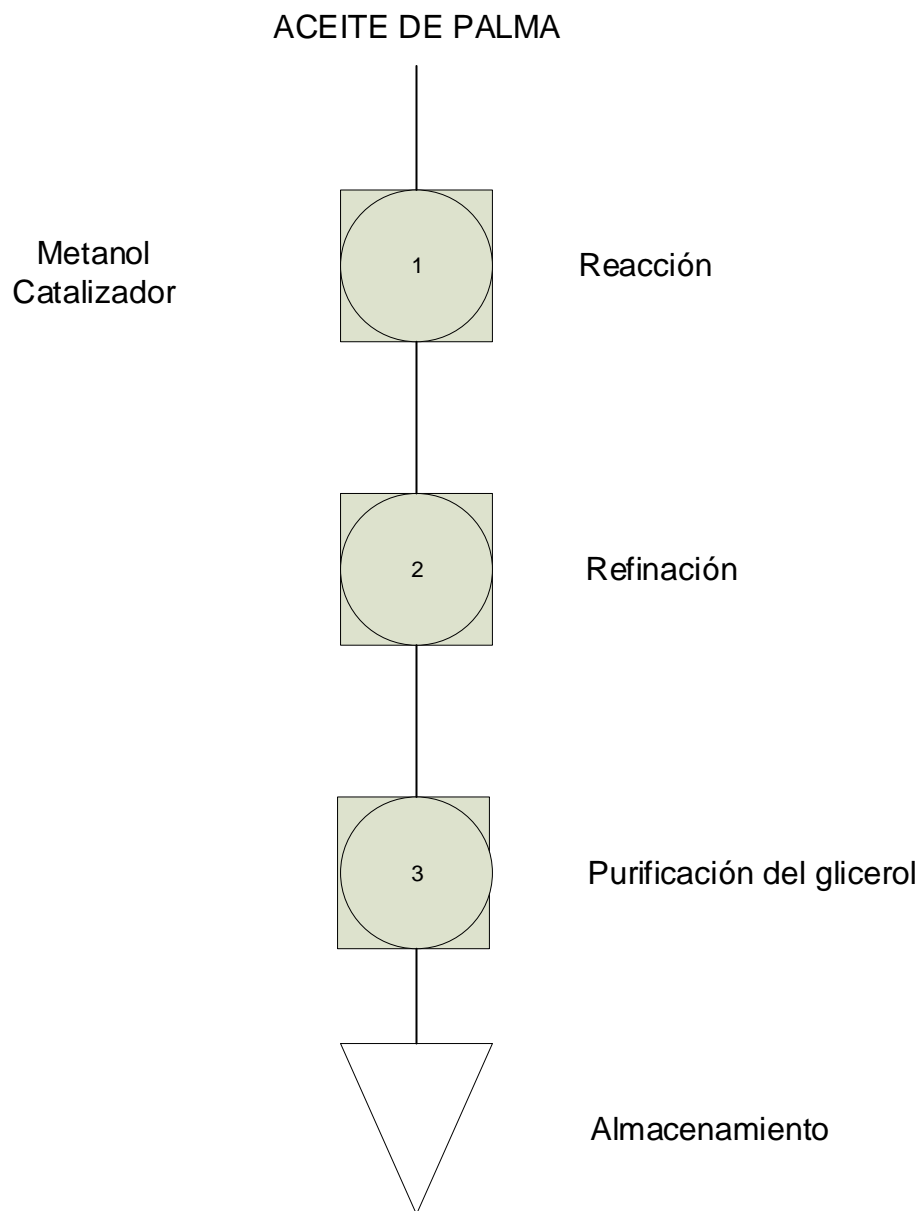
Anexo 6.4.3: DOP – Osorio Meniz (2018).



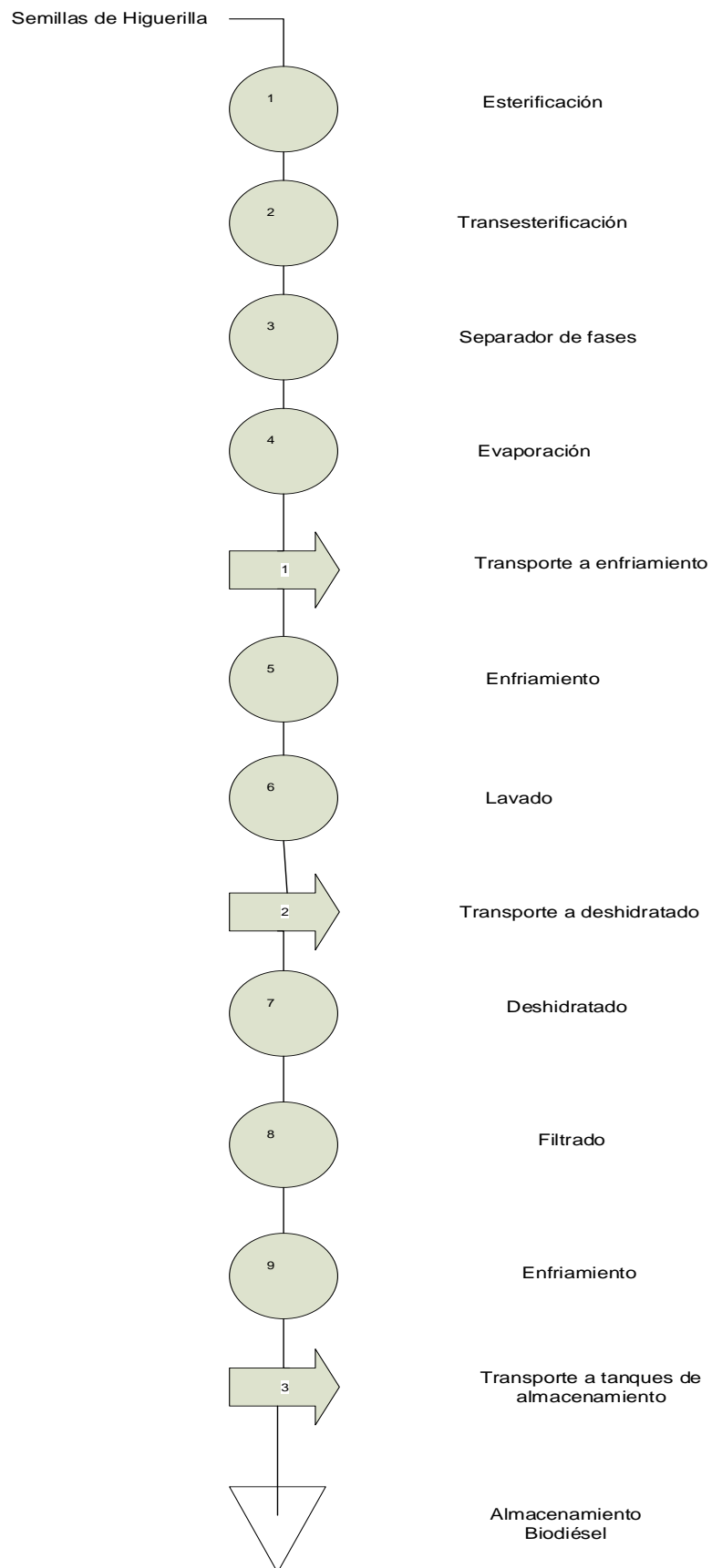
Anexo 6.4.4: DOP – Binda García, y otros (2007).



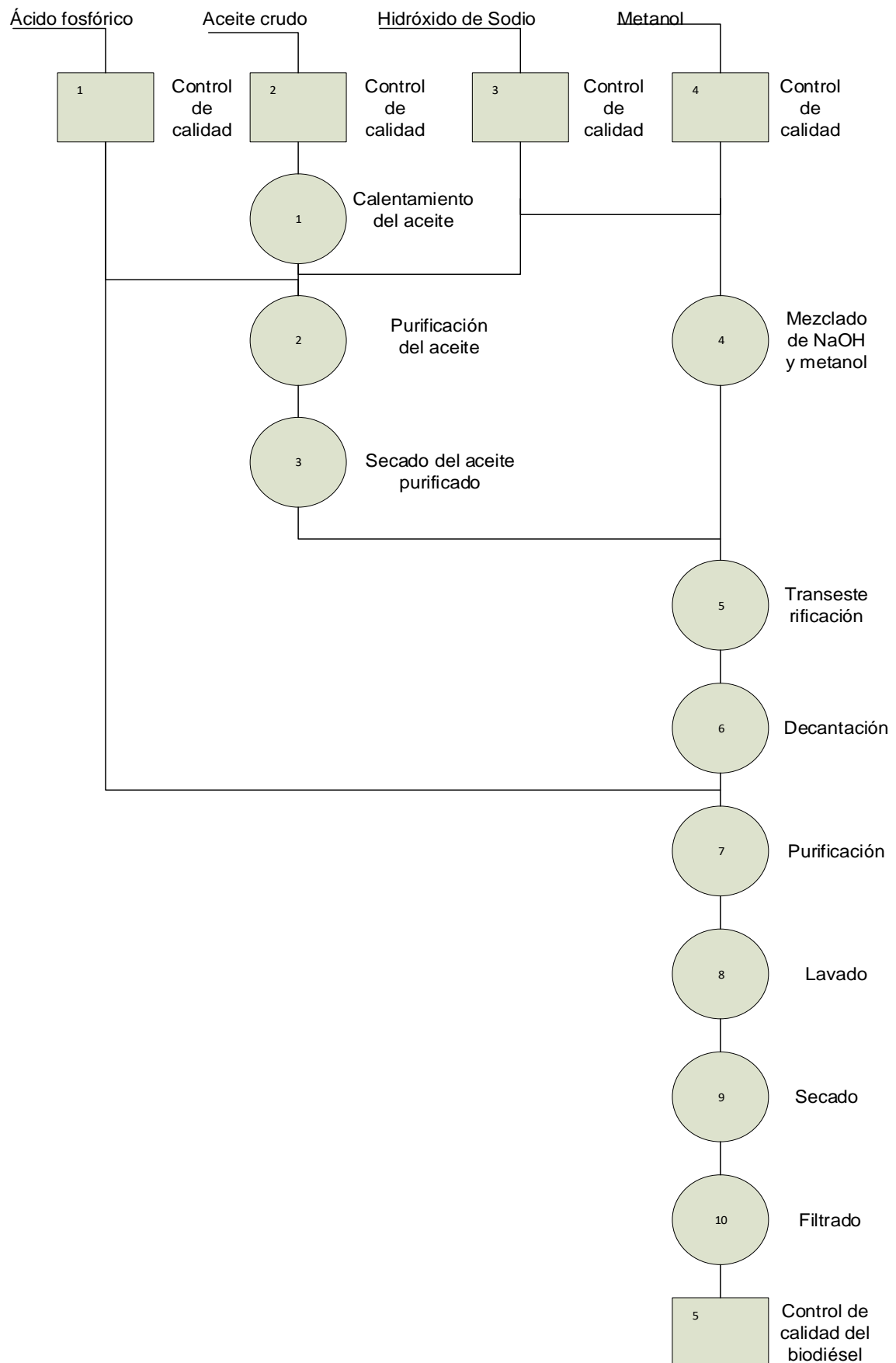
Anexo 6.4.5: DOP – Pinto Romero, y otros (2020).



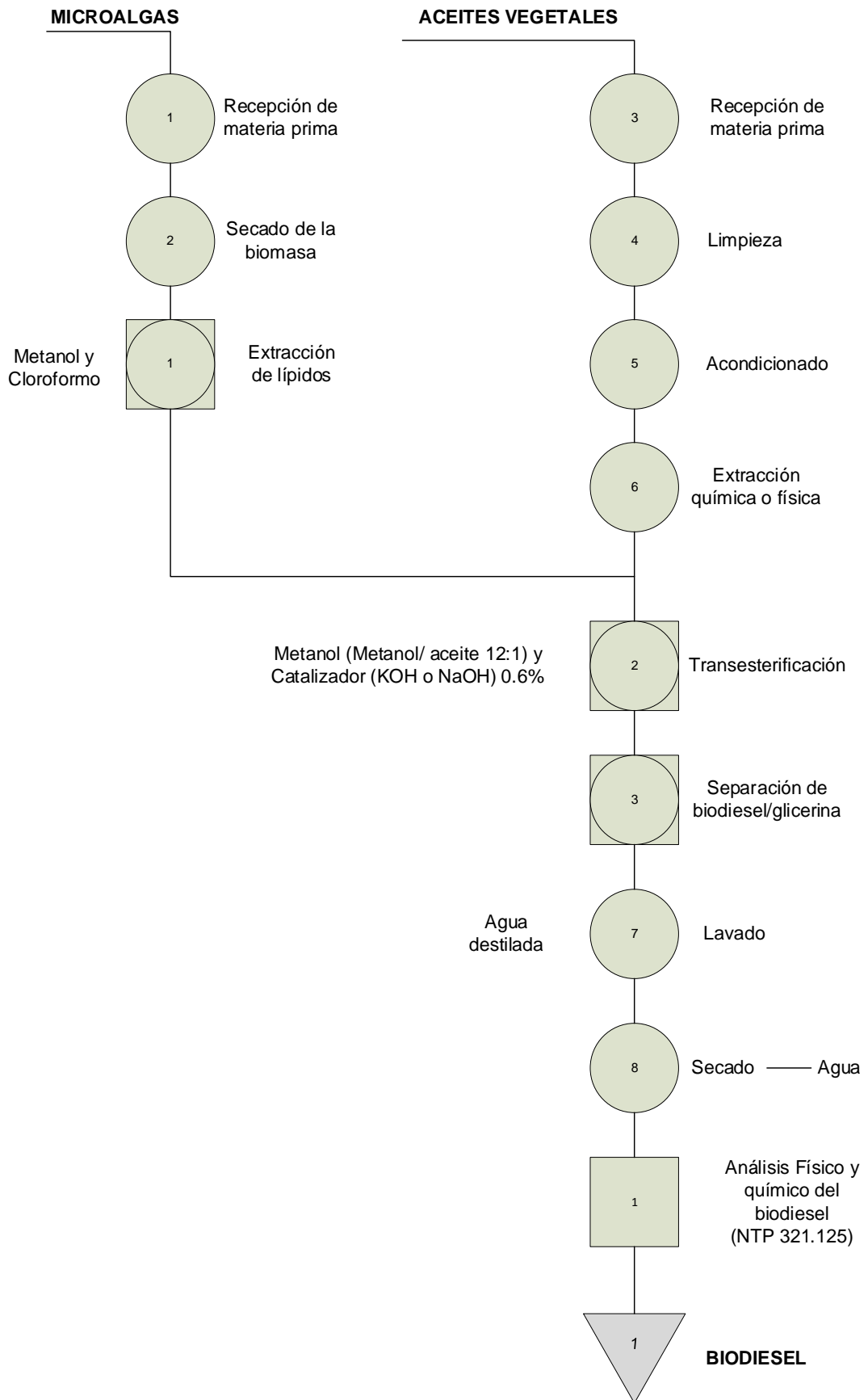
Anexo 6.4.6: DOP – Campos Colorado, y otros (2013).



Anexo 6.4.7: DOP – Tarnousky (2011).



Anexo 6.4.8: DOP – Elaboración propia (2020).



Anexo 6.5: Costos del biodiesel.

COSTOS DE PRODUCCION (S) / ha						
Materia Prima	Palma Aceitera	Higuerilla	Soya	Sacha Inchi	Colza	Microalga
Semillas	S/95.00	S/250.00	S/150.00	S/5.00	S/175.00	-
Guano	-	S/880.00	-		S/45.00	-
Biomasa	-	-	-	-	-	S/120.00
Mano de Obra						
Preparacion de Terreno	S/221.00	-	S/375.00	S/350.00	-	-
Siembra	S/73.00	-	S/120.00	-	S/30.00	-
Fertilizacion		-	S/158.00	S/40.00	S/240.00	-
Control de Plagas y Enfermedades		-	-	S/20.00	S/30.00	-
Cosecha		-	S/75.00	S/160.00	-	-
Secado		-	S/75.00	S/60.00	S/80.00	-
Trilla		-	S/75.00	S/60.00	S/60.00	-
Materiales, Insumos, Equipos y/o Herramientas						
						S/180.00
Combustible	S/1,097.00	-	S/100.00	S/9.60	-	-
Lubricantes		-	-	-	-	-
Sacos		-	S/20.00	S/36.00	-	-
Fertilizantes		S/370.00	-	S/250.00	-	-
Fungicidas		-	-	S/60.00	-	-
Transporte		-	S/40.00	S/40.00	-	-
Tractor		-	-	-	S/210.00	-
Trilladora		-	-	-	S/180.00	-
Laboratorio		-	-	-	-	-
SubTotal	S/1,486.00	S/1,500.00	S/1,188.00	S/1,090.60	S/1,050.00	S/300.00
Gastos Financieros y Administrativos (10%)	S/148.60	S/150.00	S/118.80	S/109.06	S/105.00	S/30.00
Impuestos	S/294.23	S/297.00	S/235.22	S/215.94	S/207.90	S/59.40
Total	S/1,928.83	S/1,947.00	S/1,542.02	S/1,415.60	S/1,362.90	S/389.40

Elaboración propia, 2020.

Anexo 7: Precio nominal y real del biodiesel y materias primas.

Tabla 15: Precio nominal y real del biodiesel y materias primas.

	Biodiésel	Materias primas para biodiésel
Precio nominal		
2008	129.4304763	70.72484142
2009	82.27148536	82.40130597
2010	94.1860822	117.9893377
2011	132.8800109	109.3135728
2012	118.1007519	93.72771455
2013	112.7391939	85.30962687
2014	96.37775172	68.78377799
2015	79.90622571	69.00922575
2016	84.62503882	74.42032649
2017	91.06666088	69.7933209
2018	89.39936486	60.52443097
2019	87.31042701	63.91777052
2020	88.44878271	66.73388993
2021	90.42034487	69.47589552
2022	91.28731668	72.3926959
2023	91.23517713	74.12319963
2024	92.72445198	75.58898321
2025	92.62993272	77.22079291
2026	93.21463193	79.00041978
2027	94.10088132	81.05550373
2028	94.68475927	82.69202425
Precio real		
2008	151.5151594	82.79259973
2009	95.58079188	95.73161396
2010	108.1624881	135.4979423
2011	149.4758408	122.9661112
2012	130.3508269	103.4496809
2013	122.287092	92.53451108
2014	102.5989388	73.22377313
2015	84.16417991	72.68651272
2016	88.17027429	77.53805129
2017	93.11190975	71.36079586
2018	89.39936486	60.52443097
2019	85.44209729	62.55001326
2020	84.48383611	63.74236984
2021	84.64955439	65.0418178
2022	83.75861203	66.42228022
2023	82.04073965	66.65326153
2024	81.71516619	66.61421225
2025	80.00131531	66.69296652
2026	78.89787607	66.86681265
2027	78.05655301	67.23543005
2028	76.97145758	67.22228251

Fuente: (OCDE/FAO, 2019)

Anexo 8. Consumo (Mml) y crecimiento (%) por país de biocombustibles.

Tabla 16: Consumo (Mml) y crecimiento (%) por país de biocombustibles.

Consumo mundial de biocombustibles (Mml)								
Año	Estados Unidos	Brasil	China	Unión Europea	Tailandia	India	Canadá	Otros
2000	6.43	10.49	2.97	0.7	0	0	0.26	0.75
2001	7.93	10.98	3	0.73	0	0	0.26	0.77
2002	9.27	11.73	3.03	1.39	0.07	1.45	0.27	4.71
2003	12.06	12.68	3.47	2.01	0.13	1.35	0.36	4.57
2004	14.64	12.96	3.66	2.29	0.15	1.47	0.36	5.09
2005	16.6	13.31	4.82	2.49	0.31	1.41	0.36	5.89
2006	21.96	14	7.37	3.55	0.39	1.5	0.31	6.37
2007	27.17	17.75	6.68	3.51	0.33	1.68	1.09	6.48
2008	37.64	21.1	6.7	5.43	0.48	1.75	1.46	6.3
2009	42.37	23.25	7.33	5.99	0.64	1.45	1.6	6.99
2010	49.4	25.18	8.1	6.65	0.65	1.66	1.87	8.48
2011	50.18	22.15	8.25	6.86	0.68	1.94	2.53	8.95
2012	50.86	21.01	8.25	6.79	0.7	1.85	2.94	9.39
2013	51.85	24.28	8.99	6.61	1.13	1.84	3.04	10.17
2014	52.55	26.51	9.75	6.74	1.39	2.14	3.16	10.64
2015	54.13	29.15	10	6.73	1.52	2.26	3.02	11.28
2016	55.47	27.98	9.9	6.6	1.78	2.74	3.05	11.46
2017	56.06	28.13	10	6.82	1.72	2.32	3.22	12.46
2018	56.7	30.68	10.6	6.9	1.92	2.97	3.32	12.77
2019	57.14	30.84	10.92	7.05	1.98	2.98	3.32	13.02
2020	57.91	31.2	11.25	7.04	2.05	3.01	3.34	13.46
2021	58.02	32.07	11.72	7.04	2.12	3.04	3.34	13.7
2022	58.33	32.59	12.21	6.99	2.19	3.07	3.33	14.02
2023	58.32	33.29	12.71	7.04	2.27	3.11	3.31	14.33
2024	58.5	33.85	13.24	7.19	2.35	3.14	3.3	14.62
2025	58.54	34.53	13.78	7.26	2.43	3.18	3.28	14.9
2026	58.66	35.18	14.34	7.33	2.52	3.22	3.26	15.15
2027	58.7	35.88	14.92	7.38	2.6	3.25	3.25	15.43
2028	58.78	36.56	15.53	7.41	2.7	3.29	3.23	15.69
2015	54.13	29.15	10	6.73	1.52	2.26	3.02	11.28
2019	57.14	30.84	10.92	7.05	1.98	2.98	3.32	13.02
	6%	6%	9%	5%	30%	32%	10%	15%
2028	58.78	36.56	15.53	7.41	2.7	3.29	3.23	15.69
	3%	19%	42%	5%	36%	10%	-3%	21%

Fuente: (OCDE/FAO, 2019)

Elaboración propia, 2020.

Anexo 9: Demanda del biodiesel.

Tabla 17: Comparación entre la demanda del biodiesel y diesel en MBPD.

Año	Biodiesel (MBPD)	Diesel (*) (MBPD)
2009	1.50	77.40
2010	1.70	83.40
2011	4.70	94.40
2012	4.90	97.50
2013	5.10	101.70
2014	5.00	100.10
2015	5.40	108.60
2016	6.79	113.84
2017	7.45	118.64
2018	8.12	123.44
2019	8.79	128.23
2020	9.46	133.03
2021	10.13	137.82
2022	10.79	142.62
2023	11.46	147.42
2024	12.13	152.21
2025	12.80	157.01
2026	13.47	161.81
2027	14.13	166.60
2028	14.80	171.40

Fuente: (VÁSQUEZ CORDANO, y otros, 2016)
Elaboración propia, 2020.

Anexo 10: Precio del combustible.

Tabla 18: Comparación del precio del biodiesel entre 2019 y 2020.

N°	Meses	2019	2020
1	Enero	10.46	11.38
2	Febrero	10.62	11.25
3	Marzo	10.53	10.99
4	Abril	10.39	10.46
5	Mayo	10.33	10.44
6	Junio	10.34	11.22
7	Julio	10.69	11.26
8	Agosto	11.08	11.22
9	Setiembre	10.13	12.48
10	Octubre	10.47	12.41
11	Noviembre	10.64	*12.05
12	Diciembre	11.01	*12.19

Fuente: (OSINERGMIN, 2020)

*Proyección.