

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN  
DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE PAPAYA (*Carica papaya*  
L.) CRIOLLA PROVENIENTE DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES**

**QUISPE SAAVEDRA YRIS ROSARIO  
ZUÑIGA FRITAS ANDREA ROXANA**

**ASESORA**

**ING° CARMEN GILDA AVELINO CARHUARICRA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**CALLAO – 2024**

**PERÚ**

# TESIS FINAL - QUISPE SAAVEDRA-ZUÑIGA FRITAS

**3%**  
Textos sospechosos



**3% Similitudes**  
< 1% similitudes entre comillas  
< 1% entre las fuentes mencionadas  
< 1% Idioma no reconocido

**Nombre del documento:** TESIS FINAL - QUISPE SAAVEDRA-ZUÑIGA FRITAS.pdf  
**ID del documento:** 6336bc259c6603161714664fdbc13375863c14c3  
**Tamaño del documento original:** 3,49 MB

**Depositante:** FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  
**Fecha de depósito:** 22/1/2024  
**Tipo de carga:** interface  
**fecha de fin de análisis:** 22/1/2024

**Número de palabras:** 23.644  
**Número de caracteres:** 175.524

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>hdl.handle.net</b>   Obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceite de ... <a href="http://hdl.handle.net/10662/3085">http://hdl.handle.net/10662/3085</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (78 palabras)
2	<b>link.springer.com</b>   Papaya (Carica papaya L.) Seed Oil   SpringerLink <a href="https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-12473-1_31.pdf">https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-12473-1_31.pdf</a> 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (76 palabras)
3	<b>repositorio.unicordoba.edu.co</b> <a href="https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3880/ANA_KARINA_PATERNINA_ZA...">https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3880/ANA_KARINA_PATERNINA_ZA...</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
4	<b>www.doi.org</b>   An overview of papaya seed oil extraction methods <a href="https://www.doi.org/10.1111/JJFS.14431">https://www.doi.org/10.1111/JJFS.14431</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
5	<b>www.doi.org</b> <a href="https://www.doi.org/10.1016/J.SAJCE.2020.07.009">https://www.doi.org/10.1016/J.SAJCE.2020.07.009</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (41 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #8079a5 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	<b>repositorio.cientifica.edu.pe</b> <a href="https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2672/TL-Illescas_M-Ext.pdf?sequ...">https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2672/TL-Illescas_M-Ext.pdf?sequ...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	<b>www.ncbi.nlm.nih.gov</b>   Bioactive Compounds from Agricultural Residues, Their O... <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8463193/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8463193/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	<b>www.doi.org</b>   Solvent-assisted extraction of oil from papaya (r <i>Carica papaya L.... <a href="https://www.doi.org/10.1080/01496395.2018.1480632">https://www.doi.org/10.1080/01496395.2018.1480632</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
5	<b>repositorio.unp.edu.pe</b> <a href="http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/20.500.12676/3178/1/IQUI-MIR-PEN-2021.pdf">http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/20.500.12676/3178/1/IQUI-MIR-PEN-2021.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d7946-ilk-ph">https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d7946-ilk-ph</a>
2	<a href="https://agraria.pe/noticias/peru-debe-definir-que-tipo-de">https://agraria.pe/noticias/peru-debe-definir-que-tipo-de</a>
3	<a href="https://www.researchgate.net/publication/288498327_Transesterification_pr">https://www.researchgate.net/publication/288498327_Transesterification_pr</a>
4	<a href="https://www.researchgate.net/publication/288498327_Transesterification_processes_for_biodiesel_production_from_oils_and_fats">https://www.researchgate.net/publication/288498327_Transesterification_processes_for_biodiesel_production_from_oils_and_fats</a>
5	<a href="https://www.researchgate.net/publication/330484494_Biofuel_and_Bioenerg">https://www.researchgate.net/publication/330484494_Biofuel_and_Bioenerg</a>

## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada por las Bachilleres **QUISPE SAAVEDRA YRIS ROSARIO** y **ZUÑIGA FRITAS ANDREA ROXANA** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° SANEZ FALCON LIDA CARMEN	Presidente
ING° RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO	Secretario
Lic. CABRERA ARISTA CESAR	Vocal
ING° AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	Asesora

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 01 Folio N° 126 y Acta N° 125 de fecha veintitrés de enero del 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150–2023–CU del 15 de junio de 2023

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD:**

Facultad de Ingeniería Química

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

Facultad de Ingeniería Química

### **TÍTULO:**

“Optimización del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de residuos agroindustriales para la obtención de biodiésel”

### **AUTORES:**

Yris Rosario, Quispe Saavedra/ 0009-0006-7985-1335 / 72934323

Andrea Roxana, Zuñiga Fritas/ 0009-0000-5668-9802/ 77229967

### **ASESOR:**

Dra. Carmen Gilda Avelino Carhuaricra/ 0000-0003-0339-3324 / 07287720

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Laboratorio de Investigación e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao y laboratorios externos certificados.

### **UNIDAD DE ANÁLISIS:**

Proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

Investigación aplicada/ Enfoque cuantitativo/ Diseño experimental

**TEMA OCDE:** Ingeniería de Procesos

## **DEDICATORIA**

A mi madre Juliana, por su ejemplo de lucha y dedicación, su amor desmedido que se refleja en su preocupación y oraciones me inspiran día a día a continuar. A mi hermano Luis por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional estando presente en cada momento con sus consejos siendo la primera persona que confía en mis decisiones y celebra mis logros.

YRIS ROSARIO QUISPE SAAVEDRA

A mi madre Floriana por darme su amor incondicional y aliento en este proceso, a mi padre Galdino por enseñarme a no rendirme y ser perseverante. A mi hermana Nataly por brindarme sus consejos y apoyo constante, siendo ellos un ejemplo de lucha les dedico este trabajo.

ANDREA ROXANA ZUÑIGA FRITAS

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía espiritual durante nuestro camino y brindarnos las fuerzas necesarias para aprender de nuestros errores y superar todas las dificultades.

Especialmente a todas las amistades que con su aliento moral y confianza nos impulsaron a seguir adelante. Muy agradecidas con los colegas que permitieron el uso de su área de trabajo para el desarrollo de los análisis a pesar del compromiso requerido, personas que de una u otra manera nos apoyaron en la realización de este trabajo.

A nuestra alma máter la Universidad Nacional del Callao y la Facultad de Ingeniería Química por brindarnos las herramientas necesarias para lograr este objetivo, hacer que nos apasione la carrera y enriquecer nuestra formación profesional.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema .....	14
1.2.1. <i>Problema general</i> .....	14
1.2.2 <i>Problemas específicos</i> .....	14
1.3 Objetivos de la investigación .....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	14
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	14
1.4. Justificación de la investigación .....	15
1.5. Delimitantes de la investigación .....	15
1.5.1 <i>Teórico</i> .....	15
1.5.2 <i>Temporal</i> .....	16
1.5.3 <i>Espacial</i> .....	16
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes: internacionales y nacionales .....	17
2.1.1 <i>Antecedentes internacionales</i> .....	17
2.1.2 <i>Antecedentes nacionales</i> .....	19
2.2 Bases teóricas.....	21
2.2.1 <i>Biodiésel</i> .....	21

2.2.2. <i>La papaya</i> .....	27
2.2.3. <i>Semilla de papaya</i> .....	28
2.2.4. <i>Extracción del aceite de semilla de papaya</i> .....	31
2.2.5. <i>Transesterificación del aceite</i> .....	35
2.3 Marco conceptual.....	41
2.3.1 <i>Potencial de residuos agroindustriales</i> .....	41
2.3.2 <i>Situación del biodiésel en el país</i> .....	41
2.3.3. <i>Proceso de obtención del biodiésel a partir de semillas de papaya</i> .....	43
2.3.4. <i>Efecto de las variables del proceso de transesterificación</i> .....	44
2.3.5. <i>Influencia de los ácidos grasos y las propiedades del biodiésel</i> .....	46
2.3.6. <i>Efecto de las variables de operación en el proceso de obtención de aceite</i> .....	46
2.4 Definición de términos básicos.....	49
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	50
3.1. Hipótesis.....	50
3.1.1. <i>Operacionalización de variables</i> .....	50
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	53
4.1. Diseño metodológico .....	53
4.2. Método de investigación .....	53
4.2.1. <i>Método</i> .....	54
4.3. Población y muestra .....	58
4.4. Lugar de estudio y período desarrollado .....	58
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información .....	59
4.5.1. <i>Técnicas</i> .....	59
4.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	60
4.6. Análisis y procesamiento de datos .....	62



4.7 Aspectos éticos en Investigación .....	62
V. RESULTADOS.....	63
5.1. Resultados descriptivos.....	63
5.1.1. <i>Caracterización de semillas de papaya</i> .....	63
5.1.2. <i>Resultados del análisis fisicoquímico del aceite</i> .....	64
5.1.3. <i>Rendimiento del aceite de semillas de papaya obtenido</i> .....	64
5.1.4. <i>Resultados de procedimiento experimental</i> .....	64
5.1.5. <i>Caracterización del biodiesel obtenido</i> .....	66
5.2. Resultados inferenciales.....	66
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	81
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	81
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	82
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	83
VII. CONCLUSIONES.....	84
VIII. RECOMENDACIONES .....	85
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS .....	96
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	97
Anexo 2: Diagrama del proceso de obtención del biodiesel.....	98
Anexo 3: Ilustraciones del desarrollo de las corridas experimentales .....	99
Anexo 4: Informes de análisis por laboratorios externos.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Comparación de las propiedades del diesel-biodiesel.....	22
<b>Tabla 2</b> Comparativa de datos fisicoquímicos del biodiésel y diésel convencional. .....	24
<b>Tabla 3</b> Especificaciones del biodiesel según la norma UNE-EN 14214:2009 .	25
<b>Tabla 4</b> Clasificación taxonómica de Carica papaya .....	28
<b>Tabla 5</b> Composición aproximada (% en peso) de la semilla de papaya seca .	30
<b>Tabla 6</b> Composición de ácidos grasos de diferentes métodos de extracción de aceite de semillas de papaya .....	31
<b>Tabla 7</b> Caracterización del aceite de semilla de papaya.....	33
<b>Tabla 8</b> Composición de principales ácidos grasos en el aceite de semilla de papaya .....	34
<b>Tabla 9</b> Composición de ácidos grasos (%) en aceite de semilla de papaya ...	34
<b>Tabla 10</b> Composición de ácido grasos presentes en aceite de semilla de papaya andina ( <i>Vasconcellea pubescens</i> A. DC).....	35
<b>Tabla 11</b> Contenido de aceite obtenido de diferentes variedades de semilla de papaya .....	47
<b>Tabla 12</b> Rendimiento del aceite de semillas de papaya preparadas según extracción de varios solventes (g/Kg) .....	48
<b>Tabla 13</b> Matriz de operacionalización de variables .....	52
<b>Tabla 14</b> Niveles de los factores.....	55
<b>Tabla 15</b> Diseño de experimentos .....	56
<b>Tabla 16</b> Diseño experimental según método de Cribado .....	56
<b>Tabla 17</b> Caracterización de las semillas de papaya.....	63
<b>Tabla 18</b> Composición de ácidos grasos .....	63
<b>Tabla 19</b> Caracterización del aceite extraído.....	64
<b>Tabla 20</b> Comparación del rendimiento del aceite obtenido sin tamizar y con malla 20 .....	64
<b>Tabla 21</b> Matriz de resultados según diseño de experimentos por Cribado .....	65
<b>Tabla 22</b> Caracterización del biodiesel obtenido a condiciones óptimas .....	66
<b>Tabla 23</b> Rango experimental y niveles codificados para ANOVA. ....	66

<b>Tabla 24</b> Análisis de varianza .....	67
<b>Tabla 25</b> Resultado de cálculo de efectos en Minitab19 para el modelo de Cribado .....	68
<b>Tabla 26</b> Resultado de factor de correlación experimental de modelo cuadrático .....	69
<b>Tabla 27</b> Parámetro objetivo para optimización.....	79
<b>Tabla 28</b> Solución óptima en el proceso de transesterificación .....	79
<b>Tabla 29</b> Ajuste de predicción de respuesta múltiple para rendimiento de biodiesel.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Carga papaya .....	28
<b>Figura 2</b> Semilla madura de papaya.....	29
<b>Figura 3</b> Características internas de la semilla.....	29
<b>Figura 4</b> Extracción con Soxhlet en el momento en que se produce sifonamiento del disolvente .....	32
<b>Figura 5</b> Reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol .....	36
<b>Figura 6</b> Etapas de la reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol.....	36
<b>Figura 7</b> Mecanismo de la reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol catalizada por una sustancia básica .....	38
<b>Figura 8</b> Demanda de los combustibles líquidos y GLP de los establecimientos de ventas al público para uso vehicular, entre enero- noviembre 2022 .....	41
<b>Figura 9</b> Producción anual de biodiesel en Perú (en m <sup>3</sup> ) .....	42
<b>Figura 10</b> Consumo anual de biodiesel en Perú (en m <sup>3</sup> ).....	42
<b>Figura 11</b> Diseño de la investigación.....	53
<b>Figura 12</b> Gráfica de efectos principales para el rendimiento del biodiesel.....	69
<b>Figura 13</b> Interacciones para rendimiento de biodiesel y temperatura, concentración de catalizador, tiempo de reacción y relación de metanol: aceite .....	70
<b>Figura 14</b> Gráfica normal de los efectos.....	71
<b>Figura 15</b> Diagrama de Pareto de los efectos .....	72
<b>Figura 16</b> Gráfica de probabilidad normal .....	72
<b>Figura 17</b> Gráfica de residuos .....	73
<b>Figura 18</b> Gráfica de residuos vs orden de observación .....	74
<b>Figura 19</b> Histograma de los residuos.....	74
<b>Figura 20</b> Gráfica de contorno rendimiento -concentración de catalizador, temperatura.....	75
<b>Figura 21</b> Gráfica de superficie rendimiento -concentración de catalizador, temperatura.....	75

<b>Figura 22</b> Gráfica de contorno rendimiento –relación metanol: aceite, temperatura.....	76
<b>Figura 23</b> Gráfica de superficie rendimiento –relacion metanol: aceite, temperatura.....	77
<b>Figura 24</b> Gráfica de contorno rendimiento –tiempo de reacción, temperatura	77
<b>Figura 25</b> Gráfica de superficie rendimiento –tiempo de reacción, temperatura .....	78
<b>Figura 26</b> Gráfica de contorno rendimiento –tiempo de reacción, concentración de catalizador.....	78
<b>Figura 27</b> Gráfica de superficie rendimiento –tiempo de reacción, concentración de catalizador.....	79
<b>Figura 28</b> Gráfica de valores óptimos de condiciones de transesterificación ...	80

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) provenientes de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel. En este proceso la metodología utilizada consistió previamente en la recolección de las semillas de papaya, lavarlas y seleccionarlas, luego el secado, molienda y tamizado por malla 20, se realizaron corridas de 180 ml de éter de petróleo con 20 g de semilla pulverizada en cada dedal (relación 1:9 de solvente de extracción) durante 3 horas para la extracción de aceite por el sistema soxhlet, obteniendo un rendimiento aproximado de 31,52% del aceite. Para el proceso de transesterificación se hicieron corridas experimentales de 3 niveles bajo 4 factores; relación metanol /aceite a 6:1, 8:1 y 10:1, concentración de catalizador (KOH) a 0.5, 1.0 y 1.5 % sometido a temperaturas entre 45, 55 y 65°C durante determinados tiempos de 60, 90 y 120 min. Debido a los remanentes se purificó el biodiésel obtenido mediante decantación por 8 horas y lavados múltiples con agua. Los resultados demostraron que las condiciones óptimas en el proceso de transesterificación fueron: 1% concentración de catalizador (KOH), 6:1 en relación metanol /aceite a 55°C por un tiempo de 90 minutos, logrando obtener un rendimiento de biodiésel superior de 90% ( $R^2$ ). Concluyendo que los parámetros influyentes en la optimización del proceso de transesterificación del aceite de semilla de papaya fueron: la relación metanol/aceite y la concentración de catalizador afectando directamente el rendimiento del biodiésel obtenido.

**Palabras clave:** Transesterificación, ácidos grasos, semilla de papaya (*Carica papaya L.*), optimización.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the optimal conditions of the transesterification process of papaya seed oil (*Carica papaya* L.) from agroindustrial waste to obtain biodiesel. In this process, the methodology used previously consisted of collecting the papaya seeds, washing and selecting them, then drying, grinding and sieving through a 20 mesh. Runs of 180 ml of petroleum ether were carried out with 20 g of pulverized seed in each thimble (1:9 ratio of extraction solvent) for 3 hours for oil extraction by the Soxhlet system, obtaining an approximate yield of 31.52% of the oil. For the transesterification process, 3-level experimental runs were carried out under 4 factors; methanol/oil ratio at 6:1, 8:1 and 10:1, catalyst concentration (KOH) at 0.5, 1.0 and 1.5% subjected to temperatures between 45, 55 and 65°C for certain times of 60, 90 and 120 min. Due to the remnants, the biodiesel obtained was purified by decanting for 8 hours and multiple washings with water. The results showed that the optimal conditions in the transesterification process were: 1% concentration of catalyst (KOH), 6:1 in methanol/oil ratio at 55°C for a time of 90 minutes, achieving a higher biodiesel yield of 90% (R<sub>2</sub>). Concluding, the influential parameters in the optimization of the papaya seed oil transesterification process were: the methanol/oil ratio and the catalyst concentration, directly affecting the yield of the biodiesel obtained.

**Keyword:** Transesterification, fatty acids, papaya (*Carica papaya* L), optimization

## INTRODUCCIÓN

Diversos informes han resaltado la importancia del impacto de un combustible renovable como el biodiésel, el bien que este puede generar en la problemática del impacto de la contaminación mundial, la reducción de la huella de carbono y la reducción del daño significativo a la capa de ozono (23).

El biodiésel de primera generación proviene de materias primas principalmente semillas oleaginosas, aceites y grasa animal y segunda generación (restos de cosecha y residuos agrícolas que contienen celulosa). (27)

Existen numerosas investigaciones sobre el aprovechamiento de semillas donde se indica que presentan una considerable cantidad de material oleaginoso entre el 25-30% (97). Las semillas de papaya son oleaginosas con un grado de pureza de aceite considerable (8), estas hoy en día son descartadas en los mercados e industrias pequeñas como las juguerías y agroindustriales (nectaríferas) sin darle mayor valor agregado, representando el 17% del desecho del fruto según la FAO (30).

Por lo que el propósito de la presente investigación es aprovechar el aceite de las semillas de papaya (*Carica Papaya L.*) criolla para obtener productos de valor agregado de manera sostenible con alto poder energético como el biodiésel sustituyendo al diésel comercial usado.

El presente trabajo de tipo experimental, se basa en una metodología para la producción de biodiésel a partir del proceso de transesterificación del aceite proveniente de estas semillas por medio de un adecuado tratamiento de 4 factores y 3 niveles considerando como factores la relación metanol: aceite de 1:6, 1:8 y 1:10, concentración del catalizador de 0.5, 1.0 y 1.5%, temperaturas entre 45, 55 y 65°C con tiempos de 60, 90 y 120 min través de la optimización de este proceso de producción, cuya comprobación de la investigación se realizó mediante corridas experimentales a nivel laboratorio de acuerdo a la literatura (4) y (5).



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

En el Perú, se produjo en 2020 unas 186 mil TN de papaya (*Carica Papaya L.*), las que provinieron de 12.359 hectáreas de cultivo teniendo como zonas de mayor porcentaje de participación en su producción a Ucayali, Madre de Dios, Loreto, Amazonas, Junín y San Martín (58).

En la actualidad la papaya (*Carica Papaya L.*) criolla se consume de manera directa y cierta cantidad es destinada a su exportación. Por lo que en el consumo directo de papaya se genera una gran cantidad de desperdicios.

Las semillas de papaya representan aproximadamente el 17% del desecho del fruto (98), lo cual ascendería a un valor aproximado de 31.6 mil TN de residuo agroindustrial en el año 2020 (30).

Dado que los residuos como semillas y cáscaras, generan efectos negativos que contribuyen a la contaminación ambiental en nuestro país. Según las investigaciones de (5) nos indica que podemos darles un valor agregado a estas semillas extrayendo su aceite, ya que los residuos de estas semillas oleaginosas tienen un alto contenido de ácidos grasos oleicos (8) por lo que mediante la optimización en el proceso de transesterificación de estos aceites obtendremos las mejores condiciones para obtener una fuente alternativa de combustible limpio como el biodiésel, su uso permitirá reducir la generación de gases de efecto invernadero.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles serán las condiciones para la optimización del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiésel?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite contenido en las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiésel?

¿Cómo influyen los parámetros del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiésel?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar las condiciones para la optimización del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiésel.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Determinar las características fisicoquímicas del aceite contenido en las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos

agroindustriales para la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiésel.

Evaluar la influencia de los parámetros en el proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiésel.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

La generación de residuos agroindustriales como las semillas de la papaya criolla constituyen una fuente potencial de contaminación, porque son desechados. Sin embargo, estas pueden ser utilizadas como fuente de materia prima para la obtención de combustibles como el biodiésel. En la actualidad existen numerosas investigaciones sobre el aprovechamiento de semillas de frutas cítricas para la obtención del biodiésel, mas no de la papaya criolla, por lo que se buscó profundizar en su aprovechamiento como fuente energética alternativa mediante la optimización en el proceso de transesterificación del aceite de sus semillas. La investigación del aprovechamiento de este recurso como biocombustible contribuirá al desarrollo sostenible del medio ambiente y al descenso de los gases de efecto invernadero, ya que considera en su ciclo de producción una etapa de fijación de carbono (18).

#### **1.5. Delimitantes de la investigación**

##### **1.5.1 Teórico**

En la presente investigación se obtiene biodiésel a partir del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla a nivel de laboratorio, por lo que se utilizaron artículos científicos sobre los residuos agroindustriales, características de las semillas de papaya criolla y el proceso de transesterificación.

### **1.5.2 Temporal**

Esta investigación se desarrolló en condiciones volubles de la estacionalidad de las variedades de estas frutas para la disponibilidad de las semillas de papaya criolla como materia prima en un periodo de 4 meses desde agosto a noviembre del 2023.

### **1.5.3 Espacial**

La presente investigación se desarrolló en los Laboratorios de Investigación e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao ubicada en el Callao y laboratorios externos certificados.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes: internacionales y nacionales

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

En el artículo “*Optimization of Soxhlet Extraction Papaya Seed Oil (Carica papaya L.) with Petroleum Ether*”, los autores determinaron la óptima extracción de aceite de semilla de papaya mediante el método de extracción por soxhlet empleando como solvente el éter de petróleo. Los resultados de extracción de aceite de semilla de papaya óptimos se obtuvieron en un tamaño de partícula de malla 20, un tiempo de extracción de 180 minutos y una proporción de semillas pulverizada: solvente de 1:9 (35 gramos/500 mL) y utilizó el diseño experimental factorial de  $2^3$  para determinar los parámetros resultantes: rendimiento, densidad, contenido de ácidos grasos, viscosidad y contenido de agua. A partir de la optimización obtuvieron un rendimiento del 57,029% y concluyeron que la variable de proceso más influyente es el tamaño de las partículas (4).

En el artículo “*Experimental Study and Modeling Approach of Response Surface Methodology Coupled with Crow Search Algorithm for Optimizing the Extraction Conditions of Papaya Seed Waste Oil*”, los autores argumentaron que los residuos de semillas de papaya pueden ser una fuente de materia prima para producir biodiésel por la cantidad de aceite que posee. Este artículo estudia los efectos de las condiciones del proceso de extracción Soxhlet variando el tiempo y tamaño de las partículas de la semilla para evaluar el porcentaje de rendimiento de aceite obtenido de las semillas de papaya. Desarrollaron dos modelos matemáticos utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM) y análisis de regresión (modelo lineal generalizado, GLM) para predecir el rendimiento del biodiésel, siendo superior el modelo RSM al de GLM. El rendimiento óptimo se obtuvo en 6,5 h de tiempo de extracción y con un tamaño de partícula de la semilla de 0,85 mm. Concluyeron que el rendimiento previsto fue de 29,96% también fue validado por un rendimiento experimental del 31,1% (40).

En la tesis *“Análisis de prefactibilidad técnica y financiera del proceso de extracción de aceite de la semilla de papaya (Carica Papaya L.) híbrido Pococí”*, el autor analizó la prefactibilidad técnica y financiera de una planta de aceite de semilla de papaya proveniente de los residuos de las procesadoras de papaya, además la investigación describe el proceso de extracción del aceite por un sistema de extracción soxhlet obteniendo un rendimiento en base seca del 30.0688% de aceite (humedad de la semilla 8%) donde comparó los valores de la obtención del aceite a partir de la semilla con sarcotesta y sin sarcotesta, semilla molida y sin moler así como el uso de diferentes disolventes: etanol, n-hexano, isopropanol. Además, el aceite obtenido es purificado mediante las operaciones de filtración, evaporación y centrifugación (3).

En el artículo *“ Optimization of microwave-assisted biodiesel production from Papaya oil using response surface methodology”*, los autores utilizaron la metodología de superficie de respuesta para la optimización del rendimiento del éster metílico a partir del aceite de papaya, basado en las condiciones óptimas, el rendimiento de biodiésel previsto fue del 99,9% y el valor experimental real fue del 99,3% demostrando que el éster metílico del aceite de papaya tiene propiedades cercanas a los estándares ASTM con potencial para usarse como alternativa al diésel. Los experimentos discontinuos se realizan en un matraz de reacción de una sola boca de 100 ml que contenía aceite de papaya, metanol y como catalizador el NaOH. El autor concluye que los valores óptimos de las condiciones de proceso de transesterificación de temperatura, cantidad de catalizador, tiempo de reacción y relación molar de metanol/aceite fueron: 62,33 °C, 0,95 % en peso, 3.30 min y 9,50:1 respectivamente. (66)

En el artículo *“Production optimization and quality assessment of papaya (Carica papaya) biodiesel with response surface methodology”*, los autores investigaron la optimización de la producción del biodiésel a partir del aceite extraído de la semilla de papaya utilizando una metodología de respuesta basada en el diseño experimental Box-Behnken ( $R^2 = 0,99$ ) variando 3 parámetros como la temperatura de reacción, la relación molar metanol/aceite y la concentración de catalizador en 3 niveles diferentes a una velocidad de agitación de 600 rpm y 60 min y encontró que los parámetros óptimos del proceso

para la transesterificación es a una relación molar de metanol/ aceite de 10:1, una concentración de catalizador de KOH de 1 %peso y temperatura de reacción de 45 °C. En estas condiciones de reacción, el rendimiento de biodiésel óptimo y experimental fue del 96.12 % y 96.48 % respectivamente. Las propiedades del biodiésel cumplen con las normas ASTM D6751 y EN 14214 en base a los resultados obtenidos (5).

En el artículo *“Biodiesel from Mandarin Seed Oil: A Surprising Source of Alternative Fuel”*, el autor estudió las semillas de mandarina que fueron secadas durante 20h hasta alcanzar un contenido de humedad óptimo alrededor del 13,22%. El aceite a partir de la semilla triturada se obtuvo mediante el método soxhlet utilizando una solución de n-hexano 1:2 con el fin de obtener biodiésel a partir de la reacción de transesterificación, sus parámetros de reacción fueron la relación molar del metanol/aceite y la concentración del catalizador KOH cuyo rendimiento de aceite a partir de semillas de mandarina fue 49,23 % y 96,82 % de eficiencia de conversión de aceite. Las propiedades fisicoquímicas del biodiésel se midieron de acuerdo con las normas ASTM D6751. El estudio además analizó el comportamiento físico del biodiésel encontrando una mayor viscosidad cinemática a bajas temperaturas y una menor viscosidad a temperaturas más altas en comparación con diésel. Los balances de masa y energía se realizaron para todo el proceso e indicaron un 42,29% de recuperación de masa para el producto final (biodiesel) del total de la materia prima de biomasa (9).

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

En la tesis *“Proceso de Secado de Semilla de Papaya (Carica Papaya) para la obtención de Aceite”*, los autores evaluaron las condiciones óptimas experimentales del secado de las semillas de papaya que proporcione el máximo rendimiento en la obtención del aceite de la misma. Seleccionaron las semillas por número de malla (4000, 3150, 2500) Utilizaron un secador rotatorio discontinuo bajo 3 condiciones de temperatura las cuales fueron de 40 °C, 55°C y 70°C a 3 niveles de velocidades de rotación (10, 20 y 30 rpm), en intervalos de tiempo de 30 minutos hasta un peso constante. Los autores concluyeron que las

condiciones en las semillas de malla N°4000 a una temperatura de secado de 55°C, velocidad de rotación de 19 rpm en un tiempo de hasta 3 hora y 30 minutos con flujo constante de aire de 450 L/min son las condiciones óptimas para obtener el máximo rendimiento ajustando los datos experimentales al modelo de Midilli, obteniendo un mejor ajuste en la curva de secado ( $R^2 = 0.9997$ ) y una varianza de 0,0000480661(64).

En la tesis *“Caracterización de Ácidos Grasos obtenidos de Semillas Liofilizadas de Carica Papaya L. (Papaya)”*, el autor mediante la técnica de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas tuvo como objetivo identificar los ácidos grasos presentes en semillas liofilizadas de *Carica papaya* L. Empleó 604 g de semillas liofilizadas y molidas de un total de 28,66 kg de *Carica papaya* L., se identificó la presencia de 20 ácidos grasos llegando a determinar el porcentaje de ácidos grasos presentes en la semilla de *Carica* encontrándose los ácidos oleicos (69,74%) y ácido palmítico (16,48%) en mayor proporción. Concluyó que los valores resultantes del perfil de ácidos grasos reflejan un porcentaje mayoritario en ácidos grasos monoinsaturados con un 72,24% (41).

En el trabajo de investigación *“Extracción de Aceite de las Semillas de (Carica Papaya) con la Presencia de Mucílago y con la Separación de Mucílago”* el autor comparó el rendimiento del aceite obtenido a partir de las semillas con mucílago y sin mucílago donde se tiene 29.5% y 24.81%, respectivamente. Menciona que el mucílago contiene 4.6% de aceite en su estructura, concluyendo que el mucílago mejora el rendimiento en la extracción por solventes. Las semillas fueron secadas y molidas, usó 65g y 64.4g de semillas pulverizadas (semilla con mucílago y semilla sin mucílago) en 190ml de la solución de 2:1 hexano - alcohol y maceradas por 1 hora, es filtrado para separar las fases y por último pasa por un proceso de destilación a 65°C por 2 horas para eliminar el solvente restante del aceite (80).



## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Biodiésel**

Es un biocombustible líquido, renovable, biodegradable con una temperatura de inflamación considerablemente alta, debido a que posee un punto de ignición superior lo hace estable en el tiempo convirtiéndolo en seguro y de fácil manipulación (48). Asimismo, es una alternativa a los combustibles de fuentes convencionales y ayuda a reducir las emisiones de CO, SO<sub>2</sub> e hidrocarburos aromáticos policíclicos (36).

La ASTM D6751-15 lo define como “ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga provenientes de aceites vegetales o grasas animales, para uso en motores diésel” (7).

Químicamente, es el producto de una reacción de transesterificación en un medio. Se hace reaccionar un alcohol de cadena corta y aceite o grasa (triglicérido) para la formación de ésteres de ácidos grasos de cadena larga (biodiésel) más glicerina.

Principalmente se produce biodiésel por tres motivos (84):

- Mayor diversidad en los combustibles líquidos para motores diésel, es decir, disminuye o evita el uso de los combustibles procedentes de fuentes convencionales.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Desarrollo de un combustible energético de origen agrícola como fuente de ingreso para las áreas rurales.

La principal desventaja que presenta es una alta viscosidad ocasionando problemas de fluidez a bajas temperatura y costo de producción alto (62).

**Propiedades.** – El biodiésel posee características similares al diésel convencional, referente a la densidad y número de cetano, además posee un punto de inflamación alto, quiere decir que es un buen sustituyente para su uso

como gasóleo de automoción (ver tabla 1) por sus propiedades puede combinarse con el diésel convencional para uso como combustible en motores y por mayor estabilidad llegar a sustituirlo. (73).

**Tabla 1**

*Comparación de las propiedades del diésel-biodiésel*

<b>Propiedad</b>	<b>Diésel</b>	<b>Biodiésel</b>
Olor	Suave	Suave
Color	Desde incoloro hasta ámbar	Amarillo claro
Presión de vapor	<0.1 kPa a 20°C	<0.13333kPa
Punto de ebullición	180°C-380°C	315°C
Solubilidad en agua	<0.1% masa a 20%	Despreciable

Fuente: Pérez & Salgueiro (2020).

El biodiésel según la fuente de su origen tiene propiedades específicas:

- **Punto de inflamación:** Indica la estabilidad del combustible mediante la temperatura alcanzada, por lo tanto, la seguridad en su manipulación.
- **Viscosidad:** Un valor mínimo de viscosidad permite evitar pérdidas de potencia en el motor ocasionado por constantes fugas en el inyector de los vehículos y en la bomba de inyección.
- **Densidad:** Tiene relación proporcional con la energía térmica.
- **Cenizas sulfatadas:** Son los residuos inorgánicos del proceso de combustión como catalizadores sin eliminar, abrasivos sólidos y material saponificable de origen metálico.
- **Azufre:** Un alto contenido de azufre influye en las altas emisiones para el cambio climático, además ocasiona deterioro gradual afectando al funcionamiento en el motor.

- **Corrosión a la lámina de cobre:** Es un método de ensayo que permite conocer la presencia de ácidos o compuestos corrosivos que afecten al cobre o sus aleaciones (bronce) en el sistema combustible consiste el deterioro de una lámina de cobre.
- **Número de cetano:** Otro factor contribuyente al cambio climático. Refleja la calidad de la combustión mediante la medición del tiempo de ignición.
- **Índice de yodo:** Es un parámetro que proporciona la calidad del biodiésel mediante el grado de insaturación de un aceite.
- **Número ácido, TAN:** Determina la cantidad presente de ácidos grasos en el combustible. Su presencia indicará el nivel de corrosión en el motor.
- **Contenido en metales y ácidos grasos libres:** Su presencia impacta en el residuo carbonoso y contenido de cenizas. Contribuyen a la formación de material saponificable (jabones) que afectan los filtros del motor de combustión.
- **Lubricidad:** Facilita el movimiento entre dos superficies mediante el engrasamiento necesario y evitar el deterioro de estos.
- **Glicerina total:** Determina el contenido de glicerina enlazada y libre en el biocombustible. Tiene relación inversamente proporcional con el grado de conversión en el aceite o grasa y cantidad de formación de monoésteres.
- **Estabilidad a la oxidación:** Determina el tiempo de almacenamiento y potencial degradación del biocombustible.

En la tabla 2 se pueden observar datos fisicoquímicos del biodiésel y diésel convencional.

**Tabla 2***Comparativa de datos fisicoquímicos del biodiésel y diésel convencional.*

Datos	Unidad	Biodiésel	Diésel
		Ester metílico ácido	
Composición combustible	-	grasos	Hidrocarburo
		C12-C22	C10H21
Poder calorífico inferior	kcal/Kg	9500	10800
Viscosidad a 40°C	Cst	3.5-5	3-4.5
Peso específico	g/cm3	0.875-0.900	0.85
Contenido de azufre	%peso	0	0.2
Punto de ebullición	°C	190-340	180-335
Punto de inflamación	°C	120-170	60-80
Punto de escurrimiento	°C	-0.9375	2.333333333
Número de cetanos		48-60	60
Relación estequiométrica aire/combustible	%peso	13.8	15

Fuente: Pérez &amp; Salgueiro (2020).

**Obtención de biodiésel.** - Los métodos para la obtención de biodiésel dependen del tipo de materia prima o según el catalizador a definir (catalizador ácido o básico). También se emplean enzimas como las lipasas, fluidos supercríticos y resinas de intercambio iónico (53).

Generalmente los métodos de obtención de biodiésel son:

- Transesterificación (catálisis básica, catálisis ácida o con enzimas)
- Fluidos supercríticos
- Pirólisis

**Parámetros de calidad.** – Las propiedades del biodiésel se muestran en la tabla 3 según las especificaciones correspondientes a los métodos de ensayo establecidos.

**Tabla 3***Especificaciones del biodiesel según la norma UNE-EN 14214:2009*

Propiedad	Unidad	Límites		Métodos de Ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido en FAME	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Viscosidad a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Punto de inflamación	°C	101	-	EN ISO 2719 EN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Numero de cetano	-	51	-	EN ISO 5165
Contenido en cenizas sulfatadas	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/Kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/Kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6	-	EN 15751 EN 14112
Índice de acidez	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g	-	120	EN 14111
Ester metílico de ácido linoleico	%(m/m)	-	12	EN14103
Ester metílicos poliinsaturados	%(m/m)	-	1	EN 15779
Contenido en metanol	%(m/m)	-	0.2	EN 14110
Contenido en monoglicéridos	%(m/m)	-	0.8	EN 14105
Contenido en diglicérido	%(m/m)	-	0.2	EN 14105
Contenido en triglicéridos	%(m/m)	-	0.2	EN 14105
Glicerol libre	%(m/m)	-	0.02	EN 14106
Glicerol total	%(m/m)	-	0.25	EN 14105

Fuente: Pérez &amp; Salgueiro (2020).

**Materias primas alternativas.** – Generalmente se produce biodiésel de grasas o aceites, pero existen diversas fuentes de materias primas para la obtención del biodiésel. Según el balance energético se realiza la selección de las materias primas (84).

**a. Por su nivel de acidez (74):**

- Materias primas de bajo nivel acidez (< 2%)

Específicamente esta característica lo poseen los aceites crudos sin refinación, también lo presentan las materias primas de alta grado de acidez después de la transesterificación (una etapa o más), se recomienda una catálisis básica.

- Materias primas de acidez intermedia (entre 2 y 5%)

Es preciso realizar una neutralización de los ácidos grasos libres, no se recomienda utilizar un catalizador básico en la reacción de transesterificación por la formación excesiva de jabones.

- Materias primas de alto grado de acidez (>5%)

Se usa por lo general un catalizador ácido, se descarta la catálisis básica homogénea por la formación excesiva de jabones en la transesterificación.

**b. Por su tipo de fuente (73):**

- Aceites vegetales de fuentes convencionales

Proviene de fuentes oleaginosas como las semillas de girasol, coco y la colza. Además de la palma considerado fruto oleaginoso.

- Aceites vegetales de fuentes alternativas

En este grupo cabe destacar la utilización o también se le denomina cultivo energético, proveniente de los aceites de la *Jatropha curcas*, *Camelina sativa*, *Brassica carinata*, *Crambe abyssinica* y el cardo.

- Aceite usado procedente de las frituras
- Grasas animales (particularmente el sebo de vaca)
- Aceites de otras fuentes

En este grupo se obtiene aceite a partir de microalgas y procesos microbianos mediante hongos, bacterias y algas.

Las propiedades de mayor significancia de la materia prima son la composición de ácidos grasos, la acidez libre, contenido de humedad y materia insaponificable, el grado de impureza, el poder calorífico, la tendencia en frío y la viscosidad.

**Tipos de biodiésel.** – Según el tipo de aceite y clase de alcohol usados en el proceso de transesterificación se obtienen diferentes tipos de biodiésel. También son denominados como ésteres de ácidos grasos (71). Estos son:

- Fatty Acid Methyl Ester (FAME): Ésteres metílicos de los ácidos grasos.
- Palm Methyl Ester (PME): Ésteres metílicos de aceite de palma.
- Soya/Sunflower Methyl Ester (SME): Ésteres metílicos de aceite de soja o girasol.
- Rape Methyl Ester (RME): Ésteres metílicos del aceite de colza.

### **2.2.2. La papaya**

**Origen.** - Según (47) su origen se encuentra entre la parte sur de México hasta Costa Rica, fue descrita en 1526 por el historiador Fernández Oviedo por primera vez, donde menciona que los colonizadores españoles la llamaban “higos de matuerzo” y “papaya de los pájaros”. Con el pasar del tiempo la fruta se diseminó por diferentes regiones e incluso se observó en la zona oriental de los Andes.

Actualmente, se encuentra en todas las áreas subtropicales y tropicales del mundo, en los últimos años se ha concentrado el 50% de la producción mundial en los países de Brasil, México y la India. (35).

En Perú existen cerca de 10 mil hectáreas de cultivo de papaya, siendo las principales regiones productoras Ucayali (5 mil Has), San Martín, Madre de Dios, Cusco, la selva de Ayacucho, Huancavelica, Junín, Loreto y la zona interandina de Apurímac. Además, en Piura y Chiclayo se está intentando sembrar. El rendimiento nacional es de 40 toneladas por Has (1).

**Clasificación taxonómica.** - Según (20) la clasificación se muestra en la tabla 4:

**Tabla 4**

*Clasificación taxonómica de Carica papaya*

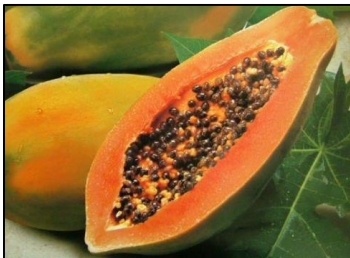
División	Spermatophyta
Subdivisión	Magnolophytina
Clase	Magnoliatae
Orden	Violales
Familia	Caricaceae
Género	Carica
Especie	Carica papaya

Fuente: Castro, Morales & Aranguren (2000).

**Características de la *Carica papaya*.** - Es de gran tamaño y de forma ovalada, su coloración se encuentra entre verde claro a verde oscuro, pero cuando se encuentra madura tiende a un color amarillo a rojo, además tiene una textura casi firme, aparecen solitarios o en racimos y su cáscara es lisa (20). Ver figura 1:

**Figura 1**

*Carica papaya*



Fuente: Agraria (2013)

### **2.2.3. Semilla de papaya**

Según (31), es el producto del óvulo fertilizado, resultado de la reproducción sexual que en las angiospermas se forma dentro del ovario, además el tamaño de la semilla se determina de acuerdo a como estén posicionadas las semillas dentro del fruto.

Las semillas de las angiospermas se dividen en 3 partes:



- **La cubierta seminal:** Estructura que protege a la semilla de daños físicos y del exterior. (17)
- **Endospermo:** Es el tejido de almacenamiento cuyo origen proviene de la fusión de uno de los núcleos espermáticos que tiene como resultado un tejido triploide.
- **El embrión de las angiospermas:** Consta de un eje con uno o dos cotiledones embrionales. (14)

**Características de la semilla.** - Es de forma ovoide, en la madurez es de color marrón oscuro, además su tamaño varía entre 4 y 6mm por lo que es considerada semilla de tamaño pequeño. (69). Ver figura 2:

### Figura 2

*Semilla madura de papaya*



Fuente: Gil & Miranda (2005)

Al realizar el corte transversal se observan 3 estructuras como a) embrión; b) endospermo; c) endotesta; d) mesotesta; e) tegmen; f) rafe presentado en la figura 3.

### Figura 3

*Características internas de la semilla*



Fuente: Gil & Miranda (2005)

## A. Composición de la semilla

La semilla de papaya representa aproximadamente entre el 15- 20% del peso de los frutos frescos (91). Contiene un alto contenido de lípidos y proteínas, que serán nuevas fuentes de aceite comestible en el futuro (98), ver tabla 5. Las semillas de papaya son antibacterianas siendo eficaces contra los trofozoítos de *trichomonas vaginalis*. En el aceite de semilla de papaya se pueden encontrar altos niveles de fitoquímicos lipófilos y ácidos grasos insaturados (ácido oleico y trialcilgliceroles) (91), ver tabla 6. Se vienen desarrollando numerosas técnicas para la obtención de aceite de semilla de papaya debido a estas características.

**Tabla 5**

*Composición aproximada (% en peso) de la semilla de papaya seca*

<b>Componentes químicos</b>	<b>Promedio</b>	<b>Rango</b>
Humedad	5.9	5 -7.2
Lípido	28.5	25.3 – 30.7
Proteína	27.7	24.3 – 31.8
Ceniza	5.9	2.4 – 8.
Fibra	21.0	17.0 – 24.4
Carbohidratos	23.1	11.7 – 32.5

Fuente: Yanty et al. (2014)

Las semillas secas de papaya contienen un alto porcentaje de lípidos (28,5%) y proteínas (27,7%), independientemente de los cultivares. Entre los diferentes cultivares, las semillas de papaya de papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) que crece en climas más fríos tenían un contenido de humedad significativamente bajo, pero un contenido alto de fibra, proteínas y lípidos (46). El alto contenido de lípidos de las semillas de papaya es especialmente atractivo económicamente para la extracción a nivel industrial, en comparación con otros cultivos oleaginosos, como el maíz (3,1–5,7%) y la soja (18,0– 20,0%).

**Tabla 6**

*Composición de ácidos grasos de diferentes métodos de extracción de aceite de semillas de papaya*

Método de Extracción	Ácidos Grasos (%)						
	Mistirico	Palmítico	Palmitoleico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico
Solvente	0,2	13,9	0,2	4,9	76,8	3	0,2
Soxhlet	0,2	14,9	0,3	5,2	74,2	3,5	0,2
Prensado	0,7	19,7	0,4	6,7	66,7	3,2	0,2

Fuente: Tan (2019) adaptado de Puansgri et al. (2005), Samaram et al.(2013) y Lee et al. (2011).

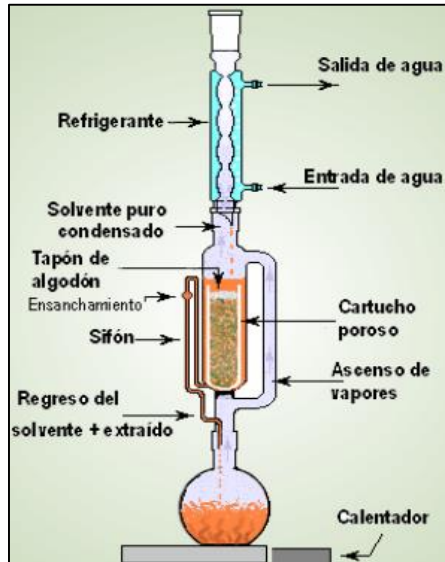
#### **2.2.4. Extracción del aceite de semilla de papaya**

Existen métodos tradicionales y no tradicionales de extracción de aceite. Las técnicas tradicionales, que existen desde hace mucho, incluida la extracción soxhlet, requieren mucho tiempo y recursos (solventes). Los métodos no tradicionales incluyen la extracción asistida por microondas, la extracción asistida por ultrasonidos y la extracción con fluidos supercríticos. Estos métodos pueden ser capaces de operar a altas presiones y/o temperaturas, reduciendo considerablemente el tiempo de extracción. (33).

**Método Soxhlet:** La extracción soxhlet (SE) es una extracción sólido-líquido y el método más común utilizado para extraer aceites a escala de laboratorio en todo el mundo. Generalmente se utilizan disolventes orgánicos y no polares para la extracción. El aceite se extrae de semillas oleaginosas y frutos oleaginosos con el método tradicional semicontinuo conocido como extracción soxhlet, ver figura 4. Sirve como método de referencia para determinar el contenido de lípidos de los alimentos y sirve como método de referencia principal para evaluar varias opciones de extracción de aceite (91).

**Figura 4**

*Extracción con Soxhlet en el momento en que se produce sifonamiento del disolvente*



Fuente: Núñez (2008)

En la implementación convencional de SE, la muestra es colocada en un cartucho poroso (dedal) cubierto gradualmente con el líquido del extractante fresco condensado (se refiere al solvente utilizado para la extracción) de un balón de destilación. Una vez que el líquido logra el nivel delimitado, el sifón lo aspira del dedal y lo regresa al balón de destilación. Como resultado, los analitos extraídos son transportados al líquido a granel, se repite el proceso hasta completar la extracción. Como resultado de este desempeño, el soxhlet se considera una técnica híbrida continua-discontinua. En la medida en que el extractante actúa por pasos, el conjunto puede considerarse un sistema por lotes. Sin embargo, dado que el extractante se recircula a través de la muestra, el sistema se considera continuo (51).

El método Soxhlet, es un ejemplo clásico de las técnicas de extracción con solventes (10). La extracción con solventes se basa en los principios del poder de extracción con solventes en combinación con el calor y/o la agitación (96). Entre los disolventes utilizados se encuentran éter de petróleo, n-hexano, isopropanol y etanol para la extracción de aceite. Sin embargo, el éter de petróleo

es el disolvente más utilizado para la extracción del aceite de semilla de papaya (91).

#### A. Composición del aceite de semilla de papaya

Según (3), las características fisicoquímicas del aceite del aceite de semilla de papaya se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Caracterización del aceite de semilla de papaya*

Característica	Valor Obtenido	
Color	L*	66.43±0.03
	a*	-0.46 ±0.03
	b*	64.53 ±0.03
Índice de refracción	1.4664±0.0002	
Humedad y materia volátil	0.15±0.01	
Densidad a 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.9038±0.0011	
Punto de fusión (°C)	9.4 ±0.3 – 13.2 ±0.2	
Ácidos grasos libres FFA (g ácido oleico libre/100 g aceite)	0.35 ±0.03	
Valor ácido (mg KOH/g aceite)	0.69±0.06	
Valor de peróxido (mEq O <sub>2</sub> /kg aceite)	0.1132 ±0.0001	
Materia insaponificable (g materia insaponificable/100 g aceite)	1.32 ±0.08	
Valor de saponificación (mg KOH /g aceite)	174 ±3.5	

Fuente: Alpízar (2019)

#### B. Composición de ácidos grasos libres de aceite de semilla de papaya

El perfil de ácidos grasos nos permite comparar algunas propiedades de otros aceites que poseen similar composición. Siendo la composición de ácidos grasos propia de cada aceite. Para determinar esta composición se emplea la técnica de cromatografía de gases luego de una transesterificación de los ácidos grasos (68), la tabla 8 muestra la composición de ácidos grasos de la semilla de papaya.

**Tabla 8***Composición de principales ácidos grasos en el aceite de semilla de papaya*

Ácidos grasos principales	Número de carbonos e insaturaciones	Valor (g/100g aceite)
Ácido oleico	C18:1	71.6-72.5
Ácido palmítico	C16:0	13.5 -16.16
Ácido linoleico	C18:2	1.48-7.68
Ácido esteárico	C18:0	3.61-5.1

Fuente: Alpizar (2019)

En la tabla 9 se muestra la composición de ácidos grasos de los aceites de semillas de papaya extraídos de tres tipos comerciales de papaya (Formosa, Hawaiian y Golden) cultivados en Brasil (91).

**Tabla 9***Composición de ácidos grasos (%) en aceite de semilla de papaya*

Ácidos grasos	Rango
Ácido mirístico	0,20-0,22
Acido palmítico	18,20-18,95
Ácido palmitoleico	0,23-0,32
Acido esteárico	5,07-5,30
Ácido oleico	69,78-72,04
Ácido linoleico	3,23-4,84
Ácido araquídico	0,35-0,41

Fuente: De Melo et al. (2016).

En la tabla 10 se presenta la comparación según el autor (43) que determinó la composición de ácidos grasos del aceite de semilla de papaya andina en el Perú (por triplicado) para evaluar sus propiedades, respecto a la tabla 9.

**Tabla 10**

*Composición de ácidos grasos presentes en aceite de semilla de papaya andina (Vasconcellea pubescens A. DC)*

Ácidos grasos	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)
Laúrico	0,2	0,23	0,19
Mirístico	0,73	0,84	0,7
Palmítico	12,97	13,07	12,6
Palmitoleico	0,63	0,64	0,59
Heptadecanoico	0,12	0,12	0,11
Estearico	3,75	3,57	3,48
Oleico	68,73	66,73	65,9
Linoleico	11,17	10,97	10,7
Linolénico	0,17	0,16	0,16
Eicosanoico	0,26	0,23	0,23
Eicosaenoico	1,09	1,09	1,05

Fuente: Illescas (2022).

Según investigaciones los aceites vegetales con un alto nivel de ácido oleico tienen suficiente estabilidad oxidativa (24).

### **2.2.5. Transesterificación del aceite**

También llamada alcoholólisis la reacción de transesterificación del aceite, se da cuando una molécula de triglicérido reacciona con un alcohol de composición ligera, en presencia de un catalizador para obtener una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina (84).

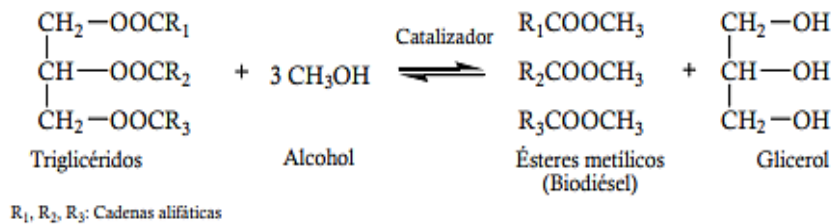
#### **➤ Mecanismo de reacción**

Se basa en el desplazamiento del alcohol de cadena larga (el glicerol) de la estructura del triglicérido cuando se agrega otro alcohol de cadena corta. Este desplazamiento produce la separación de las tres moléculas de ácidos grasos que forman el triglicérido, denominadas ésteres metílicos (EM) si el alcohol

usado fuera metanol, ésteres etílicos (EE) si fue etanol, y así simultáneamente (84).

### Figura 5

*Reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol*

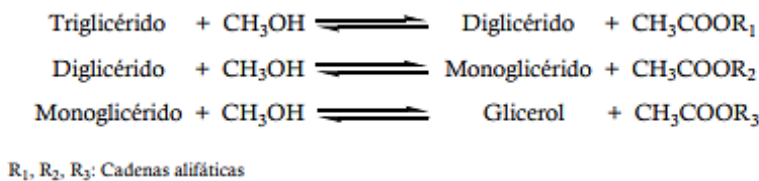


Fuente: Sánchez (2015)

Se muestra la reacción global de transesterificación en la figura 5 en caso el alcohol utilizado es el metanol, pero si analizamos con detenimiento esta reacción, lo que ocurre realmente en el aceite es la formación de tres reacciones reversibles en serie y paralelamente reacciona el alcohol, ver figura 6.

### Figura 6

*Etapas de la reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol*



Fuente: Sánchez (2015)

La conversión de triglicéridos es a diglicéridos y estos a monoglicéridos para finalmente convertirse en glicerina. Estequiométricamente, la relación molar alcohol/ triglicérido es de 3:1, obteniendo una relación molar ésteres /glicerina de 3:1. En unidades másicas, por cada kilogramo de triglicéridos se produce, un kilogramo de biodiésel y 0.10 kilogramos de glicerina, aproximadamente (84).



La etapa dominante de la velocidad de la reacción es la transferencia de masa. A continuación, se explica el comportamiento en paralelo de estas tres reacciones.

- Para mejorar la transferencia de masa entre reactantes se incrementa la agitación en la muestra.
- Luego de la primera etapa controlada por la transferencia de masa predomina en el proceso el comportamiento en serie de las reacciones, la cual origina la formación de los ésteres alquílicos incrementando la miscibilidad entre éstos, disolviendo el alcohol con los glicéridos. Es decir, la reacción entre el aceite vegetal y el alcohol reactante (etapa predominante) estará influenciada por la presencia de ésteres alquílicos (74).
- En tanto pasa la reacción, se incrementa la concentración de glicerina, esta sustancia es insoluble en los ésteres como en los triglicéridos, formando dos fases. Este hecho favorece que se desplace la reacción hacia la obtención del biodiésel y permite separar los productos de reacción (95).

La reacción de transesterificación además es conocida por ser una reacción de equilibrio, por lo que se requieren que los parámetros sean adecuados para favorecer la obtención de biodiésel. Una de estas condiciones es trabajar con alcohol en exceso que favorece la reacción entre el aceite y el alcohol (85).

#### ➤ **Catálisis de la reacción**

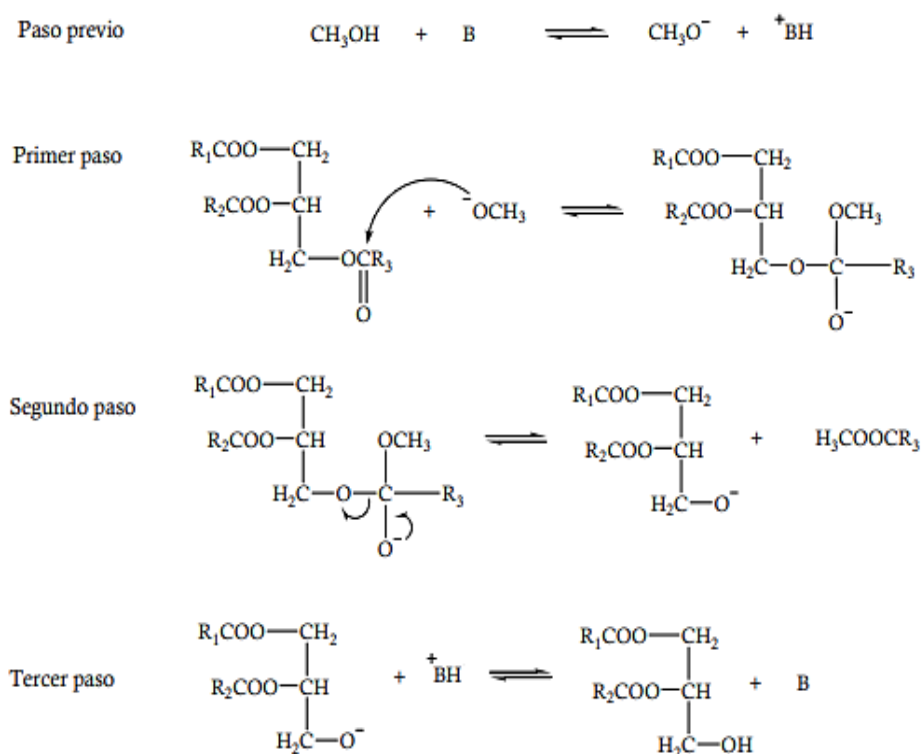
Si aumentamos la temperatura de reacción podemos observar que mejora la cinética de transesterificación de triglicéridos, se utiliza como temperatura de reacción la temperatura del alcohol utilizado a ebullición y presión atmosférica. Sin embargo, la velocidad de la reacción es aún lenta, por ello se requiere de un catalizador que lo incremente (84).

*Catálisis homogénea básica:* Los catalizadores homogéneos básicos por lo general son compuestos básicos fuertes como los hidróxidos (NaOH, KOH) o carbonatos ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) solubles en alcoholes de bajo peso molecular como el metanol que forman el grupo alcóxido que es el catalizador real del proceso.

En la figura 7 se presenta el mecanismo de la reacción de esta transesterificación. Previamente, al mezclar el catalizador básico con este alcohol ocurre la formación del ión metóxido y la protonación en el catalizador. El ataque nucleofílico del alcóxido al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido produce un intermedio tetraédrico donde se obtiene un éster metílico y el correspondiente anión del diglicérido. Este último desprotona al catalizador consiguiendo la regeneración de la especie activa que volverá a reaccionar con una segunda molécula de alcohol y comenzar otro ciclo catalítico. Los diglicéridos pasan a convertirse a monoglicéridos y éstos a glicerina de acuerdo al mismo mecanismo (12).

### Figura 7

*Mecanismo de la reacción de transesterificación de un triglicérido genérico con metanol catalizada por una sustancia básica*



B: Catalizador básico

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub>: Cadenas alifáticas

Fuente: Sánchez (2015)

Los catalizadores básicos son sustancias que producen menor corrosión a diferencia de los catalizadores ácidos, además con un poco de catalizador se tiene altas conversiones y el alcohol en exceso requerido es menor a otras catálisis (65).

*Catálisis homogénea ácida:* El catalizador ácido más utilizado es el ácido sulfúrico, y ácidos inorgánicos como el HCl,  $\text{BoF}_3$  y el ácido fosfórico; también se usa ácidos orgánicos como los ácidos sulfónicos (52).

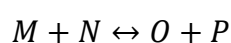
La reacción de transesterificación generada por el catalizador ácido tiene cuatro etapas del mecanismo anteriormente descrito. En primer lugar, ocurre la protonación del grupo carbonilo, abriendo paso a la adición nucleofílica del alcohol al grupo carbonilo. Del intermedio tetraédrico generado ocurre la eliminación del diglicérido, ocasionando la formación de un nuevo éster y regenera el catalizador (52).

*Catalizadores heterogéneos:* Algunos de estos catalizadores sólidos son  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{MgO}$ , zeolita, o  $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Se ha logrado obtener buenos resultados en las conversiones, pero a temperaturas superiores o tiempos de reacción altos. Mejora la separación del catalizador de los productos de la reacción, además se puede utilizar nuevamente, ya que no requiere el lavado del biodiésel en el proceso de purificación (84).

*Catálisis enzimática:* Proviene de las enzimas como las lipasas, aún en etapa de investigación. Presentan altos rendimientos al ser reutilizados en la conversión de los ácidos grasos libres (AGL) ésteres, porque en su mecanismo no es afectado por la formación de agua y es de fácil separación de la glicerina

#### ➤ **Modelo cinético**

Aunque existen reacciones secundarias los autores (16) han comprobado que la concentración de ácidos grasos libres en el transcurso de la reacción de transesterificación se puede representar como:



Donde M representa los ácidos grasos libres, N el metanol, O los ésteres metílicos y P el agua formada.

(16) Asumen que la reacción de esterificación es un proceso heterogéneo reversible donde la velocidad del proceso está definida por la reacción química. Además, la velocidad de la reacción no catalítica es irrelevante cuando se compara con la reacción catalítica y la reacción sucederá en la fase del aceite.

Las relaciones molares estudiadas de metanol/ aceite fluctúan entre 3:1 a 18:1, mientras que de los ácidos grasos libres se manejan entre 10:1 - 65:1. En consecuencia del metanol en exceso, es asumible que la relación permanecerá sin ninguna variación en el proceso y se incluye en la constante cinética de la reacción directa. Por lo tanto, se estima la ecuación cinética como de pseudo-primer orden en la reacción directa y primer orden respecto a O y P en la reacción inversa (15), según la ley cinética mostrada:

$$-r_M = -\frac{d[M]}{dt} = k_1[M] - k_2[O][P] \quad (1)$$

Donde  $-d[M]/dt$  representa el consumo del reactivo M, en  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  [M], [O] y [P] corresponden a las concentraciones de M, O y P, en  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente, y las constantes pseudo-cinéticas son representadas por  $k_1$  y  $k_2$  para la reacción directa y la inversa, respectivamente.

Teniendo en cuenta la relación existente entre la concentración de reactante y su conversión, además la relación estequiométrica del proceso, puede estimarse la ecuación de la velocidad en función de la conversión del proceso, presentada como:

$$[M] = [M]_0(1 - X) \quad (2)$$

Donde  $[M]_0$  representa la concentración inicial de M y X es la conversión de los ácidos grasos libres (M).

$$\frac{dX}{dt} = k_1(1 - X) - k_2[M]_0X^2 \quad (3)$$

La ecuación cinética (3) no representa con exactitud, considerándose la siguiente expresión:

$$\frac{dX}{dt} = k_1(1 - X)^Z[M]_0^{Z-1} - k_2[M]_0X^2 \quad (4)$$

Donde Z representa el orden de reacción respecto a los M, O y P.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Potencial de residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son todos los subproductos generados de los procesos productivos del sector agroindustrial, pecuarios y procesamiento de frutas y verduras. El potencial de los residuos agroindustriales como materia prima para su conversión en bioenergías como el biodiésel permite reducir el uso de los combustibles convencionales.

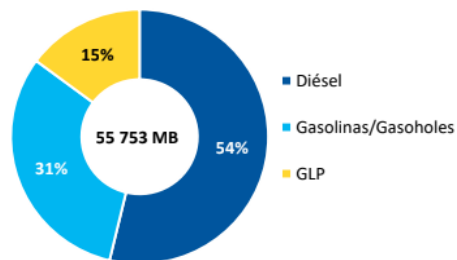
### 2.3.2 Situación del biodiésel en el país

En Perú, así como otros países el plan energético plantea el uso de energías más limpias porque existe dependencia del uso de los combustibles convencionales (diésel).

Según Osinergmin, el Perú demandó un mayor consumo de diésel, representando el 54% de la demanda total por los establecimientos de ventas al público (estaciones de servicio y grifos) para uso vehicular entre enero y noviembre del 2022, mientras que las gasolinas y gasoholes, un 31% y el GLP un 15% (94) como se muestra en la figura 8. Además, el combustible diésel vendido en Perú debe contener un mínimo de 5 % de biodiésel desde 2011 según la USDA (2021) (93), pero la demanda nacional de biodiésel se incrementaría en 10 000 TN anuales si el MINEM logra aprobar aumentar la cantidad porcentual de biodiésel que debe combinarse con el diésel comercializado de 5 a 7.5 (59).

## Figura 8

*Demanda de los combustibles líquidos y GLP de los establecimientos de ventas al público para uso vehicular, entre enero- noviembre 2022*



Fuente: Trelles (2023)

A lo largo de los últimos 10 años entre 2012 y 2021 existe un crecimiento de 983 %, en el 2021 presentó una producción de 195 000m<sup>3</sup>, lo que representa un aumento de 177000m<sup>3</sup> respecto al 2012. Mientras que la variación anual de 2020 a 2021 fue de 5 %, ver figura 9. Esta tendencia positiva muestra un aumento constante a lo largo del tiempo:

### Figura 9

*Producción anual de biodiesel en Perú (en m<sup>3</sup>)*

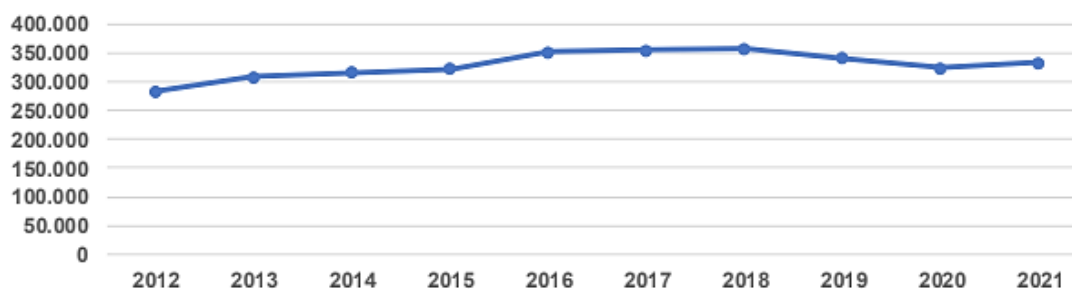


Fuente: Torroba, et al. (2022) en base datos de USDA (2021)

El consumo de biodiésel entre 2012 - 2021 representó un aumento de 17 %, mientras que la variación anual de 2020 a 2021 fue de 2 %, el 2021 hubo un consumo de 333 000 m<sup>3</sup>. En efecto estos aumentos muestran la tendencia positiva de la demanda de este biocombustible (93), ver figura 10.

### Figura 10

*Consumo anual de biodiesel en Perú (en m<sup>3</sup>)*



Fuente: Torroba, et al. (2022) en base datos de USDA (2021)

### **2.3.3. Proceso de obtención del biodiésel a partir de semillas de papaya**

El proceso de obtención de biodiésel a base de semillas de papaya sigue cuatro etapas: la extracción del aceite; en esta primera etapa según diversos autores se necesita un pretratamiento que consiste en 3 pasos (acondicionamiento, secado, reducción de tamaño de partícula), refinación del aceite, transesterificación del aceite y posterior purificación (4).

**Obtención del aceite.** - El aceite contenido en la semilla se obtiene mediante las siguientes etapas:

- **Acondicionamiento de la semilla**

La semilla de papaya presenta como primera capa una textura gelatinosa (sarcostesta) esta es removida manualmente mediante lavados simultáneos hasta remover esta capa.

- **Secado**

Esta semilla es secada mediante el sol o estufa hasta color marrón para poder trabajar con la semilla pulverizada.

- **Reducción de tamaño de partícula**

Para facilitar la superficie de contacto entre el solvente y la semilla pulverizada se reduce el tamaño de partícula mediante molienda o trituración de la semilla y luego pasa por una malla tamiz.

- **Extracción mecánica**

Mediante trabajo mecánico, sea por prensado o extrusión (49) se extrae aceite crudo directamente de las semillas oleaginosas con pretratamiento, quedando una fase sólida (pasta o torta) que posee una cierta cantidad de aceite residual, la cual se extrae mediante solventes.

- **Extracción por solventes o método Soxhlet**

Según diversos autores se extrae principalmente por el uso del hexano, pero también es obtenido por otros solventes como el isopropanol (3) y éter de petróleo (4).

El método soxhlet se basa en el principio extracción sólido- líquido donde las semillas pulverizadas son envueltas en papel filtro en el equipo Soxhlet y se coloca el solvente en el matraz para la extracción de aceite durante un tiempo (3-8 horas) y temperatura determinada.

- **Refinación o purificación del aceite**

Permite remover las impurezas del solvente y malos olores mediante destilación o evaporación (uso de rotavapor), y eliminar los sedimentos formados en el aceite mediante filtración y centrifugación.

**Transesterificación.** - El método más usado para la obtención de biodiésel es el proceso de transesterificación. Para llevar a cabo esta reacción, se mezcla en un reactor en la proporción de 6:1-11:1 el solvente (metanol o etanol generalmente) /aceite extraído, en presencia de un catalizador alcalino (NaOH o KOH), sometido a temperaturas entre 40°C y 70°C.

**Purificación del biodiésel.** - El biodiésel crudo obtenido contiene impurezas y residuos de los solventes utilizados. Por ello se somete a diferentes procedimientos para obtener el biodiésel:

- Separación de fases primaria y secundaria por decantación
- Separación de fases por centrifugación
- Sedimentación
- Secado por rotavapor para la eliminación de solvente residual.

#### ***2.3.4. Efecto de las variables del proceso de transesterificación***

Las principales variables que afectan el proceso de transesterificación en nuestro proceso es la relación molar solvente/ aceite, tipo de solvente, concentración del catalizador y temperatura, pero algunos autores sugieren que el tiempo y velocidad de reacción pueden ser influyentes.



- **Naturaleza del aceite**

Un alto contenido de humedad y AGL en el aceite puede provocar rancidez, oxidación y malos olores. Así como fomentar la formación de jabones (saponificación) en lugar de la transesterificación.

- **Relación molar solvente/ aceite**

Estequiométricamente, se utilizan tres moles de alcohol por cada mol de triglicérido (3:1), pero esta relación mínima no genera buenos resultados. En un proceso de transesterificación real se necesita un exceso de alcohol (relaciones molares mayores a la estequiométrica). La relación molar óptima en catálisis básica es entre 6:1-11:1 con rendimientos superiores a 96%. Para catálisis ácida la relación es inversa. (79).

- **Tipo de solvente.**

Se pueden utilizar diversos alcoholes como etanol, metanol, propanol, pero es del metanol que se tiene mejor data porque luego de obtener el aceite se forma una emulsión que se divide en dos capas y mediante la etapa de purificación se puede remover. Mientras que el uso de otros solventes genera mayor dificultad para remover esta emulsión (55).

- **Tipo y concentración del catalizador**

El tipo de catalizador depende de la naturaleza del aceite utilizado (contenido de AGL y agua) (88) para producir altas conversiones: los catalizadores ácidos son para aceites con alto contenido de AGL y agua. Mientras que los catalizadores básicos son para aceites de bajo contenido de AGL y humedad, los más comunes son el KOH, NaOH y metóxidos como CH<sub>3</sub>ONa o CH<sub>3</sub>OK.

- **Tiempo de reacción**

La reacción de transesterificación aumenta con el tiempo, los primeros minutos no se observan grandes cambios. Cuando se usa metanol se requiere menor tiempo en comparación con el etanol en condiciones operativas similares, ya sea en catálisis ácida o alcalina y se obtiene el mismo rendimiento (56).

- **Temperatura de reacción**

El rendimiento y la temperatura tienen una relación proporcional, pero relación inversa con el tiempo de reacción. Para reacciones con un catalizador básico se trabaja con temperatura entre 40 °C a 70 °C debido al punto de ebullición del metanol. Mientras que para una transesterificación ácida supera los 100 °C.

- **Velocidad de reacción**

Tiene relación directamente proporcional con la temperatura y el tiempo.

La reacción de transesterificación presenta dos regiones, la primera región predomina la transferencia de masa que aumenta por la agitación por la diferencia de fases entre reactivos y pierde influencia cuando inicia la reacción con la formación de metil ésteres y la segunda región es dominada por la cinética de reacción. (77). Se obtienen rendimientos altos con velocidades de agitación entre 360 y 600 rpm (55), debido a que a velocidades mayores a 360 rpm se supera el valor mínimo del número de Reynold de 10.000 (2). La forma de realizar el movimiento de agitación también afecta al rendimiento (88), el rendimiento aumentó cuando se realiza agitación magnética a una agitación mecánica.

### ***2.3.5. Influencia de los ácidos grasos y las propiedades del biodiésel***

Según (81) existe una relación proporcional con el valor de saponificación del aceite e inversa entre el contenido de ácidos grasos libres (AGL) con la calidad del aceite, dependiendo el % de AGL se escoge el tipo de catalizador y se somete a operaciones de purificación al aceite obtenido.

### ***2.3.6. Efecto de las variables de operación en el proceso de obtención de aceite***

- **Variedad de la papaya**

Las variedades de papaya cultivadas en Perú son: “Criolla normal”, que representa casi la totalidad; “Maragol”; y “Papaya Tingo María 33” (87). La cantidad de semillas depende de la variedad, las variedades mejoradas (Golden, Hawaiana) presentan menos semillas. Sin embargo, la variedad no influye en el

% de rendimiento de aceite obtenido. Según se muestra en la tabla 11 se tiene un rendimiento similar indistinto de la variedad:

**Tabla 11**

*Contenido de aceite obtenido de diferentes variedades de semilla de papaya*

Variedad	Origen	Rendimiento (%)	Referencia
Batek	Malasia	30.7	Puangsri <i>et al.</i> (2005)
Kaeg-dum	Hawái	28.3	Piyawadee (2008)
Formosa	Brazil	28.08-29.16	Malacrida <i>et al.</i> (2011); De Melo & de Souza (2016)
Sesaki	Hong Kong	27	Yanty <i>et al.</i> (2014)
Hawaiian	Brazil	28.04	De Melo & de Souza (2016)
Golden	Brazil	28.03	De Melo & de Souza (2016)
Ekstotika	Hainan (China)	25.27	Zhang <i>et al.</i> (2018,2019)

Fuente: Tan *et al.* (2020)

- **Contenido de humedad en la semilla seca:** El contenido de humedad tiene relación inversa con la extracción del aceite, facilita la extracción si tiene un bajo contenido de humedad, porque aumenta la plasticidad en el prensado o trituración (acción lubricante) y alta permeabilidad. Según diversos autores la humedad de la semilla para la extracción a trabajar adecuada es menor a 8%.
- **Índice de yodo y acidez:** Según (45) un bajo valor de índice de yodo indica que el aceite está seco facilitando la obtención del biodiésel. Un valor alto de acidez indica que se somete a un pretratamiento al aceite obtenido.
- **Valor de saponificación:** Según (45) que indica que hay poca tendencia a que el aceite extraído se convierta en jabones durante el proceso de transesterificación para obtención de biodiésel.
- **Tipo de solvente:** Según la naturaleza del solvente ya sea etanol, isopropanol y hexano (3) se obtiene un mayor rendimiento en la extracción

del aceite según se muestra en la tabla 12, sin embargo (4) considera al éter de petróleo como mejor solvente.

**Tabla 12**

*Rendimiento del aceite de semillas de papaya preparadas según extracción de varios solventes (g/Kg)*

Solvente usado	Rendimiento (g/Kg)
Etanol	151
Acetona	286
n-Hexano	285
Etil acetato	290

Fuente: Lee (2011)

- **Temperatura:** Cuando se incrementa la temperatura tiene mayores rendimientos. Según diversos autores se considera la temperatura adecuada entre 45°C y 70°C porque a partir de esta última temperatura empieza a degradarse la calidad del aceite (oxidación)
- **Tiempo de contacto:** Un mayor tiempo de contacto con el solvente influye con la cantidad de aceite extraído de la semilla triturada.
- **Tamaño de partícula:** Numerosas investigaciones afirman que las semillas trituradas hasta un tamaño de partículas muy finas facilitan la extracción del aceite (11) por su porosidad reduciendo el tiempo de extracción.

En el presente trabajo de investigación se determinarán las condiciones óptimas para la obtención del biodiésel mediante la optimización del proceso de transesterificación a partir del aceite de semillas de papaya criolla. Tomando en cuenta los parámetros como la relación solvente/aceite, concentración del catalizador, temperatura y tiempo.

## 2.4 Definición de términos básicos

**Aceite:** (50) “Es una sustancia orgánica que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente extraído a partir de plantas o semillas oleaginosas”.

**Ácidos grasos libres:** (50) “Son moléculas formadas por una cadena hidrocarbonada lineal (apolar y lipófila), de un número par de átomos de carbono, unidas con un grupo carboxilo en un extremo, cuenta con cadenas de número par de carbono”.

**Biodiésel:** (36) “Es una fuente alternativa de los combustibles convencionales que con su uso disminuye las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de azufre e hidrocarburos aromáticos policíclicos”.

**Optimización:** Es una metodología de naturaleza experimental y de modelamiento que tiene como objetivo determinar las condiciones óptimas de un proceso. (38) La metodología de superficie de respuesta requiere: diseño, modelo y técnica de optimización. El diseño y el modelo se realizan simultáneamente y está sujeto a la respuesta esperada según el tipo de comportamiento (63).

**Semillas:** (3) “Son subproductos que se descartan luego del consumo del fruto o la elaboración de productos procesados. Sin embargo, poseen una gran cantidad de propiedades que pueden ser aprovechadas para otra finalidad”.

**Transesterificación:** (84) “El método más utilizado para la obtención de biodiésel es la reacción de transesterificación de aceites y grasas con alcoholes de bajo peso molecular (alcohólisis) en presencia de un catalizador adecuado”.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### **Hipótesis general**

Las condiciones óptimas del proceso de transesterificación permitirán obtener biodiésel de alta pureza a partir del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales.

##### **Hipótesis específicas**

Es posible determinar las características fisicoquímicas del aceite contenido en las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales influyen positivamente en la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiésel.

Existe influencia de los parámetros de operación en el proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención de biodiésel.

##### **3.1.1. Operacionalización de variables**

Las hipótesis de la presente investigación poseen las siguientes variables, donde se obtuvo una variable dependiente y dos independientes. Las variables analizadas fueron del tipo cuantitativo.

##### **Definición conceptual de variables**

###### **Variable dependiente**

Y = Biodiésel purificado

Es un biocombustible líquido proveniente de fuentes alternativas con propiedades termofísicas que se cuantifica mediante la cantidad de biodiésel obtenido y se evalúa según su grado de pureza como resultado del proceso de transesterificación.

$$y = F(x_1, x_2)$$

### **Variables independientes**

*F(x1) = Características fisicoquímicas del aceite de semillas de papaya criolla*

Las semillas de papaya provenientes de residuos agroindustriales, que carecen de valor económico, están constituidas por un alto contenido de aceite y ácidos grasos del cual se analizó sus propiedades fisicoquímicas.

*F(x2) = Parámetros en el proceso de transesterificación*

Son las condiciones en el proceso de transesterificación a partir del aceite proveniente de los residuos de las semillas de papaya criolla y establecer un patrón adecuado.

**Tabla 13**

*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	MÉTODO	TÉCNICAS
<p><i>Variable dependiente:</i></p> <p>F (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>) = Biodiésel purificado</p>	<p>Es un biocombustible líquido proveniente de fuentes alternativas con propiedades termofísicas que se cuantifica mediante la cantidad de biodiésel obtenido y se evalúa según su grado de pureza como resultado del proceso de transesterificación.</p>	<p>Mediante la medición de sus propiedades termofísicas y rendimiento obtenido se hace uso de métodos instrumentales y observacionales que cumplan la norma ASTM.</p>	<p>y<sub>1</sub> = <i>Propiedades termofísicas del biodiesel</i></p>	<p>y<sub>1.1</sub>= <i>Poder calorífico</i>                      y<sub>1.2</sub>= <i>Viscosidad</i>                      y<sub>1.3</sub>= <i>PH</i>                      y<sub>1.4</sub>=<i>Número de acidez</i>                      y<sub>1.5</sub>=<i>Cenizas sulfatadas</i>                      y<sub>1.6</sub>=<i>Glicerol total y libre</i>                      y<sub>1.7</sub>=<i>Determinación de contenido de Azufre</i>                      y<sub>1.8</sub>=<i>Contenido de humedad</i>                      y<sub>1.9</sub>=<i>Punto de inflamación</i></p>	<p>y<sub>1.1</sub>= <i>Kcal/Kg</i>                      y<sub>1.2</sub>= <i>cSt (mm<sup>2</sup>/s)</i>                      y<sub>1.3</sub>= [ ]                      y<sub>1.4</sub>= %                      y<sub>1.5</sub>= %                      y<sub>1.6</sub>=%                      y<sub>1.7</sub>=%                      y<sub>1.8</sub>=%                      y<sub>1.9</sub>=°C</p>	<p>y<sub>1.1</sub>= <i>Instrumentales</i>                      y<sub>1.2</sub>= <i>Instrumentales</i>                      y<sub>1.3</sub>= <i>Instrumentales</i>                      y<sub>1.4</sub>= <i>Observacional</i>                      y<sub>1.5</sub>= <i>Observacional</i>                      y<sub>1.6</sub>= <i>Instrumentales</i>                      y<sub>1.7</sub>= <i>Observacional</i>                      y<sub>1.8</sub>= <i>Observacional</i>                      y<sub>1.9</sub>= <i>Observacional</i></p>	<p>y<sub>1.1</sub>= <i>Calorimetría</i>                      y<sub>1.2</sub>= <i>Viscosimetría</i>                      y<sub>1.3</sub>= <i>Potenciometría</i>                      y<sub>1.4</sub>= <i>Volumetría</i>                      y<sub>1.5</sub>= <i>Gravimetría</i>                      y<sub>1.6</sub>=<i>Cromatografía</i>                      y<sub>1.7</sub>=<i>Volumetría</i>                      y<sub>1.8</sub>=<i>Gravimetría</i>                      y<sub>1.9</sub>=<i>Termometría</i></p>
<p><i>Variables independientes:</i></p> <p>F(x<sub>1</sub>) = Características del aceite de semillas de papaya</p> <p>F(x<sub>2</sub>) = Parámetros en el proceso de transesterificación</p>	<p>Las semillas de papaya provenientes de residuos agroindustriales, que carecen de valor económico, están constituidas por un alto contenido de aceite y ácidos grasos del cual se analizó sus propiedades fisicoquímicas.</p> <p>Son las condiciones en el proceso de transesterificación a partir del aceite proveniente de los residuos de las semillas de papaya criolla y establecer un patrón adecuado.</p>	<p>Se evalúa mediante la cuantificación del volumen obtenido, composición de AGL y la medición de sus propiedades fisicoquímicas.</p> <p>Para la determinación de parámetros se hace uso de métodos matemáticos y observacionales</p>	<p>x<sub>1.1</sub>= <i>Contenido de aceite</i>                      x<sub>1.1.1</sub>= <i>Rendimiento de aceite extraído</i>                      x<sub>1.2</sub> = <i>Composición de ácidos grasos libres (AGL)</i>                      x<sub>1.3</sub> = <i>Propiedades fisicoquímicas</i></p> <p>x<sub>2.1</sub> = <i>Concentración del catalizador KOH</i>                      x<sub>2.2</sub>= <i>Relación Metanol/aceite</i>                      x<sub>2.3</sub>=<i>Condiciones operativas</i></p>	<p>x<sub>1.1</sub>=<i>Volumen de aceite obtenido</i>                      x<sub>1.1.1</sub>=%                      x<sub>1.2</sub>= %<i>total de AGL</i>                      x<sub>1.3.1</sub> =<i>Densidad</i>                      x<sub>1.3.2</sub> =índice de acidez                      x<sub>1.3.3</sub> =índice de saponificación                      x<sub>1.3.4</sub> =índice de refracción                      x<sub>1.3.5</sub> =Humedad</p> <p>x<sub>2.1</sub> = (volumen de la solución) %                      x<sub>2.2</sub>= <i>cantidad de metanol/Cantidad de Aceite obtenido</i>                      x<sub>2.3</sub> = <i>Temperatura de reacción de transesterificación</i>                      x<sub>2.4</sub>= <i>Tiempo de reacción</i></p>	<p>x<sub>1.1</sub> = ml                      x<sub>1.1.1</sub>= <math>\frac{\text{aceite obtenido}}{\text{peso de semillas}} \times 100</math>                      x<sub>1.2</sub>=%                      x<sub>1.3.1</sub> =g/ml                      x<sub>1.3.2</sub> =mgNaOH/g                      x<sub>1.3.3</sub> =mgKOH/g                      x<sub>1.3.4</sub> =                      x<sub>1.3.5</sub> =%</p>	<p>x<sub>1.1</sub> = <i>Observacional</i>                      x<sub>1.1.1</sub> = <i>Método matemático</i>                      x<sub>1.2</sub>=<i>Instrumentales</i>                      x<sub>1.3.1</sub> = <i>Observacional</i>                      x<sub>1.3.2</sub> = <i>Observacional</i>                      x<sub>1.3.3</sub> = <i>Observacional</i>                      x<sub>1.3.4</sub> = <i>Instrumental</i>                      x<sub>1.3.5</sub> = <i>Observacional</i></p> <p>x<sub>2.1</sub> = <i>Cálculos matemáticos</i>                      x<sub>2.2</sub>= <i>Cálculos matemáticos</i>                      x<sub>2.3</sub>=<i>Observacional</i>                      x<sub>2.4</sub>= <i>Observacional</i></p>	<p>x<sub>1.1</sub> = <i>volumetría</i>                      x<sub>1.1.1</sub>=%                      x<sub>1.2</sub>=<i>Cromatografía</i>                      x<sub>1.3.1</sub>= <i>Densimetría</i>                      x<sub>1.3.2</sub>=<i>Titulación</i>                      x<sub>1.3.3</sub> = <i>Volumetría</i>                      x<sub>1.3.4</sub> =<i>Refractometría</i>                      x<sub>1.3.5</sub> =<i>Gravimetría</i></p> <p>x<sub>2.1</sub> = %                      x<sub>2.2</sub>= ml/L                      x<sub>2.3</sub>=<i>Termometría</i>                      x<sub>2.4</sub>= <i>Cronometría</i></p>



## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

La presente investigación según su propósito es de tipo aplicado, debido a que busca aplicar un proceso para la obtención de biodiésel a partir de la transesterificación del aceite de las semillas de papaya.

Por su diseño interpretativo es experimental, porque se manipulan, observan y controlan las variables independientes que tienen como respuesta a la variable dependiente.

Por el enfoque de los datos es del tipo cuantitativo puesto que las variables estudiadas son medibles o cuantificables, continuas y de razón.

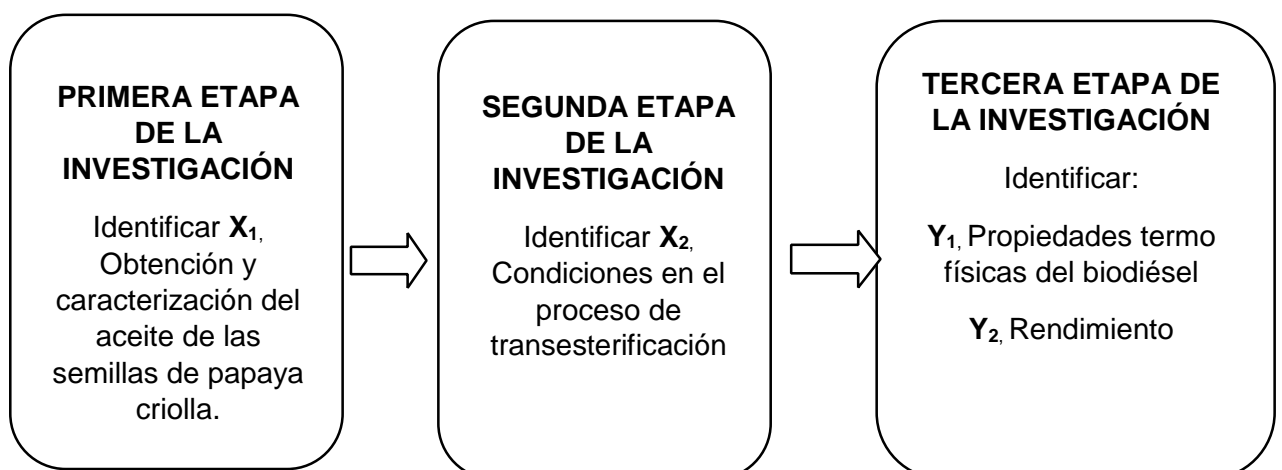
Según el nivel de investigación es del tipo predictivo debido al pronóstico de datos mediante el modelamiento de matriz de superficie de respuesta y según el tiempo en que se realiza es transversal.

### 4.2. Método de investigación

En el desarrollo de la presente investigación fueron consideradas las diferentes etapas con sus respectivos procesos para la obtención del biodiésel a partir de semillas de papaya. Tal como se observa en la figura 11:

**Figura 11**

*Diseño de la investigación*



#### **4.2.1. Método**

A) **Primera etapa de la investigación:** Ensayos experimentales de obtención del aceite

En esta etapa de la investigación, de acuerdo a la revisión de la teoría concerniente a las variables de investigación, se realizó la obtención del aceite a partir de las semillas de papaya.

Esta etapa consiste en el pretratamiento de las semillas de papaya: lavado de 10-20Kg aproximadamente y selección de partículas extrañas en las semillas, secado en estufa por 3 horas a 100°C que se obtuvo 3kg de semilla seca, reducción de tamaño de partícula mediante molienda o trituración y posterior tamizado con malla tamiz 20 (0.845mm) para obtener la semilla pulverizada de papaya.

Se realizan corridas de 180 ml de éter de petróleo por 20g de semilla pulverizada en cada dedal (relación 1:9 de solvente de extracción) durante 3 horas para la extracción de aceite por sistema soxhlet. Posterior a la extracción del aceite se pasa por la etapa de purificación del aceite (eliminación del solvente y remanentes de la materia prima). Por último, la caracterización fisicoquímica para recopilar la información nos permitirá conocer los datos experimentales vinculados a la variable X1, características del aceite de semillas de papaya.

**B) Segunda etapa de la investigación: Pruebas experimentales de transesterificación del aceite**

En esta etapa de la investigación se realizarán corridas experimentales en el laboratorio para obtener datos vinculados a la variable X2, las condiciones en el proceso de transesterificación.

En este proceso se emplea un reactor donde se mezcla en la proporción de 6:1,8:1 y 10:1 de solvente (metanol) y el aceite extraído en presencia de un catalizador alcalino (KOH) con concentraciones molares de 0.5, 1.0 y 1.5 %

sometido a temperaturas entre 45°C, 55 y 65°C durante determinados tiempos 60, 90 y 120 min, debido a los remanentes se purifica el biodiésel obtenido mediante decantación por 8 horas, centrifugación, lavados múltiples con agua a 60°C, secado y filtración. Se realiza la caracterización del biodiesel purificado mediante la determinación de sus propiedades termofísicas.

**C) Tercera etapa de la investigación: Procesamiento estadístico de datos experimentales**

Mediante los datos obtenidos en las etapas anteriores y el tratamiento de los resultados referidos a la obtención del biodiesel purificado a partir del aceite de semillas de papaya, se realizará un análisis de esta información a través de la aplicación de procedimientos estadísticos y de forma gráfica mediante DOE (matriz de superficie de respuesta) para la optimización de los parámetros y evaluar el rendimiento. Para el estudio de la optimización de las condiciones en el proceso de transesterificación para la obtención del biodiesel se realizó experimentos a nivel de laboratorio tomando en consideración variables cuantitativas. Se consideró 4 factores, el primero fue la concentración del catalizador con tres niveles, el segundo la relación del metanol/ aceite con tres niveles, temperatura con 3 niveles y tiempo de reacción tal como se muestra en la tabla 14:

**Tabla 14**

*Niveles de los factores*

Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Temperatura	A1	A2	A3
Concentración del catalizador	B1	B2	B3
Tiempo de reacción	C1	C2	C3
Relación metanol/aceite	D1	D2	D3

El experimento factorial resultante necesitara de 3<sup>4</sup> corridas experimentales, donde cada corrida fue una condición experimental para la obtención del biodiesel purificado; cada una de éstas se realizará por triplicado como se muestra en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Diseño de experimentos*

N° de experie ncia	Variables				Vector Respuesta
	Tiempo	Temperatura	Concentración del catalizador	Relación metanol/aceite	Rendimiento %
1	C1	A1	B1	D1	C1A1B1D1
2	C1	A2	B1	D1	C1A2B1D1
3	C1	A3	B1	D1	C1A3B1D1
4	C2	A1	B1	D1	C2A1B1D1
5	C2	A2	B1	D1	C2A2B1D1
6	C2	A3	B1	D1	C2A3B1D1
7	C3	A1	B1	D1	C3A1B1D1
8	C3	A2	B1	D1	C3A2B1D1
9	C3	A3	B1	D1	C3A3B1D1
...					.....
81	C3	A3	B3	D3	C3A3B3D3

Mediante el método de Cribado se podrá reducir la cantidad de experimentos a 39 como se muestra en la tabla 16 para determinar las condiciones óptimas en el proceso de transesterificación.

**Tabla 16**

*Diseño experimental según método de Cribado*

N° de experien cia	Condiciones				Respuesta
	Temperatura (°C)	Concentración del catalizador	Tiempo (min)	Relación metanol/aceite	Rendimiento %
1	45	0,5	90	6:1	
2	55	0,5	60	6:1	
3	65	1	120	6:1	

4	45	1,5	120	6:1
5	65	1,5	60	6:1
6	65	0,5	120	8:1
7	55	1	90	8:1
8	45	1,5	60	8:1
9	45	0,5	120	10:1
10	65	0,5	60	10:1
11	45	1	60	10:1
12	55	1,5	120	10:1
13	65	1,5	90	10:1
14	45	0,5	90	6:1
15	55	0,5	60	6:1
16	65	1	120	6:1
17	45	1,5	120	6:1
18	65	1,5	60	6:1
19	65	0,5	120	8:1
20	55	1	90	8:1
21	45	1,5	60	8:1
22	45	0,5	120	10:1
23	65	0,5	60	10:1
24	45	1	60	10:1
25	55	1,5	120	10:1
26	65	1,5	90	10:1
27	45	0,5	90	6:1
28	55	0,5	60	6:1
29	65	1	120	6:1
30	45	1,5	120	6:1
31	65	1,5	60	6:1
32	65	0,5	120	8:1
33	55	1	90	8:1
34	45	1,5	60	8:1
35	45	0,5	120	10:1
36	65	0,5	60	10:1
37	45	1	60	10:1
38	55	1,5	120	10:1
39	65	1,5	90	10:1

---

#### **4.3. Población y muestra**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se recolectarán muestras diariamente de semillas frescas de papaya procedente de los subproductos de las industrias agroindustriales como residuos de las juguerías, ubicadas en el distrito de Callao, Provincia constitucional de Callao, departamento de Lima y diferentes distritos de la capital limeña.

La cantidad de muestra utilizada está limitada de acuerdo a la cantidad de semillas recolectadas en Lima, se tiene que la cantidad producida total de papaya en Perú (186 mil TN), además el 31.32% representa el destino a Lima y el 17% la proporción de semilla. Siendo 27 132 kg diarios de población que se tomara en cuenta para la población como se indica a continuación:

Cantidad de restos de semillas de papaya criolla: 10kg

Cantidad de semillas de papaya criolla pulverizada: 5-6Kg

Cantidad de aceite que se necesita para proceso de transesterificación: 2 L

#### **4.4. Lugar de estudio y período desarrollado**

Las corridas experimentales se realizaron en el Laboratorio de Investigación e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao y laboratorios de una empresa de consumo masivo donde se realizan análisis fisicoquímicos y sensoriales en el distrito de los Olivos y San Martín de Porres, el cual cuenta con todos los equipos e instrumentos necesarios para el correcto desarrollo. Fue ejecutado durante el período aproximado de cuatro meses comprendidos desde agosto a noviembre del 2023.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información**

El desarrollo del presente trabajo de investigación utilizó técnicas, procedimientos e instrumentos para la observación y registro de datos requeridos en cada etapa de investigación, los cuales se mencionan a continuación:

##### **4.5.1. Técnicas**

###### ***Análisis proximal de las semillas de papaya***

###### **a. Determinación de humedad**

Mediante el método de la termobalanza según la AOAC 947.05

###### **b. Determinación de materia grasa**

Extracción con éter: siguiendo el método oficial de la AOAC N°. 960.39

###### ***Caracterización del aceite extraído***

###### **a. Índice de refracción**

Se siguió el procedimiento del método oficial según AOCS Cc 7-25. Índice de refracción de aceites y grasas haciendo uso de un refractómetro de Abbé.

###### **b. Índice de acidez**

Se siguió el procedimiento del método oficial según AOCS Cd 3d-63

###### **c. Índice de saponificación**

Se siguió el procedimiento según ISO 3657 (2013)

###### **d. Determinación de densidad**

Se siguió el procedimiento según AOCS Ce 10c-95

###### **e. Contenido de humedad y materia volátil**

Se siguió el procedimiento del método oficial AOAC 926.12 Humedad y materia volátil en aceites y grasas. Método del horno al vacío (AOAC INTERNATIONAL, 2012).

**f. Composición de ácidos grasos**

Se determinó la composición de ácidos grasos según la norma AOAC-996.06

***Análisis de biodiesel***

**a. Numero de acidez**

Se determinó según la norma ASTM D-664

**b. Determinación de viscosidad cinemática a 40°C**

Se determinó según la norma ASTM D445

**c. Cenizas sulfatadas**

Se realizó según la norma ASTM D-874

**d. Glicerol total y libre**

Se determinó según la norma AOCS Ca 14-56

**e. Determinación de contenido de Azufre**

Se determinó según la norma ASTM D-1552

**f. pH**

Se realizó según la norma ASTM D7946

**g. Contenido de humedad**

Se determinó según el método Karl Fisher

**h. Punto de inflamación**

Se determinó según la norma ASTM D93

**i. Poder calorífico**

Se determinó según la norma ASTM D5865

**4.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la presente investigación se necesitaron de equipos, materiales, insumos y reactivos los cuales se mencionan a continuación.



### **a) Equipos**

- Balanza analítica MS-TS (<320 g)
- Balanza de determinación de humedad PCE-MB 111C
- Reactor con sensores de temperatura de 4L
- Potenciómetro OAKTON (-2 a 16)
- Centrifugadora de alta velocidad (>20000 rpm)
- Estufa Memmert 20-250°C.
- Agitador magnético refrigerado ANS-020 (>-10°C)
- Refractómetro Abbe
- Densímetro

### **b) Materiales**

- Equipo de extracción soxhlet (incluye refrigerante, balón de destilación, cámara de extracción y manta calentadora)
- Vasos de precipitado (250, 500 y 1000 ml)
- Bureta (50 ml)
- Matraz aforado (50, 100, 250, 500, 1000 ml)
- Probeta (100, 250, 500 ml)
- Pipeta (1, 5, 10 ml)
- Propipetas
- Bagueta
- Embudo de decantación
- Soporte universal
- Pirómetro
- Mortero

- Malla tamiz 20

### **c) Reactivos**

- Hidróxido de potasio
- Metanol Grado ACS
- NaOH
- Éter de petróleo
- Agua destilada

### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Con los datos obtenidos experimentalmente se realizó un análisis de varianza mediante ANOVA con 0.05 de nivel de significancia utilizando el software Minitab 19, a fin de determinar si los tratamientos (temperatura, tiempos, concentración de catalizador, relación metanol: aceite) o la interacción de estos, tienen un efecto en el % de rendimiento del biodiesel, así como las propiedades termofísicas del biodiesel con el cual se obtendrá el modelo que tenga mejor correlación.

### **4.7 Aspectos éticos en Investigación**

El presente trabajo de investigación ejecuta a cabalidad los lineamientos éticos establecidos, incluyendo la veracidad de los resultados obtenidos por medio de laboratorios certificados e instrumentos calibrados. Esta investigación se realizó considerando el respeto hacia los derechos de los autores, presentando originalidad y utilidad, tomando la responsabilidad de todo tipo de información propuesta.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Caracterización de semillas de papaya

Los resultados de humedad y materia grasa se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Caracterización de las semillas de papaya*

Análisis	Resultados Experimentales(%)
Humedad base húmeda	83.31
Humedad base seca	27.19
Humedad 100°C x 3 horas	5.58
Materia grasa	27.10*

Resultado obtenido de Laboratorio externo\*

**Tabla 18**

*Composición de ácidos grasos*

Ácido graso	(g/100g de muestra)	%
Ácido oleico	16,85	62,18%
Ácido palmítico	5,12	18,89%
Ácido palmitoleico	1,43	5,28%
Ácido linolénico	0,18	0,66%
Ácido linoleico	1,55	5,72%
Ácido esteárico	1,12	4,13%
Ácido eicosadienoico	0,84	3,10%
Otros ácidos	0,01	0,04%

De la tabla 18 considerar que el ácido oleico y palmitoleico son ácidos grasos monoinsaturados representando el 67,45%, el ácido palmítico y ácido esteárico son ácidos grasos saturados representando el 23.03%, el ácido linolenico, ácido linoleico y el ácido eicosadienoico son ácidos grasos poliinsaturados.

### 5.1.2. Resultados del análisis fisicoquímico del aceite

Los resultados experimentales del análisis fisicoquímico del aceite de semillas de papaya criolla se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19**

*Caracterización del aceite extraído*

Propiedades	Resultados
Contenido de humedad (%)	1.65
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	925
Acidez (mgNaOH/g)	0.916
Grado de refracción a 25°C	1.4641
Índice de saponificación (mgKOH/100g aceite)	171.6
%Ácidos grasos	0.458

### 5.1.3. Rendimiento del aceite de semillas de papaya obtenido

Se muestran la comparación del rendimiento del aceite obtenido por método Soxhlet con la semilla seca pulverizada sin tamizar y con tamizado (malla 20) en la tabla 20, para calcular el %rendimiento es necesario la ecuación 5:

$$\%Rendimiento\ de\ aceite = \frac{Cantidad\ de\ aceite\ obtenido}{Cantidad\ de\ semilla\ seca\ pulverizada} \times 100 \dots [5]$$

**Tabla 20**

*Comparación del rendimiento del aceite obtenido sin tamizar y con malla 20*

Tipo de tamiz	Malla 20	Sin tamiz
Rendimiento (%)	31.52	20.44

### 5.1.4. Resultados de procedimiento experimental

Para determinar el % rendimiento del biodiesel fue necesario usar la siguiente fórmula (ecuación 6) que se evidencian en los resultados en la tabla 21.

$$\%Rendimiento = \frac{Cantidad\ del\ biodiesel\ obtenido}{Cantidad\ del\ aceite\ usado} \times 100 \dots [6]$$

**Tabla 21***Matriz de resultados según diseño de experimentos por Cribado*

Temperatura (°C)	Concentración del catalizador	Tiempo (min)	Relación metanol/aceite	Rendimiento %
45	0,5	90	6:1	85,54
55	0,5	60	6:1	83,98
65	1	120	6:1	89,99
45	1,5	120	6:1	88,13
65	1,5	60	6:1	88,77
65	0,5	120	8:1	78,53
55	1	90	8:1	87,49
45	1,5	60	8:1	78,56
45	0,5	120	10:1	83,36
65	0,5	60	10:1	80,97
45	1	60	10:1	85,71
55	1,5	120	10:1	82,09
65	1,5	90	10:1	85,6
45	0,5	90	6:1	85,34
55	0,5	60	6:1	84,98
65	1	120	6:1	90,51
45	1,5	120	6:1	88,56
65	1,5	60	6:1	88,98
65	0,5	120	8:1	77,54
55	1	90	8:1	87,43
45	1,5	60	8:1	79,15
45	0,5	120	10:1	83,13
65	0,5	60	10:1	80,76
45	1	60	10:1	85,87
55	1,5	120	10:1	84,56
65	1,5	90	10:1	84,13
45	0,5	90	6:1	86,54
55	0,5	60	6:1	85,3
65	1	120	6:1	90,14
45	1,5	120	6:1	88,72
65	1,5	60	6:1	88,65
65	0,5	120	8:1	77,13
55	1	90	8:1	87,56
45	1,5	60	8:1	79,20
45	0,5	120	10:1	83,81
65	0,5	60	10:1	83,89
45	1	60	10:1	85,56
55	1,5	120	10:1	85,43
65	1,5	90	10:1	85,04

### 5.1.5. Caracterización del biodiesel obtenido

En la tabla 22 se muestran los resultados de análisis fisicoquímico según laboratorios externos del biodiesel obtenido a condiciones óptimas.

**Tabla 22**

*Caracterización del biodiesel obtenido a condiciones óptimas*

Propiedades	Resultados
Número de acidez (mgKOH/g)	0.22
Viscosidad cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	5.75
Cenizas sulfatadas (%m/m)	0.000102
Glicerol total (%m/m)	0.351
Glicerol libre (%m/m)	0.0145
Azufre(%m/m)	0.089
Contenido de humedad (%)	0.073
PH	5.76
Punto de inflamación (°C)	176.5
Poder calorífico (Kcal/Kg)	9555.9

### 5.2. Resultados inferenciales

Los experimentos se llevaron a cabo de acuerdo con el diseño de superficie de respuesta (DOE) para Cribado. La optimización del proceso de transesterificación se llevó a cabo utilizando 4 factores en tres niveles que requirieron un total de 39 corridas. Los factores, rangos y niveles de las variables investigadas se enumeran en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Rango experimental y niveles codificados para ANOVA.*

Factor	Unidad	Símbolo código	Rangos y niveles		
			-1	0	1
Temperatura	°C	A	45	55	65
Concentración catalizador	del %	B	0.5	1.0	1.5
Tiempo	min	C	60	90	120
Relación metanol/aceite	v/v	D	6:1	8:1	10:1

En la tabla 24 se muestra el análisis de varianza, se observa que la concentración del catalizador, tiempo de reacción y relación metanol: aceite afectan significativamente ( $p < 0.05$ ) al rendimiento del biodiesel. Además, la interacción y combinaciones entre concentración catalizador, relación metanol aceite y tiempo son estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) entre estos factores.

**Tabla 24**

*Análisis de varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	10	488.379	48.838	79.80	0.000
Lineal	4	142.945	35.736	58.39	0.000
Temperatura	1	0.397	0.397	0.65	0.428
Concentración catalizador	1	40.298	40.298	65.85	0.000
Tiempo Rx	1	4.256	4.256	6.96	0.013
Relación metanol/aceite	1	97.994	97.994	160.13	0.000
Cuadrado	4	236.187	59.047	96.49	0.000
Temperatura*Temperatura	1	1.134	1.134	1.85	0.184
Conc cataliz*Conc cataliz	1	162.979	162.979	266.32	0.000
Tiempo Rx*Tiempo Rx	1	3.572	3.572	5.84	0.022
Relación metanol/aceite*Relación metanol/aceite	1	43.193	43.193	70.58	0.000
Interacciones de 2 términos	2	42.576	21.288	34.79	0.000
Temperatura*Conc cataliz	1	2.679	2.679	4.38	0.046
Temperatura*Tiempo Rx	1	39.897	39.897	65.19	0.000
Error	28	17.135	0.612		
Falta de ajuste	2	0.162	0.081	0.12	0.884
Error puro	26	16.973	0.653		
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>505.515</b>			

El rendimiento del biodiesel obtenido a partir del aceite de semillas de papaya es controlado por 4 factores. Los factores fueron la relación molar metanol: aceite

(D), concentración de catalizador KOH (B), temperatura de reacción (A) y tiempo de reacción (C). La relación molar de metanol: aceite osciló entre 6:1 y 10:1, los niveles de concentración del catalizador fueron 0,5–1,5 % y se eligió el nivel de temperatura superior de 65 °C (punto de ebullición del metanol) y el nivel de temperatura más bajo era de 45°C. Culminados los experimentos, la variable respuesta (rendimiento de biodiesel) se aplicó en un modelo cuadrático completo para correlacionar la variable respuesta a la variable independiente (tabla 25). La forma completa del modelo cuadrático se muestra en la ecuación:

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_4D + b_{1,2}AB + b_{1,3}AC + b_{2,3}BC + b_{1,4}AD + b_{2,4}BD + b_{1,2,3}ABC + b_{1,2,4}ABD + b_{2,3,4}BCD + b_{1,3,4}ACD + b_{1,1}A^2 + b_{2,2}B^2 + b_{3,3}C^2 + b_{4,4}D^2$$

Donde Y es el factor de respuesta;  $b_0$  es una constante;  $b_1, b_2, b_3, b_4$  son coeficientes de regresión y A, B, C, D son variables independientes.

**Tabla 25**

*Resultado de cálculo de efectos en Minitab19 para el modelo de Cribado*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	87.493	0.452	193.72	0.000	
Temperatura	0.115	0.143	0.81	0.428	1.00
Conc. Catalizador	1.159	0.143	8.11	0.000	1.00
Tiempo Rx	0.377	0.143	2.64	0.013	1.00
Relacion metanol/aceite	-1.807	0.143	-12.65	0.000	1.00
Temperatura*Temperatura	-0.417	0.306	-1.36	0.184	1.06
Conc cataliz*Conc cataliz	-5.661	0.347	-16.32	0.000	1.36
Tiempo Rx*Tiempo Rx	-0.920	0.381	-2.42	0.022	1.64
Relación metanol/aceite*	3.478	0.414	8.40	0.000	1.94
Relación metanol/aceite					
Temperatura*Conc cataliz	0.473	0.226	2.09	0.046	2.00
Temperatura*Tiempo Rx	-1.671	0.207	-8.07	0.000	1.68



**Tabla 26**

*Resultado de factor de correlación experimental de modelo cuadrático*

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.782289	96.61%	95.40%	93.46%

De esta manera, podemos afirmar que la obtención del biodiesel a partir del proceso de transesterificación, la ecuación es la siguiente:

$$Y = 80.4 + 0.877 A + 42.41 B + 0.5028 C - 14.81 D - 0.00417 T^2 - 22.65 B^2 - 0.001022 C^2 + 0.869 D^2 + 0.0945 AB - 0.005571 AC$$

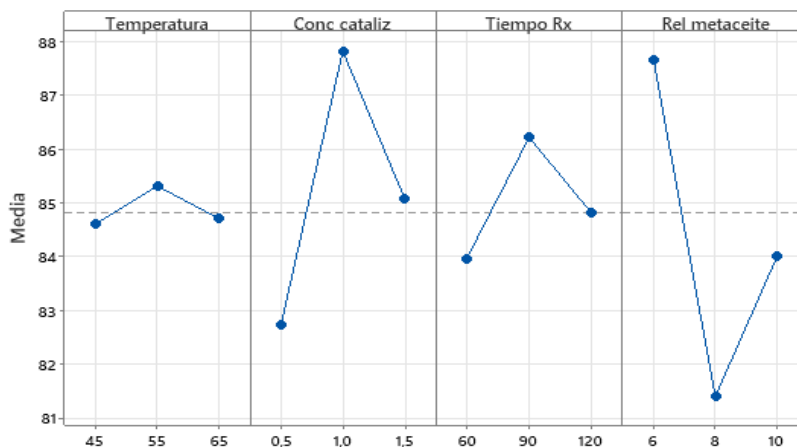
El factor de correlación ( $R^2 = 96.61\%$ ) mostrado en la tabla 26 indica que existe una confiabilidad de 96.61% de la respuesta observada (rendimiento del biodiesel) dependiente de los factores variables (A, B, C y D) definida mediante la ecuación cuadrática descrita.

En la tabla 25 muestra que el valor de la constante es 87.493, es decir alrededor de este valor han variado las respuestas de las diferentes combinaciones.

Mediante el software Minitab19 se representará el efecto de estos factores, así como sus combinaciones de forma más gráfica para una mejor interpretación de los resultados. A continuación, se presentan los diferentes gráficos:

**Figura 12**

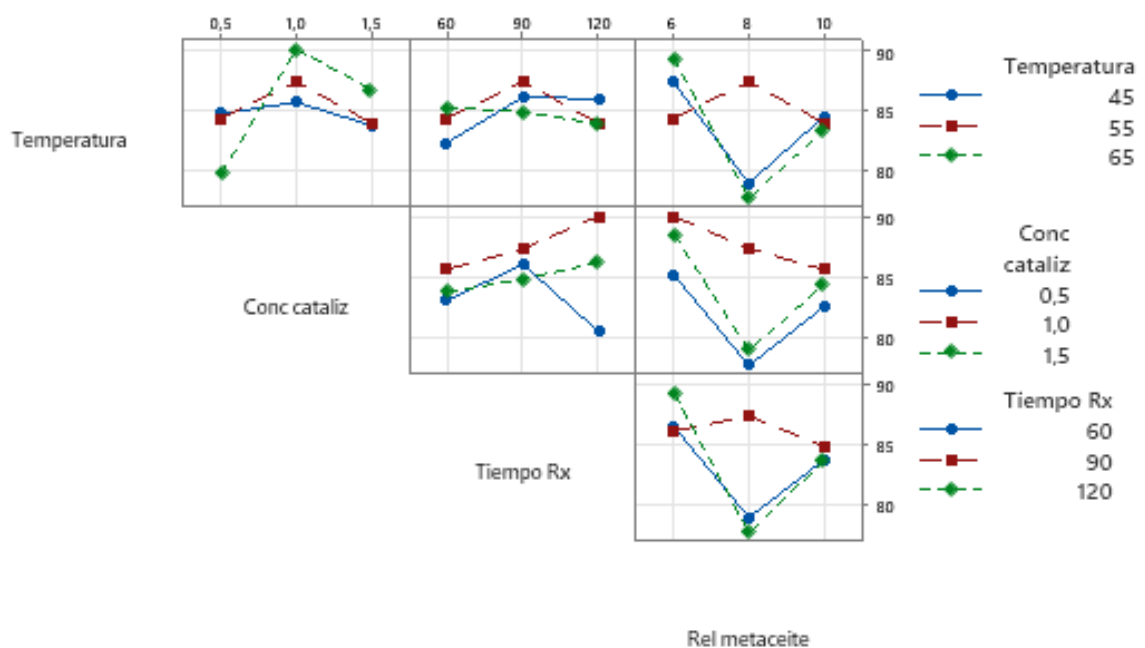
*Gráfica de efectos principales para el rendimiento del biodiesel*



En la figura 12 podemos observar los efectos principales de los factores, que son la concentración del catalizador y la relación metanol: aceite, seguido del tiempo de reacción. Además, en temperatura llega a un punto de mayor conversión que es a 55°C y luego decae, para la concentración del catalizador a 1% tiene mayor significancia en el rendimiento. Mientras que para el tiempo luego de transcurrir 90 min es donde tiene mayor significancia, decayendo el rendimiento si se somete a mayor tiempo y finalmente para el factor de solvente metanol: aceite la relación de mayor significancia es de 6:1, contrarrestando las otras relaciones. Por lo que podemos diferir que a partir de su nivel medio se tiene un efecto negativo en los factores de temperatura, concentración de catalizador y tiempo.

**Figura 13**

*Interacciones para rendimiento de biodiesel y temperatura, concentración de catalizador, tiempo de reacción y relación de metanol: aceite*

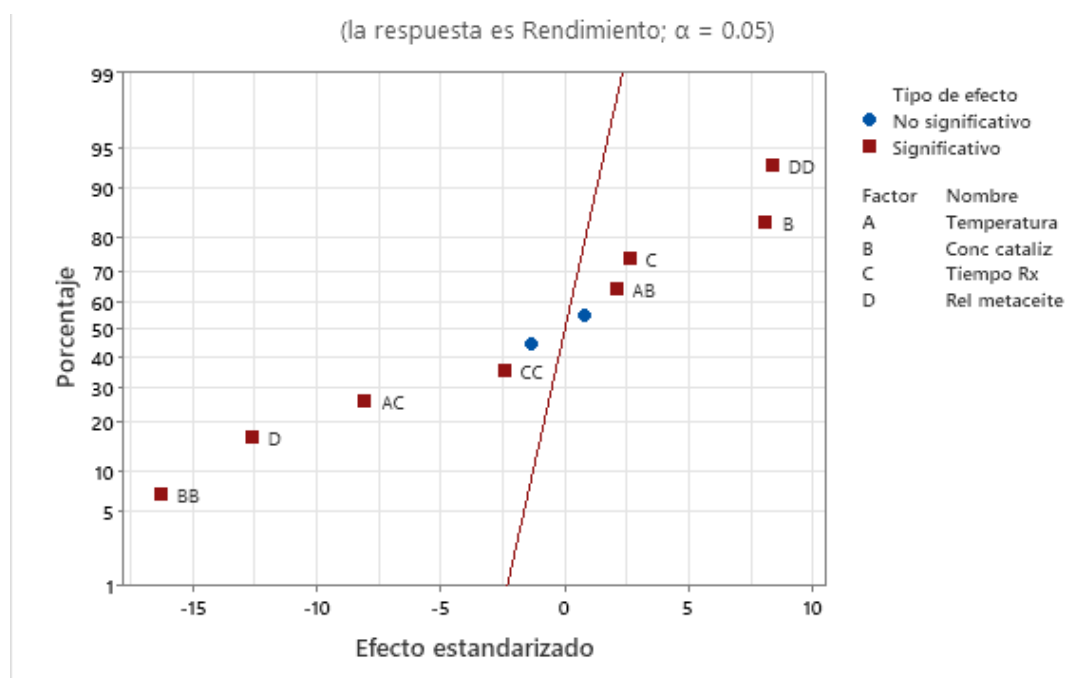


La figura 13 muestra la gráfica de interacción entre los cuatro factores, en lo referido a la interacción temperatura-concentración de catalizador se aprecia que las rectas se cruzan, crecen y decaen con similitud mostrando una gran relación, la interacción entre temperatura-tiempo de reacción muestra relevancia

de 60 a 90 min con temperaturas superiores a 55°C y a partir de los 90 min mantiene significancia estas relaciones, la interacción temperatura-relación metanol: aceite no tiene una significancia relevante, la interacción concentración de catalizador- tiempo muestra una gran relación con 1-1.5% de concentración de catalizador, la interacción concentración catalizador-relación metanol: aceite muestra relación entre los valores extremos de las relaciones de metanol: aceite. Finalmente, la interacción entre el tiempo y relación metanol: aceite no es significativa.

**Figura 14**

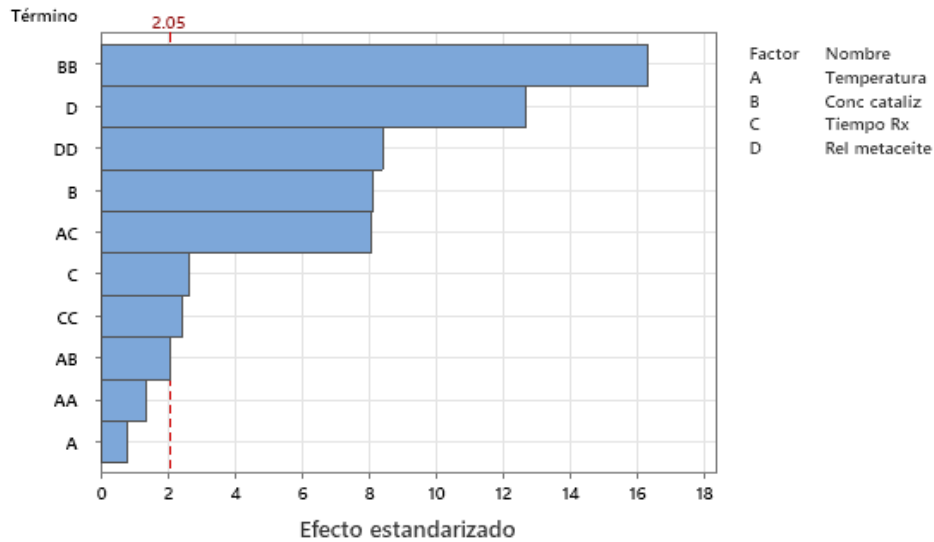
*Gráfica normal de los efectos*



En la figura 14 se muestra que el principal factor es la concentración del catalizador, seguido del tiempo y muy por debajo a estos factores el efecto entre la temperatura y concentración del catalizador.

**Figura 15**

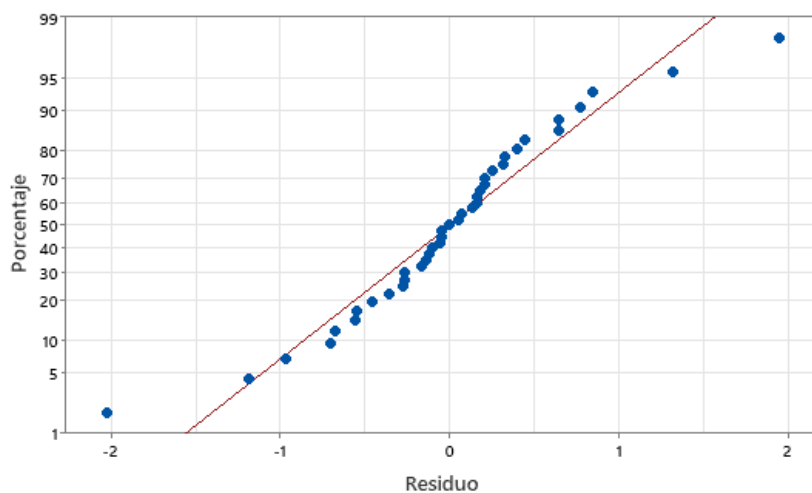
*Diagrama de Pareto de los efectos*



El diagrama de Pareto mostrada en la figura 15 presenta de mayor a menor significancia los factores y combinaciones, los que han superado la línea punteada de color rojo (valor= 2.05) muestran que factores tienen mayor significancia estadística para el proceso de transesterificación que son la combinación concentración del catalizador y relación metanol: aceite para obtener un mayor rendimiento de biodiesel.

**Figura 16**

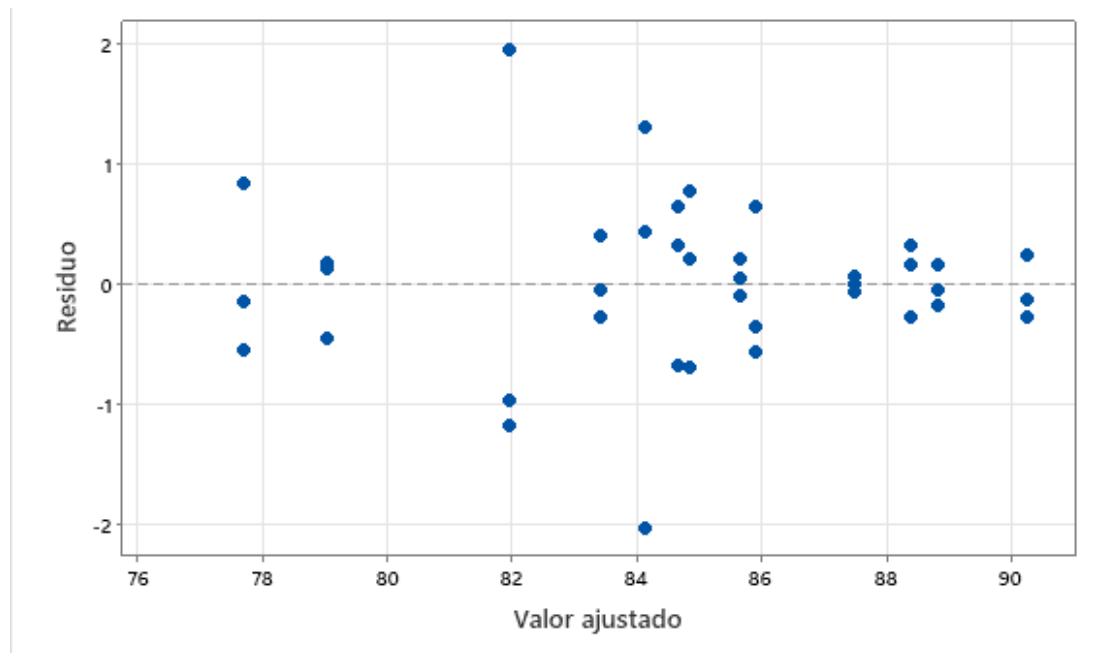
*Gráfica de probabilidad normal*



Mediante la figura 16 se verifica que los puntos se encuentran cercanos o se ajustan a la línea de normalidad, afirmando que el rendimiento del biodiesel y sus factores tienen una aparente distribución normal.

### Figura 17

Gráfica de residuos



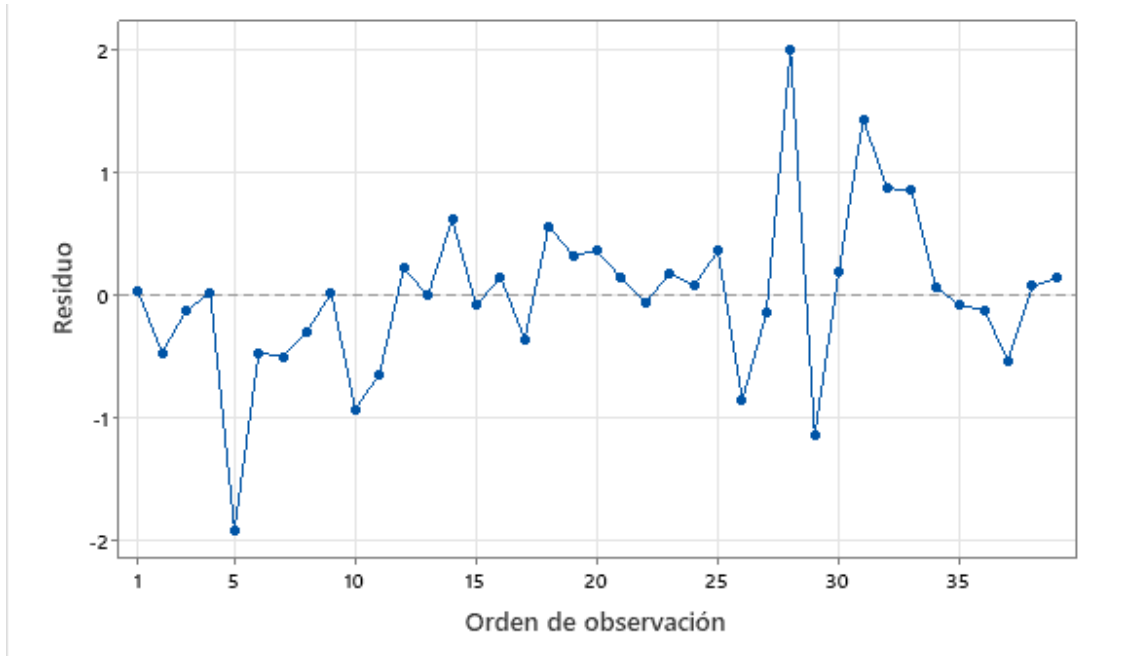
En la figura 17 gráfica de residuos ( $\text{error} = y - y'$ ) vs valor ajustado ( $y =$  rendimiento del biodiesel obtenido) muestra que los puntos (residuos o errores) no siguen una tendencia por ello se afirma que las varianzas son iguales (Homogeneidad).

En la figura 18 gráfica de residuos ( $\text{error} = y - y'$ ) vs orden de observaciones (N° de experimentos) se aprecia que están distribuidos de manera aleatoriamente lo que implica que son independientes no correlacionados, pero con cierta tendencia a 0, pero presentan cierta desviación los experimentos N°5 y el experimento ubicado entre la región de los experimentos N° 25-30.

En la figura 19 el histograma de residuos representa la asimetría y atipicidad en los datos.

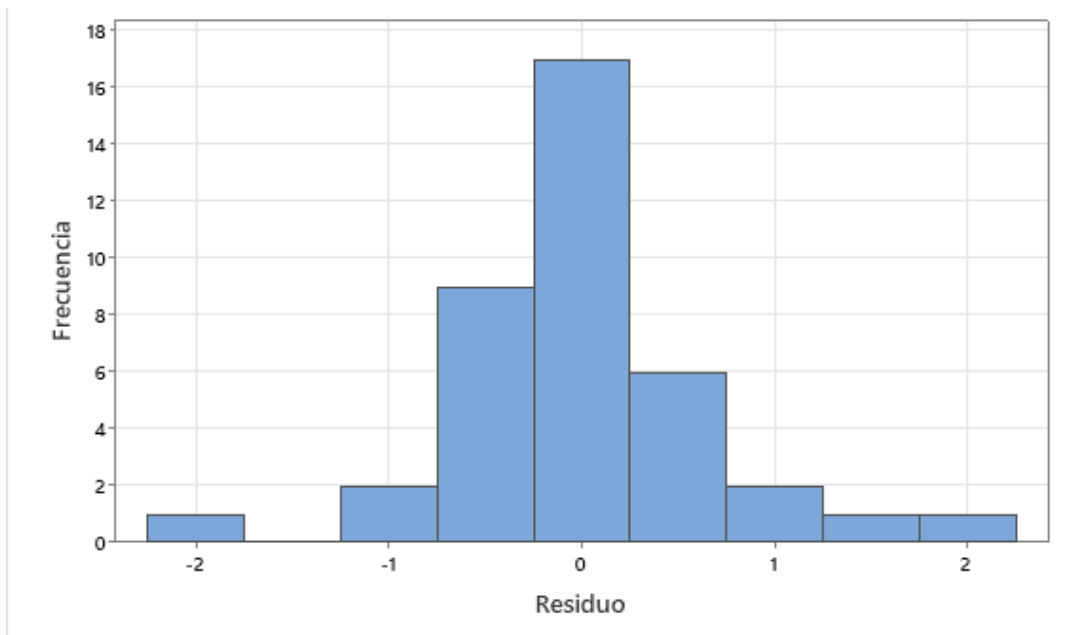
**Figura 18**

*Gráfica de residuos vs orden de observación*



**Figura 19**

*Histograma de los residuos*

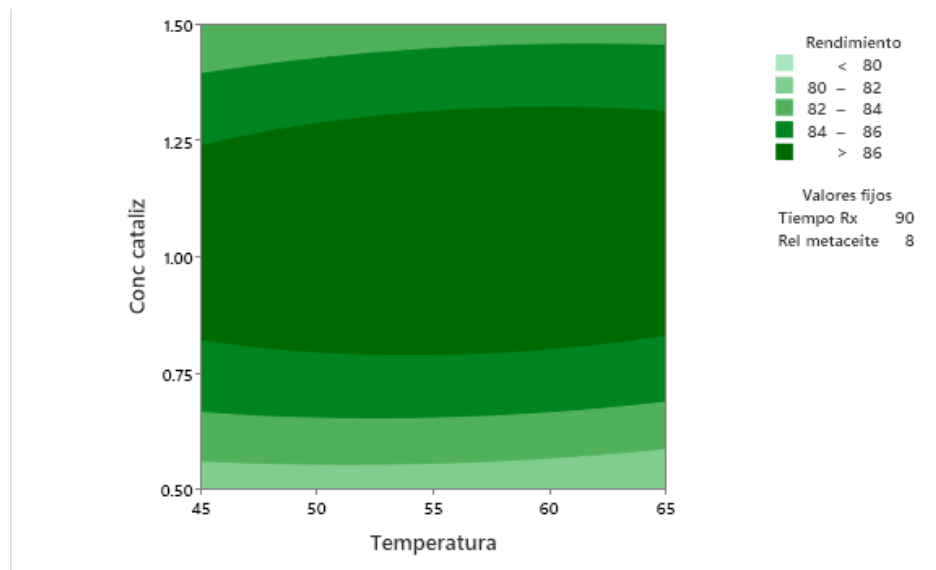


Las curvas de superficie de respuesta y contorno se trazaron para comprender la interacción de las variables y determinar el nivel óptimo de cada variable para

máxima respuesta. Para la selección de las condiciones óptimas en el proceso de transesterificación se evaluó las gráficas de contorno y superficie generadas por la ecuación de predicción del rendimiento de biodiesel obtenido, la cual se presenta en las siguientes figuras:

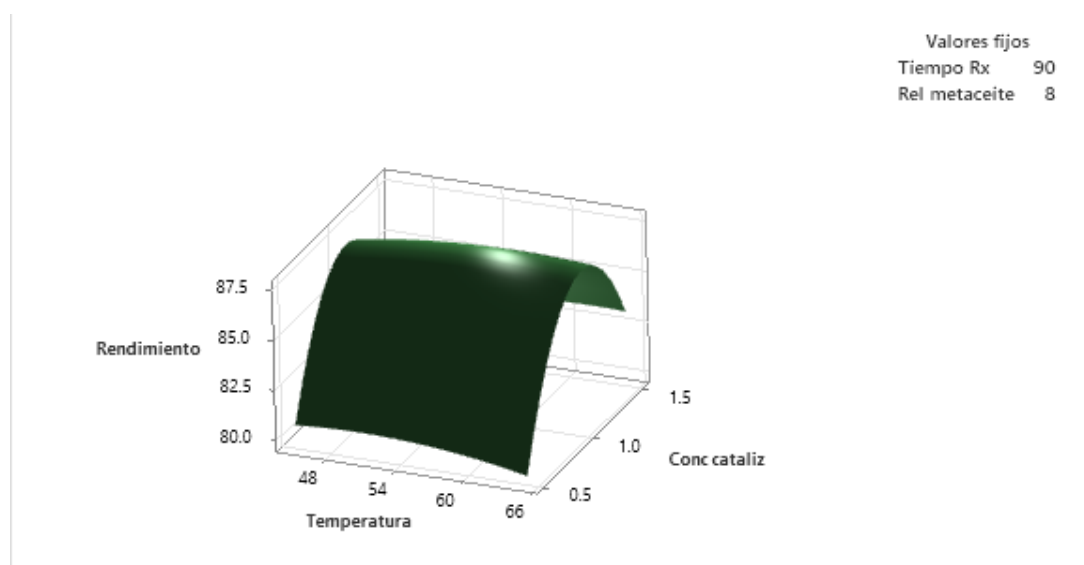
**Figura 20**

*Gráfica de contorno rendimiento -concentración de catalizador, temperatura*



**Figura 21**

*Gráfica de superficie rendimiento -concentración de catalizador, temperatura*

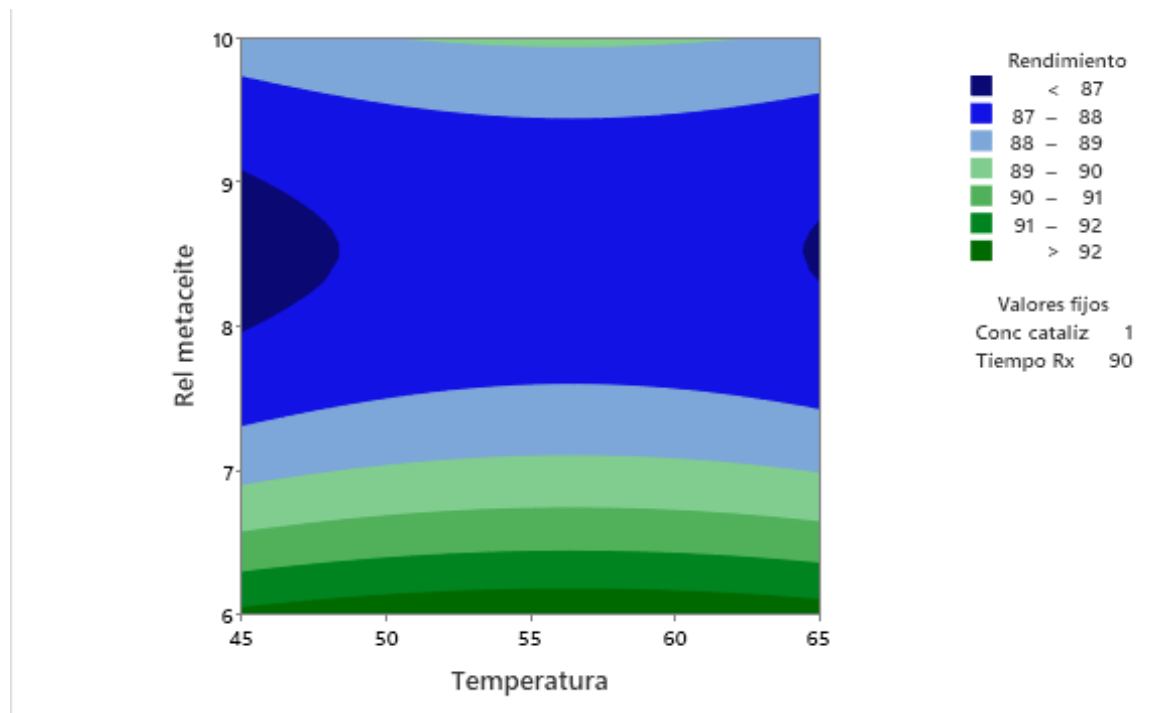


Al examinar dicha grafica (figura 20) se indica que el rendimiento de biodiesel obtenido máximo se consigue con significancia de la concentración catalizador máxima de 1.25% y la temperatura no presenta relevancia en la región presentada de 45-65°C a parámetros óptimos de tiempo de reacción de 90 min y relación metanol: aceite de 8:1. Podemos agregar mediante el análisis de la figura 21 que a la concentración de 1.25% empieza a decaer el rendimiento

En las gráficas de las figuras 22 y 23 se muestra que al incrementar la relación de metanol: aceite tiene un efecto negativo en rendimiento de biodiesel obtenido y la temperatura no presenta relevancia en la región presentada con valores óptimos de concentración de catalizador de 1% y tiempo de reacción de 90 min.

### Figura 22

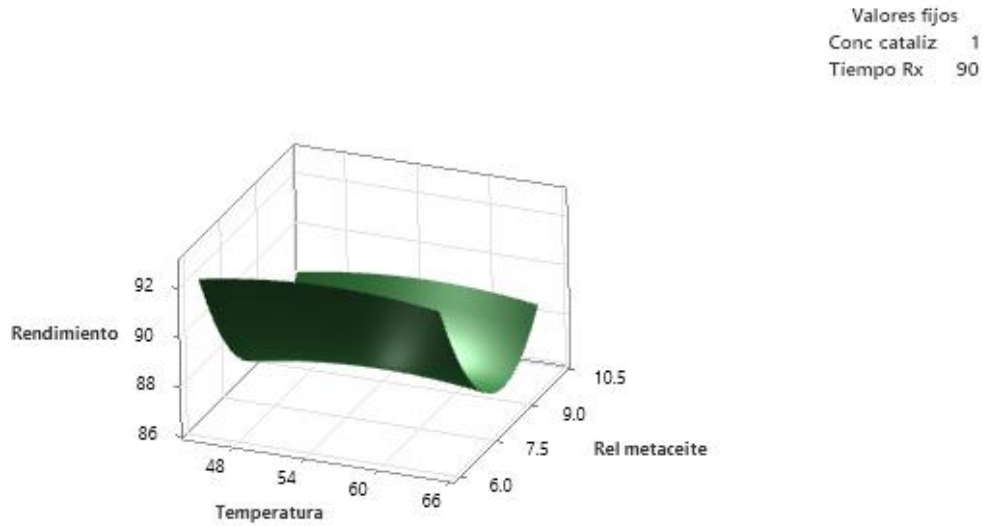
Gráfica de contorno rendimiento –relación metanol: aceite, temperatura





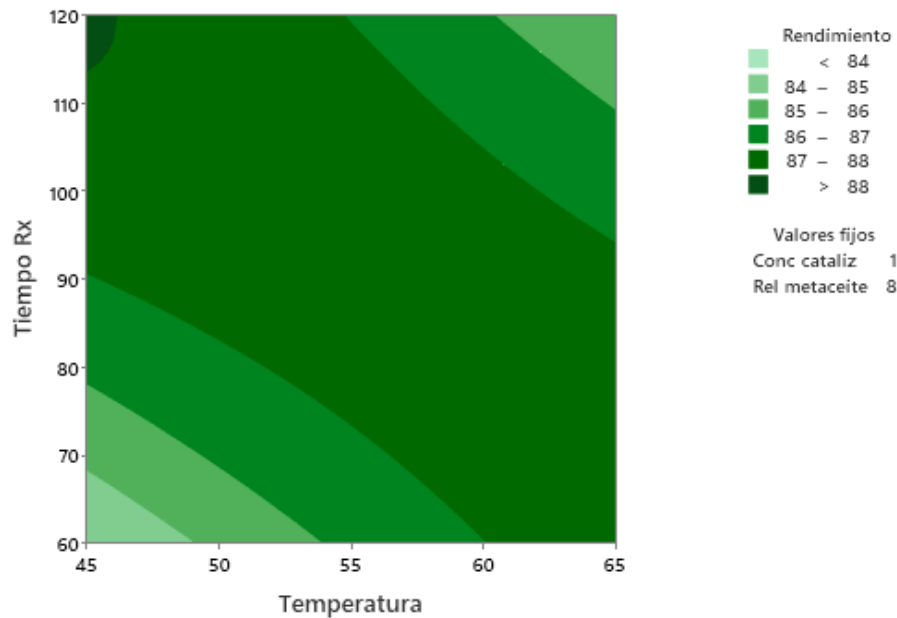
**Figura 23**

*Gráfica de superficie rendimiento –relación metanol: aceite, temperatura*



**Figura 24**

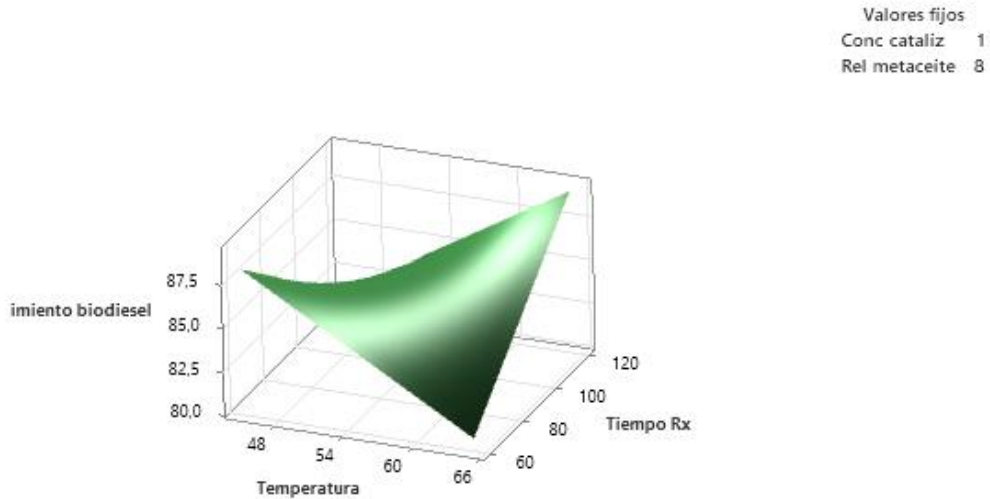
*Gráfica de contorno rendimiento –tiempo de reacción, temperatura*



La figura 24 muestra los resultados obtenidos después de la transesterificación. Los resultados mostraron que a partir de 90 minutos y un máximo de temperatura de 55°C se logra mejores resultados de rendimiento de biodiesel obtenido, y que se muestra también en la figura 25.

**Figura 25**

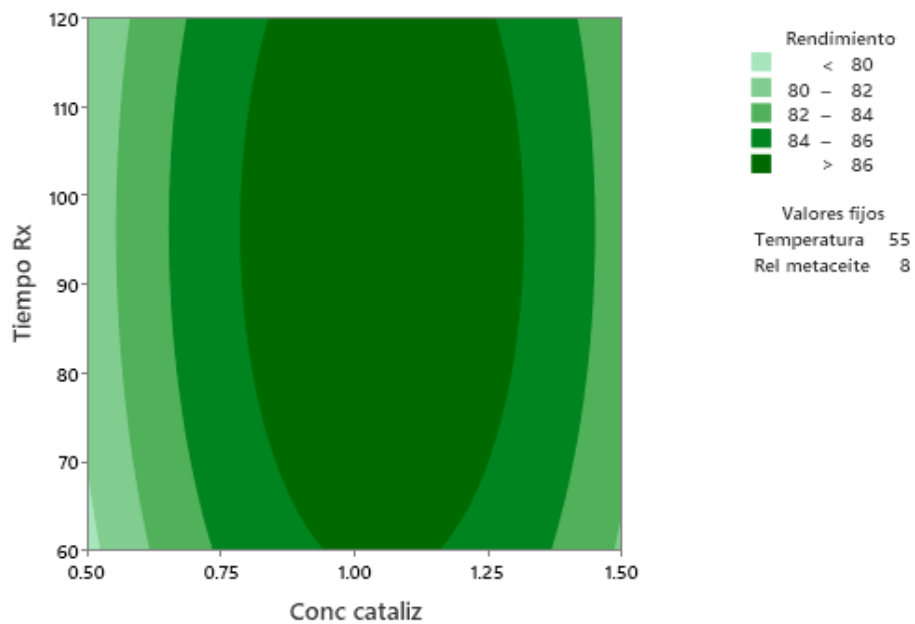
*Gráfica de superficie rendimiento – tiempo de reacción, temperatura*



En la figura 26 y 27 es bastante notable que la región alrededor de la concentración de catalizador a 1% dan mejores resultados para obtener el rendimiento de biodiesel con tiempo constante.

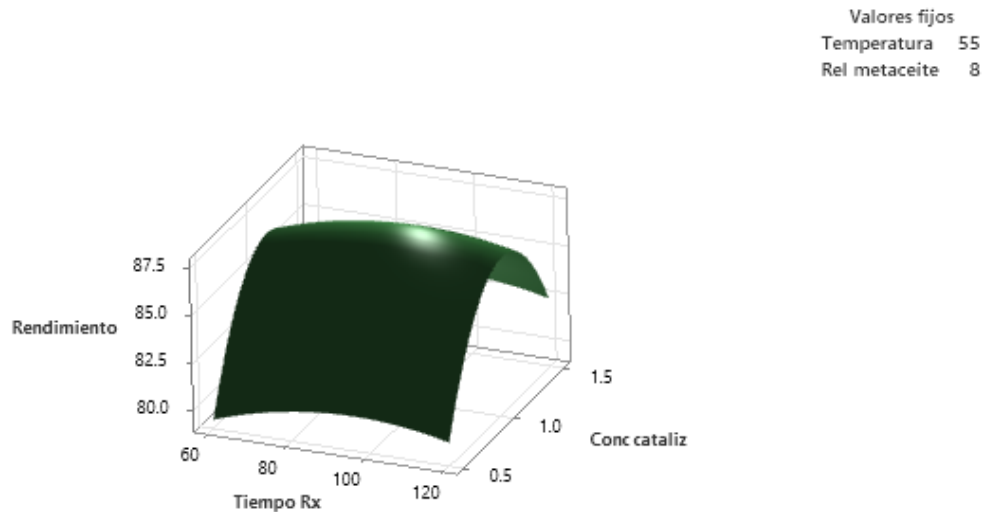
**Figura 26**

*Gráfica de contorno rendimiento – tiempo de reacción, concentración de catalizador*



**Figura 27**

*Gráfica de superficie rendimiento –tiempo de reacción, concentración de catalizador*



Para la optimización de parámetros en el proceso de transesterificación se evalúa en la tabla 27 mediante la herramienta optimizador respuesta.

**Tabla 27**

*Parámetro objetivo para optimización*

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo Superior	Ponderación	Importancia
Rendimiento	Máximo	77.13	90.51	1	1

Los resultados óptimos de las condiciones en el proceso de transesterificación se muestran en la tabla 28 y figura 28 según el ajuste mostrado en la tabla 28:

**Tabla 28**

*Solución óptima en el proceso de transesterificación*

	Conc	Tiempo	Relación	Rendimiento	Deseabilidad	
Solución	Temperatura cataliz	Rx	metanol/aceite	Ajuste	compuesta	
1	45	1.03535	120	6	93.3949	1

**Tabla 29**

*Ajuste de predicción de respuesta múltiple para rendimiento de biodiesel*

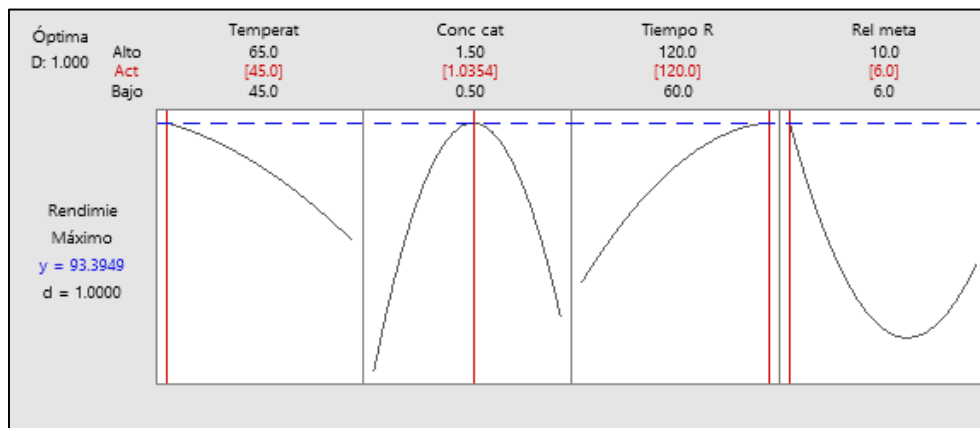
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Rendimiento	93.395	0.502	(92.367; 94.423)	(91.491; 95.299)

En la tabla 29 nos muestra que el rendimiento predictivo (93.395%) está en el intervalo de confianza de [92.367-94.423] % y un intervalo de predicción entre [91.491-95.299] %.

En la figura 28 en la gráfica de valores óptimos nos indica que existe una relación negativa para el rendimiento con las variables temperatura y relación metanol/aceite cuando se incrementan, mientras que el tiempo y el catalizador muestran significancia y efecto para buenos resultados de rendimiento de biodiesel.

**Figura 28**

*Gráfica de valores óptimos de condiciones de transesterificación*



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### Hipótesis general:

*Las condiciones óptimas del proceso de transesterificación permitirán obtener biodiesel de alta pureza a partir del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales*

Se determinó los parámetros óptimos en el proceso de transesterificación con rendimiento de biodiésel a 93.395%, temperatura de 45°C, concentración de catalizador de 1,035%, 120 min y relación metanol: aceite de 6:1.

#### Hipótesis específicas

*Las características del aceite contenido en las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales influyen positivamente en la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiesel.*

Las características del aceite extraído de semillas de papaya tuvieron índice de acidez 0,91, índice de refracción 1.4641 y %ácidos grasos 0.45 cumpliendo los estándares según la normativa peruana y AOAC. Se obtuvo experimentalmente un rendimiento de aceite extraído de semillas de papaya de 31.52% (que representa 1L de aceite por cada 10 kg aproximadamente de semilla húmeda).

*Existe influencia de los parámetros de operación del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla de los residuos agroindustriales para la obtención de biodiesel.*

Se realizó el ANOVA donde las variables estadísticamente significativas son la concentración del catalizador, relación metanol-aceite y tiempo ( $p < 0.05$ ) y mediante las gráficas de efectos principales e interacciones se difiere que con significancia mayor de 95% las variables mencionadas tienen un mayor efecto en el rendimiento de biodiésel. Se obtuvo experimentalmente un rendimiento

máximo de biodiesel de 90.51% a condiciones de transesterificación de temperatura de 65°C, 1% concentración de catalizador, 120 minutos y relación metanol: aceite de 6:1 que se ajusta a un modelo cuadrático.

## **6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares**

En el artículo de investigación de (5) los autores realizaron la optimización de 3 parámetros como la temperatura de reacción, la relación molar metanol/aceite y la concentración de catalizador KOH en 3 niveles diferentes a una velocidad de agitación de 600 rpm y 60 min a nivel laboratorio en un matraz de 3 bocas, la cual tomamos como referencia pero variamos tiempo (60,90 y 120 min) y la relación de metanol aceite lo tomamos en el rango de 6:1, 8:1 y 10:1 (los autores lo realizaron entre 4:1, 7:1 y 10:1) trabajada en un reactor construido de acuerdo a nuestras necesidades a 200rpm. Los valores óptimos obtenidos por los autores son a una relación molar de metanol: aceite de 10:1, concentración de catalizador de KOH de 1 %peso y temperatura de reacción de 45 °C. Su rendimiento de biodiesel óptimo y experimental fue del 96.12 % y 96.48 % respectivamente. Nuestros resultados fueron 93.39% y 90.51%. ( $R^2=96.61\%$ ) de rendimiento predictivo y rendimiento experimental, respectivamente, que difieren ligeramente.

Los resultados experimentales obtenidos por transesterificación de nuestra presente investigación fueron a 65°C, 1% concentración de catalizador, 120 minutos y relación metanol/ aceite de 6:1 contrastando con los valores óptimos del artículo de (66) que trabajo con los mismos factores y número de niveles de nuestra presente investigación, pero uso de catalizador el NaOH. Las condiciones óptimas para el proceso de transesterificación asistida por microondas del autor son 62,33 °C, 0,95 % en peso, 3.30 min y 9,50:1 respectivamente. Comparando con una investigación más reciente según (67) el máximo rendimiento obtenido fue 80% con valores óptimos de 60°C, concentración de catalizador NaOH 1%, relación metanol -aceite 3:1 a 30 min (variable fija) por matriz de superficie de respuesta con modelo lineal.

Para la extracción de aceite de semillas de papaya nos basamos en la metodología según Soxhlet por (4) tomando los valores óptimos de su investigación que fueron extracción a 180 minutos, relación semilla pulverizada: solvente éter de petróleo 1:9 y tamaño de partícula tamaño de malla 20, pero le removemos la sarcotesta (en el artículo no menciona este factor), con un rendimiento del 57,029% de aceite extraído, el rendimiento obtenido en la presente investigación es 31.52% puede deberse a la naturaleza de la materia prima, el % de humedad no especificado (muestro trabajo de investigación se evaluó en promedio de 5-6% de humedad) o la pureza del éter de petróleo, nuestro resultado obtenido se acerca mucho al rendimiento obtenido de 31.1% por (40) que varió dos factores tamaño de partícula 0.85mm y tiempo a 6.5 horas.

La composición de ácidos grasos en el aceite de semillas de papaya nos indica que tipo de catalizador usar para la obtención del biodiesel, se encontró en la presente investigación los ácidos oleicos (62.18%), ácido palmítico (18.89%), palmitoleico (5.28%), ácido linoleico (5.72%), ácido esteárico (4.13%), ácido linolénico (0.66%) representando mayoritariamente los ácidos grasos monoinsaturados 67.45% y ácidos grasos saturados 23.03%, estos valores difieren de los autores peruanos (41) y (43). Según (41) trabaja con semillas liofilizadas mientras que en relación a los demás ácidos grasos mayoritarios los valores obtenidos se asemejan al rango de resultados de (3) que trabaja con semillas del híbrido Pococí, discrepando con el valor de % de ácidos oleico y ácido palmítico.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Las autoras de la presente investigación asumen la responsabilidad de la información expuesta en cumplimiento con el Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, según lo establecido en la Resolución del Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

## VII. CONCLUSIONES

Las condiciones para obtener biodiésel a partir de residuos agroindustriales generados en las juguerías mediante la transesterificación del aceite de semillas de papaya, se llevó a cabo una primera etapa de extracción del aceite utilizando éter de petróleo como solvente y una segunda etapa utilizando metanol como solvente y KOH como agente catalizador. Se determinó que las condiciones óptimas son: temperatura a 45°C, concentración de KOH 1.03% p/v, relación solvente metanol/aceite 6:1, durante 120 minutos de reacción y a velocidad de agitación constante de 200 rpm. Se logró obtener un rendimiento de biodiesel superior de 93% ( $R^2=96\%$ ) y las condiciones más favorables según los resultados obtenidos experimentalmente son: 65°C, 1%, 6:1 a 120 min respectivamente con un rendimiento de 90 % y sus propiedades según la ASTM muestran que se obtienen un biodiesel de alta pureza.

Las características fisicoquímicas del aceite contenido en las semillas de papaya (*Carica papaya L.*) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiesel, usando éter de petróleo como solvente a partir de 15 kilos de semilla húmeda aproximadamente se obtuvo un rendimiento de 31,52% de aceite, con un índice de refracción de 1.4641, densidad de 925 kg/m<sup>3</sup>, índice de acidez 0.916 mgNaOH/g de aceite, índice de saponificación de 171.6 mgKOH/100g de aceite y 0.458% de ácidos grasos cumpliendo con los estándares exigidos para el biodiésel. A excepción de 1.65% de contenido de humedad siendo este significativo en el rendimiento.

Los parámetros de operación en el proceso de transesterificación del aceite de semillas de papaya muestran la influencia de la concentración del catalizador al aumentar hasta 1% y luego esta relación decae. Cuando se aumenta la relación solvente metanol/aceite, disminuye el rendimiento del biodiesel. Las variables tiempo y temperatura aumentan hasta sus parámetros intermedios de 90 minutos y 55°C, respectivamente y luego no tiene mayor influencia según nuestras condiciones de trabajo.



## VIII. RECOMENDACIONES

Operar a condiciones de temperaturas mayores a 50 °C y tiempos mayores de 60 minutos en el proceso de transesterificación del aceite de semilla de papaya, debido a que a mayor temperatura y tiempo de reacción el rendimiento aumenta.

Se realizó corridas preliminares con NaOH como catalizador en el proceso de transesterificación, obteniendo mejores resultados con el KOH, por lo que se recomienda utilizar para el aceite de semilla de papaya (*Carica papaya L.*) el KOH como catalizador.

Operar a relaciones de metanol/aceites menores de 6:1, al aumentar esta relación decae el rendimiento del biodiesel.

Utilizar otro método de extracción para el aceite, debido que el método usado en la presente investigación (Soxhlet) tiene un tiempo de reacción relativamente alto.

Lavar el biodiésel crudo instantáneamente con el agua a 60°C para evitar saponificación luego de la separación de glicerina post- decantación del proceso de transesterificación.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGRARIA. Perú debe definir qué tipo de papaya quiere EE.UU. y comenzar a producirla (2013) [En línea] 21 de agosto de 2021. [Citado el: 10 de abril de 2023.] <https://agraria.pe/noticias/%E2%80%98peru-debe-definir-que-tipo-de-papaya-quiere-eeuu-y-comenz-5600>
- (2) ALBIS ARRIETA, Alberto Ricardo; PARRA GARRIDO, Julián Andrés; SÁNCHEZ CASTELLANOS, Francisco J. Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea (2005). *Ingeniería e Investigación*, vol. 25, no 2, p. 71-77.
- (3) ALPÍZAR, J. *Análisis de prefactibilidad técnica y financiera del proceso de extracción de aceite de la semilla de papaya* (2019). San José: Universidad de Costa Rica.
- (4) ANDRIANA, Riski; BROTO, R. TD Wisnu. *Optimization of Soxhlet Extraction Papaya Seed Oil (Carica papaya L.) with Petroleum Ether* (2023). *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, vol. 5, no 1, p. 17-22.
- (5) ANWAR, M., RASULA, M. G., & ASHWATHB, N. *Production optimization and quality assessment of papaya (Carica papaya)* (2018). *Energy Conversion and Management* Vol.156, 103-112.
- (6) ASOKAN, M., SENTHUR PRABU, S., KAMESH, S., & KHAN, W. *Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with papaya and watermelon seed oil bio-diesel/diesel blends.* (2017). *Energy*.2018
- (7) ASTM D6751-15. *Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock.* (2015) [doi.org/10.1520/D6751-12.2](https://doi.org/10.1520/D6751-12.2)
- (8) ASUQUO, Asuquo; LI, Jun; ZHANG, Xiaolei. *Waste carica papaya oil seed extraction: a potential feed stock for biodiesel production to achieve net zero.*(2021). En 28th Annual SCI-CSCST Conference.
- (9) AZAD, A. *Biodiesel from Mandarin Seed Oil: A Surprising* (2017). *Energies* 10, 1689.

- (10) AZMIR, Jannatul, et al. *Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review* (2013). Journal of food engineering, vol. 117, no 4, p. 426-436.
- (11) BAILEY, Alton Edward, et al. *Bailey's industrial oil and fat products* (1979).
- (12) BALAT, M., & BALAT, H. "Progress in biodiesel processing" (2010). Applied Energy, 87, 1815-1835.
- (13) BART, Jan., et al. Transesterification processes for biodiesel production from oils and fats. Woodhead Publishing, 2010 a. p. 287. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/288498327\\_Transesterification\\_processes\\_for\\_biodiesel\\_production\\_from\\_oils\\_and\\_fats](https://www.researchgate.net/publication/288498327_Transesterification_processes_for_biodiesel_production_from_oils_and_fats)
- (14) BECERRA, N., & CHAPARRO, M. *Morfología y anatomía vegetal* (1999). Bogotá: Primera edición. Universidad de Colombia.
- (15) BERRIOS, M., MARTIN, M. A., & MARTIN, A. *Study of esterification and transesterification in biodiesel production from used frying oils in a closed system* (2010). Chemical Engineering Journal, 160, 473-479.
- (16) BERRIOS, M., SILES, J., MARTÍN, M. A., & MARTÍN, A. "A kinetic study of the esterification of free fatty acids (FFA) in sunflower oil" (2007). Fuel, 86, 2383-2388.
- (17) BESNIER, F. *Semillas: biología y tecnología* (1988). Madrid: Ediciones MundiPrensa.
- (18) BINDA GARCIA, J. R., GUERRA QUISPE, R., OCAÑA ANGELES, J., TORRES LEON, G., & TRIGOSO MEDINA, J. *Análisis estratégico de la industria del biodiesel en el Perú* (2007). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- (19) CALDAS AVILA, Adriana Paulina. *Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido-líquido* (2012). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- (20) CASTRO, L., MORALES, L., & ARANGUREN, M. *Fundamentos teóricos-prácticos sobre el cultivo y cosecha de la papaya Carica papaya(L.)* (2000). La Habana: Universitaria.

- (21) CEDRÓN, J., MONCADA, A., & MENDOZA, P. *Análisis de biodiesel preparado a partir de residuos de aceite doméstico, mediante RMN.* (2014). Revista de la Sociedad Química del Perú, vol.80.
- (22) CHEN, Wei-Hsin., et al. Biofuel and Bioenergy Technology. ENERGIES. [En línea]. Jan 2019, 12(2), p. 290. [Consultado 28, Junio, 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/330484494\\_Biofuel\\_and\\_Bioenergy\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/330484494_Biofuel_and_Bioenergy_Technology)
- (23) CHIDIKAK, M., et al. *Sostenibilidad de biocombustibles e indicadores GBEP: Un análisis de su relevancia y aplicabilidad en Argentina* (2012). Buenos Aires: Centro de IDeAS-UNSAM, 11.
- (24) CORBETT, Pat. *Opportunities for high-oleic vegetable oils-With the current consumer focus on fats, says Pat Corbett, the timing is right to focus on high-oleic vegetable oils* (2003). Inform-International News on Fats Oils and Related Materials, vol. 14, no 8, p. 480-481.
- (25) DE MELO, M. L. S., et al. *Physical and chemical characterization of the seeds and oils of three papaya cultivars (Carica papaya)* (2016). Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, vol. 8, no 7, p. 870-876.
- (26) DMYTRYSHYN, S. L., DALAI, A. K., CHAUDHARI, S. T., MISHRA, H. K., & REANEY, M. J. "Synthesis and characterization of vegetable oil derived esters: evaluation for their diesel additive properties" (2004). Bioresource Technology,, 92, 55-64.
- (27) ECHEVARIA TRUJILLO, Ronal G., ÑIQUE MENDOZA, Thais y GUERRERO CHIQUILIN, Yoel. *Manual para la producción del biodiesel a partir del aceite de Piñon Blanco (Jatropha curcas L.)* (2018). San Martín: INIA EEA: "El porvenir"-SM, 2018-07850.
- (28) EZEKOYE, V., ADINDE, R., & EZEKOYE, D. *Syntheses and characterization of biodiesel from Citrus Sinensis seed oil* (2019). Scientific African.
- (29) FALCÓN, I. V., & GUERRERO, T. E. *Obtención de biodiesel a partir de aceite doméstico residual* (2018). Investigación y Amazonía 2016, 6(1): 37-44.

- (30) FAO. *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas* (1997). Manual técnico.
- (31) FOSKET, D. *Plant growth and development: a molecular* (1994). Academic Press, San Diego, CA.
- (32) FRUTAS&HORTALIZAS. Frutas&Hortalizas. (2020) [En línea] 20 de mayo de 2020. [Citado el: 10 de abril de 2023.] Obtenido de Frutas&Hortalizas: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Tipos-variedades-Mandarina.html>
- (33) GAIKWAD, Aniket Bhalchandra, et al. *A comprehensive review on papaya seed oil extraction and recent applications in food industry* (2023).
- (34) GARCÍA, M. *Guía técnica del cultivo de la papaya* (2010). Arce: CENTA.
- (35) GIL, A., & MIRANDA, D. *Morfología de la flor y de la semilla de papaya (Carica papaya L.): Agronomía colombiana* (2005). 23(2), 217-222.
- (36) GIL, M. *Producción de biodiésel a partir de aceite de girasol en una planta piloto de reacción por cavitación* (2017). Tesis de grado, Universidad de Valladolid-España.
- (37) GREEN, Don W, et al. *Determination of Mechanism and Kinetics* (2019). Op.Cit. 7.10
- (38) GUTIÉRREZ, Humberto, et al. *Análisis y diseño de experimentos* (2008). México DF: McGraw-Hill Interamericana.
- (39) HERVÉ, J. *Diseño conceptual de una planta de biodiésel*. (2007) Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- (40) HOSSAIN, S. M. Z., et al. *Experimental study and modeling approach of response surface methodology coupled with crow search algorithm for optimizing the extraction conditions of papaya seed waste oil* (2020). Arabian Journal for Science and Engineering, vol. 45, p. 7371-7383.
- (41) HUERTA LEON, Antonio Luis. *Caracterización de ácidos grasos obtenidos de semillas liofilizadas de Carica Papaya I. (papaya)* (2022). [en línea]. Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico. Universidad María Auxiliadora. [consulta: agosto 2023) Disponible en: <https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/878/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (42) HUERTA OCHOA, S. (s.f.). *Secado*. Universidad Autónoma Metropolitana.

- (43) ILLESCAS MEJIA, Micaela Victoria. *Evaluación del potencial nutracéutico y antibacteriano del extracto de semillas de papaya andina (Vasconcellea pubescens A. DC.) frente a Salmonella enteritidis Y Escherichia coli (2022)*. [en línea]. Tesis para optar el título profesional de: Licenciada en nutrición y dietética. Lima: Universidad Científica del Sur [consulta: septiembre del 2023]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2672/TL-Illescas%20M-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (44) INFOAGRO. (s.f.). Infoagro.com. Obtenido de Infoagro.com: <https://www.infoagro.com/citricos/mandarina.htm>
- (45) IWEKA, Chukwuka Sunday, et al. *Bio-Oil Production from Ripe Pawpaw Seeds and its Optimal Output: Box-Behnken Design and Machine Learning Approach (2023)*. Scientific African, p. e01826.
- (46) JAMETT F. *High hydrostatic pressure and ultrasound extractions of antioxidant compounds, sulforaphane and fatty acids from Chilean papaya (Vasconcellea pubescens) seeds: Effects of extraction conditions and methods (2015)*. LWT - Food Science and Technology 60. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.057>
- (47) JIMÉNEZ, J. *Manual práctico para el cultivo de la papaya Hawaiana (2002)*. Guácimo: EARTH.
- (48) KNOTHE, Gerhard. *Calidad del combustible biodiésel y la norma ASTM (2010)*. Palmas, vol. 31, N° especial, p. 162-171.
- (49) LEE, Wei-Ju; LEE, Min-Hsiung; SU, Nan-Wei. *Characteristics of papaya seed oils obtained by extrusion–expelling processes (2011)*. Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 91, no 13, p. 2348-2354.
- (50) LINARES, O. *Química de las grasas y aceites (2005)*. Programa avanzado de tecnología de alimentos.
- (51) LOPEZ SANCHEZ, M., TRIANA MENDEZ, J., PEREZ GALVAN, F. & TORRES PATRON, M. E. *Métodos físicos de separación y purificación de sustancias orgánicas (2005)*. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

- (52) LOTERO, E., LIU, Y., LOPEZ, D. E., SUWANNAKARN, K., BRUCE, D. A., & GOODWIN, J. G. "Synthesis of biodiesel via acid catalysis" (2005). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44, 5353-5363.
- (53) MARCHETTI, JM.; MIGUEL, VU.; ERRAZU, AF. *Posibles métodos para la producción de biodiesel* (2007). *Revisiones de energías renovables y sostenibles*, vol. 11, núm. 6, pág. 1300-1311.
- (54) MEHER, L. C., DHARMAGADDA, V. SS, NAIK, S. N. *Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel* (2006). *Bioresource technology*, vol. 97, no 12, p. 1392-1397.
- (55) MEHER, L.; SAGAR, D.; NAIK, S. N. *Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review* (2006). *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 10, no 3, p. 248-268.
- (56) MENEGHETTI, Simoni et al. *Biodiesel from castor oil: a comparison of ethanolysis versus methanolysis* (2006). *Energy & Fuels*, vol. 20, no 5, p. 2262-2265.
- (57) MERCADO, A. D. *Centrifugación* (2014). Tesis profesional, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- (58) MIDAGRI. *Perú produjo más de 186 mil toneladas de papaya en 2020* (2021) AGRARIA. [En línea] 21 de agosto de 2021. [Citado el: 10 de abril de 2023.] <https://agraria.pe/noticias/peru-produjo-mas-de-186-mil-toneladas-de-papaya-en-2020-25272>.
- (59) MINEM. *Demanda nacional de biodiésel se incrementaría en 100 mil toneladas anuales con norma que evalúa el Minem* (2020). AGRARIA. [En línea] 31 de diciembre de 2020. [Citado el: 11 de agosto de 2023.] <https://agraria.pe/noticias/demanda-nacional-de-biodiesel-se-incrementaria-en-100-mil-to-23342>.
- (60) MINEM. *Balance Nacional de Energía* (2017). Lima.
- (61) MINEM. *Balance Nacional de Energía* (2018). Lima.
- (62) MITTELBAACH, M., & REMSCHMIDT, C. *Biodiesel* (2004). The comprehensive handbook. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/biodiesel-the-comprehensive-handbook/oclc/57564284>

- (63) MONTGOMERY, Douglas C. *Diseño y análisis de experimentos (2004)*. 2da. Ed. México DF Limusa Wiley,
- (64) MORAN ROMERO, Angie Cindy & BACA CAURINO, Elizabeth Victoria. *Proceso de secado de semilla de papaya (Carica Papaya) para la obtención de aceite (2018)*. [en línea]. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Callao. [consulta: agosto 2023] Disponible en:[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4249/MORAN%20ROMERO%20Y%20BACA%20CAURINO\\_PREGRADO\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4249/MORAN%20ROMERO%20Y%20BACA%20CAURINO_PREGRADO_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- (65) MOSER, B. R. "*Biodiesel production, properties, and feedstocks*" (2009). In *Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 45, 229-266.
- (66) NAYAK, Milap G.; VYAS, Amish P. *Optimización de la producción de biodiesel asistida por microondas a partir de aceite de papaya utilizando la metodología de superficie de respuesta (2019)*. Energías Renovables, vol. 138, pág. 18-28.
- (67) NGIGE, Godswill Adizue, et al. *RSM optimization and yield prediction for biodiesel produced from alkali-catalytic transesterification of pawpaw seed extract: thermodynamics, kinetics, and Multiple Linear Regression analysis (2023)*. Digital Chemical Engineering, vol. 6, p. 100066.
- (68) NIELSEN, S. Suzanne. *Introduction to food analysis (2017)*. Food analysis, p. 3-16.
- (69) NIEMBRO, A. *Semillas de árboles y arbustos: ontogenia y estructura (1988)*. México: Limusa.
- (70) NOUREDDINI, Hossein; ZHU, D. *Kinetics of transesterification of soybean oil (1997)*. Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 74, p. 1457-1463.
- (71) NUÑEZ, C. E. *Extracciones con equipo Soxhlet (2008)*. Argentina.
- (72) PARNI, B., & VERMA, Y. *Biochemical properties in peel, pulpa and seeds of Carica Papaya (2014)*. Plan Archives Vol.14 N°1, 565-568.



- (73) PÉREZ RIAL, L., & SALGUEIRO FERNANDEZ, J. L. *Producción de Biodiesel mediante transesterificación in situ a partir de algas marinas.* (2020). Meubook.
- (74) PINZI, S., GARCIA, I. L., LOPEZ-GIMENEZ, F. J., LUQUE DE CASTRO, M. D., DORADO, G., & DORADO, M. P. "The Ideal Vegetable Oil-based Biodiesel Composition: A Review of Social, Economical and Technical Implications" (2009). *Energy & Fuel*, 23, 2325-2341.
- (75) PISARELLO, L. "Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes" (2015). Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Ecuador.
- (76) PLÁCIDO, N. *Desarrollo de un producto natural para la limpieza facial a partir de los aceites extraídos de las semillas de naranjas (Citrus Sinensis) y mandarina (Citrus Reticulata)* (2011). Valencia: Universidad de Carabobo.
- (77) PRIBISKO YEN, M., & TANG, G. *Evaporación rotatoria de un solvente.* (2020). JoVE Science Education.
- (78) PUANGSRI, T.; ABDULKARIM, S. M.; GHAZALI, H. M. *Properties of Carica papaya L. (papaya) seed oil following extractions using solvent and aqueous enzymatic methods* (2005). *Journal of Food Lipids*, vol. 12, no 1, p. 62-76.
- (79) ROJAS GONZÁLEZ, Andrés Felipe; GIRÓN GALLEGO, Erika; TORRES CASTAÑEDA, Harlen Gerardo. *Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión-catálisis química* (2009). *Ingeniería e Investigación*, vol. 29, no 3, p. 17-22.
- (80) SALGADO QUISPE, Wilbert Cesar. *Extracción de Aceite de las Semillas de (Carica Papaya) con la Presencia de Mucílago y con la Separación de Mucílago* (2020) Lima: Universidad Peruana Unión [consulta: septiembre de 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/59021029/Extraccion-de-Aceite-de-las-Semillas-de-Carica-Papaya-con-la-Presencia-de-Mucilago-y-con-la-Separacion-de-Mucilago>
- (81) SALSABILA, Salsabila; BROTO, R. TD Wisnu. *Optimization of Papaya Seed Oil Production Process (Carica papaya L.) with Soxhlation Extraction*

- Method using Factorial Design (2023)*. Journal of Vocational Studies on Applied Research, vol. 5, no 1, p. 10-16.
- (82) SALUNKHE, D., & KADAM, S. *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing* (1995). Taylor & Francis
- (83) SAMARAM, Shadi, et al. *Ultrasound-assisted extraction (UAE) and solvent extraction of papaya seed oil: Yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile* (2013). Molecules, vol. 18, no 10, p. 12474-12487.
- (84) SANCHEZ, N. *Obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasas animales. Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso* (2015). Tesis doctoral, Universidad de Extremadura, España.
- (85) SARAF, S., & THOMAS, B. *Influence of feedstock and process chemistry on biodiesel quality* (2007). Process Safety and Environmental Protection, 85, 360-364.
- (86) SEADER, J., HENLEY, E., & ROPER, D. *Separation Process Principles* (2011). Westford, Massachusetts: John Wiley & Sons 3<sup>o</sup> ed.
- (87) SENASA. *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de papaya* (2020). Lima: s.n., 2020.
- (88) SHARMA, Y. C.; SINGH, B.; UPADHYAY, S. *Advancements in development and characterization of biodiesel: A review* (2008). Fuel, vol. 87, no 12, p. 2355-2373.
- (89) TAMAYO, J., SALVADOR, J., & DE LA CRUZ, R. *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país* (2015). Lima: Osinergmin.
- (90) TAN, Chin Xuan; TAN, Seok Tyug; TAN, Seok Shin. *An overview of papaya seed oil extraction methods* (2020). International Journal of Food Science & Technology, vol. 55, no 4, p. 1506-1514.
- (91) TAN, Seok Shin. *Papaya (Carica papaya L.) seed oi* (2019). Fruit Oils: Chemistry and Functionality, p. 615-626.
- (92) TAUFIQ-YAP., et al. Higher Grade Biodiesel Production by Using Solid Heterogeneous Catalysts. Springer, Boston, MA. [En línea]. 2012, p. 157.

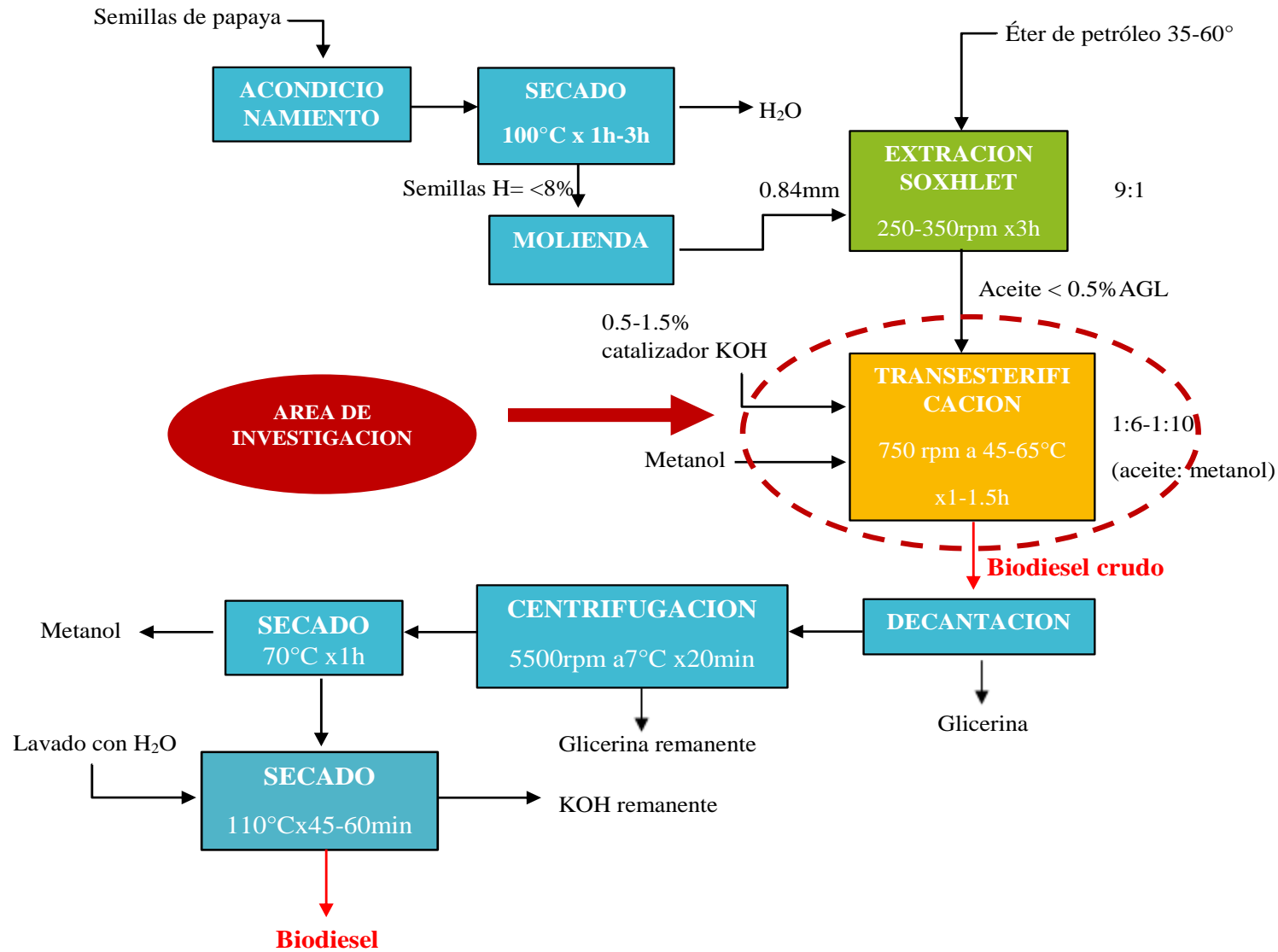
- [Consultado 01, Julio, 2020]. ISBN 978-1-4614-6249-1. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-6249-1\\_1082](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-6249-1_1082)
- (93) TORROBA, Agustín, et al. *Estado de los biocombustibles líquidos en las Américas (2022)*.
- (94) TRELLES CASINELLI, Jorge Carlos. *Informe mensual de Energía y Minería (2023)*. Lima: Osinergmin,
- (95) VICENTE, G., MARTINEZ, M., & ARACIL, J. "Biodiésel: una alternativa real al gasóleo mineral"(2001). *Ingeniería Química (377)*, 135-145.
- (96) WANG, Lijun; WELLER, Curtis L. *Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants (2006)*. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 17, no 6, p. 300-312.
- (97) YANTY, Noorzianna Abdul Manaf, et al. *Physico-chemical characteristics of papaya (Carica papaya L.) seed oil of the Hong Kong/Sekaki variety (2014)*. *Journal of Oleo Science*, vol. 63, no 9, p. 885-892.
- (98) ZHANG, Weimin, et al. *Optimized ultrasonic-assisted extraction of papaya seed oil from Hainan/Eksotika variety (2019)*. *Food Science & Nutrition*, vol. 7, no 8, p. 2692-2701.
- (99) ZHOU, K., WANG, H., MEI, W., LI, X., LUO, Y., & DAI, H. *Antioxidant activity of papaya see (2011)*.

## **ANEXOS**

**Anexo 1: Matriz de consistencia** “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS PAPAYA (*Carica papaya* L.) CRIOLLA PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
<p><b>General:</b></p> <p>¿Cuáles serán las condiciones para la optimización del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel?</p>	<p><b>General:</b></p> <p>Determinar las condiciones para la optimización del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel</p>	<p><b>General:</b></p> <p>Las condiciones óptimas del proceso de transesterificación permitirán obtener biodiesel de alta pureza a partir del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales.</p>	<p><b>Variables dependientes:</b></p> <p><b>(y<sub>1</sub>) = Biodiesel purificado</b></p>	<p><i>y<sub>1</sub></i> = Propiedades termofísicas del biodiesel</p> <p><i>y<sub>2</sub></i> = Rendimiento del biodiesel purificado</p>	<p><i>y<sub>1.1</sub></i> = Poder calorífico</p> <p><i>y<sub>1.2</sub></i> = Viscosidad</p> <p><i>y<sub>1.3</sub></i> = PH</p> <p><i>y<sub>1.4</sub></i> = Número de acidez</p> <p><i>y<sub>1.5</sub></i> = Cenizas sulfatadas</p> <p><i>y<sub>1.6</sub></i> = Glicerol total y libre</p> <p><i>y<sub>1.7</sub></i> = Determinación de contenido de Azufre</p> <p><i>y<sub>1.8</sub></i> = Contenido de humedad</p> <p><i>y<sub>1.9</sub></i> = Punto de inflamación</p> <p><i>y<sub>2</sub></i> = %</p>	<p><i>y<sub>1.1</sub></i> = Calorimetría</p> <p><i>y<sub>1.2</sub></i> = Viscosimetría</p> <p><i>y<sub>1.3</sub></i> = Potenciometría</p> <p><i>y<sub>1.4</sub></i> = Volumetría</p> <p><i>y<sub>1.5</sub></i> = Gravimetría</p> <p><i>y<sub>1.6</sub></i> = Cromatografía</p> <p><i>y<sub>1.7</sub></i> = Volumetría</p> <p><i>y<sub>1.8</sub></i> = Gravimetría</p> <p><i>y<sub>1.9</sub></i> = Termometría</p> <p><math>y_2 = \frac{\text{biodiesel obtenido}}{\text{Cantidad de aceite}} \times 100</math></p>
<p><b>Específico:</b></p> <p>¿Cuáles serán las características del aceite contenido en las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiesel?</p> <p>¿Cómo influyen los parámetros del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel?</p>	<p><b>Específico:</b></p> <p>Determinar las características del aceite contenido en las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel.</p> <p>Evaluar la influencia de los parámetros del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales para la obtención del biodiesel.</p>	<p><b>Específica</b></p> <p>Las características del aceite contenido en las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla proveniente de los residuos agroindustriales influyen positivamente en la optimización del proceso de transesterificación del aceite en la obtención del biodiesel.</p> <p>Es posible evaluar la influencia de los parámetros del proceso de transesterificación del aceite de las semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) criolla de los residuos agroindustriales para la obtención de biodiesel.</p>	<p><b>Variables Independientes:</b></p> <p><b>(x<sub>1</sub>) = Características del aceite de semillas de papaya</b></p> <p><b>(x<sub>2</sub>) = Condiciones en el proceso de transesterificación</b></p>	<p><i>x<sub>1.1</sub></i> = Contenido de aceite</p> <p><i>x<sub>1.2</sub></i> = Composición de ácidos grasos libres (AGL)</p> <p><i>x<sub>1.3</sub></i> = Propiedades fisicoquímicas</p> <p><i>x<sub>2.1</sub></i> = Concentración del catalizador KOH</p> <p><i>x<sub>2.2</sub></i> = Relación Metanol/aceite</p> <p><i>x<sub>2.3</sub></i> = Temperatura</p> <p><i>x<sub>2.4</sub></i> = Tiempo</p>	<p><i>x<sub>1.1</sub></i> = Volumen de aceite obtenido</p> <p><i>x<sub>1.1.1</sub></i> = %</p> <p><i>x<sub>1.2</sub></i> = %total de AGL</p> <p><i>x<sub>1.3.1</sub></i> = Densidad</p> <p><i>x<sub>1.3.2</sub></i> = índice de acidez</p> <p><i>x<sub>1.3.3</sub></i> = índice de saponificación</p> <p><i>x<sub>1.3.4</sub></i> = índice de refracción</p> <p><i>x<sub>1.3.5</sub></i> = Humedad</p> <p><i>x<sub>2.1</sub></i> = %</p> <p><i>x<sub>2.2</sub></i> = ml/L</p> <p><i>x<sub>2.3</sub></i> = °C</p> <p><i>x<sub>2.4</sub></i> = min</p>	<p><i>x<sub>1.1</sub></i> = volumetría</p> <p><i>x<sub>1.1.1</sub></i> = %</p> <p><i>x<sub>1.2</sub></i> = Cromatografía</p> <p><i>x<sub>1.3.1</sub></i> = Densimetría</p> <p><i>x<sub>1.3.2</sub></i> = Titulación</p> <p><i>x<sub>1.3.3</sub></i> = Volumetría</p> <p><i>x<sub>1.3.4</sub></i> = Refractometría</p> <p><i>x<sub>1.3.5</sub></i> = Gravimetría</p> <p><i>x<sub>2.1</sub></i> = %</p> <p><i>x<sub>2.2</sub></i> = ml/L</p> <p><i>x<sub>2.3</sub></i> = termometría</p> <p><i>x<sub>2.4</sub></i> = Cronometría</p>

## Anexo 2: Diagrama del proceso de obtención del biodiesel



### Anexo 3: Ilustraciones del desarrollo de las corridas experimentales

*Recepción de materia prima (semillas de papaya con restos de la pulpa y pajillas propios de los subproductos de las juguerías)*



Nota: Se evalúa la humedad de las semillas de papaya fresca para determinar tiempo a secarse en estufa y la materia grasa.

*Valor promedio de la humedad de semillas frescas medida en la termobalanza OHAUS*



*Determinación de materia grasa en las semillas de papaya según método AOAC*



*Secado en estufa por 3 horas a 100°C*



*Valor promedio de la humedad de semilla seca de papaya*



*Molienda de la semilla seca de papaya*





*Reducción de tamaño de partícula por malla tamiz 20 (0.85mm)*



*Semilla pulverizada de papaya*



*Pesado de semilla pulverizada de papaya de acuerdo a capacidad de dedales de extracción para método Soxhlet.*



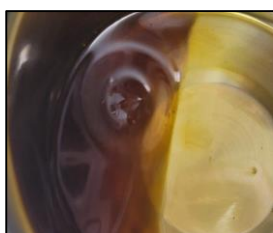
*Extracción de aceites por método Soxhlet.*



*Fracciones de solvente (éter de petróleo): aceite extraído*



*Aceite extraído de semillas de papaya*



*Determinación de índice de refracción del aceite extraído*



*Determinación de índice de acidez de aceite extraído*



*Cambio de coloración por titulación con NaOH y fenolftaleína*



*Cambio de coloración de grosella a color natural (base más fenolftaleína) al titular con HCl- Prueba de índice de saponificación del aceite extraído*



*Determinación de densidad del aceite*



*Reactor construido de capacidad de 4L*



*Panel de control para variaciones de temperatura y velocidad de agitación.*



*Suspensión de fracciones glicerina+biodiesel crudo*



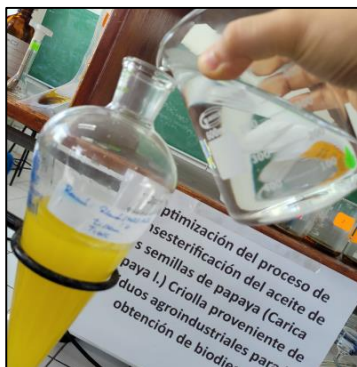
*Decantación de biodiesel crudo*



*Glicerina separada de la decantación*



*Lavado del biodiesel crudo con agua destilada a 60°C*



*Reposo del lavado con el biodiesel crudo*



*Vista frontal de biodiesel separado luego del lavado*

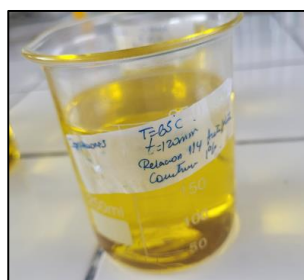




*Eliminación del agua restante en el biodiesel- calentamiento a 110°C*



*Biodiesel purificado obtenido a diferentes condiciones*



*Medición del PH en el biodiesel purificado obtenido*



## **Anexo 4: Informes de análisis por laboratorios externos**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Planta de Investigación Biodiésel

REPORTE DE ANÁLISIS DE BIODIÉSEL  
LER - BODIESEL 086-2023

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Nombre : Srta. Yris Rosario Quispe Saavedra  
Dirección : Lima - Lima.  
Atención : Srta. Yris Rosario Quispe Saavedra  
Fecha de Recepción : 20 / 11 / 2023  
Fecha de Entrega : 04 / 12 / 2023

II. DATOS DE LAS MUESTRAS

Producto (Nombre genérico) : Biodiésel de aceite de semillas de papaya  
Número de muestras : 01  
Identificación : UBE-(11/2023)-0248: Biodiésel de aceite de semillas de papaya  
Presentación : Frasco de vidrio  
Cantidad (peso/ volumen) : 0.500 L.  
Parámetros : Varios

III. RESULTADOS

N°	TIPO DE ANÁLISIS	NORMA / MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
			Biodiésel	
1	Número de Acidez	ASTM D-664	0.220	mg KOH/g.
2	Viscosidad Cinemática a 40°C	ASTM D-445	5.750	mm <sup>2</sup> /s
3	Cenizas Sulfatadas	ASTM D-874	0.000102	% (m/m)
4	Glicerol (Total)	AOCS Ca 14-56	0.351	% (m/m)
5	Glicerol (Libre)		0.0145	% (m/m)
6	Azufre	ASTM D1552	0.089	% (m/m)
7	Contenido de Humedad	Karl Fischer	0.073	% (m/m)

IV. OBSERVACIONES

Ninguna.



Laboratorio de  
Energías Renovables

José Calle Maraví, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de Energías  
Renovables





**INFORME DE ENSAYO N° 1-12134/23**

Pág. 1/4

**DATOS DEL CLIENTE <sup>(A)</sup>**

Cliente : QUISPE SAAVEDRA YRIS ROSARIO  
Domicilio legal : Calle 11 Manz. J Lote 17 Urb. Carabayllo – Comas – Lima – Lima

**DATOS DE LA MUESTRA**

Producto declarado <sup>(A)</sup> : SEMILLA DE PAPAYA PULVERIZADA  
Procedencia : Proporcionada por el solicitante y/o cliente  
Cantidad recibida : 1 muestra x 400 g  
Presentación y condición de recepción : En bolsa de plástico, cerrada y conservada a temperatura ambiente.  
Identificación y descripción <sup>(A)</sup> : No se indica  
Fecha de recepción : 2023 - 11 - 17  
Fecha de inicio del ensayo : 2023 - 11 - 21  
Fecha de término del ensayo : 2023 - 11 - 28  
Ensayo realizado en : Laboratorio Físico Químico Alimentos / Cromatografía de Gases  
Identificado con : H/S 23009184 (EXAI-15934-2023)  
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

**Análisis Físico Químico Alimentos:**

Ensayo	LCM	Unidad	Resultado
Grasa	0,02	g/100 g	27,10

LCM: Límite de cuantificación del método

<sup>(A)</sup> Datos proporcionados por el solicitante y/o cliente. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante y/o cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**“Este documento sin firma digital carece de validez”**

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

**INFORME DE ENSAYO N° 1-12134/23**

Pág. 2/4

**Análisis Cromatografía de Gases:**

	Ensayo	LCM	Unidad	Resultados
Composición de Ácidos Grasos	Ac. Araquidico(C20:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Araquidonico(C20:4(w 6))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. behenico (C22:0)	0,02	g/100 g de muestra	< 0,02
	Ac. Butirico(C4:0)	0,10	g/100 g de muestra	< 0,10
	Ac. Caprico(C10:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Caprilico(C8:0)	0,02	g/100 g de muestra	< 0,02
	Ac. Caproico(C6:0)	0,03	g/100 g de muestra	< 0,03
	Ac. cis-10 pentadecenoico(C15:1)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. cis-10-Heptadecenoico(C17:1)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Cis-11, 14, 17- Eicosatrienoico(C20:3(w 3))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Cis-11, 14-Eicosadienoico(C20:2)	0,02	g/100 g de muestra	0,84
	Ac. Cis-11-Eicosenoico(C20:1)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Cis-13, 16- Docosadienoico(C22:2)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-Docosahexaenoico(C22:6(w 3) DHA)	0,04	g/100 g de muestra	< 0,04
	Ac. cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoico(C20:5(w 3) EPA)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Cis-8, 11, 14- Eicosatrienoico(C20:3(w 6))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Elaidico (trans)(C18:1(w 9 trans))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Erucico(C22:1(w 9))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Esteárico(C18:0)	0,02	g/100 g de muestra	1,12
	Ac. Heneicosanoico(C21:0)	0,03	g/100 g de muestra	< 0,03
	Ac. Laurico(C12:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Lignocérico(C24:0)	0,03	g/100 g de muestra	< 0,03
	Ac. Linoeladico (trans)(C18:2(w 6 trans))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Linoleico(C18:2(w 6 cis))	0,01	g/100 g de muestra	1,55
	Ac. Margarico(C17:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Mirístico(C14:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Miristoleico(C14:1)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Nervónico(C24:1)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Oleico(C18:1(w 9 cis))	0,02	g/100 g de muestra	16,85
	Ac. Palmítico(C16:0)	0,02	g/100 g de muestra	5,12
	Ac. Palmitoleico (C16:1)	0,01	g/100 g de muestra	1,43
	Ac. Pentadecanoico(C15:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Tricosanoico (C23:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Tridecanoico(C13:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
Ac. Undecanoico(C11:0)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01	
Ac. γ-linolenico(C18:3(w 6))	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01	
Ac. Linolenico(C18:3(w 3))	0,01	g/100 g de muestra	0,18	

LCM: Límite de cuantificación del método

“Este documento sin firma digital carece de validez”

 AREQUIPA  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores – Arequipa  
 T. (054) 265572

 CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
 T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

**INFORME DE ENSAYO N° 1-12134/23**

Pág. 3/4

Ensayo		LCM	Unidad	Resultados
Composición de Ácidos Grasos	Acidos grasos saturados	0,01	g/100 g de muestra	6,24
	Acidos grasos monoinsaturados	0,01	g/100 g de muestra	18,28
	Acidos grasos poliinsaturados	0,01	g/100 g de muestra	2,57
	Ácidos grasos por debajo del LCM	-	g/100 g de muestra	-
	Acidos grasos no identificados	-	g/100 g de muestra	0,01
	Acidos grasos total	-	g/100 g de muestra	27,10

LCM: Límite de cuantificación del método

Ensayo		LCM	Unidad	Resultados
Composición de Ácidos Grasos	Acidos grasos Trans	0,01	g/100 g de muestra	<0,01
	Acidos grasos omega 3	0,01	g/100 g de muestra	0,18
	Acidos grasos omega 6	0,01	g/100 g de muestra	1,55
	Acidos grasos omega 9	0,01	g/100 g de muestra	16,85
	Acidos grasos EPA	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Acidos grasos DHA	0,04	g/100 g de muestra	< 0,04
	EPA + DHA	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01

LCM: Límite de cuantificación del método

Ensayo		LCM	Unidad	Resultados
Grasas Trans	Ac. Elaidico (trans)C18:1 (9t)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Linoleico (trans) isomeroC18:2 (9c 12t)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Linoleico (trans) isomeroC18:2 (9t 12c)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Linolelaidico (trans)C18:2 (9t 12t)	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9c 12t 15c)	0,03	g/100 g de muestra	< 0,03
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9c 12t 15t) + C18:3 (9c 12c 15t)	0,08	g/100 g de muestra	< 0,08
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12c 15c)	0,04	g/100 g de muestra	< 0,04
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12c 15t)	0,04	g/100 g de muestra	< 0,04
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12t 15c)	0,15	g/100 g de muestra	< 0,15
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12t 15t)	0,16	g/100 g de muestra	< 0,16
	Grasas Trans Totales	0,01	g/100 g de muestra	< 0,01

LCM: Límite de cuantificación del método

El valor de Grasas Trans Totales está calculado en base a los analitos identificados en la tabla

“Este documento sin firma digital carece de validez”

 AREQUIPA  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores – Arequipa  
 T. (054) 265572

 CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
 T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) – [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

**INFORME DE ENSAYO N° 1-12134/23**

Pág. 4/4

Ensayo		LCM	Unidad	Resultados
Grasas Trans	Ac. Elaidico (trans)C18:1 (9t)	0,01	g/100 g de materia grasa	< 0,01
	Ac. Linoleico (trans) isomeroC18:2 (9c 12t)	0,01	g/100 g de materia grasa	< 0,01
	Ac. Linoleico (trans) isomeroC18:2 (9t 12c)	0,01	g/100 g de materia grasa	< 0,01
	Ac. Linolelaidico (trans)C18:2 (9t 12t)	0,01	g/100 g de materia grasa	< 0,01
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9c 12t 15c)	0,03	g/100 g de materia grasa	< 0,03
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9c 12t 15t) + C18:3 (9c 12c 15t)	0,08	g/100 g de materia grasa	< 0,08
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12c 15c)	0,04	g/100 g de materia grasa	< 0,04
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12c 15t)	0,04	g/100 g de materia grasa	< 0,04
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12t 15c)	0,15	g/100 g de materia grasa	< 0,15
	Ac. Linolenico (trans) isomeroC18:3 (9t 12t 15t)	0,16	g/100 g de materia grasa	< 0,16
	Grasas Trans Totales	0,01	g/100 g de materia grasa	< 0,01

LCM: Límite de cuantificación del método

El valor de Grasas Trans Totales está calculado en base a los analitos identificados en la tabla

**MÉTODOS**

**Composición de Ácidos Grasos:** AOAC-996.06, Chapter 41, 22nd Ed. 2023. Fat (Total, Saturated, and Unsaturated) in Foods. Hydrolytic Extraction Gas Chromatographic Method.

**Grasas Trans:** AOAC-996.06, Chapter 41, 22nd Ed. 2023. Fat (Total, Saturated, and Unsaturated) in Foods. Hydrolytic Extraction Gas Chromatographic Method.

**Grasa:** AOCS Method Ba 3-38, 7ma Edition 2017. Oil in Seed Meals and Cakes.

**OBSERVACIONES**

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 06 de diciembre de 2023  
RF

Firmado Digitalmente  
CERTIFICACIONES DEL PERU SA  
  
-----  
ING. SONIA GARCIA CANALES  
C.P. 33422  
COORDINADORA DEL AREA DE EMISION DE INFORMES

“Este documento sin firma digital carece de validez”

AREQUIPA  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores – Arequipa  
T. (054) 265572

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao  
T. (511) 319 9000



INFORME DE ENSAYO N°: 02110H/23  
No. Referencia Intertek: 2023-LIMA-000669

**Cliente:** Yris Rosario Quispe Saavedra **Referencia del Cliente:** Correo Electrónico  
**Contacto:** Yris Rosario Quispe Saavedra  
**Dirección:** Calle 11 Mz. J Lt. 17 Urb. Carabayllo – Comas – Lima - Perú

**Descripción de la Muestra:** (a) BIODIESEL **Fecha de recepción:** 21-Noviembre-2023  
**Identificación:** Biodiesel de aceite de Semillas de Papaya; Dirección: Calle 11 Mz. J Lote 17 Urb. Carabayllo **Fecha inicio de análisis:** 21-Noviembre-2023  
**Cantidad:** 400.00 mL **Fecha fin de análisis:** 22-Noviembre-2023  
**Presentación:** Envase de vidrio **ID Muestra:** 2023-LIMA-000669-001  
**Procedencia:** Suministrado por el Cliente. **ITS REF.:** PER/12804-23  
**Lugar de ensayo:** Laboratorio Caleb Brett

Método/Versión	Ensayo	Resultado	Unidad
ASTM D93-20	<b>Punto de Inflamación por Equipo Pensky-Marten</b> Punto de Inflamación Corregido Procedimiento	176.5 C	°C

(a) Según lo indicado por el cliente

Notas:

- Este Informe no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación por escrito de INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A.
- Los resultados de los ensayos emitidos en el presente informe sólo son válidos para la muestra indicada no debiendo ser usados como una certificación de conformidad o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo brinda.
- Los resultados de los ensayos emitidos han sido realizados por el Laboratorio Caleb Brett.
- La información contenida en este informe está basada en pruebas de laboratorio y observaciones realizadas por Intertek Testing Services Perú S.A. La muestra fue enviada por el cliente sólo para análisis. En estos casos, donde nosotros no podemos acreditar la procedencia de la muestra, Intertek Testing Services Perú S.A. renuncia a cualquier responsabilidad por daño o lesión que puede resultar por el uso de la información contenida en este informe, y nada de lo contenido debe ser constituido como una garantía o representación por Intertek Testing Services Perú S.A. con respecto a la exactitud de la información, la muestra, producto o ítem descrito, o su adecuación de uso para cualquier propósito específico.

Autorizado por:



Firmado Digitalmente Por:  
CARLOS ANTONIO  
GONZALES YAPO  
Fecha: 22/11/2023  
10:20:52



COMPLEMENTO DEL INFORME DE ENSAYO N°: 02110H/23

No. Referencia Intertek: 2023-LIMA-000669

<b>Cliente:</b> Yris Rosario Quispe Saavedra	<b>Referencia del Cliente:</b> Correo Electrónico
<b>Contacto:</b> Yris Rosario Quispe Saavedra	
<b>Dirección:</b> Calle 11 Mz. J Lt. 17 Urb. Carabaylo – Comas – Lima - Perú	

<b>Descripción de la Muestra:</b> (a) BIODIESEL	<b>Fecha de recepción:</b> 21-Noviembre-2023
<b>Identificación:</b> Biodiesel de aceite de Semillas de Papaya; Dirección: Calle 11 Mz. J Lote 17 Urb. Carabaylo	<b>Fecha inicio de análisis:</b> 22-Noviembre-2023
<b>Cantidad:</b> 400.00 mL	<b>Fecha fin de análisis:</b> 01-Diciembre-2023
<b>Presentación:</b> Envase de vidrio	<b>ID Muestra:</b> 2023-LIMA-000669-001
<b>Procedencia:</b> Suministrado por el Cliente.	<b>ITS REF.:</b> PER/12804-23
<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio Subcontratado	

Método/Versión	Ensayo	Resultado	Unidad
ASTM D5865	Poder Calorífico		
	Poder Calorífico	9555.90 *	Kcal/Kg

(a) Según lo indicado por el cliente


(\*) Resultado expresado en base seca

ID Muestra 2023-LIMA-000669-001: Ensayo subcontratado. Informe de ensayo IE-2023-1971.

Notas:

1. Este Informe no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación por escrito de INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A.
2. Los resultados de los ensayos emitidos en el presente informe sólo son válidos para la muestra indicada no debiendo ser usados como una certificación de conformidad o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo brinda.
3. Los resultados de los ensayos emitidos han sido realizados por el Laboratorio Caleb Brett.
4. La información contenida en este informe está basada en pruebas de laboratorio y observaciones realizadas por Intertek Testing Services Perú S.A. La muestra fue enviada por el cliente sólo para análisis. En estos casos, donde nosotros no podemos acreditar la procedencia de la muestra, Intertek Testing Services Perú S.A. renuncia a cualquier responsabilidad por daño o lesión que puede resultar por el uso de la información contenida en este informe, y nada de lo contenido debe ser constituido como una garantía o representación por Intertek Testing Services Perú S.A. con respecto a la exactitud de la información, la muestra, producto o ítem descrito, o su adecuación de uso para cualquier propósito específico.

Autorizado por:

intertek   
Ana Fuente P.

Firmado Digitalmente Por:  
ANA ELIZABETH  
PUENTE  
PORTOCARRERO  
N° Colegiatura: C.I.P  
Cargo: Jefe de  
Laboratorio Caleb Brett  
DNI: 41175750  
Fecha: 5/12/2023  
10:54:51

Intertek Testing Services Perú S.A.

Calle Mariscal José de La Mar N° 200 - Urb. Industrial Residencial el Pino - San Luis - LIMA - PERU  
Email: intertekperu@intertek.com  
Oficinas en: Paíta - Sechura - Colishco - Malabrigo - Chimbote - Mollendo - Lima

