

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL SILICATO DE SODIO COMO  
CATALIZADOR EN EL RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE  
BIODIESEL DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL**

**PRESENTADO POR:**

Br. LUIS ALEX ROA CONDORI

Br. KATHERINE LIDIA BELLOTA GONZALES

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO PETROQUÍMICO**

**ASESOR:**

Mgt. URIEL RAÚL FERNÁNDEZ BERNAOLA

**CO-ASESORES:**

Dra. CARMINA REYES PLASCENCIA

Msc. WILLIAMS JAVIER RAMOS VÁSQUEZ

**CUSCO – PERÚ**

**2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** MGT. URIEL RAÚL FERNÁNDEZ BERNALOA.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DEL CATALIZADOR DE SODIO.....  
CATALIZADOR EN EL RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL DE ACEITE VEGETAL  
RESIDUAL.....

Presentado por: LUIS ALEX RDA CONDORI..... DNI N° 73113855.....;  
presentado por: KATHERINE LIDIA BEHUTA GONZALES..... DNI N°: 76310807.....  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO PETROQUÍMICO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 91 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de  
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....7.....%.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de ENERO de 2026.....

Firma

Post firma...URIEL RAÚL FERNÁNDEZ BERNALOA

Nro. de DNI.....43130855.....

ORCID del Asesor.....0000-0002-9386-702X.....

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546563112.....



# Bellota Gonzales - Roa Condori

## Tesis Bellota\_Roa.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

**Identificador de la entrega****trn:oid::27259:546563112****134 páginas****Fecha de entrega****15 ene 2026, 4:55 p.m. GMT-5****20.776 palabras****Fecha de descarga****15 ene 2026, 4:58 p.m. GMT-5****114.761 caracteres****Nombre del archivo****Tesis Bellota\_Roa.pdf****Tamaño del archivo****8.1 MB**

## 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- |    |   |
|----|---|
| 6% |  Fuentes de Internet                           |
| 2% |  Publicaciones                                 |
| 4% |  Trabajos entregados (trabajos del estudiante) |

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **Dedicatorias**

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor y apoyo incondicional. Y a mí misma, por mi paciencia y perseverancia, cualidades que me han permitido llegar hasta aquí, superando desafíos con determinación y aprendiendo de cada paso.

**Katherine Lidia Bellota Gonzales.**

Le dedico el resultado de este trabajo a mis queridos padres Leonardo y Margarita. Este logro es un testimonio de su inmenso amor y dedicación, que con gran esfuerzo me dieron la oportunidad de culminar mi carrera profesional. A mis hermanos Fredy, Wilber, Margot, Edwin y Leo cuya sabiduría e influencia ha dado forma a mi camino personal y profesional. A mi amigo Brian y su querida madre Roxana por su constante apoyo y comprensión.

*¡Gracias por confiar en mí!*

**Luis Alex Roa Condori**

### **Agradecimientos**

A Dios y a mi familia, mi guía constante a lo largo de todo este proceso. A nuestro asesor, Mgt. Uriel Raul Fernández Bernaola, por su disposición en poder culminar esta etapa. A nuestros co-asesores, Dra. Carmina Reyes Plascencia y MSc. Williams Javier Ramos Vasquez, por su orientación, dedicación y apoyo incondicional. A nuestros docentes de facultad, por contribuir en nuestra formación profesional. A mi compañero de tesis, Luis Roa, por su paciencia y optimismo. A las practicantes de los laboratorios, en especial a la Br. Brisabeth Florez, por su constante disposición y valiosa colaboración.

A mis mejores amigas, Ana María, Luana y Soledad, y a mis amigos de facultad, por sus palabras de aliento, por compartir conmigo risas, aprendizajes y momentos difíciles. Y, finalmente, a todas las personas que, con su apoyo, han hecho de este camino uno lleno de crecimiento, esfuerzo y aprendizaje.

*“Gracias por estar siempre ahí”*

**Katherine Lidia Bellota Gonzales.**

A mis amistades incondicionales: Tania, Fabiola, Idania, Helen, Cintia, Lively, Lucero, Leonor, Gabriela, Linver, Royer, Lucho, Gian, Hebert, Kevin y Hiasir por su inmenso aprecio y comprensión.

*“Gracias por ser y estar”*

**Luis Alex Roa Condori.**

## Resumen

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto del silicato de sodio como catalizador en el rendimiento de obtención de biodiesel de aceite vegetal residual. El silicato de sodio se obtuvo a través de la impregnación húmeda de NaOH en SiO<sub>2</sub> Tixosil 38AB bajo condiciones de síntesis basadas en antecedentes previos; y se caracterizó a través de diversas técnicas como el XRD, SEM-EDX y análisis BET-BJH con el fin de evaluar sus propiedades físicas y químicas. Se aplicó el catalizador para la transesterificación del AVR a una temperatura de reacción de 60 °C durante 2 horas. El experimento se llevó a cabo en un reactor batch de tres bocas equipado con un condensador de reflujo y un agitador magnético. En cada corrida experimental se varió la dosis de catalizador (1, 2 y 3% p/p) y la relación molar aceite-metanol (1:6, 1:9, 1:12). Los resultados mostraron que el catalizador puede ser utilizado para la transesterificación de AVR obteniendo un rendimiento del 94.88% con una dosis de catalizador del 1% y una relación molar aceite-metanol de 1:6. El análisis estadístico indicó que ambas variables influyen directamente en el rendimiento del biodiesel, sin embargo, la variación de la dosis de catalizador tuvo un efecto significativo, logrando obtener un rendimiento alto con la dosis más baja de catalizador. Además, se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del biodiesel de mayor rendimiento de acuerdo a lo establecido en la NTP 321.125:2019, demostrando que se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa.

**Palabras clave:** Aceite Vegetal Residual, Biodiésel, Silicato de Sodio, Transesterificación.

## Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of sodium silicate as a catalyst on the biodiesel yield from waste vegetable oil. Sodium silicate was obtained through the wet impregnation of Tixosil 38AB SiO<sub>2</sub> with NaOH under synthesis conditions based on previous research. It was characterized using various techniques, including XRD, SEM-EDX, and BET-BJH analysis, to evaluate its physical and chemical properties. The catalyst was applied to the transesterification of waste vegetable oil at a reaction temperature of 60 °C for 2 hours. The experiment was carried out in a three-necked batch reactor equipped with a reflux condenser and a magnetic stirrer. In each experimental run, the catalyst dosage (1, 2, and 3% w/w) and the oil-methanol molar ratio (1:6, 1:9, and 1:12) were varied. The results showed that the catalyst can be used for the transesterification of AVR, achieving a yield of 94.88% with a catalyst dosage of 1% and an oil-to-methanol molar ratio of 1:6. Statistical analysis indicated that both variables directly influence biodiesel yield; however, the variation in catalyst dosage had a significant effect, achieving a high yield with the lowest catalyst dosage. Furthermore, the physicochemical characterization of the highest-yielding biodiesel was carried out according to NTP 321.125:2019, demonstrating that it falls within the limits established by the standard.

**Keywords:** Residual Vegetable Oil, Biodiesel, Sodium Silicate, Transesterification.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Lista de Figuras.....	VII
Lista de tablas .....	VIII
Acrónimos.....	IX
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1    Introducción .....	1
1.2    Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1    Definición del Problema .....	1
1.2.2    Formulación del Problema .....	2
1.2.3    Problemas Específicos .....	2
1.3    Justificación .....	3
1.4    Objetivos .....	4
1.4.1    Objetivo General .....	4
1.4.2    Objetivos Específicos.....	4
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>5</b>
2.1.    Antecedentes.....	5
2.2.    Bases Teóricas .....	7
2.2.1.    Aceite Vegetal.....	7
2.2.2.    Aceite Vegetal Residual.....	8
2.2.3.    Biodiesel .....	9
2.2.4.    Catalizadores.....	15
2.2.5.    Silicato de Sodio .....	23
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1.    Muestra .....	28
3.2.    Lugar de Investigación.....	28
3.3.    Materiales.....	28
3.3.1.    Materiales de Vidrio y Otros.....	28
3.3.2.    Reactivos.....	30
3.3.3.    Instrumentos y Equipos.....	30
3.4.    Métodos.....	31
3.4.1.    Recolección del Aceite Vegetal Residual .....	31
3.4.2.    Pretratamiento y Caracterización del Aceite Vegetal Residual .....	31
3.4.3.    Síntesis del Catalizador.....	32
3.4.4.    Proceso de Transesterificación.....	33
3.4.5.    Caracterización del Catalizador .....	36

3.4.6. Caracterización del Biodiesel.....	36
3.5. Diseño Experimental.....	46
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1. Resultados del Proceso Experimental .....	48
4.1.1. Síntesis del Catalizador.....	48
4.1.2. Pretratamiento de la Materia Prima.....	48
4.1.3. Obtención de Biodiesel .....	49
4.2. Caracterización del Catalizador .....	53
4.2.1. Difracción de Rayos X (XRD).....	53
4.2.2. Microscopia Electrónica de Barrido y Espectroscopia de Rayos X.....	54
4.2.3. Análisis BET y BJH .....	56
4.3. Caracterización del Biodiésel.....	58
4.3.1. Propiedades de Volatilidad .....	59
4.3.2. Propiedades de Fluidez .....	60
4.3.3. Propiedades de Combustión.....	62
4.3.4. Propiedades de Composición .....	63
4.3.5. Propiedades de Corrosividad .....	64
4.3.6. Propiedades de Contaminación .....	65
4.4. Análisis Estadístico y Experimental .....	66
CONCLUSIONES .....	71
RECOMENDACIONES .....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	73
APENDICE.....	77
ANEXOS .....	93

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de reacción de transesterificación .....	10
<b>Figura 2.</b> Diversas materias primas empleadas en la obtención de biodiésel .....	11
<b>Figura 3.</b> Esquema experimental de la reacción de transesterificación homogénea .....	16
<b>Figura 4.</b> Esquema experimental de la reacción de transesterificación heterogénea .....	18
<b>Figura 5.</b> Esquema de reacción utilizando un catalizador heterogéneo .....	19
<b>Figura 6.</b> Diagrama de bloques del proceso de impregnación húmeda.....	25
<b>Figura 7.</b> Mecanismo de reacción de transesterificación .....	26
<b>Figura 8.</b> Diagrama del proceso de síntesis del catalizador .....	33
<b>Figura 9.</b> Reactor de transesterificación.....	34
<b>Figura 10.</b> Diagrama del proceso de obtención de biodiesel .....	35
<b>Figura 11.</b> Equipo de medición del punto de inflamación Pensky-Martens .....	38
<b>Figura 12.</b> Baño isotérmico acoplado a un viscosímetro capilar .....	39
<b>Figura 13.</b> Equipo de medición de punto de fluidez y nube .....	40
<b>Figura 14.</b> Equipo de destilación atmosférica Precision Scientific.....	41
<b>Figura 15.</b> Determinación del poder calorífico bruto.....	43
<b>Figura 16.</b> Test de colores utilizada en la prueba corrosiva ASTM D130.....	45
<b>Figura 17.</b> Determinación de agua y sedimentos .....	46
<b>Figura 18.</b> Muestra de catalizador de Silicato de Sodio.....	48
<b>Figura 19.</b> Pretratamiento del AVR con carbón activado .....	49
<b>Figura 20.</b> Proceso de decantación y lavado de biodiésel.....	50
<b>Figura 21.</b> Diagrama de bloques del balance de masa del proceso de obtención de biodiesel .....	52
<b>Figura 22.</b> Análisis XRD del silicato de sodio.....	53
<b>Figura 23.</b> Morfología de la superficie del silicato de sodio sintetizado .....	54
<b>Figura 24.</b> Composición elemental de silicato de sodio calcinado 2-06(1) .....	56
<b>Figura 25.</b> Isoterma de adsorción-desorción de N <sub>2</sub> del silicato de sodio .....	57
<b>Figura 26.</b> Determinación de la densidad a 15°C .....	59
<b>Figura 27.</b> Determinación de la viscosidad cinemática a 40°C.....	61
<b>Figura 28.</b> Punto de nube y fluidez del biodiesel (B100).....	62
<b>Figura 29.</b> Contenido de ceniza .....	63
<b>Figura 30.</b> Contenido de carbón.....	64
<b>Figura 31.</b> Ensayo de lámina de cobre del biodiesel (B100) .....	64
<b>Figura 32.</b> Agua y sedimentos en el biodiesel (B100) y AVR.....	65
<b>Figura 33.</b> Diagrama de Pareto .....	67
<b>Figura 34.</b> Grafica de efectos principales .....	68
<b>Figura 35.</b> Grafica de superficie Rendimiento vs Relación Aceite-Metanol, Catalizador .....	69

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades fisicoquímicas de diferentes aceites vegetales usados.....	8
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones del Biodiesel (B100) .....	12
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y desventajas de los catalizadores homogéneos.....	17
<b>Tabla 4.</b> Ventajas y desventajas de los catalizadores heterogéneos .....	20
<b>Tabla 5.</b> Técnicas de caracterización de catalizadores .....	22
<b>Tabla 6.</b> Niveles de variables .....	47
<b>Tabla 7.</b> Plan Experimental .....	47
<b>Tabla 8.</b> Resultados y rendimiento del proceso de obtención de biodiesel.....	51
<b>Tabla 9.</b> Composición elemental de silicato de sodio calcinado.....	55
<b>Tabla 10.</b> Área superficial BET, volumen y tamaño de poro.....	58
<b>Tabla 11.</b> Propiedades fisicoquímicas del AVR .....	58
<b>Tabla 12.</b> Comparación de propiedades fisicoquímicas del AVR y su respectivo biodiesel .....	60
<b>Tabla 13.</b> Análisis de Varianza (ANOVA) .....	66
<b>Tabla 14.</b> Comparación del rendimiento de biodiesel utilizando silicato de sodio comercial y sintetizado .....	70
<b>Tabla 15.</b> Matriz de consistencia.....	78
<b>Tabla 16.</b> Operacionalización de las variables .....	79

## Acrónimos

AVR	Aceite Vegetal Residual
AGL	Ácidos Grasos Libres
FAME	Fatty Acid Methyl Ester (Esteres Metilicos de Acidos Grasos)
ASTM	American Society for Testing and Materials
EN	Norma Europea
NTP	Norma Técnica Peruana
SEM	Microscopia Electrónica de Barrido
EDX	Espectroscopia de Rayos X por Dispersión de Energía
XRD	Difracción de Rayos X
BET	Brunauer-Emmett-Teller
BJH	Barrett-Joyner-Halenda
API	American Petroleum Institute
RPM	Revoluciones Por Minuto
B100	Biodiesel 100%
IA	Índice de acidez
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silicio
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Silicato de Sodio
Si	Silicio
Na	Sodio
Li	Litio
N <sub>2</sub>	Nitrógeno

## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Actualmente la demanda de energía se ha intensificado no solo por el incremento de la población, sino también por la industrialización y la modernización. Se prevé que el consumo global de energía aumentará un 28% entre 2015 y 2040 (Widayat et al., 2024). De acuerdo al reporte anual realizado por Energy Institute, (2024), los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) aún se posicionan como la principal fuente de energía primaria con un 81.47%, seguido de las energías renovables con un 14.60%, el resto del consumo mundial proviene de la energía nuclear con un 4%. Esta elevada dependencia de fuentes no renovables plantea desafíos significativos, tanto por su agotamiento previsible como por su contribución al cambio climático. La combustión de combustibles fósiles contribuye aproximadamente con un 52% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), constituyéndose en la principal fuente de gases de efecto invernadero Kedir et al., (2023). Frente a este panorama, los esfuerzos se han concentrado en promover y desarrollar fuentes de energía renovables que sean ambientalmente sostenibles (Amesho et al., 2022). En este contexto, el biodiesel se ha posicionado como una alternativa energética renovable prometedora, debido a que se puede obtener a partir de una amplia variedad de materias primas y presenta propiedades similares al diésel convencional, con la ventaja adicional de ser biodegradable y menos contaminante (Mansir et al., 2021).

### 1.2 Planteamiento del Problema

#### 1.2.1 Definición del Problema

A pesar de que el biodiesel se considera una alternativa viable al diésel fósil, el costo de su producción aun enfrenta limitaciones económicas que afectan su competitividad. Independientemente de la tecnología utilizada, el costo de la materia prima representa aproximadamente el 80% del costo total de producción, constituyéndose como el principal factor que condiciona la viabilidad económica del proceso. Debido a que la materia prima

domina el costo de producción, se ha propuesto el uso de materias primas de bajo costo, como el aceite usado de cocina y las grasas animales. Sin embargo, estas materias primas suelen presentar un elevado contenido de ácidos grasos libres (AGL) y agua, lo que requiere etapas adicionales de pretratamiento para garantizar la calidad del biodiesel. Estas etapas incrementan la complejidad del proceso y generan costos adicionales que compensan parcialmente el ahorro inicial (Gebremariam & Marchetti, 2018).

Ahora bien, la eficiencia del proceso de transesterificación depende de parámetros operativos críticos como la relación molar aceite-alcohol y la dosis de catalizador. Una relación molar inadecuada o una dosificación incorrecta del catalizador puede reducir el rendimiento del biodiesel o dificultar las etapas posteriores de purificación, incrementando nuevamente los costos de proceso (Musa, 2016). Adicionalmente, el uso de catalizadores homogéneos en combinación con materias primas económicas genera dificultades asociadas a su separación y recuperación. Por ello, surge la necesidad de evaluar alternativas catalíticas que permitan mejorar el rendimiento del biodiesel y reducir los costos operativos del proceso (Bedir & Doğan, 2021).

### **1.2.2 *Formulación del Problema***

- ¿Cuál es el efecto del silicato de sodio como catalizador en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual?

### **1.2.3 *Problemas Específicos***

- ¿Cuál es el efecto de la variación de la dosis del catalizador de silicato de sodio en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual?
- ¿Cuál es el efecto de la variación de la relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual?

### 1.3 Justificación

El continuo crecimiento poblacional ha incrementado significativamente el consumo global de aceites vegetales, el cual pasó de 166.76 Mt en el año 2013/2014 a 206.41 Mt en el 2020/2021 y a 218 Mt en el 2023/2024 (Energy Institute, 2023). Esta tendencia ha generado de manera paralela un aumento en la producción de aceites vegetales usados, provenientes principalmente de las industrias procesadoras de alimentos (32%), así como de los hogares (18%) y restaurantes (3%) (Ghosh, Patra, et al., 2024). Una parte considerable de este residuo no recibe un tratamiento adecuado y es descartado de forma inadecuada, ocasionando problemas ambientales como la obstrucción y corrosión de tuberías de alcantarillado; degradación del suelo y la contaminación del agua (Awogbemi & Kallon, 2024). En este contexto, surge la necesidad de revalorizar el aceite usado de cocina mediante alternativas que permitan mitigar su impacto ambiental y, al mismo tiempo, aprovechar su potencial energético. Una de estas alternativas es su utilización como materia prima para la producción de biodiesel, ya que, además de ser una opción ambientalmente sostenible, contribuye a reducir significativamente los costos totales de producción al emplear un insumo de bajo costo.

No obstante, el proceso de obtención de biodiesel aun enfrenta limitaciones técnicas y económicas, particularmente asociadas al uso de catalizadores homogéneos, los cuales, si bien presentan alta velocidad de reacción y amplia disponibilidad, son eficientes únicamente cuando se emplean aceites con bajo contenido de ácidos grasos libres. Asimismo, su aplicación genera cantidades significativas de aguas residuales durante las etapas de lavado y recuperación del producto, incrementando los costos operativos y el impacto ambiental del proceso.

En respuesta a estas limitaciones, la investigación científica reciente se ha orientado hacia el desarrollo de catalizadores heterogéneos y en la evaluación de la influencia de variables operativas como la temperatura, tiempo de reacción, agitación, relación molar aceite-alcohol y dosis de catalizador; en el rendimiento de biodiesel con el objetivo de encontrar las mejores

condiciones que propicien un mayor rendimiento de biodiesel (Bedir & Doğan, 2021). En particular, diversos estudios han evidenciado el potencial del silicato de sodio como catalizador en la producción de biodiesel. Daramola et al., (2016), reportaron un rendimiento del 57.92% empleando silicato de sodio comercial, mientras que Manurung, Hasibuan, et al., (2024), demostraron que el silicato de sodio sintetizado presenta mejores propiedades catalíticas, alcanzando rendimientos de hasta 87.50%.

En ese sentido, la presente investigación se desarrolla con el propósito de evaluar el uso de silicato de sodio sintetizado a partir de NaOH y SiO<sub>2</sub> como catalizador heterogéneo en la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina, así como analizar la influencia de la dosis de catalizador y la relación molar aceite-metanol sobre el rendimiento del proceso. Los resultados de este estudio aportarán información relevante sobre la síntesis y el empleo de catalizadores heterogéneos en la obtención de biodiesel, así como permitirá identificar las mejores condiciones de reacción que contribuyan a mejorar el rendimiento del biodiesel.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 *Objetivo General*

- Evaluar el efecto del silicato de sodio como catalizador en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual.

### 1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Evaluar el efecto de la variación de la dosis del catalizador de silicato de sodio en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual.
- Evaluar el efecto de la variación de la relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal residual.

## CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Antecedentes

El trabajo de investigación realizado por Daramola et al. (2016) “Influence of operating variables on the transesterification of waste cooking oil to biodiesel over sodium silicate catalyst: A statistical approach”, se enfocó en evaluar la influencia de la dosis de catalizador, tiempo y temperatura de reacción en la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal residual (3.28% AGL) utilizando como catalizador el silicato de sodio con un área superficial de 0.39 m<sup>2</sup>/g. Su investigación, de tipo experimental, varió la dosis de catalizador de 0.5 a 2.5% p/p, el tiempo de reacción de 30 a 240 min y la temperatura de reacción de 30 a 64 °C manteniendo constante la relación molar aceite-metanol de 1:6. El rendimiento óptimo de biodiesel obtenido en el presente estudio fue de 57.92% a condiciones de 2.5 % p/p de catalizador, 240 min y 64 °C. Se concluye que tanto la dosis de catalizador, el tiempo y temperatura de reacción influyen en el rendimiento de obtención de biodiesel.

El trabajo de investigación realizado por Manurung, Hasibuan, et al. (2024) “Preparation and characterization of lithium, sodium, and potassium silicate from palm leaf as a potential solid base catalyst in developed biodiesel production”, se centró en la síntesis y caracterización de catalizadores de base sólida de SiO<sub>2</sub> derivados de hoja de palma, impregnados con diferentes metales alcalinos (Li, Na y K), para ser empleado en la obtención de biodiésel a partir de aceite de palma refinado (0.14% AGL). Su investigación, de tipo experimental, inició con la síntesis del catalizador considerando una temperatura y tiempo de impregnación de 90 °C y 2 h, un secado a 150 °C durante 2 h, y una calcinación de 400 °C por 1 h. Posteriormente, los catalizadores fueron caracterizados a través de diferentes técnicas como XRD, FTIR, SEM-EDS, BET e indicador de Hammett, con el objetivo de determinar sus propiedades fisicoquímicas. Los catalizadores se emplearon en la obtención de biodiésel bajo condiciones de reacción de 60 °C durante 1 h, con una dosis de catalizador del 3% p/p y una

relación molar aceite-metanol de 1:12. Finalmente, el biodiésel obtenido fue caracterizado y comparado con los estándares de la norma EN 14214. Los resultados demostraron que las condiciones de síntesis empleadas permitieron una impregnación exitosa LiOH, NaOH y KOH en SiO<sub>2</sub>, logrando un rendimiento de biodiésel del 87.50%, cuyas propiedades fisicoquímicas cumplieron con lo indicado en la norma europea. Se concluye que las condiciones de síntesis utilizadas permiten desarrollar un catalizador eficiente, capaz de obtener biodiésel de alta calidad.

El trabajo de investigación realizado por Roschat et al. (2016) “Rice husk-derived sodium silicate as a highly efficient and low-cost basic heterogeneous catalyst for biodiesel production” se enfocó en la síntesis de silicato de sodio a partir de NaOH y SiO<sub>2</sub> derivado de la cáscara de arroz, con el objetivo de emplearlo en la obtención de biodiésel a partir de aceite de palma (0.16 AGL). Su investigación, de tipo experimental, inició con la síntesis del catalizador, en la cual se varió la temperatura de calcinación (200 a 500 °C), para luego ser caracterizado mediante técnicas como TGA-DTA, XRD, XRF, FTIR, SEM, BET e indicador de Hammett. Posteriormente, el catalizador fue empleado en la reacción de transesterificación, donde se variaron la temperatura de reacción (55, 60, 65 y 70 °C), la dosis de catalizador (0-5% p/p con respecto al aceite) y el ratio molar aceite-metanol (1:3-1:12). Los resultados demostraron que el catalizador calcinado a 300 °C exhibió mejores propiedades fisicoquímicas, seguido por el calcinado a 400 °C, cuya basicidad fue igual de alta, pero presentó una menor área superficial, logrando obtener rendimientos del 98.04% y 95.24% a una temperatura de reacción de 65 °C, con una dosis de catalizador del 2.5% p/p y un ratio molar de 1:12. Se concluye que el catalizador calcinado a 300 °C es igual de eficiente que el calcinado a 400 °C en la obtención de biodiésel. Así mismo, se identificó que el rendimiento disminuye al incrementar la temperatura de reacción por encima de los 65 °C (temperatura de ebullición del

metanol), al usar una dosis alta de catalizador superior al 3% p/p o al emplear una relación molar aceite-metanol mayor a 1:12.

El trabajo de investigación realizado por Siregar et al. (2021) “Synthesis and characterization of sodium silicate produced from corncobs as a heterogeneous catalyst in biodiesel production” se centró en la síntesis de catalizadores sólidos de silicato de sodio a partir de NaOH y SiO<sub>2</sub> derivado de la mazorca de maíz para ser utilizados como catalizadores en la obtención de biodiésel a partir de aceite de palma refinado (0.15% AGL). Su investigación, de tipo experimental, inició con la preparación del catalizador, en la cual se varió la temperatura de calcinación (400, 500 y 600 °C) durante 2 horas, para luego ser caracterizado mediante técnicas como XRD, FTIR, SEM y BET. El catalizador fue empleado en la reacción de transesterificación para obtener biodiésel con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura de calcinación en el rendimiento de biodiésel. Las condiciones de reacción utilizadas fueron: temperatura de 65 °C, una dosis de catalizador del 2% p/p, una relación molar aceite-metanol de 1:12 y un tiempo de reacción de 1 h. Los resultados mostraron que el catalizador calcinado a 400 °C permitió obtener un rendimiento de biodiésel del 79.49%, superior al obtenido con los catalizadores calcinados a 500 y 600 °C, que alcanzaron rendimientos de 77.34 y 75.36%, respectivamente. Se concluye que, a mayor temperatura disminuye la eficiencia del catalizador en términos de rendimiento de biodiésel, posiblemente debido al efecto de sinterización, ya que las altas temperaturas reducen su área superficial activa.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Aceite Vegetal

Se define como aceite vegetal a aquellas grasas de origen vegetal que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Se encuentra formado principalmente por 95% de triglicéridos, que son ésteres compuestos por tres ácidos grasos unidos a una molécula de

glicerol y 5% de ácidos grasos libres, y otros compuestos en menor porcentaje como esteroles y ceras, los cuales tienden a caracterizarse por su insolubilidad en agua y solubilidad en solventes orgánicos no polares (Challco Mendoza & Jacinto Mamani, 2025).

### **2.2.2. Aceite Vegetal Residual**

El aceite vegetal residual (AVR) es aquel que ha sido sometido a procesos de fritura y cocción, durante los cuales experimenta cambios físicos y químicos. Estos cambios dan lugar a la formación de ácidos grasos libres (AGL), así como a variaciones en el color y el olor. Además, se incorporan compuestos como las proteínas, fosfolípidos, ceras, resinas y pigmentos que, aunque se encuentran en pequeñas cantidades, generan inestabilidad y favorecen la formación de espuma (Castro et al., 2007).

#### a) Propiedades del aceite vegetal residual

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas del AVR, Lopresto et al, (2024) y Challco Mendoza & Jacinto Mamani, (2025) indican, que depende de su materia de origen, del tratamiento al que son sometidos (temperatura del aceite, periodo de almacenamiento y exposición al aire) y de su grado de reutilización. En general el AVR se caracteriza por presentar valores altos de densidad, índice de acidez, viscosidad cinemática y punto de inflamación, tal como se observa en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Propiedades fisicoquímicas de diferentes aceites vegetales usados*

<b>Tipo de aceite</b>	<b>Peso molecular (g/mol)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Indice de acidez (mgKOH/mg)</b>	<b>Viscosidad cinemática (mm<sup>2</sup>/s)</b>
Aceite usado de girasol	51.9	920.4	2.3	31.4
Aceite usado de palma	135.7	904.3	0.7	44.3
Aceite usado de colza	871.0	929.0	1.1	68.6

Nota: Adaptado de “*Conversión of hazardous waste cooking oil into non-fuel value added products*”, por Awogbemi & Kallon, (2024) International Journal of Ambient Energy.

## Índice de acidez

Este índice es indicativo de la calidad de un aceite o grasa. Se define como la masa en mg de KOH necesaria para neutralizar la acidez libre en 1 gramo de aceite (Challco Mendoza & Jacinto Mamani, 2025).

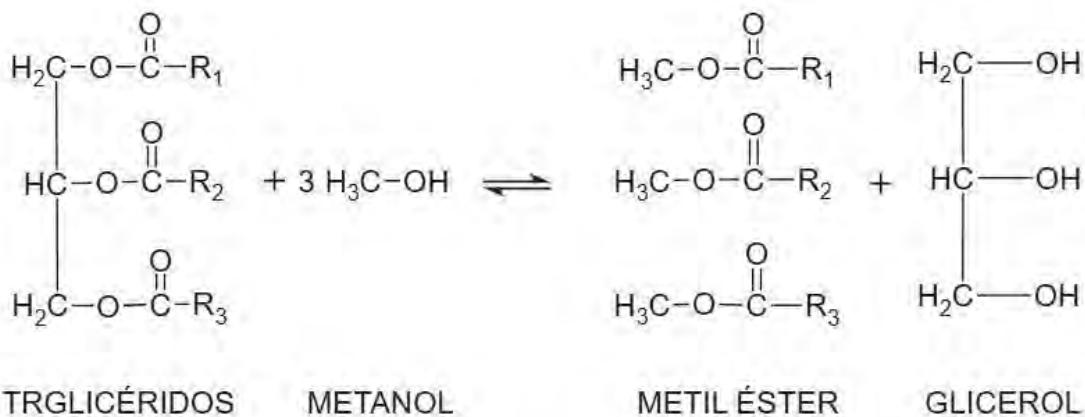
Mediante este índice se evalúa el contenido de ácidos grasos libres a través de la siguiente ecuación 1.

$$\% AGL = \frac{IA}{2} \quad (1)$$

Donde, IA es el índice de acidez en mg KOH/g.

### 2.2.3. *Biodiesel*

Consiste en una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) obtenido principalmente a través una reacción de transesterificación, el cual es el proceso más importante y comercialmente utilizado (Elfina et al., 2024). Este proceso consiste en hacer reaccionar grasas o aceites (triglicéridos) con un alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador (Quevedo Amador et al., 2024), tal como se observa en la figura 1.

**Figura 1.***Esquema de reacción de transesterificación*

*Nota.* Adaptado de “*A review on the utilization of calcium oxide as a base catalyst in biodiesel production*”, por Atiqah et al. (2021), *Journal of Environmental Chemical Engineering*.

Para favorecer la producción de biodiésel en la reacción de transesterificación, la relación estequiométrica de aceite-alcohol debe ser 1:3; pero se suele trabajar con exceso de alcohol, ya que la reacción es reversible. Factores como la carga del catalizador, el tipo de alcohol, la temperatura, la agitación y el tiempo de reacción juegan un rol importante en los rendimientos de la transesterificación (Widiarti et al., 2019).

#### a) Clasificación del biodiesel

Según el tipo de materia prima utilizada en la obtención de biodiesel, se clasifica en tres generaciones. La primera generación corresponde al biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales comestibles, como la palma, soya, coco, etc. La segunda generación corresponde aquél obtenido a partir de aceites vegetales no comestibles como la jatropha, ricino, karanja. Por último, la tercera generación comprende al biodiésel producido a partir de aceites extraídos de microalgas y residuos de aceites vegetales usados (Rezki et al., 2024).

De la gran variedad de materias primas ilustradas en la figura 2, tradicionalmente se utilizan los aceites comestibles como la principal fuente de materia prima. Sin embargo,

inconvenientes como el alza de precios del aceite vegetal, amenazas de hambre y degradación de suelos debido a la agricultura a gran escala para obtener estas materias primas han impulsado a un mayor interés en el uso de otras alternativas, como el uso del aceite vegetal residual (Mansir et al., 2018).

El aceite vegetal residual cuenta con un gran potencial para ser utilizado como materia prima en la obtención de biodiésel, ya que es renovable, económicamente viable, respetuoso con el medio ambiente, no genera conflictos con la disponibilidad de alimentos, ni de áreas de cultivo (Monika et al., 2023). Asimismo, su uso implica la eliminación de la etapa de extracción de aceite, lo que hace que la producción sea más económica.

**Figura 2.**

*Diversas materias primas empleadas en la obtención de biodiésel*



*Nota: Tomado de “Current progress and future outlooks of microwave-irradiated biodiesel production: A holistic review”, por Ghosh, D., et al. (2024), Chemical Engineering Journal.*

### b) Propiedades fisicoquímicas del biodiesel

El biodiesel principalmente se aplica en el sector transporte, ya que se puede mezclar con el diésel para ser utilizado en camiones, autobuses y otros vehículos con el fin de aprovechar las ventajas de ambos combustibles (Munyentwali et al., 2022). Por esta razón es importante evaluar la calidad del biodiésel a través de la medición de diversas propiedades fisicoquímicas, cuyos valores deben encontrarse dentro de los estándares internacionales; tales como la norma estadounidense ASTM D 6751 y la norma europea EN 14214 detallada en el ANEXO A y B. Para el caso de Perú el Comité Técnico de Normalización de Petróleo y Derivados establece la norma NTP 321.125:2019 descrita en la tabla 2, la cual se aplica al biodiesel (B100) para ser usado en estado puro o como un componente de mezcla. De hecho, a partir del 1 de enero de 2011 hasta la fecha, se viene utilizando diésel B5 S-50, el cual está compuesto por 95% de diésel y 5% de biodiésel (B100), cuyas especificaciones técnicas se establecen en el ANEXO C. Todo ello con el objetivo de disminuir la dependencia hacia los combustibles fósiles y diversificar la matriz energética.

**Tabla 2.**

*Especificaciones del Biodiesel (B100)*

Propiedad	Método de Ensayo	Biodiesel B100	Unidad
Contenido de calcio y magnesio, combinado	UNE-EN 14538	5 Máx	ppm ( $\mu\text{g/g}$ o $\text{mg/kg}$ )
Punto de inflamación. (Copa cerrada)	ASTM D 93	93 mín.	°C
Control de Alcohol: Debe cumplirse una de las siguientes especificaciones			
1. Contenido de metanol	UNE-EN 14110	0.2 Máx	% m/m
2. Punto de inflamación	ASTM D 93	130 Mín	°C
Agua y sedimento	ASTM D 2709	0.050 Máx	% Volumen
Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D 445	1.9 – 6.0	$\text{mm}^2/\text{s}$
Ceniza sulfatada	ASTM D 874	0.020 Máx	% masa
Azufre (c)	ASTM D 5453	0.0015 Máx	% masa (ppm)
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D 130	3 Max	-
	ASTM D 613		
Numero de cetano	ASTM D 6890	47 Mín	-
	ASTM D 7668		
Residuos de carbón (e)	ASTM D 4530	0.050 Máx	% masa
Numero de acidez	ASTM D 664	0.50 Máx	mg KOH/g

Propiedad	Método de Ensayo	Biodiesel B100	Unidad
Glicerina libre	ASTM D 6584	0.020 Máx	% masa
Glicerina total	ASTM D 6584	0.240 Máx	% masa
Contenido de fosforo	ASTM D 4951	0.001 Máx	% masa
Temperatura de destilación.			
Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica.	ASTM D 1160	360 Máx	°C
Contenido de sodio y potasio, combinado	UNE-EN 14538	5 Máx	ppm ( $\mu\text{g/g}$ o mg/kg)
Estabilidad a la oxidación	UNE-EN 15751 UNE-EN 14112	3 mín	Horas
Contenido de Esteres metílicos de ácidos grasos (FAME)	UNE-EN 14103	96.5 Min	% m/m
Contenido de agua	UNE-EN ISO 12937	500 Max	$\mu\text{g/g}$ o mg/kg
Contaminación total	UNE-EN 12662 ASTM D 7321	24 Max	$\mu\text{g/g}$ o mg/kg
Contenido de monoglicéridos totales	UNE-EN 14105 ASTM D 6584	0.70% Max	% m/m
Contenido de diglicéridos	UNE-EN 14105 ASTM D 6584	0.20 Max	% m/m
Contenido de triglicéridos	UNE-EN 14105 ASTM D 6584  ASTM D 2500 ASTM D 5771 UNE-EN 23015 ASTM D 7689 ASTM D 5772 ASTM D 5773	0.20 Max	% m/m
Punto de nube		Reportar	°C
Densidad a 15 °C	ASTM D 4052 UNE-EN ISO 12185	Reportar	Kg/cm <sup>3</sup>

(INDECOP, 2019)

### Punto de Inflamación

Es aquella propiedad que mide la tendencia de un combustible de formar mezclas inflamables con el aire, por lo que se usa para evaluar el riesgo de inflamación de un material. En el biodiesel este límite se utiliza para garantizar que se haya removido todo el metanol (Castro et al., 2007).

### Viscosidad Cinemática

Es una medida de la resistencia del combustible a fluir. Guarda una relación inversa con la temperatura, ya que disminuye cuando la temperatura aumenta y viceversa. Una alta

viscosidad puede causar una mala atomización, lo cual conlleva a mala combustión y formación de depósitos en el motor. La viscosidad del biodiesel viene determinada por el aceite de origen. De hecho, una transesterificación completa es necesaria para asegurar el cumplimiento de este parámetro (Castro et al., 2007).

### **Punto de Nube y Fluidez**

Son propiedades que miden la performance del combustible a bajas temperaturas. Ambos parámetros vienen determinados por las características del aceite utilizado, por lo que se suele utilizar anticongelantes u otras medidas de mejora necesario en climas fríos (Castro et al., 2007).

### **Numero de Cetano**

Es aquel parámetro que mide la calidad de ignición de un combustible diésel. Un alto número de cetano indica un menor retraso en la ignición, lo cual ayuda a un mejor arranque del motor y minimiza la emisión de humo. El biodiesel presenta un mayor número de cetano al diésel y depende del nivel de saturación del aceite de origen (Castro et al., 2007).

### **Contenido de Cenizas**

Es un parámetro que mide la cantidad de residuos inorgánicos que quedan después de quemar completamente el combustible. Los compuestos que forman cenizas contribuyen a la formación de depósitos en los inyectores o en todo el sistema de combustible. La etapa de purificación del biodiesel asegura el cumplimiento de este parámetro (Castro et al., 2007).

### **Residuo de Carbón**

Es un parámetro que indica la tendencia del combustible a producir depósitos carbonosos. En el biodiesel la formación de depósitos carbonosos puede deberse a una transesterificación incompleta o a la oxidación del combustible (Castro et al., 2007).

#### **2.2.4. *Catalizadores***

Un catalizador es una sustancia que facilita una reacción química, es decir, la hace más rápida sin llegar a consumirse en el proceso, ya que no forma parte estequiométrica del proceso total (Ghosh, Patra, et al., 2024). La obtención de biodiesel podría llevarse a cabo sin la presencia de un catalizador, sin embargo, la reacción sería muy lenta y se obtendría bajos rendimientos. Es por ello que el empleo de catalizadores juega un rol muy importante, ya que acelera la velocidad de reacción para alcanzar el equilibrio (Longfei, 2018).

a) Clasificación de los catalizadores

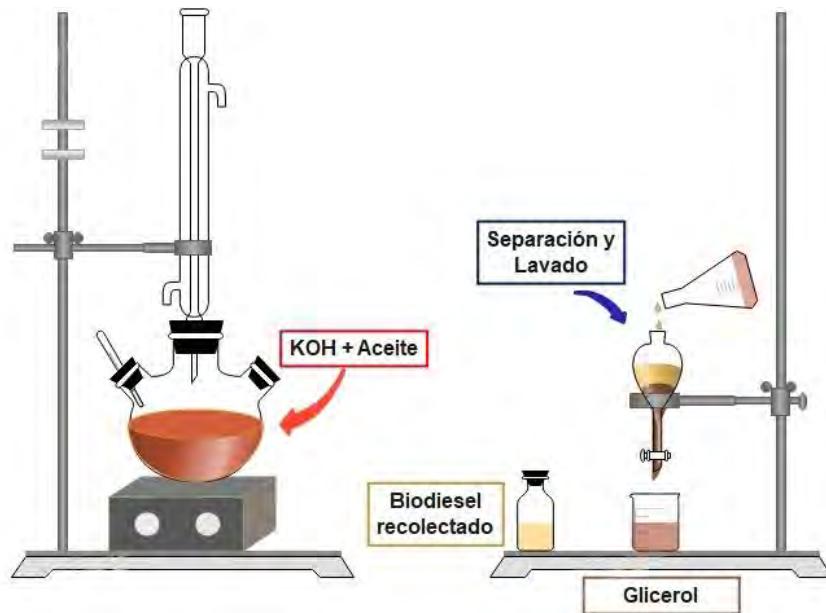
Los catalizadores se clasifican en homogéneos y heterogéneos debido al estado de agregación en el que se encuentran con respecto a los reactivos y productos partícipes de la reacción. Su selección es crucial y depende del tipo de materia prima (aceite) que se vaya a emplear en la obtención de biodiesel.

#### **Catalizadores Homogéneos**

La catálisis homogénea abarca todos los sistemas donde el catalizador se encuentra en la misma fase que los reactivos y los productos, tal como se observa en la figura 3. Los catalizadores homogéneos interactúan con el alcohol para formar iones alcóxido, que luego reaccionan con los triglicéridos ayudando a convertir las grasas vegetales o animales en biodiésel. Al encontrarse en la misma fase que los reactivos, se disuelven fácilmente y crean mezclas de reacción homogéneas y en general suelen utilizarse en pequeñas concentraciones (Awogbemi & Kallon, 2024).

**Figura 3.**

*Esquema experimental de la reacción de transesterificación homogénea*



*Nota:* Adaptado de “*Current progress and future outlooks of microwave-irradiated biodiesel production: A holistic review*”, por Ghosh, D., et al. (2024), Chemical Engineering Journal.

El hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH) a menudo son los más utilizados en la síntesis de biodiesel, ya que son los más eficaces para acelerar la reacción de transesterificación. El empleo de este tipo de catalizadores requiere de una manipulación cuidadosa y técnicas de eliminación adecuadas, sin embargo, a pesar de ello aún continúan siendo una buena opción para la obtención de biodiesel, debido a su bajo costo y otras ventajas que se observan en la tabla 3.

**Tabla 3.***Ventajas y desventajas de los catalizadores homogéneos*

<b>Tipo de catalizador</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Homogéneos</b>			
Base	KOH, NaOH, CH <sub>3</sub> ONa, CH <sub>3</sub> OK	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta actividad</li> <li>• Barato</li> <li>• Velocidad de reacción rápida</li> <li>• Condiciones operativas leves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un bajo contenido de AGL (&lt;1%)</li> <li>• Alta sensibilidad a los AGL y al agua</li> <li>• Saponificación</li> <li>• Generación de aguas residuales</li> <li>• No recicitable</li> </ul>
Ácido	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insensible a los AGL y al contenido de agua</li> <li>• Simultáneamente lleva a cabo la esterificación y transesterificación</li> <li>• No se forma jabón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja actividad.</li> <li>• Largo tiempo de reacción.</li> <li>• Alta temperatura de reacción.</li> <li>• Corrosión del equipo.</li> <li>• No recicitable.</li> </ul>

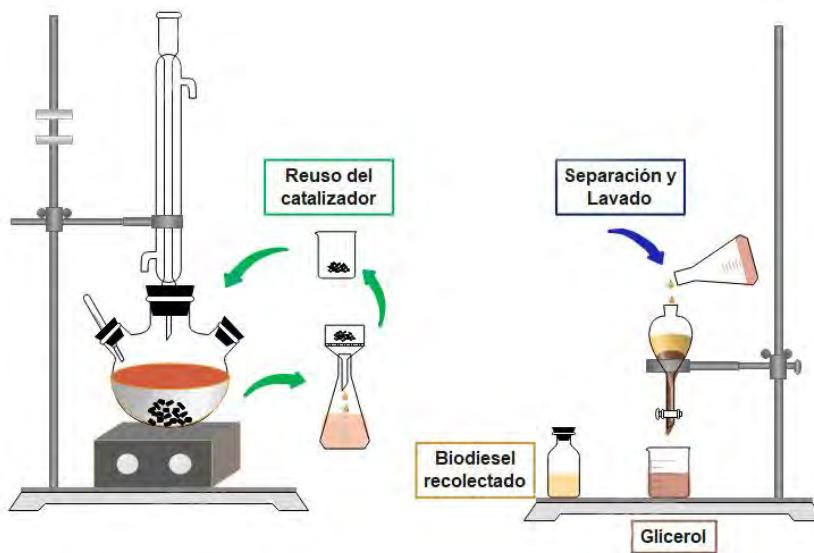
Nota: Adaptado de “*Biomass waste-derived catalysts for biodiesel production: Recent advances and key challenges*”, por Ao et al. (2024), Renewable Energy

### Catalizadores Heterogéneos

Un catalizador heterogéneo se define como aquella sustancia que facilita una reacción química, existiendo en una fase diferente a los reactivos y productos, como se ilustra en la figura 4 para el proceso de obtención de biodiesel.

**Figura 4.**

*Esquema experimental de la reacción de transesterificación heterogénea*



*Nota: Adaptado de “Current progress and future outlooks of microwave-irradiated biodiesel production: A holistic review”, por Ghosh, D., et al. (2024), Chemical Engineering Journal.*

En general, típicamente un catalizador heterogéneo se encuentra conformado por una fase catalítica activa y un soporte de gran área superficial, el cual facilita la preparación de la fase catalítica activa y mejora la estabilidad térmica. La fase activa (metales, óxidos metálicos y sulfuros metálicos) se dispersa en los poros del soporte y a estas zonas específicas se le denomina sitio activo (átomos o conjunto de átomos), donde finalmente ocurre la reacción catalítica (Bartholomew, 2011).

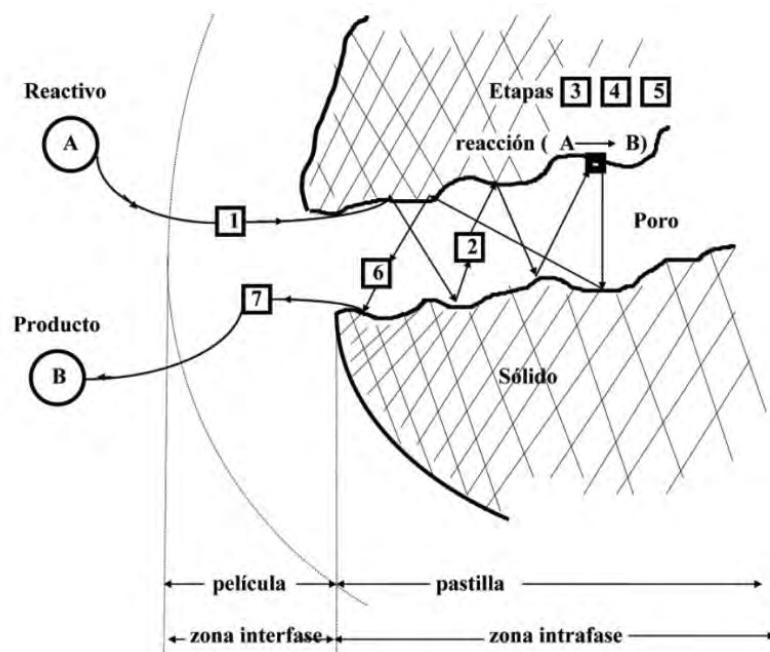
La catálisis heterogénea involucra las etapas listadas a continuación:

- 1) Difusión de los reactivos desde el seno de la fase fluida hasta la superficie externa del catalizador
- 2) Difusión de los reactivos en los poros del catalizador
- 3) Adsorción de los reactivos
- 4) Reacción superficial

- 5) Desorción de los productos
- 6) Difusión de los productos en los poros hacia el exterior del catalizador
- 7) Difusión de los productos desde la superficie del catalizador hacia el seno del fluido que lo rodea

**Figura 5.**

*Esquema de reacción utilizando un catalizador heterogéneo*



*Nota: Adaptado de “Conceptos básicos sobre los fenómenos de transporte y transformación en catálisis heterogénea”, por (Gonzo, 2011) , Instituto de Investigación para la Industria Química (INIQUI).*

El empleo de este tipo de catalizadores cuenta con diversas ventajas sobre los catalizadores homogéneos, tal como se detalla en la tabla 4. Sin embargo, presenta desventajas como la lixiviación y la síntesis compleja.

**Tabla 4.***Ventajas y desventajas de los catalizadores heterogéneos*

<b>Tipo de catalizador</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Heterogéneos</b>			
Base	CaO, MgO, SrO, zeolitas, CaO-MgO, La <sub>2</sub> O-ZrO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estable</li> <li>• No corrosivo</li> <li>• Reciclable</li> <li>• Fácil de separar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción lenta</li> <li>• Requiere un bajo contenido de AGL (&lt;1%).</li> <li>• Alta sensibilidad a los AGL y al agua.</li> <li>• Saponificación.</li> <li>• Lixiviación.</li> <li>• Generación de aguas residuales.</li> <li>• Síntesis compleja.</li> <li>• Caro.</li> </ul>
Ácido	TiO, ZrO, resinas de intercambio iónico, óxidos metálicos sulfatados y sulfonados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insensible a los AGL y al contenido de agua</li> <li>• Simultáneamente cataliza (trans) esterificación</li> <li>• Reciclable</li> <li>• No corrosivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción lenta.</li> <li>• Baja actividad.</li> <li>• Alta temperatura de reacción.</li> <li>• Lixiviación.</li> <li>• Síntesis compleja.</li> <li>• Caro.</li> </ul>

Nota: Adaptado de “*Biomass waste-derived catalysts for biodiesel production: Recent advances and key challenges*”, por Ao et al. (2024), Renewable Energy.

b) Propiedades de un catalizador

Las propiedades de un catalizador se pueden clasificar como catalíticas, mecánicas y fisicoquímicas. Las propiedades catalíticas se enfocan en el comportamiento del catalizador durante la reacción, incluyendo a la actividad/selectividad y estabilidad. Las propiedades mecánicas incluyen a la resistencia y el desgaste. Las propiedades fisicoquímicas incluyen al área superficial, porosidad, acidez, composición y densidad (Busca, 2014).

- Área Superficial Específica

Se define como el área total de superficie accesible por unidad de masa del material y se expresa generalmente en m<sup>2</sup>/g. Se determina mediante la medición de la

adsorción y desorción física de nitrógeno a 77 °K, utilizando el método Brunauer-Emmett-Teller (BET). A partir de la cantidad de nitrógeno adsorbido y considerando el área ocupada por la molécula de nitrógeno, se calcula el área superficial específica del sólido (Busca, 2014).

- Volumen y tamaño de poro

El volumen de poro se define como la cantidad total de nitrógeno adsorbido por el sólido a presiones relativas cercanas a la saturación ( $P/P_0 \approx 1$ ), asumiendo que los poros se encuentran completamente llenos de nitrógeno líquido. Este parámetro se obtiene a partir de las isotermas de adsorción y desorción de nitrógeno a 77 °K. A partir del volumen total y el área superficial, es posible estimar el tamaño de poro, el cual se refiere a la dimensión promedio de los poros presentes en el sólido (Busca, 2014).

c) Técnicas de caracterización de un catalizador

Existen diversas técnicas aplicables a la caracterización de catalizadores, tal como se observa en la tabla 5, cuya selección depende de la información que se desee obtener. El objetivo principal de la caracterización de un catalizador es determinar las características físicas y químicas, ya que son responsables de su desempeño en términos de selectividad y actividad. Generalmente se suele monitorear estas propiedades durante la preparación, etapas de activación y reacción para una mejor comprensión y control de calidad (Dumbre & Choudhary, 2020).

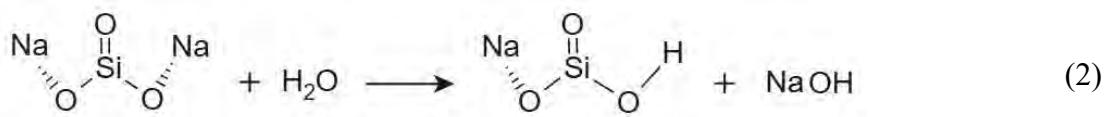
**Tabla 5.***Técnicas de caracterización de catalizadores*

Técnica	Descripción
Isoterma de adsorción-desorción de N <sub>2</sub>	Mediante el método Brunauer-Emmett-Teller (BET) explica la adsorción y desorción física de moléculas de gas en una superficie sólida, midiendo el área de superficie y distribución del tamaño de poro de un material.
Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	Técnica utilizada para proporcionar información sobre características superficiales de los materiales. En general, analiza la morfología y estructura superficial.
Espectroscopía de Rayos X por Dispersión de Energía (EDX)	Técnica analítica que permite realizar el análisis de la composición de un volumen de muestra que ha sido excitado por una fuente de energía, donde los picos y la intensidad de la señal identifican al elemento y la concentración del elemento respectivamente.
Difracción de Rayos X (XRD)	Técnica para determinar la estructura de materias cristalinas a nivel de celda unitaria.
Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)	Técnica que permite identificar los grupos funcionales y estudiar la estructura molecular.
Análisis Termogravimétrico con Calorimetría Diferencial de Barrido (TGA-DSC)	Técnica que permite determinar el cambio de las propiedades físicas y químicas de un material en función de la temperatura.

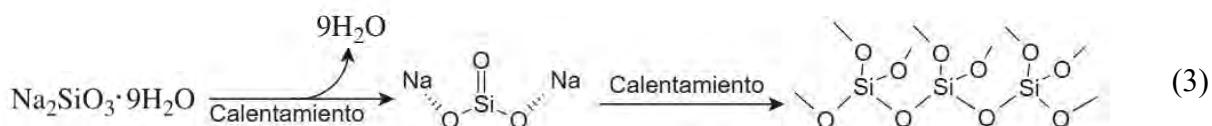
*Nota:* Adaptado de “*Properties of functional solid catalysts and their characterization using various analytic techniques*”, por Dumbre & Choudhary (2020), Chemical Engineering Process Development Division.

### 2.2.5. Silicato de Sodio

El silicato de sodio (SS) también conocido como “vidrio soluble” es el nombre genérico de un compuesto con fórmula  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Sus propiedades y su bajo costo permiten que sea empleado en la industria como adhesivo, cemento, aglutinante, detergente, inhibidor de corrosión, recubrimiento, como catalizador y como soporte de catalizador (Liu & Ott, 2020). Se caracteriza por ser inmiscible con los triglicéridos y compuestos polares como el metanol, además de presentar alta actividad catalítica después de someterse a un proceso de calcinación, por lo que se puede utilizar como catalizador en la obtención de biodiesel. Además, presenta ventajas como la reutilización y la facilidad de separación de la mezcla de reacción Nawin et al., (2024). En presencia de agua, el  $\text{NaOH}$  y  $\text{Si-O-H}$  se forman por hidrolisis del silicato de sodio de acuerdo a la ecuación 2, por lo que se evita la saponificación.

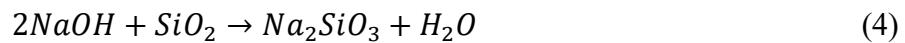


En comparación, el silicato de sodio calcinado presenta una fase cristalina más regular y forma una extensión  $\text{Si-O-Si}$  entre  $\text{SiO}_4^{4-}$  adyacente, lo que modifica la estructura del silicato sodio, en donde los iones  $\text{Na}^+$  se distribuyen en combinaciones aleatorias alrededor del oxígeno descrito en la siguiente ecuación 3.



a) Síntesis del silicato de sodio

El silicato de sodio puede ser sintetizado a través de la impregnación de Sodio (Na) en una matriz de  $\text{SiO}_2$  de acuerdo a la ecuación 4.

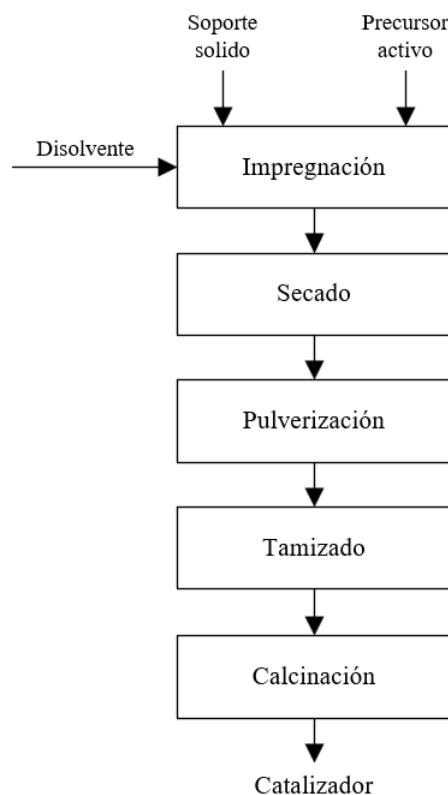


El método de impregnación húmeda, el cual consiste en impregnar el precursor activo en el soporte durante al menos 5 a 6 horas (tiempo de impregnación). Posterior a ello, se procede con el secado y la calcinación con el fin de eliminar la presencia de agua y estimular la interacción entre el soporte y el precursor activo respectivamente (Ahmed et al., 2023). La figura 6 resume el proceso de síntesis del catalizador.

De acuerdo a la investigación realizada por Roschat et al. (2016) y Manurung, Hasibuan, et al., (2024), se evidencia que es posible sintetizar silicato de sodio aplicable para la obtención de biodiesel a partir de  $\text{NaOH}$  y  $\text{SiO}_2$ .

**Figura 6.**

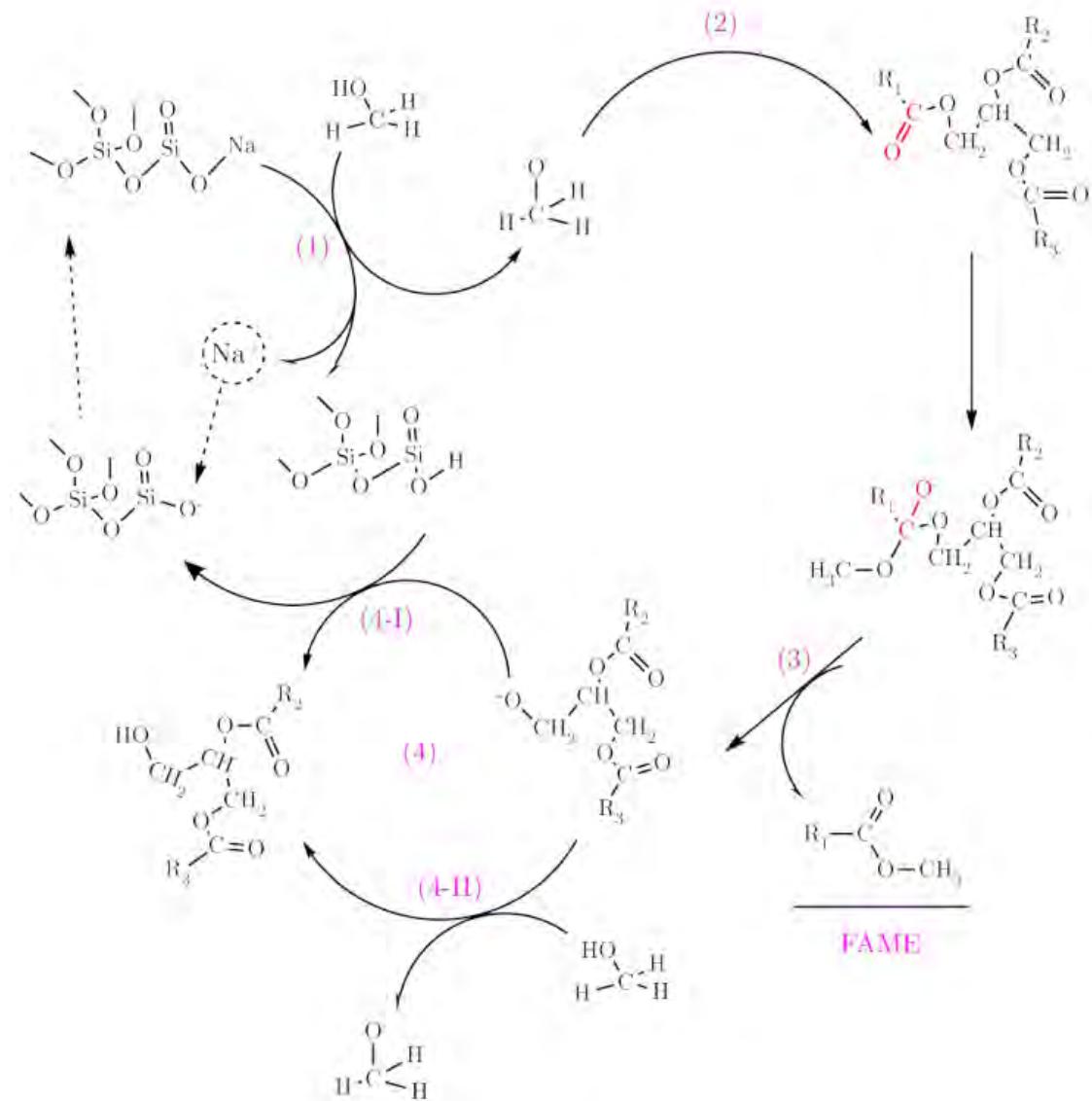
Diagrama de bloques del proceso de impregnación húmeda



Nota. Adaptado de “A review of breakthroughs in biodiesel production with transition and non-transition metal-doped CaO nano-catalysts”, por Amal & Usman (2024), Biomass and Bioenergy.

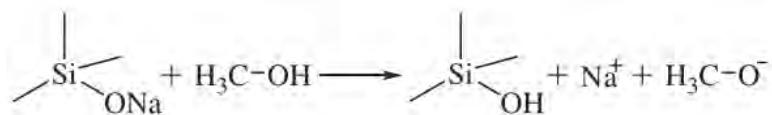
b) Mecanismo de reacción de transesterificación catalítica

Según Batuhan, (2021), la reacción de transesterificación utilizando silicato de sodio como catalizador se logra explicar a través del mecanismo propuesto en la figura 7, donde se observa que la reacción inicia en la superficie del catalizador.

**Figura 7.***Mecanismo de reacción de transesterificación*

Nota: Tomado de “*Intensified sunflower oil transesterification*”, (Batuhan, 2021), Department of Chemical Engineering and Chemistry Sustainable Process Engineering.

De acuerdo a lo observado se produce un intercambio iónico tras la adsorción del metanol en la superficie del silicato de sodio (paso 1), dando como resultado la especie catalítica activa,  $\text{CH}_3\text{O}^-$  (metóxido).



Posteriormente se produce el ataque nucleofílico del  $\text{CH}_3\text{O}^-$  al triglicérido (paso 2). En el triglicérido, la presencia de los átomos de oxígeno enlazados al átomo de carbono hace de que este último tienda a ser parcialmente positivo y electrofilico. El metóxido formado en la primera etapa, ataca al carbono carbonílico ( $C = O$ ) de la molécula de triglicérido, dando lugar a la formación de un intermedio tetraédrico inestable. La reorganización del intermedio tetraédrico resulta en la formación de una molécula de FAME y un anión diglicérido.

Finalmente se transfiere un protón ( $\text{H}^+$ ) del puente Si-O-H al anión diglicérido para la generación de una molécula de diglicérido (paso 4-I). Sin embargo, la donación de protones también puede ocurrir a partir del grupo hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) del metanol (paso 4-II). Este ciclo completo se repite con el diglicérido y luego con el monoglicérido hasta formar tres moléculas de FAME y una de glicerol.

## CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

La presente investigación fue del tipo cuantitativo, dado que se basó en la recolección y de datos experimentales mediante mediciones numéricas y su posterior análisis estadístico. Tuvo un alcance explicativo debido a que se estudió la influencia de la variación de la dosis de catalizador y relación molar aceite-metanol sobre el rendimiento de biodiésel.

### 3.1.Muestra

- Aceite vegetal residual

### 3.2.Lugar de Investigación

Las distintas actividades del presente trabajo de investigación se llevaron a cabo en los laboratorios siguientes:

- Laboratorio de Tecnologías de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Química de la Universidad de la República de Uruguay para la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas.
- Laboratorio de Propiedades Fisicoquímicas de los Hidrocarburos (D3-111) en la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

### 3.3.Materiales

#### 3.3.1. *Materiales de Vidrio y Otros*

- 01 luna de reloj de diámetro: 80 mm.
- 01 espátula de metal acero inoxidable.
- 03 barras magnéticas de 30, 40 y 50 mm.

- 01 mortero y pistilo de porcelana de 50 ml.
- 02 tapones de goma natural macizo #4, Diámetro superior: 21 mm, Diámetro inferior: 15 mm, Altura: 22 mm.
- 03 pinzas metálicas de acero inoxidable.
- 02 soportes universal.
- 01 pocillo metálico de acero.
- 02 peras de decantación de 250 ml.
- 02 metros de manguera flexible de latex.
- Papel aluminio.
- 02 láminas de cobre.
- 02 depósitos de presión de acero inoxidable 304.
- Alambre micrón de 12 cm.
- 02 crisoles de porcelana y 01 crisol Skidmore.
- 01 recipiente a presión ASTM, marca BRT.
- 01 balón fondo redondo 250 ml de 3 bocas inclinadas 19/26, 29/32 y 19/26.
- 01 quemador a gas Meeker.
- 01 vaso de precipitado de 80ml.
- 03 vasos de precipitado de 50 ml.
- 01 pipeta de 10ml.

- 01 propipeta.

### 3.3.2. *Reactivos*

- Dióxido de Silicio, grado industrial (Nº CAS 7631-86-9) al 96 %p/p, Tixosil® 38AB.
- Hidróxido de Sodio en lentejas de grado analítico (Nº CAS 1310-73-2) al 99%, EMSURE.
- Metanol al 99%.
- Carbón activado granular, grado reactivo (Nº CAS 7440-44-0)

### 3.3.3. *Instrumentos y Equipos*

- 02 termómetros digitales versión comercial WOREN TP-101, Rango de temperatura: -50 °C a 300 °C, Resolución: 0.1 °C Medición: °C/°F.
- 02 termómetro de mercurio.
- 01 difractómetro de rayos X Rigaku
- 01 microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5900L
- 01 analizador de absorción/desorción de N<sub>2</sub>, modelo ASAP 2020, Micromeritics.
- 01 HK-3535 Multifunction Low Temperature Tester de marca Liaoning Huake Petroleum Apparatus Science & Technology.
- 01 equipo Pensky-Martens (PINF-001) Herzog HFP 380.
- 02 hidrómetros.
- 02 tubos de centrifuga cónico de 203 mm

- 01 balanza analítica modelo FSF-A2204B de precisión, Peso máximo admitido: 220 g.
- 01 mufla marca THERMOLYNE, modelo FB-1410M-33.
- 01 mufla marca HINRAPERU, modelo HME-10L.
- 01 estufa marca KYNTTEL, modelo KV45F.
- 03 agitadores magnético marca Schott, modelo M6.
- 01 refrigerante serpentín 250 mm 29/32-GLASSCO.
- 01 desecadora de sílice.
- 01 centrifuga (CEN-001) de marca PRESICION SCIENTIFIC.
- 01 destilador Precisión Scientific, serie 10-X-6.
- 01 bomba calorimétrica de oxígeno Parr Instrument Company.

### 3.4. Métodos

#### 3.4.1. *Recolección del Aceite Vegetal Residual*

A través de un muestreo simple, se recolectaron 5 litros de aceite vegetal residual (AVR) del mercado de San Pedro (punto de acopio de aceite vegetal residual), ubicado en el distrito de Santiago, Departamento de Cusco. El AVR recolectado fue proveniente de diferentes marcas de aceite utilizados para fritura.

#### 3.4.2. *Pretratamiento y Caracterización del Aceite Vegetal Residual*

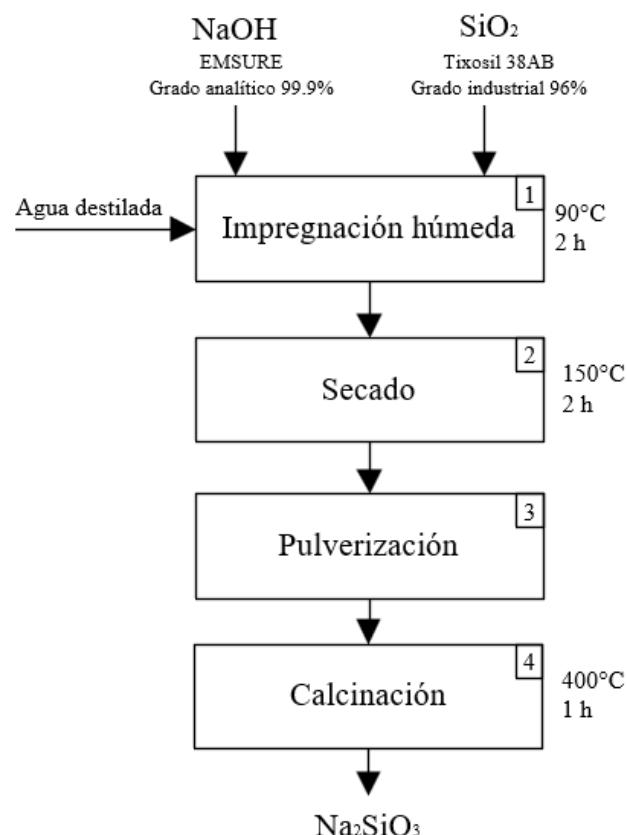
El aceite vegetal residual (AVR) fue pretratado haciendo referencia al procedimiento utilizado por Mahesh et al (2015), con algunas modificaciones con el objetivo de disminuir los niveles de AGL por debajo del 1%. El pretratamiento consistió en secar el AVR a 100 °C a 700 rpm durante 1 hora. Después de transcurrir los primeros 30 minutos de secado, se añadió carbón

activado granular grado reactivo (Nº CAS 7440-44-0) en una proporción adecuada al volumen de aceite (0.25 g por 50 ml). Finalmente, el aceite se filtró, recolectó y caracterizó (índice de acidez) para su posterior uso como materia prima en la obtención de biodiesel.

### ***3.4.3. Síntesis del Catalizador***

El catalizador de silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) fue sintetizado mediante el método de impregnación húmeda haciendo referencia a Daramola (2015) y Manurung, Hasibuan (2024), considerando como precursor activo al NaOH en lentejas de grado analítico (Nº CAS 1310-73-2) con una concentración del 99.9% y como soporte sólido al Tixosil® 38AB ( $\text{SiO}_2$ ) de grado industrial (Nº CAS 7631-86-9) con una concentración del 96%.

El proceso de síntesis inició con la impregnación (1) de NaOH en  $\text{SiO}_2$  en cantidades estequiométricas (relación molar 2:1) utilizando como disolvente agua destilada (20 ml) bajo condiciones descritas en la figura 8. Después del proceso de impregnación, la solución se secó (2) a 150 °C por 2 horas y se pulverizó (3) para luego proceder con su calcinación (4) a 400 °C por 1 hora para lograr su activación.

**Figura 8.***Diagrama del proceso de síntesis del catalizador*

#### 3.4.4. Proceso de Transesterificación

La reacción de transesterificación se llevó a cabo en un balón de vidrio de 3 bocas equipado con un condensador, agitador magnético, termómetro digital y un baño de agua para mantener la temperatura constante, como se observa en la figura 9.

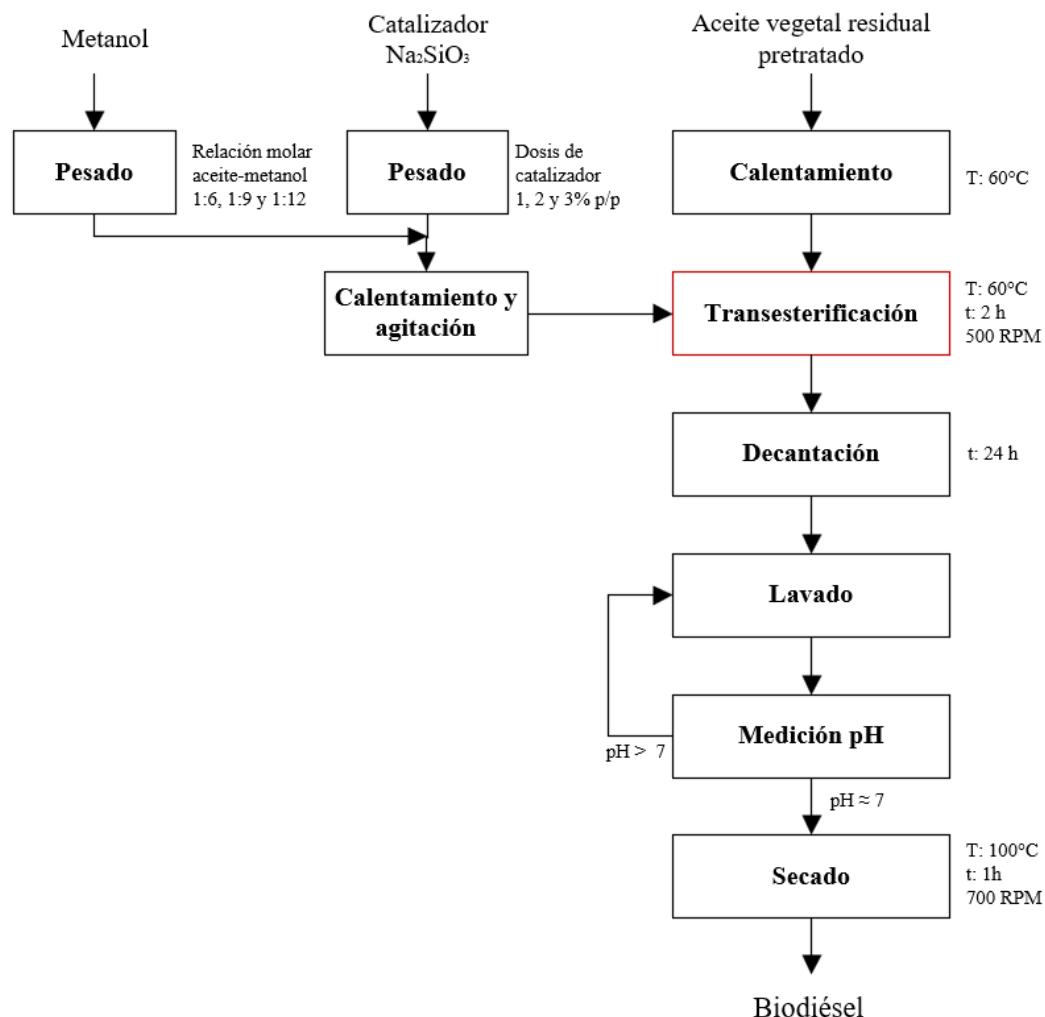
**Figura 9.**

*Reactor de transesterificación*



El catalizador (1, 2 y 3 %p/p con respecto al aceite) se mezcló con el metanol a una relación molar aceite-metanol de (1:6, 1:9 y 1:12) a 500 rpm durante 15 minutos. Luego, se añadió el AVR previamente calentado y se procedió a sellar completamente el equipo manteniéndolo en 60 °C a una agitación constante de 500 rpm durante 2 horas, como se describe en el diagrama del proceso en la figura 10.

Después de completarse la reacción, el proceso de separación del producto (biodiesel) y del subproducto (glicerol) se llevó a cabo mediante una pera de decantación durante 24 horas. Finalmente, se pesó el biodiesel como paso previo al proceso de purificación.

**Figura 10.***Diagrama del proceso de obtención de biodiesel*

El proceso de purificación se llevó a cabo de acuerdo a lo realizado por Taslim et al. (2019) y Arenas et al. (2021) con algunas modificaciones. El biodiesel se lavó con agua destilada a  $60^\circ\text{C}$  hasta llegar a un pH de aproximadamente igual a 7. Posteriormente, el biodiesel se secó a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$  y 700 rpm durante 1 hora y se dejó enfriar a temperatura ambiente para su posterior almacenamiento.

El porcentaje de rendimiento del biodiesel purificado se calculó a través de la ecuación 5 utilizada por Narula et al. (2021) , el cual indica la eficiencia del proceso de conversión de AVR a biodiesel.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del biodiesel}}{\text{Peso del AVR}} * 100\% \quad (5)$$

### ***3.4.5. Caracterización del Catalizador***

El catalizador de silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), fue enviado al Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Química de la Universidad de la República de Uruguay para la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas.

La cristalinidad del catalizador se analizó mediante Difracción de Rayos X (XRD) utilizando un difractómetro Rigaku Ultima IV en un rango de  $2\theta = 2 - 77$  con un paso de  $0.02^\circ$  con radiación  $\text{CuK}\alpha$ . La morfología y la composición elemental del catalizador fue analizada a través del uso de un microscopio electrónico de barrido acoplado con rayos X de energía dispersiva JEOL JSM 5900L a un voltaje acelerado de 20Kv con un baño de oro. Por último, se empleó el método Brunauer-Emmet-Teller (BET) para determinar el área superficial específica, el volumen y tamaño de poro del catalizador utilizando un analizador de adsorción/desorción de  $\text{N}_2$  en un equipo ASAP 2020 de Micromeritics.

### ***3.4.6. Caracterización del Biodiesel***

La caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la muestra y del producto (biodiesel) se realizó conforme a lo establecido en la NTP 321.125:2019 descrita en la tabla 1. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Propiedades Fisicoquímicas de los Hidrocarburos (D3-111) en la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería. A continuación, se detallan los métodos empleados conforme a las normas ASTM correspondientes.

#### **Densidad**

Se utilizó el método estándar ASTM D1298 para determinar la densidad de la muestra. Para ello, se utilizó un hidrómetro de vidrio, el cual se sumergió en 500 ml de muestra. Se registró la lectura de los grados API a la temperatura existente, considerando que esta lectura inicial corresponde al valor de los grados API sin corregir, por lo que se utilizó el ANEXO G, para corregir la lectura a una temperatura estándar de 15 °C o 60 °F. Finalmente, a través de la ecuación 6 se realizó el cálculo de densidad.

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{141.5 * 999.016}{131.5 + \text{API}} \quad (6)$$

### **Punto de Inflamación Mediante el Probador de Copa Cerrada**

Se utilizó el método estándar ASTM D93 para determinar el punto de inflamación mediante el equipo de copa cerrada de Pensky-Martens Herzog HFP 380 (ver figura 11). Para ello, se colocó la muestra (aproximadamente 75 ml) en una copa metálica cerrada, sometida a agitación controlada entre 90 y 120 rpm, aplicando simultáneamente una velocidad de calentamiento de 5 a 6 °C por minuto. Luego del acondicionamiento térmico, se procedió a aplicar la fuente de ignición a partir de los 73 °C ± 5 °C, la cual se encuentra 18 °C por debajo del punto de inflamación previsto para el biodiésel (B100), conforme a la norma NTP 321.125:2019. Finalmente, se registró la temperatura en un intervalo de 2 °C hasta observar una llamarada clara en el interior de la copa de prueba. El resultado del punto de inflamación se registró con una aproximación al 0.5 °C más cercano.

**Figura 11.**

Equipo de medición del punto de inflamación Pensky-Martens



### Viscosidad Cinemática

Se utilizó el método estándar ASTM D445 para determinar la viscosidad cinemática mediante el uso de un viscosímetro capilar a una temperatura controlada (40 °C) a través del uso de un baño isotérmico (ver figura 12). Dado que la viscosidad cinemática es el producto del tiempo de flujo por la constante de calibración del viscosímetro, se realizaron dos mediciones del tiempo de flujo y se calculó el valor promedio a través de la ecuación 7. El primer y segundo tiempo corresponden al llenado del bulbo inferior y superior, respectivamente.

$$\nu_{12} \left( \frac{mm^2}{s} \right) = C * t_{12} \quad (7)$$

Donde,  $\nu_{12}$  es la viscosidad cinemática en ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ),  $C$  es la constante de calibración del viscosímetro en ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) y  $t_{12}$  es el tiempo de flujo en (s).

**Figura 12.**

*Baño isotérmico acoplado a un viscosímetro capilar*



### **Punto de Fluidez y Punto de Nube**

Se determinó el punto de fluidez y nube utilizando el equipo “HK-3535 Liaoning Huake Petroleum Apparatus Science & Technology” (ver figura 13), el cual opera conforme a las ASTM D97 y ASTM D2500. Para ello, se vertió muestra en un vaso de prueba equipado con un termómetro para alto punto de fluidez. Posteriormente, el vaso fue insertado en la chaqueta de enfriamiento del equipo y se programó a una temperatura de operación de -40 °C. El punto de nube se registró como la temperatura a la que se evidenció la formación de cristales, mientras que el punto de fluidez como la temperatura a la que la muestra dejó de fluir al inclinar el vaso horizontalmente durante 5 segundos.

**Figura 13.***Equipo de medición de punto de fluidez y nube*

### Índice de Cetano

La determinación del índice de cetano se realizó mediante la ecuación 8 acorde a la ASTM D4737. Para el cálculo se utilizó el valor de la densidad (g/ml) a 15 °C determinado mediante la ASTM D1298, así como las temperaturas de recuperación por destilación al 10%, 50% y 90% obtenidas mediante el método ASTM D86 utilizando el destilador Precision Scientific (ver figura 14).

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10N}) + (0.131 + (0.901)(B))(T_{50N}) + (0.0523 - (0.420)(B))(T_{90N}) + (0.00049)((T_{10N})^2 - (T_{90N})^2) + (107)(B) + (60)(B)^2 \quad (8)$$

Donde:

CCI : Índice de cetano calculado mediante una ecuación de cuatro variables

D : Densidad a 15 °C, determinado a partir del método ASTM D1298

DN : D - 0.85

B :  $(e^{(-3.5)(DN)}) - 1$

$T_{10}$  : Temperatura de recuperación del 10%, determinada mediante el método de prueba D86 y corregida a presión barométrica estándar.

$T_{10N}$  :  $T_{10} - 215$

$T_{50}$  : Temperatura de recuperación del 50%, determinada mediante el método de prueba D86 y corregida a presión barométrica estándar.

$T_{50N}$  :  $T_{50} - 260$

$T_{90}$  : Temperatura de recuperación del 90%, determinada mediante el método de prueba D86 y corregida a presión barométrica estándar.

$T_{90N}$  :  $T_{90} - 310$

#### **Figura 14.**

*Equipo de destilación atmosférica Precision Scientific*



#### **Poder Calorífico Bruto**

Se realizó la determinación del poder calorífico bruto mediante la ASTM D240 utilizando el calorímetro de bomba de oxígeno de marca Parr Instrument Company (ver figura

15a). Para ello, se pesó 0.8 g de biodiésel y se introdujo en una cápsula de combustión conectada a un hilo de ignición (alambre de micrón) (ver figura 15b). La bomba fue cargada con oxígeno, sellada y sumergida en el calorímetro, como se observa en la figura 15c. Posteriormente, se realizó la ignición y se registró tanto el incremento de la temperatura del sistema como la longitud del hilo de ignición restante.

El cálculo del calor de combustión bruto y neto se determinó a través de las ecuaciones 9, 10, 11 y 12.

$$H_g = \frac{\Delta t * W_{cal} - e}{g} \quad (9)$$

$$Q_n = 10.025 + 0.7195 * H_g \quad (10)$$

$$\Delta t = T_f - T_o \quad (11)$$

$$e = 2.3 \frac{cal}{cm} * (L_o - L_f) cm \quad (12)$$

Donde:

$H_g$  : Calor de bruto de combustión en cal/g, MJ/kg o BTU/lb

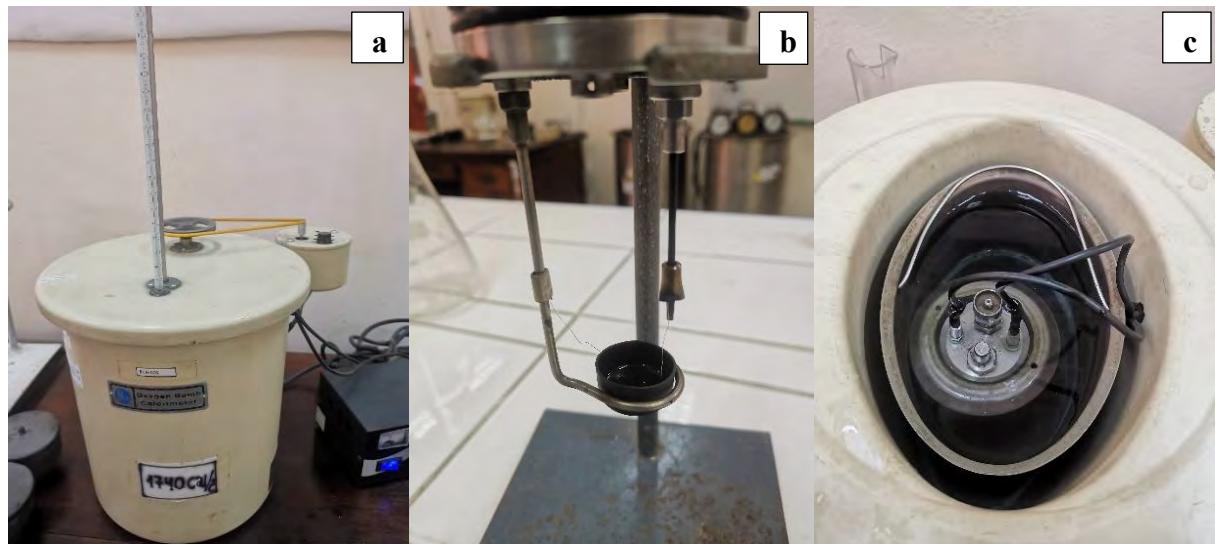
$Q_n$  : Calor neto de combustión (MJ/kg)

$\Delta t$  : Delta de temperatura (°C)

$W_{cal}$  : Energía equivalente del calorímetro (cal/°C)

$e$  : Corrección para el calor de combustión del alambre de micrón (cal)

$g$  : Peso de la muestra (g)

**Figura 15.***Determinación del poder calorífico bruto*

Nota: La figura 15 muestra el procedimiento de la determinación del poder calorífico, (a) Calorímetro adiabático de bomba de oxígeno, (b) Ensamble del sistema de ignición (alambre de micrón) y (c) Colocación de la bomba dentro del calorímetro.

### Contenido de Ceniza

La determinación del contenido de cenizas se realizó mediante el método estándar ASTM D482. Para ello, se inició con el quemado de la muestra de biodiésel haciendo uso de un quemador a gas Meeker durante 30 minutos, considerando una intensidad de llama baja durante los primeros 10 minutos, una intensidad de llama alta durante los siguientes 13 minutos y finalmente una intensidad de llama baja durante los últimos 7 minutos. Posteriormente, se procedió con la calcinación haciendo uso de un horno mufla HINRAPERU a 750 °C durante 3 horas. Finalmente, se procedió con el enfriamiento y el pesado de la ceniza. El cálculo de la masa de la ceniza como el porcentaje de la muestra original se realizó de acuerdo a la ecuación 13.

$$\% \text{ masa de la ceniza} = \left( \frac{w}{W} \right) * 100 \quad (13)$$

Donde:

w : Masa de la ceniza, g

W : Masa de la muestral inicial, g

### Residuo de Carbón

Se determinó el residuo de carbón de acuerdo a la norma ASTM D189. Para ello, se colocó una muestra de biodiésel dentro de un crisol de porcelana, que a su vez se colocó en el centro de un crisol Skidmore y una vez hecho esto, se fijó el crisol Skidmore en el centro de un crisol de hierro. Posteriormente se puso tapa a ambos crisoles y se procedió con la etapa de quemado con ayuda de un quemador a gas Meeker. La etapa de quemado se llevó a cabo durante  $30 \pm 2$  minutos considerando una intensidad de llama baja durante los primeros 10 min, una intensidad de llama alta durante los siguientes 13 min y finalmente una intensidad de llama baja durante los últimos 7 minutos. Finalmente, se retiró el crisol de porcelana y se dejó enfriar en una desecadora para proceder con el pesado.

El cálculo de residuo de carbón de la muestra se realizó de acuerdo a la ecuación 14.

$$\text{Residuo de carbón (\%)} = \frac{A*100}{W} \quad (14)$$

Donde:

A : Masa de residuo de carbón, g

W : Masa de la muestra inicial, g

El resultado de la ecuación 14 corresponde al cálculo de residuo de carbón Conradson. A partir de este resultado, con ayuda de la gráfica encontrada en el ANEXO J se determinó el residuo de carbón Ramsbottom, % masa.

## Corrosión a la Lámina de Cobre

La determinación de corrosión a la lámina de cobre se realizó mediante el método estándar ASTM D130. Para evaluar el grado relativo de corrosividad, se utilizó una lámina de cobre pulida, lavada con solvente, la cual fue inmersa en 30 ml de muestra contenidos en un recipiente a presión. Posteriormente, el recipiente a presión se sumergió en un baño líquido mantenido a 50 °C durante 3 horas  $\pm$  5 minutos. Al finalizar el periodo de calentamiento, se retiró la tira de cobre, se lavó con solvente y se evaluó el nivel de color y el empañado contra el test mostrado en la figura 16.

**Figura 16.**

Test de colores utilizado en la prueba corrosiva ASTM D130



## Agua y Sedimentos

La determinación de agua y sedimentos se realizó conforme a la ASTM D4007. El procedimiento inició con el llenado de un tubo de centrífuga cónico con 50 ml de muestra y 50  $\pm$  0.05 mL de solvente, el cual posteriormente se sumergió en un baño isotérmico hasta llegar a una temperatura de 60  $\pm$  3 °C. Una vez hecho esto, se inició con el centrifugado haciendo uso

del equipo (CEN-001) durante 10 min a 600 rpm, tal como se puede observar en la figura 17.

Finalmente, se registró el volumen de agua y sedimento presente en el tubo.

**Figura 17.**

*Determinación de agua y sedimentos*



### **3.5.Diseño Experimental**

#### **Variables**

- Variable Dependiente**

- ✓ Rendimiento de biodiesel (%)

- Variables Independientes**

- ✓ Dosis de catalizador (%p/p)
  - ✓ Relación molar aceite-metanol (mol/mol)

En la tabla 6 se muestran los niveles para cada una de las variables consideradas en el presente estudio.

**Tabla 6.***Niveles de variables*

<b>Variables Independientes</b>	<b>Niveles</b>		
	<b>Límite Inferior</b>	<b>Punto Medio</b>	<b>Límite Superior</b>
	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>
Relación molar aceite-metanol	1:6	1:9	1:12
Dosis de catalizador: % p/p	1%	2%	3%

El plan experimental detallado en la tabla 7 comprende un diseño factorial completo  $3^2$ , haciendo un total de 9 experimentos y considerando una réplica se desarrollaron un total de 18 experimentos. Se utilizó el Software Minitab Statistical 22 para hacer el análisis estadístico de los resultados con el fin de evaluar la influencia de cada una de las variables y su interacción sobre el rendimiento de biodiesel, además de obtener las mejores condiciones que propician un mayor rendimiento de biodiésel

**Tabla 7.***Plan Experimental*

Nº Experimentos	<b>Variables Independientes</b>				<b>Variable Dependiente</b>	
	<b>Valores Codificados</b>		<b>Valores Experimentales</b>			
	<b>Relación Oil:OH</b>	<b>% Cat (% p/p)</b>	<b>Relación Oil:OH</b>	<b>% Cat (% p/p)</b>		
1	-1	-1	1:6	1%	Rendimiento de biodiesel (%)	
2	0	-1	1:9	1%		
3	1	-1	1:12	1%		
4	-1	0	1:6	2%		
5	0	0	1:9	2%		
6	1	0	1:12	2%		
7	-1	1	1:6	3%		
8	0	1	1:9	3%		
9	1	1	1:12	3%		

Nota: Relación Oil:OH :Relación aceite-metanol (mol/mol), % Cat: Dosis de catalizador (% p/p); -1: Límite inferior, 0: Punto medio y +1: Límite Superior.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

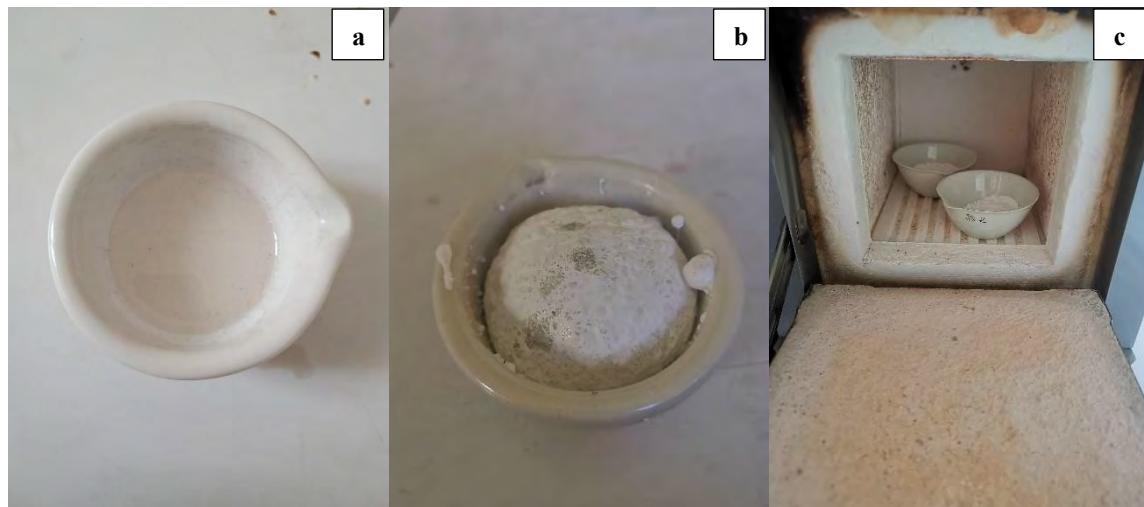
### 4.1.Resultados del Proceso Experimental

#### 4.1.1. *Síntesis del Catalizador*

Como resultado de la impregnación del NaOH en SiO<sub>2</sub>, se observó la formación de un gel con apariencia transparente (ver figura 18a). Luego de la etapa de secado, el material tendió a expandirse debido a la evaporación del solvente (agua destilada) presentando una textura sólida (ver figura 18b). Finalmente, tras el proceso de calcinación (ver figura 18c), el catalizador de silicato de sodio adquirió una coloración blanquecina con propiedades texturales detalladas en el apartado 4.2.

**Figura 18.**

*Muestra de catalizador de Silicato de Sodio*



*Nota:* La figura 18 muestra el procedimiento de la síntesis del catalizador: (a) Despues de la impregnación, (b) Despues del secado, (c) Despues de la calcinación.

#### 4.1.2. *Pretratamiento de la Materia Prima*

El AVR recolectado presentó inicialmente un color marrón oscuro con un índice de acidez de 2.37 mg KOH/g. Tras el proceso de secado y el pretratamiento con carbón activado (ver figura 19), el AVR presentó un color marrón más claro con un contenido de agua y sedimentos inferior a 0.2%vol, así como un índice de acidez de 1.60 mg KOH/g. Por tanto, el

contenido de AGL del AVR utilizado como materia prima en la obtención de biodiesel fue de 0.8%, lo cual lo hizo adecuado para el proceso de transesterificación. Esto se debe a que el alto contenido de AGL (superior a 1%) reduce en gran medida la efectividad y eficiencia del proceso de transesterificación y por tanto disminuye el rendimiento de producción.

**Figura 19.**

*Pretratamiento del AVR con carbón activado*



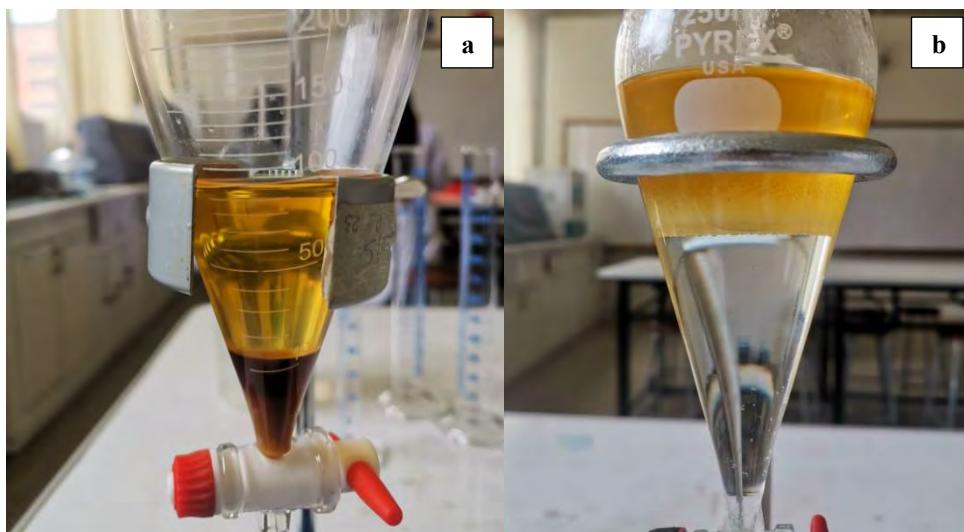
*Nota:* La figura 19 muestra el procedimiento de pretratamiento del aceite vegetal residual con carbón activado: (a) Antes del ingreso del carbón activado, (b) Durante el proceso de pretratamiento, (c) Proceso de filtrado.

#### 4.1.3. Obtención de Biodiesel

En todos los ensayos, tras el proceso de decantación se observó la formación de dos fases bien diferenciadas (biodiésel y glicerol) (ver figura 20a). Asimismo, para el proceso de lavado se requirió 400ml de agua destilada para alcanzar un pH de aproximadamente 7, en la figura 20b.

**Figura 20.**

Proceso de decantación y lavado de biodiésel



Nota: La figura 20 muestra el procedimiento de decantación y lavado: (a) Decantación de biodiesel y glicerol y (b) Lavado del biodiesel.

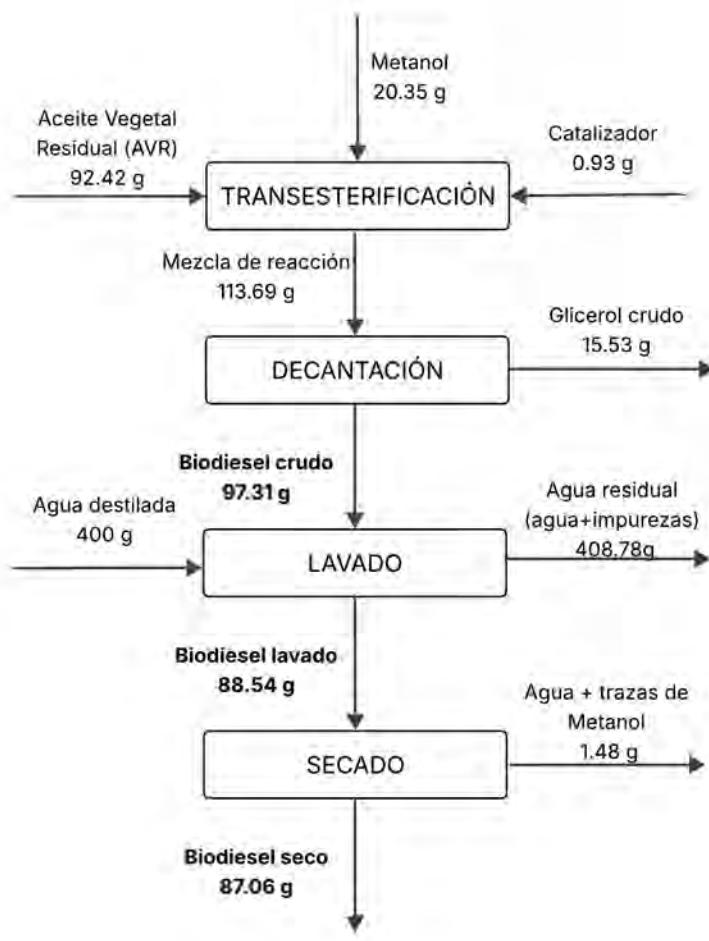
La tabla 8 muestra los resultados obtenidos experimentalmente para las distintas condiciones de operación. En base a estos resultados, se desarrolló el balance de masa de todo el proceso considerando las 4 etapas principales del proceso: transesterificación, decantación, lavado y secado (ver figura 22), tomando como referencia las condiciones de operación con relación molar aceite-metanol de 1:6 y 1% correspondiente a la corrida experimental 1.

**Tabla 8.***Resultados y rendimiento del proceso de obtención de biodiesel*

Nº	Ratio Oil:OH	Catalizador (%)	Peso metanol (g)	AVR (g)	Catalizador (g)	Carga total (g)	Biodiesel (g)	Glicerol (g)	Perdidas por lavado (g)	Biodiesel lavado (g)	Perdidas por secado (g)	Biodiesel seco (g)	Rendimiento (%)
1	1:6	1	20.3450	92.4199	0.9268	113.6917	97.3117	15.5322	8.776	88.54	1.48	87.06	94.20%
2	1:9	1	30.5120	92.4193	0.9244	123.8557	97.3957	25.5746	8.563	88.83	3.69	85.14	92.13%
3	1:12	1	40.6843	92.4194	0.9266	134.0303	96.8603	36.3224	10.612	86.25	1.72	84.53	91.46%
4	1:6	2	20.3420	92.4199	1.8494	114.6113	103.6414	9.1995	15.690	87.95	3.41	84.55	91.48%
5	1:9	2	30.5100	92.4189	1.8496	124.7785	100.8390	22.1689	19.758	81.08	0.12	80.96	87.60%
6	1:12	2	40.6790	92.4195	1.8496	134.9481	96.5181	36.6594	14.368	82.15	2.22	79.93	86.48%
7	1:6	3	20.3380	92.4213	2.7776	115.5369	106.0869	6.7514	27.115	78.97	3.08	75.89	82.11%
8	1:9	3	30.5400	92.4212	2.7728	125.7340	103.6840	19.3562	24.385	79.30	3.45	75.85	82.07%
9	1:12	3	40.6820	92.4202	2.773	135.8752	98.0752	35.106	23.409	74.67	0.71	73.95	80.02%
10	1:6	1	20.3500	92.4195	0.9262	113.6957	99.5057	13.3428	10.851	88.65	0.33	88.33	95.57%
11	1:9	1	30.5120	92.4196	0.9263	123.8579	99.9179	23.0927	13.491	86.43	1.52	84.91	91.88%
12	1:12	1	40.6830	92.4196	0.927	134.0296	100.0096	33.172	15.365	84.65	0.42	84.23	91.14%
13	1:6	2	20.3410	92.4000	1.85	114.5910	103.2510	9.569	18.061	85.19	0.99	84.20	91.13%
14	1:9	2	30.5080	92.4202	1.8496	124.7778	100.2078	22.7978	20.196	80.01	1.00	79.01	85.49%
15	1:12	2	40.6843	92.4199	1.8488	134.9530	98.7830	34.4002	19.531	79.25	1.10	78.15	84.56%
16	1:6	3	20.3470	92.4212	2.7744	115.5426	101.7926	11.0546	24.097	77.70	2.17	75.52	81.72%
17	1:9	3	30.5130	92.4210	2.7735	125.7075	102.0195	20.9935	22.906	79.11	0.86	78.26	84.68%
18	1:12	3	40.6830	92.4202	2.7731	135.8763	97.4463	35.7059	21.410	76.04	1.27	74.77	80.90%

**Figura 21.**

Diagrama de bloques del balance de masa del proceso de obtención de biodiesel



Como se observa en la figura 21, el balance de masa global del proceso muestra que, de los 97.31 g de biodiesel crudo generado en la etapa de transesterificación, se recuperaron 87.06 g de biodiesel seco, lo cual implica una pérdida aproximada de 10.25 g. De esta pérdida, aproximadamente el 86% corresponde a la etapa de lavado. Se puede observar en la tabla 8, que este porcentaje de pérdida es aún mayor cuando la dosis de catalizador es alta (3%). Por ejemplo, para la corrida experimental 7, se observa una pérdida del 90% correspondiente a la etapa de lavado. Este comportamiento se atribuye principalmente a las fases emulsificadas, favorecidas por la adición excesiva de catalizador alcalino y la formación de jabones debido a trazas de agua y AGL, lo que dificulta la separación de fases (Leung et al., 2010). Como

consecuencia se ve reflejado en la tabla 8, la reducción significativa del rendimiento de 94% hasta aproximadamente 80% al aumentar la dosis de catalizador y la relación aceite metanol.

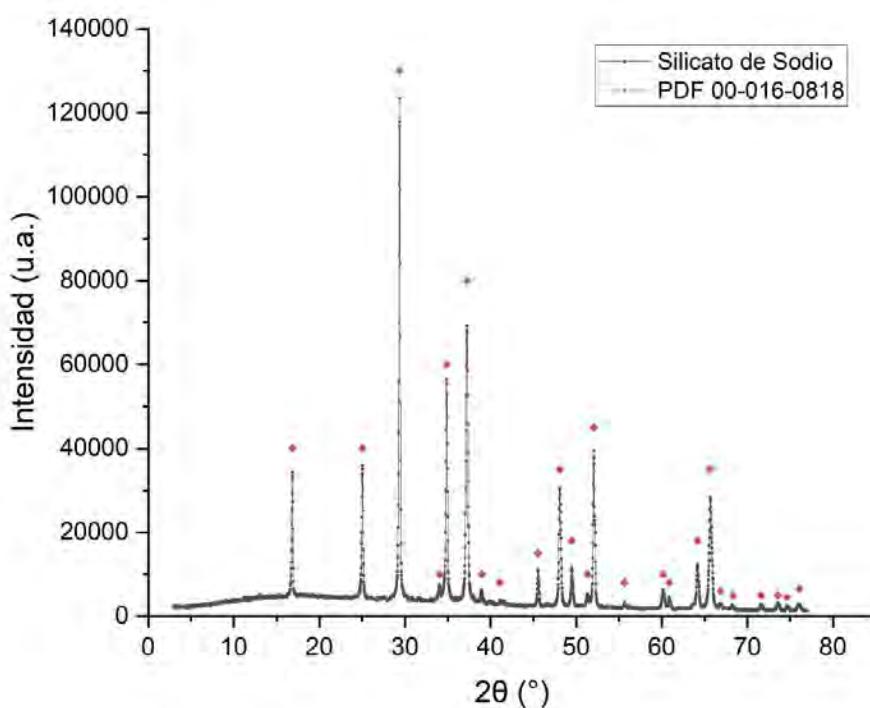
## 4.2. Caracterización del Catalizador

### 4.2.1. Difracción de Rayos X (XRD)

El análisis de difracción de rayos X muestra los picos característicos en conjunto del silicato de sodio en un rango de  $2\theta = 3.405 - 76.081$ , con el pico más intenso y bien definido en  $28.34^\circ$ , tal como se observa en la figura 22, que indica la presencia del silicato de sodio formando la fase cristalina por calcinación similar a estudios de Lilia De Jesús Lázaro, (2020) y Siregar et al, (2021). Por lo tanto, el proceso de impregnación húmeda de NaOH sobre  $\text{SiO}_2$  y su posterior calcinación a  $400^\circ\text{C}$  por 1 hora es un proceso adecuado para síntesis de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  cristalino donde el proceso de identificación es adecuado, ya que exhibe los picos característicos de la ficha del archivo de difracción 00-016-0818 con la muestra proveniente del Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD).

**Figura 22.**

*Análisis XRD del silicato de sodio*

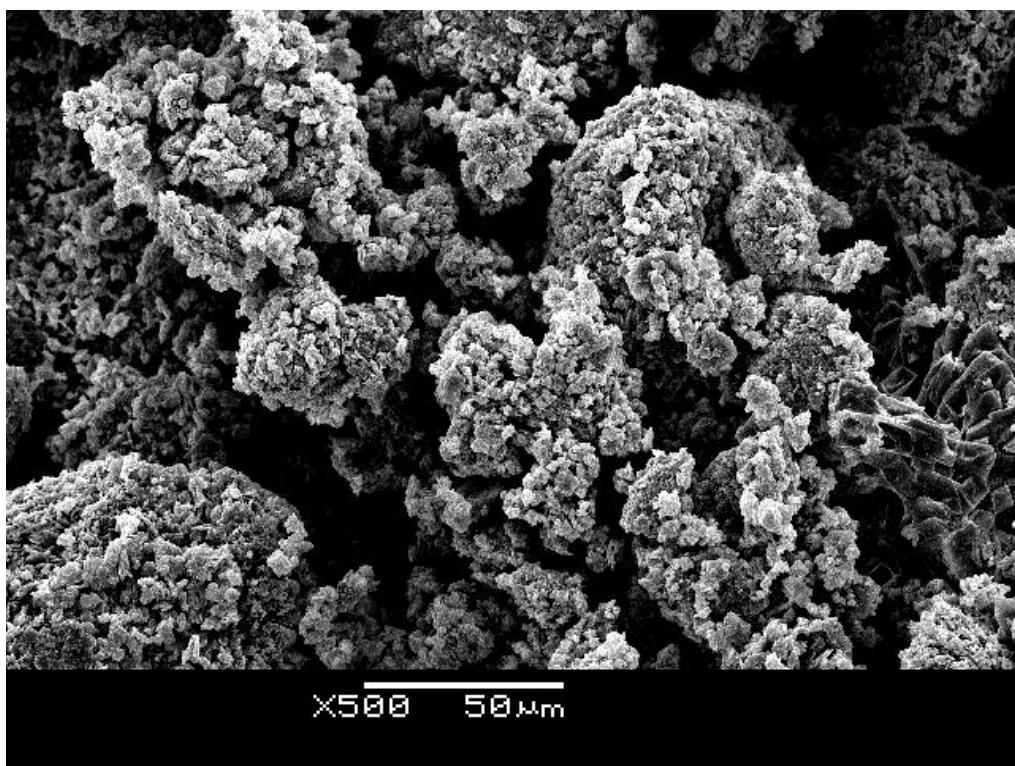


#### 4.2.2. *Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía de Rayos X*

El resultado de la micrografía SEM del catalizador sintetizado en el presente estudio (ver figura 23) cuenta con una estructura de morfología compacta con distribución irregular de partículas aglomeradas, separadas por ranuras o espacios interparticulares. Esta disposición estructural es coherente con lo reportado por Daramola et al. (2016), quien indica que dichos espacios interparticulares permiten el acceso de los reactivos (triglicéridos y metanol) a los sitios básicos presentes en la superficie del catalizador, favoreciendo así la reacción de transesterificación.

**Figura 23.**

*Morfología de la superficie del silicato de sodio sintetizado*



Por otro lado, los resultados de la cuantificación de la composición elemental se muestran en la tabla 9, donde se observa que el catalizador sintetizado presenta en promedio un 32.21% de sodio (Na) impregnado y distribuido uniformemente sobre la superficie de silice. Aunque este valor es inferior al reportado por Siregar et al. (2021), con 43.29% de Na en su

catalizador, resulta suficiente para confirmar la eficacia del proceso de impregnación. Este resultado es consistente con lo reportado por Manurung, Tambun, et al. (2024), quien empleo un catalizador de silicato de sodio con un contenido de 18.9% de Na, a partir de una relación molar NaOH/SiO<sub>2</sub> inferior a 2:1, demostrando que incluso porcentajes menores son adecuados para catalizar de manera efectiva la transesterificación.

**Tabla 9.**

*Composición elemental de silicato de sodio calcinado*

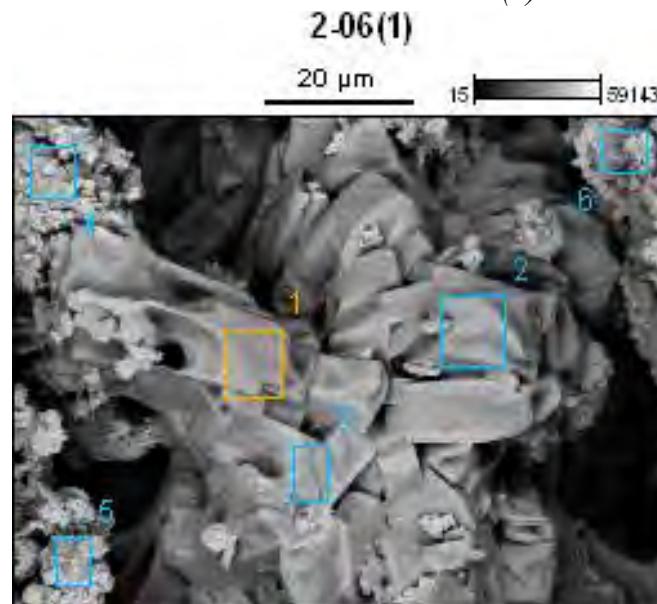
Nº Punto	O (% peso)	Na (% peso)	Si (% peso)	Otros (% peso)
2-06(1)_pt1	56.92	26.46	16.62	-
2-06(1)_pt2	55.60	30.19	14.21	-
2-06(1)_pt3	55.63	27.51	16.86	-
2-06(1)_pt4	43.83	37.71	18.46	-
2-06(1)_pt5	43.76	38.47	17.77	-
2-06(1)_pt6	45.78	32.92	13.99	7.31

Nota: La tabla 9 muestra la composición elemental del catalizador de silicato de sodio, donde un 7.31% de N en un análisis EDX por SEM suele ser artefacto debido al bajo número atómico del nitrógeno. Este emite rayos X de muy baja energía, difíciles de detectar con precisión, y su pico se confunde fácilmente con el ruido de fondo o con pérdidas de energía del haz. Además, los algoritmos de cuantificación tienden a sobreasignar señal en esa región.

Ahora bien, los resultados de la tabla 9 se complementan con la figura 24, ya que cada punto (pt1-pt6) representa una zona específica del catalizador, permitiendo identificar posibles variaciones locales en la composición.

**Figura 24.**

Composición elemental de silicato de sodio calcinado 2-06(1)



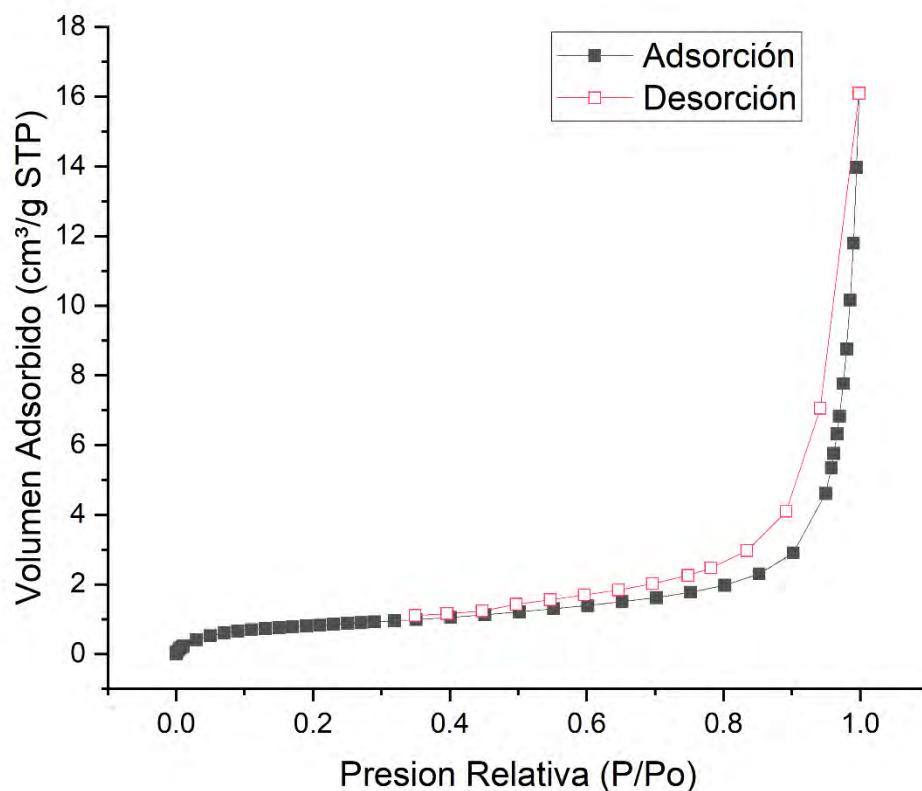
Nota: El análisis elemental de catalizador de silicato de sodio se realizó en áreas definidas que fueron distribuidas en 6 puntos, para identificar la distribución de partículas de O, Na y Si.

#### 4.2.3. Análisis BET y BJH

La isoterma de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> del catalizador de silicato de sodio se muestra en la figura 25. Se observa que el material presenta una estructura mesoporosa no definida, ya que el patrón típico de su isoterma es de tipo IV con histéresis H<sub>3</sub>, con un tamaño de poro de 30.501 nm. Este resultado concuerda con lo reportado por Manurung, Tambun, et al. (2024), quien indica que este tipo de patrón generalmente aparecen en materiales adsorbentes con un tamaño de poro de 2 a 50 nm.

**Figura 25.**

*Isoterma de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> del silicato de sodio*



En cuanto al área superficial el catalizador sintetizado presenta un área superficial de 2.9685 m<sup>2</sup>/g (ver tabla 10), un valor superior al reportado por Daramola et al. (2016), quien obtuvo un área superficial de 0.39 m<sup>2</sup>/g para un silicato de sodio comercial. Por otro lado, Siregar et al. (2021) reportó un área superficial significativamente mayor de 72.824 m<sup>2</sup>/g. Según Manurung, Tambun, et al., (2024) estas diferencias se atribuyen principalmente a la naturaleza y a los métodos de preparación del soporte (SiO<sub>2</sub>), ya que en los dos primeros casos se emplearon fuentes comerciales, mientras que en el último se utilizó una fuente natural (cenizas de mazorca de maíz).

**Tabla 10.***Área superficial BET, volumen y tamaño de poro*

Área Superficial BET (m <sup>2</sup> /g)	Volumen de poro (cm <sup>3</sup> /g)	Tamaño de poro (nm)
2.9685	0.021517	30.501

Si bien diversos autores, como Roschat et al. (2016) atribuyen una mayor actividad catalítica en función del área superficial, esto no siempre es determinante, ya que una adecuada dispersión de la fase activa y accesibilidad a los sitios activos puede compensar un área superficial relativamente bajo, permitiendo una buena actividad catalítica.

#### 4.3. Caracterización del Biodiésel

Se presenta la tabla 11 con los resultados del análisis fisicoquímico del biodiésel. Asimismo, de manera complementaria también se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del AVR con el fin de comparar el efecto del proceso de transesterificación sobre las propiedades del material de partida.

**Tabla 11.***Propiedades fisicoquímicas del AVR*

Nº	Ensayo	Método	AVR	Biodiesel	Unidades
<b>VOLATILIDAD</b>					
1	Densidad a 15 °C	ASTM D 1298	926.0	890.8	kg/m <sup>3</sup>
2	Destilación, °C (a 760 mmHg)	ASTM D 86	306	328	°C
3	Punto de inflamación	ASTM D93	304	163	°C
<b>FLUIDEZ</b>					
4	Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D 445	42.692	5.308	mm <sup>2</sup> /s
5	Punto de fluidez	ASTM D 97	-5	0	°C
6	Punto de nube	ASTM D 2500	0	9	°C
<b>COMBUSTION</b>					
7	Índice de cetano	ASTM D 4737	35	51	-
8	Poder Calorífico Bruto	ASTM D 240	37.10	38.32	MJ/kg
<b>COMPOSICIÓN</b>					
9	Contenido de cenizas	ASTM D 482	0.004	<0.0003	% masa
10	Residuo de Carbón Ramsbottom	ASTM D 189	0.28	0.046	% masa
<b>CORROSIVIDAD</b>					
11	Corrosión de lámina de cobre	ASTM D 130	1b	1a	-
<b>CONTAMINACIÓN</b>					
12	Agua y sedimentos	ASTM D 4007	<0.2	<0.01	% Vol

#### 4.3.1. Propiedades de Volatilidad

La densidad a 15 °C del AVR fue de 926 kg/m<sup>3</sup>, valor superior al de un aceite vegetal (870 kg/m<sup>3</sup> en promedio) reportado por Manurung, Hasibuan, et al. (2024), Roschat et al. (2016) y Siregar et al. (2021), lo cual se debe a los cambios químicos y físicos que sufrió el aceite durante el proceso de fritura. Tras la reacción de transesterificación, la densidad del biodiesel obtenido se redujo a 890.8 kg/m<sup>3</sup> ubicándose dentro del rango establecido por la norma EN 14214 descrita en el ANEXO B (860 – 900 kg/m<sup>3</sup>), tal como se observa en la figura 26. Este resultado coincide con lo reportado por otros autores (ver tabla 12), quienes evidencian que tras la conversión de aceite a biodiesel se reduce la densidad debido a la eliminación de triglicéridos de mayor peso molecular y a la formación de metilésteres más livianos.

**Figura 26.**

*Determinación de la densidad a 15°C*



El punto de inflamación del AVR por el método de copa cerrada fue de 304 °C, indicando una baja presencia de compuestos volátiles y un bajo riesgo de inflamabilidad. Tras

la reacción de transesterificación, este valor se redujo a 163 °C, encontrándose dentro del rango especificado por la NTP 321.125:2019 (93 °C mínimo). Este resultado coincide con lo indicado por otros autores (ver tabla 12), quienes reportaron altos puntos de inflamación para el biodiesel obtenido de AVR, lo cual garantiza la seguridad con respecto a su almacenamiento y transporte.

**Tabla 12.**

*Comparación de propiedades fisicoquímicas del AVR y su respectivo biodiesel*

Propiedades fisicoquímicas	Jayaraman (2024)		Jabbar (2017)		Mahesh (2015)	
	AVR	Biodiesel	AVR	Biodiesel	AVR	Biodiesel
Densidad a 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	920.00	890.00	921.00	898.10	911.00	876.00
Viscosidad a 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	42.80	4.50	32.91	4.80	31.11	4.58
Punto de inflamación (°C)	230.00	150.00	289.00	171.00	327.00	174.00

#### **4.3.2. Propiedades de Fluidos**

La viscosidad cinemática a 40 °C del AVR pretratado fue de 42.692 mm<sup>2</sup>/s, un valor considerablemente alto que refleja su condición como aceite usado y que dificulta su uso directo como combustible. Tras la reacción de transesterificación, este valor se redujo a 5.308 mm<sup>2</sup>/s, situándose dentro del rango especificado por la NTP 321.125:2019 (1.9 - 6 mm<sup>2</sup>/s), tal como se observa en la figura 27. Este resultado es consistente con lo reportado por otros autores (ver tabla 12), quienes reportaron que materias primas de alta viscosidad como el AVR suelen producir biodiesel con valores igualmente elevados (> 4 mm<sup>2</sup> /s), aunque adecuados según la normativa.

**Figura 27.**

*Determinación de la viscosidad cinemática a 40°C*



El punto de nube y fluidez del AVR pretratado fue de 0 °C y -5 °C respectivamente. Tras la reacción de transesterificación, ambos valores se incrementaron a 9 °C y 0 °C. Esto indica que el biodiesel comienza a formar cristales a partir de los 9 °C y pierde su capacidad de fluir a 0 °C (ver figura 28), lo cual limita su uso en regiones de clima frío. Ambas propiedades son dependientes de la temperatura y únicas para cada condición climática en cada región geográfica. Por ello, la NTP 321.125:2019 no especifica ningún límite para ambas propiedades. En general el biodiésel siempre presenta valores altos de punto de nube y fluidez a comparación del diésel, por lo que su mezcla con esta última mejora sus propiedades de flujo en frío (Kosuru et al., 2024).

**Figura 28.**

*Punto de nube y fluidez del biodiesel (B100)*



#### **4.3.3. Propiedades de Combustión**

El índice de cetano del AVR pretratado fue de 35 y tras la reacción de transesterificación este valor se incrementó a 51, superando el valor mínimo requerido por la NTP 321.125:2019, que establece un límite de 47 para un encendido eficiente en motores diésel. En general el diésel tiene un número de cetano bajo a comparación del biodiesel, por lo que el aumento del porcentaje de biodiesel en la mezcla eleva el índice de cetano (Singh et al., 2019).

El poder calorífico bruto del AVR pretratado fue de 37.10 MJ/kg, muy cercano al valor registrado para el biodiesel, el cual fue de 38.32 MJ/kg, lo cual indica que la conversión no afectó significativamente el contenido energético del combustible. Así mismo, este valor no se encuentra regulado por la NTP 321.125:2019. Sin embargo, la norma EN 14213 sugiere un valor mínimo de 35 MJ/Kg para calefacción (Bharti et al., 2024). En relación a lo mencionado, el biodiesel cumple con la normativa establecida.

#### 4.3.4. Propiedades de Composición

El contenido de ceniza del AVR pretratado fue de 0.004% en masa, mientras que el del biodiesel fue inferior a 0.0003% en masa, valor que se encuentra dentro del límite establecido por la NTP 321.125:2019 (máximo 0.02% en masa), tal como se observa en la figura 29. Esta propiedad refleja la cantidad de residuos sólidos inorgánicos que permanecen tras la combustión. Además del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, se forma una cierta cantidad de ceniza compuesta por hidrocarburos no quemados e impurezas inorgánicas. Un alto contenido de estas impurezas puede ocasionar desgaste excesivo en las paredes del cilindro y en los segmentos del pistón (Montero & Stoytcheva, 2011).

**Figura 29.**

*Contenido de ceniza*



El contenido de carbón se define como la cantidad de materia carbonosa que queda tras la combustión del biodiésel. Es un indicador de la presencia de impurezas, como residuos de catalizador, ácidos grasos libres, glicéridos o jabones. El contenido de carbón del AVR pretratado fue de 0.28% en masa, mientras que el del biodiesel fue de 0.046% en masa, situándose dentro del límite establecido por la NTP 321.125:2019 (0.050% en masa), tal como se observa en la figura 30.

**Figura 30.**

*Contenido de carbón*



#### **4.3.5. Propiedades de Corrosividad**

En el presente estudio, la tira de cobre presentó un color naranja claro con un deslustre ligero, el cual de acuerdo al Estándar de Corrosión de Tira de Cobre de ASTM pertenece a la Clasificación 1a, como se observa en la figura 31. La presente clasificación se encuentra dentro de lo especificado en la NTP 321.125:2019.

**Figura 31.**

*Ensayo de lámina de cobre del biodiesel (B100)*



#### 4.3.6. *Propiedades de Contaminación*

La cantidad de agua y sedimentos indican la pureza del biodiesel. El agua puede encontrarse en forma de gotas disueltas o suspendidas, lo cual influye en el poder calorífico, ya que se ve reducido con la presencia de agua en el combustible. Por otro lado, los sedimentos pueden causar obstrucción en las líneas de combustible (Singh et al., 2019). En el presente estudio, el AVR presentó un contenido de agua y sedimentos inferior a 0.2% en volumen, mientras que el del biodiesel fue inferior a 0.01% en volumen, situándose por debajo del valor máximo especificado en la NTP 321.125:2019, tal como se observa en la figura 32.

**Figura 32.**

*Agua y sedimentos en el biodiesel (B100) y AVR*



#### 4.4. Análisis Estadístico y Experimental

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza mostrados en la tabla 13, se observó que la dosis de catalizador de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  empleada en la reacción de transesterificación influye significativamente ( $p < 0.0001$ ) con un valor-F de 175.42, siendo el factor que presenta un mayor efecto sobre el rendimiento de biodiesel. Asimismo, se observó que la relación molar aceite-metanol también resultó significativa ( $p = 0.001$ ) con un valor-F de 19.62, al igual que su interacción con la dosis de catalizador ( $p = 0.017$ ).

**Tabla 13.**

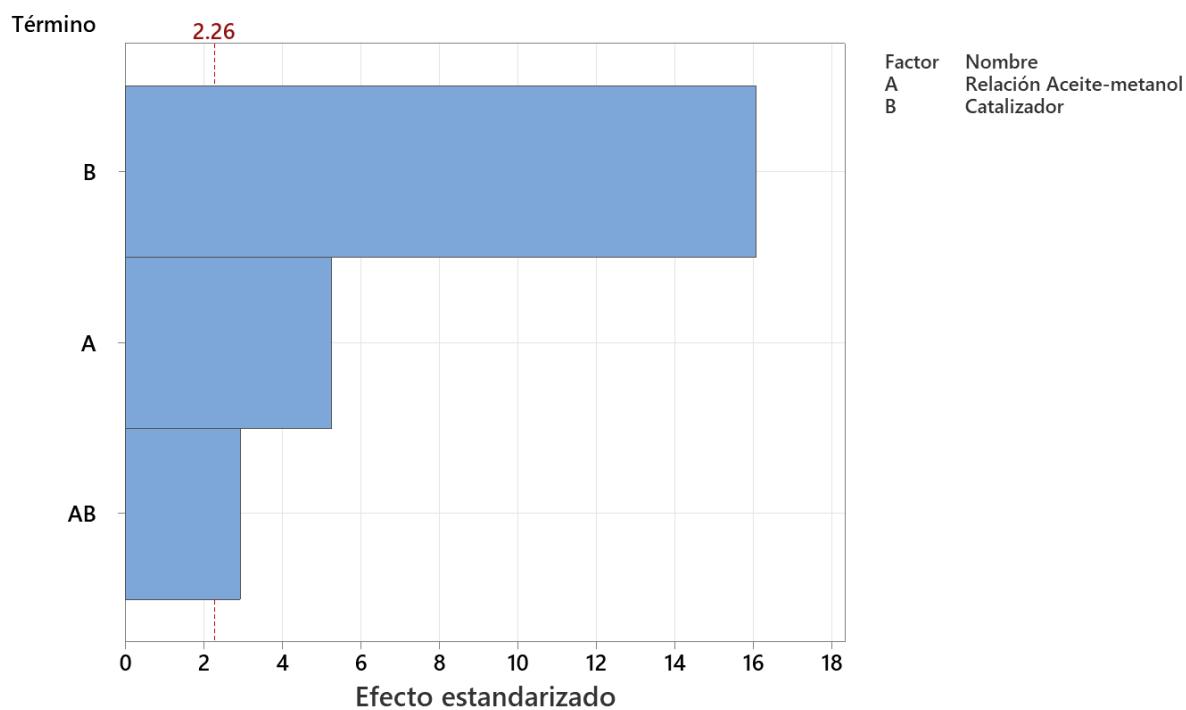
*Análisis de Varianza (ANOVA)*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	412.698	51.587	51.47	0.000
Lineal	4	390.978	97.744	97.52	0.000
Relación aceite-metanol	2	39.322	19.661	19.62	0.001
Catalizador	2	351.656	175.828	175.42	0.000
Interacciones de 2 términos	4	21.721	5.43	5.42	0.017
Relación*Catalizador	4	21.721	5.43	5.42	0.017
Error	9	9.021	1.002		
Total	17	421.719			

Nota: GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; MC: Suma de cuadrados medios.

Los valores  $R^2$  y  $R^2$  ajustados fueron de 0.978 y 0.959 respectivamente. Esto significa que el 97.8% de la variación en el rendimiento de biodiesel puede explicarse por los cambios en la dosis de catalizador y la relación molar aceite-metanol. Además, el hecho de que ambos valores sean cercanos indica que el modelo propuesto es adecuado y explica correctamente el comportamiento de la respuesta en el dominio experimental.

Los resultados del análisis ANOVA se complementan con el Diagrama de Pareto (ver figura 33), el cual muestra la magnitud del efecto de cada factor en el rendimiento de biodiesel. Se observa que el factor B (dosis de catalizador) tiene un mayor efecto que el factor A (relación molar aceite-metanol) en un intervalo de confianza de 95%

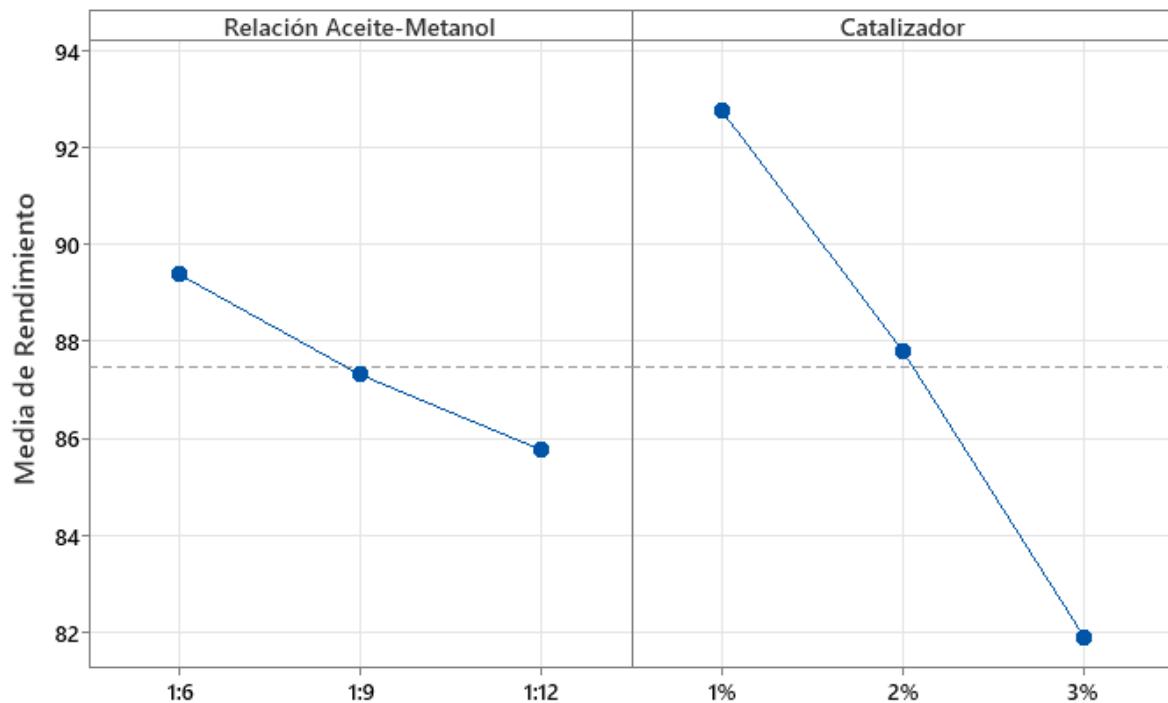
**Figura 33.***Diagrama de Pareto*

Ahora bien, los efectos de la dosis de catalizador y la relación molar aceite-metanol se muestran en la figura 34. En estudios previos como el reportado por Roschat et al. (2016), se evidencia que un incremento progresivo en la dosis de catalizador trae consigo una mejora en el rendimiento de biodiesel, debido al aumento de sitios básicos activos que favorecen la formación del anión metóxido, el cual es una especie clave en la transesterificación. Frente a ello, Daramola et al. (2016) ratifica este comportamiento, ya que evidenció un aumento en el rendimiento de biodiesel al emplear dosis superiores al 1% p/p de catalizador bajo condiciones similares de reacción al del presente estudio. Sin embargo, estos estudios también señalan que, a partir de cierto umbral, el incremento de la dosis de catalizador puede ser contraproducente debido a la limitación en la transferencia de masa y a la alta viscosidad de la mezcla de reacción, dificultando la interacción entre los reactivos. En contraste, en el presente estudio se observó que un aumento en la dosis de catalizador por encima del 1% p/p redujo el rendimiento de

biodiesel, lo cual indica que probablemente dicha cantidad fue suficiente para saturar los sitios activos del catalizador, logrando así el mayor rendimiento posible (94.88%), Por el contrario, un incremento adicional en la dosis de catalizador disminuyó la eficiencia del proceso.

**Figura 34.**

Grafica de efectos principales



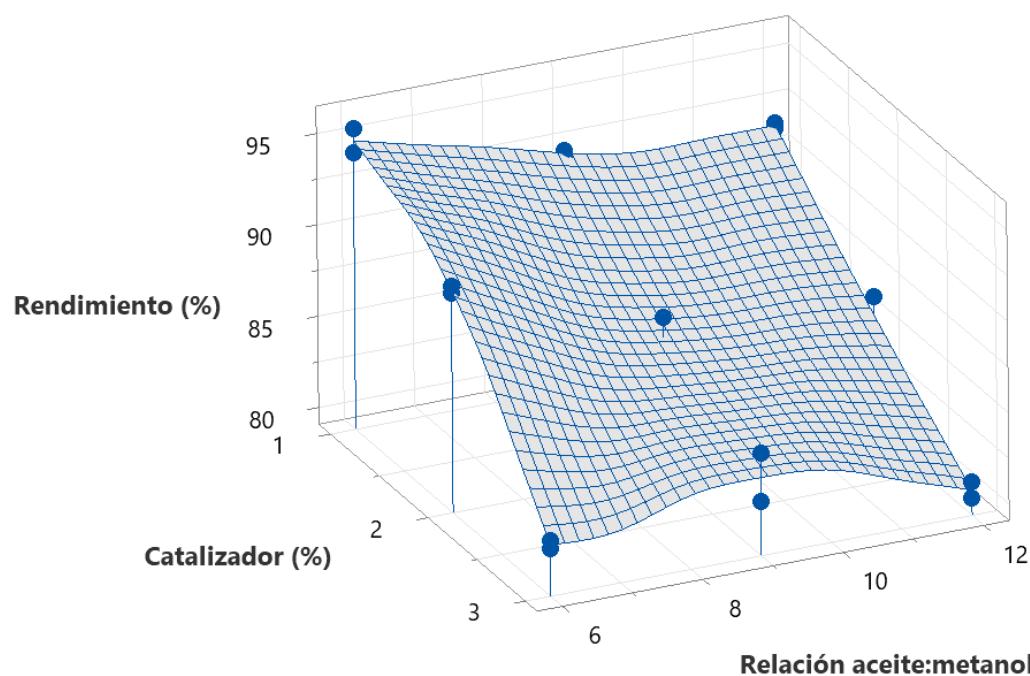
Por otro lado, como se observa en la figura 35, el rendimiento de biodiesel disminuyó gradualmente a medida que la relación molar aceite-metanol aumento de 1:6 a 1:12. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Roschat et al. (2016), quien señala que un incremento en dicha relación conlleva a un mayor rendimiento de biodiesel, sin embargo, superado cierto umbral, este tiende a disminuir. Esto se debe a que, durante la reacción, el glicerol por su naturaleza polar, se disuelve en el exceso de metanol interfiriendo con la interacción eficiente entre los reactantes (aceite-metanol) y el catalizador. Además, en la etapa de separación, el metanol actúa como emulsionante entre el biodiesel y el glicerol, dificultando su separación y, en consecuencia, reduciendo el rendimiento final de biodiesel. Por tanto, en el

presente estudio, una relación molar aceite-metanol de 1:6 resultó ser adecuada para desplazar el equilibrio de la reacción hacia la obtención de biodiesel y lograr un mayor rendimiento, sin requerir un exceso adicional.

La grafica de superficie (ver figura 35) muestra el rendimiento de biodiesel en función de la relación molar aceite-metanol (1:6; 1:9 y 1:12) y la dosis de catalizador (1, 2 y 3% p/p). Se evidenció que la prolongación de la zona máxima de conversión (>94%) se alcanzó al emplear simultáneamente una menor relación molar aceite-metanol y una menor dosis de catalizador. En contraste, el incremento conjunto de la relación molar y la dosis del catalizador elevadas redujo considerablemente la conversión de AVR a biodiesel, alcanzando valores inferiores al 82%. Asimismo, la naturaleza descendente del grafico de superficie indica que la interacción entre los dos factores tiene un efecto significativo en la conversión de biodiesel. El mayor rendimiento (94.88%) se alcanzó empleando una relación molar aceite-metanol de 1:6 y una dosis de catalizador del 1% p/p.

**Figura 35.**

*Grafica de superficie Rendimiento vs Relación Aceite-Metanol, Catalizador*



Al contrastar los resultados obtenidos en la presente investigación con los reportados por Daramola et al. (2016), como se observa en la tabla 14, se evidenció que, bajo condiciones similares de reacción (60 °C, 2 h, relación molar 1:6, 1% p/p de catalizador), dicho autor obtuvo un rendimiento de biodiesel considerablemente inferior (aproximadamente 72.27%). Esta diferencia se atribuye, en primer lugar, al contenido de AGL del aceite, ya que en el presente estudio se empleó un AVR con menor contenido de AGL (0.8%) en comparación con el utilizado por Daramola et al. (2016), el cual fue de 3.28%. Asimismo, el catalizador sintetizado en este estudio a partir de NaOH y Tixosil® 38AB (SiO<sub>2</sub>) presentó mejores propiedades texturales frente al catalizador de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> comercial empleado por Daramola et al. (2016), cuya área superficial y tamaño de poro fue de 0.39 m<sup>2</sup>/g y 59.18 nm limitado su actividad catalítica.

**Tabla 14.**

*Comparación del rendimiento de biodiesel utilizando silicato de sodio comercial y sintetizado*

Tipo de aceite	AGL	Dosis de catalizador (% p/p)	Relación molar Oil:OH	Temperatura (°C)	Tiempo de reacción (h)	Rendimiento (%)	Referencia
AVR	3.28	1	1:6	60	2	72.27	(Daramola et al., 2016)
AVR	0.8	1	1:6	60	2	94.88	Este estudio

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto de los parámetros de reacción como la dosis de catalizador y relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel de aceite vegetal residual, utilizando como catalizador el silicato de sodio. Este fue sintetizado a partir de NaOH y Tixosil® 38AB alcanzando un área superficial de  $2.9685\text{ m}^2/\text{g}$ . A pesar de tratarse de un valor relativamente bajo, el material demostró ser un catalizador eficiente, logrando un rendimiento de biodiesel del 94.88% empleando una dosis de 1% p/p y una relación molar aceite-metanol 1:6. Asimismo, el biodiesel obtenido bajo estas condiciones cumplió con los parámetros establecidos en la NTP 321.125:2019.
- Se logró evaluar el efecto de la variación de la dosis de catalizador en el rendimiento de biodiesel. Los resultados evidenciaron que incrementar la dosis de catalizador por encima del 1% p/p tiene un efecto negativo en el rendimiento, ya que al aumentar la dosis a 2% y 3%, el rendimiento disminuyó a 91.30% y 81.91% respectivamente. Este comportamiento se atribuye principalmente a la intensificación de reacciones de saponificación asociadas al uso de mayores dosis de catalizador básico, lo cual favorece la formación de jabones y emulsiones durante la etapa de lavado. Como consecuencia, se produce un mayor arrastre de biodiesel hacia la fase acuosa, identificándose al lavado como la etapa crítica del proceso en términos de pérdida de biodiesel.
- Se logró evaluar el efecto de la variación de la relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel. Se observó que incrementar la relación molar por encima de 1:6 sino que lo reduce ligeramente. Al emplear relaciones molares de 1:9 y 1:12, el rendimiento descendió de 92% a 91.3% respectivamente. Este comportamiento indica que, aunque teóricamente un exceso de metanol favorece la transesterificación, en este proceso catalizado por silicato de sodio, una relación mayor a 1:6 disuelve el glicerol generado e interfiere en su separación del biodiesel, afectando negativamente la eficiencia del proceso.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el efecto de la variación de la relación molar NaOH:SiO<sub>2</sub> en el rendimiento de biodiesel. Probar diferentes proporciones con respecto al SiO<sub>2</sub> podría ayudar a mejorar su eficiencia y dar lugar a mejores resultados en la obtención de biodiesel.
- Se recomienda considerar la viscosidad como un parámetro clave de calidad del biodiesel, ya que los resultados obtenidos demostraron una diferencia claramente significativa entre la viscosidad del AVR y la viscosidad del biodiesel producido, evidenciando la efectividad del proceso de transesterificación.
- Se recomienda complementar la caracterización del AVR con la determinación del índice de saponificación e índice de yodo, a fin de obtener una evaluación más completa de propiedades y su influencia en la calidad de biodiesel.
- Se recomienda evaluar el contenido de sodio (Na) en el biodiesel, a fin de determinar una posible lixiviación del catalizador y su impacto en la calidad del biocombustible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmed, M., Ahmad, K. A., Vo, D. V. N., Yusuf, M., Haq, A., Abdullah, A., Aslam, M., Patle, D. S., Ahmad, Z., Ahmad, E., & Athar, M. (2023). Recent trends in sustainable biodiesel production using heterogeneous nanocatalysts: Function of supports, promoters, synthesis techniques, reaction mechanism, and kinetics and thermodynamic studies. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 280). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116821>
- Amal, R., & Usman, M. (2024). A review of breakthroughs in biodiesel production with transition and non-transition metal-doped CaO nano-catalysts. In *Biomass and Bioenergy* (Vol. 184). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107158>
- Amesho, K. T. T., Lin, Y. C., Chen, C. E., Cheng, P. C., & Shangdiar, S. (2022). Kinetics studies of sustainable biodiesel synthesis from Jatropha curcas oil by exploiting bio-waste derived CaO-based heterogeneous catalyst via microwave heating system as a green chemistry technique. *Fuel*, 323, 123876. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.123876>
- Ao, S., Changmai, B., Vanlalveni, C., Chhandama, M. V. L., Wheatley, A. E. H., & Rokhum, S. L. (2024). Biomass waste-derived catalysts for biodiesel production: Recent advances and key challenges. In *Renewable Energy* (Vol. 223). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120031>
- Arenas, E., Villafán, S., Rodríguez, Y., García, J., Masera, O., & Sandoval, G. (2021). Biodiesel dry purification using unconventional bioadsorbents. *Processes*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/pr9020194>
- Atiqah, N., Shangeetha, G., & Hamidon, T. (2021). A review on the utilization of calcium oxide as a base catalyst in biodiesel production. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Issue 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105741>
- Awogbemi, O., & Kallon, D. V. Von. (2024a). Conversion of hazardous waste cooking oil into non-fuel value added products. In *International Journal of Ambient Energy* (Vol. 45, Issue 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01430750.2024.2345253>
- Awogbemi, O., & Kallon, D. V. Von. (2024b). Conversion of hazardous waste cooking oil into non-fuel value added products. In *International Journal of Ambient Energy* (Vol. 45, Issue 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01430750.2024.2345253>
- Bartholomew, F. (2011). *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes - Google Books*. [https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentals\\_of\\_Industrial\\_Catalytic\\_Pro/ormC\\_v1AZ8C?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentals_of_Industrial_Catalytic_Pro/ormC_v1AZ8C?hl=es-419&gbpv=1)
- Batuhan, T. E. (2021). *Intensified sunflower oil transesterification*.
- Bedir, Ö., & Doğan, T. H. (2021). Comparison of catalytic activities of Ca-based catalysts from waste in biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1883159>
- Bharti, R. K., Kaushal, C., Singh, A., Dhar, D. W., Babu, R., & Kaushik, A. (2024). Evaluation of fuel properties for possible biodiesel output based on the fatty acid composition of oleaginous plants and microalgae. *Science of the Total Environment*, 918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170448>

- Busca, G. (2014). Heterogeneous Catalytic Materials: Solid State Chemistry, Surface Chemistry and Catalytic Behaviour. *Heterogeneous Catalytic Materials: Solid State Chemistry, Surface Chemistry and Catalytic Behaviour*, 1–463. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-00113-5>
- Castro, Paula., Coello, Javier., & Castillo, Liliana. (2007a). *Opciones para la producción y uso de biodiésel en el Perú*. Soluciones Prácticas, ITDG.
- Castro, Paula., Coello, Javier., & Castillo, Liliana. (2007b). *Opciones para la producción y uso de biodiésel en el Perú*. Soluciones Prácticas, ITDG.
- Daramola, M. O., Mtshali, K., Senokoane, L., & Fayemiwo, O. M. (2016). Influence of operating variables on the transesterification of waste cooking oil to biodiesel over sodium silicate catalyst: A statistical approach. *Journal of Taibah University for Science*, 10(5), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.07.008>
- Dambre, D., & Choudhary, V. R. (2020). Properties of functional solid catalysts and their characterization using various analytical techniques. In *Advanced Functional Solid Catalysts for Biomass Valorization* (pp. 77–88). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820236-4.00003-9>
- Elfina, S., Pandiangan, K. D., Jamarun, N., Subriadi, F., Hafnimardiyanti, H., & Roswita, R. (2024). Transesterification of Palm Oil Catalyzed by CaO/SiO<sub>2</sub> Prepared from Limestone and Rice Husk Silica. *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, 4(1), 49–57. <https://doi.org/10.47352/jmans.2774-3047.185>
- Energy institute. (2023). *Statistical Review of World Energy*.
- Energy Institute. (2024). *In collaboration with Statistical Review of World Energy*.
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production: Review. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 168, pp. 74–84). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>
- Ghosh, N., D., R., Lalthazuala Rokhum, S., & Halder, G. (2024). Current progress and future outlooks of microwave-irradiated biodiesel production: A holistic review. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 482). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.149033>
- Ghosh, N., Patra, M., & Halder, G. (2024). Current advances and future outlook of heterogeneous catalytic transesterification towards biodiesel production from waste cooking oil. In *Sustainable Energy and Fuels* (Vol. 8, Issue 6, pp. 1105–1152). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d3se01564e>
- Gonzo, E. E. (2011). *CONCEPTOS BASICOS SOBRE LOS FENOMENOS*. [www.seu.unsa.edu.ar](http://www.seu.unsa.edu.ar)
- INDECOP. (2019). *NTP 321.125:2019. Biodiésel. Especificaciones*.
- Chalco Mendoza, K., & Jacinto Mamani, J. K. (2025). *Evaluación de la detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas del TiO<sub>2</sub>*.
- Kedir, W. M., Wondimu, K. T., & Weldegrum, G. S. (2023). Optimization and characterization of biodiesel from waste cooking oil using modified CaO catalyst derived from snail shell. *Helijon*, 9(5), e16475. <https://doi.org/10.1016/J.HELJON.2023.E16475>

- Kosuru, S. M. Y., Delhiwala, Y., Koorla, P. B., & Mekala, M. (2024). A review on the biodiesel production: Selection of catalyst, Pre-treatment, Post treatment methods. *Green Technologies and Sustainability*, 2(1), 100061. <https://doi.org/10.1016/J.GRETS.2023.100061>
- Leung, D. Y. C., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. In *Applied Energy* (Vol. 87, Issue 4, pp. 1083–1095). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>
- Liu, S., & Ott, W. K. (2020). Sodium silicate applications in oil, gas & geothermal well operations. In *Journal of Petroleum Science and Engineering* (Vol. 195). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107693>
- Longfei, L. (2018). *The key parameters influencing the reactivity of magnesium silicate based catalysts: application to transesterification in liquid phase.*
- Lopresto, C. G., De Paola, M. G., & Calabò, V. (2024). Importance of the properties, collection, and storage of waste cooking oils to produce high-quality biodiesel – An overview. In *Biomass and Bioenergy* (Vol. 189). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107363>
- Mahesh, S. E., Ramanathan, A., Begum, K. M. M. S., & Narayanan, A. (2015). Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst. *Energy Conversion and Management*, 91, 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.031>
- Mansir, N., Teo, S. H., Mijan, N. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2021). Efficient reaction for biodiesel manufacturing using bi-functional oxide catalyst. *Catalysis Communications*, 149, 106201. <https://doi.org/10.1016/J.CATCOM.2020.106201>
- Mansir, N., Teo, S. H., Rashid, U., Saiman, M. I., Tan, Y. P., Alsultan, G. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2018). Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 3645–3655). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.098>
- Manurung, R., Hasibuan, R., & Siregar, A. G. A. (2024). Preparation and characterization of lithium, sodium, and potassium silicate from palm leaf as a potential solid base catalyst in developed biodiesel production. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100543>
- Manurung, R., Tambun, R., Zuhri, R. R. S., Harahap, H., & Siregar, A. G. A. (2024). THE POTENTIAL OF CATALYST BASED ON PALM LEAVES IN BIODIESEL PRODUCTION AS PART OF PALM OIL LIFE CYCLE ASSESSMENT. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2024(4), 40–51. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003433>
- Monika, Banga, S., & Pathak, V. V. (2023). Biodiesel production from waste cooking oil: A comprehensive review on the application of heterogenous catalysts. In *Energy Nexus* (Vol. 10). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100209>
- Montero, Gisela., & Stoytcheva, Margarita. (2011). *Biodiesel : quality, emissions and by-products*. InTech.
- Munyentwali, A., Li, H., & Yang, Q. (2022). Review of advances in bifunctional solid acid/base catalysts for sustainable biodiesel production. In *Applied Catalysis A: General* (Vol. 633). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2022.118525>

- Musa, I. A. (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. In *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 25, Issue 1, pp. 21–31). Egyptian Petroleum Research Institute. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>
- Narula, A., Veluturla, S., & Sharieff, S. (2021). Synthesis of Biodiesel Using Heterogeneous Catalyst Sodium Hydroxide Impregnated on Naturally Available SiO<sub>2</sub>. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 94(10), 1427–1435. <https://doi.org/10.1134/S1070427221100050>
- Nawin, L., Kumar, M., Darshan, & Thakur, C. (2024). Application of Catalysts Used in Biodiesel Production-A Review. In *Journal of Environmental Nanotechnology* (Vol. 13, Issue 3, pp. 145–151). Institute for Environmental Nanotechnology. <https://doi.org/10.13074/jent.2024.09.242716>
- Quevedo Amador, R., Escalera Velasco, B. P., Ramírez Arias, A., Reynel Ávila, H., Moreno Piraján, J., Giraldo, L., & Petriciolet, B. (2024). Application of waste biomass for the production of biofuels and catalysts: a review. In *Clean Technologies and Environmental Policy*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02728-4>
- Rezki, B., Essamlali, Y., Amadine, O., Sair, S., Aadil, M., Len, C., & Zahouily, M. (2024). A comprehensive review on apatite-derived catalysts for sustainable biodiesel production: Classification, features and challenges. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 12, Issue 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.111913>
- Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B., & Promarak, V. (2016). Rice husk-derived sodium silicate as a highly efficient and low-cost basic heterogeneous catalyst for biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 119, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.071>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., & Kumari, D. (2019). Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. In *Fuel* (Vol. 253, pp. 60–71). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.174>
- Siregar, A. G. A., Manurung, R., & Taslim, T. (2021). Synthesis and characterization of sodium silicate produced from corncobs as a heterogeneous catalyst in biodiesel production. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(1), 88–96. <https://doi.org/10.22146/ijc.53057>
- Taslim, Andika Sinaga, B., Nathalia Sihaloho, M., Iriany, & Bani, O. (2019). Biodiesel Synthesis from Waste Cooking Oil using Heterogeneous Catalyst from Corncob Ash Impregnated with KOH. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012281>
- Widayat, Satriadi, H., Setyojati, P. W., Shihab, D., Buchori, L., Hadiyanto, & Nurushofa, F. A. (2024). PREPARATION CaO/MgO/Fe3O4 MAGNETITE CATALYST AND CATALYTIC TEST FOR BIODIESEL PRODUCTION. *Results in Engineering*, 102202. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.102202>
- Widiarti, N., Ni'mah, Y. L., Bahruji, H., & Prasetyoko, D. (2019). Development of CaO from natural calcite as a heterogeneous base catalyst in the formation of biodiesel: Review. In *Journal of Renewable Materials* (Vol. 7, Issue 10, pp. 915–939). Tech Science Press. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.07183>

# APENDICE

## APENDICE A. Matriz de consistencia

**Tabla 15.**

### Matriz de consistencia

PROBLEMA DE ESTUDIO	OBJETIVO DE ESTUDIO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGIA
<b>Problema General:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto del silicato de sodio como catalizador en el rendimiento de obtención de biodiesel de aceite vegetal residual?</li> </ul>	<b>Objetivo General:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el efecto del silicato de sodio como catalizador en el rendimiento de obtención de biodiesel de aceite vegetal residual.</li> </ul>	<b>Hipótesis General:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>El silicato de sodio influye en el rendimiento de obtención de biodiesel de aceite vegetal residual.</li> </ul>	<b>Variables Independientes:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Relación aceite-metanol</li> <li>Dosis de catalizador</li> </ul>	<b>Unidades</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mol</li> <li>% peso</li> </ul>	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo  <b>Tipo de investigación:</b> Explicativo
<b>Problemas Específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto de la variación de la dosis del catalizador de silicato de sodio en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual?</li> <li>¿Cuál es el efecto de la variación de la relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual?</li> </ul>	<b>Objetivo Específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el efecto de la variación de la dosis del catalizador de silicato de sodio en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual.</li> <li>Evaluar el efecto de la variación de la relación molar aceite-metanol en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual.</li> </ul>	<b>Hipótesis Específica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La variación de la dosis de catalizador de silicato de sodio influye significativamente en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual.</li> <li>La variación de la relación molar aceite-metanol influye significativamente en el rendimiento de biodiesel a partir de aceite vegetal residual.</li> </ul>			<b>Alcance:</b> Correlacional  <b>Diseño:</b> Experimental

**APENDICE B. Operacionalización de las variables**

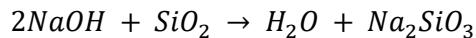
**Tabla 16.**

*Operacionalización de las variables*

<b>Tipo de variables</b>	<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Unidades</b>
<b>Independientes</b>	<i>Relación aceite-metanol</i>	Relación molar de aceite y metanol descritas en el balance estequiométrico.	Relación molar de aceite-metanol presente en la reacción de transesterificación, medida en términos moles convertidas a volumen.	mol
	<i>Dosis de catalizador</i>	Peso calculado con respecto al reactivo limitante del proceso.	Dosis de catalizador presente en la reacción de transesterificación, medida en términos de % peso.	% peso
<b>Dependiente</b>	<i>Rendimiento de biodiésel</i>	Cantidad de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME) que se obtienen al reaccionar triglicéridos con un alcohol de cadena corta en presencia de un catalizador.	Cantidad y calidad del biodiésel que se produce en la reacción de transesterificación en presencia del catalizador.	%

**APENDICE C. Cálculos estequiométricos para la síntesis del catalizador**

Para sintetizar el catalizador de  $Na_2SiO_3$  se utilizar la relación molar descrita en la siguiente ecuación estequiométrica.



Peso Molecular (g/mol) 39.997 60.08 18.015 122.06

Moles (mol) 2 1 1 1

Masa (g) 79.994 60.08 18.015 122.06

Para establecer una relación másica se trabajó con los siguientes pesos.

Masa (g)  $\approx$  8 6.00 1.801 12.20

En la cual se determinó que se realizar una impregnación de 6 gramos de  $SiO_2$  con 8 gramos de  $NaOH$  respectivamente.

**APENDICE D. Cálculo de volúmenes estequiométricos**

Para una relación molar aceite/metanol 1:6

$$n_{OH;1:6} = \frac{M_{OH;1:6}}{PM_{OH;1:6}}$$

$$M_{OH;1:6} = 6 \text{ mol} * 32.04 \text{ g/mol}$$

$$M_{OH;1:6} = 192.24 \text{ g}$$

$$\rho_{OH;1:6} = 0.792 \text{ g/cm}^3$$

$$Vol_{OH;1:6} = \frac{M_{OH;1:6}}{\rho_{OH;1:6}}$$

$$Vol_{OH;1:6} = \frac{192.24 \text{ g}}{0.792 \text{ g/cm}^3}$$

$$Vol_{OH;1:6} (\text{Estequiométrico}) = 242.73 \text{ cm}^3$$

$$n_{Oil;1:6} = \frac{M_{Oil;1:6}}{PM_{Oil;1:6}}$$

$$M_{Oil;1:6} = 1 \text{ mol} * 873.4 \text{ g/mol}$$

$$M_{Oil;1:6} = 873.4 \text{ g}$$

$$\rho_{Oil;1:6} = 0.9242 \text{ g/cm}^3$$

$$Vol_{Oil;1:6} = \frac{M_{Oil;1:6}}{\rho_{Oil;1:6}}$$

$$Vol_{Oil;1:6} = \frac{873.4 \text{ g}}{0.9242 \text{ g/cm}^3}$$

$$Vol_{Oil;1:6} (\text{Estequiométrico}) = 945.03 \text{ cm}^3$$

Estableciendo al volumen experimental de 100 ml de aceite con un ratio aceite-metanol de 1:6

$$Vol_{Oil:Exp} * Vol_{OH} (\text{Estequiométrico}) = Vol_{Oil} (\text{Estequiométrico}) * Vol_{OH:Exp}$$

$$Vol_{OH:Exp} = \frac{242.73 * 100}{945.03}$$

$$Vol_{OH:Experimental} = 25.68 \text{ cm}^3$$

**APENDICE E. Cálculo de la dosis de catalizador**

$$Vol_{Oil:Exp} = 100 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{Oil} = 0.9242 \text{ g/cm}^3$$

$$M_{Oil(Experimental)} = \rho_{Oil} * Vol_{Oil:Exp}$$

$$M_{Oil(Experimental)} = 0.9242 \text{ g/cm}^3 * 100 \text{ cm}^3$$

$$M_{Oil(Experimental)} = 92.42 \text{ g}$$

*Dosis de catalizador 1% en peso*

$$Cat_{1\%} = M_{Oil(Exp)} * 0.01$$

$$Cat_{1\%} = 92.42 \text{ g} * 0.01$$

$$Cat_{1\%} = 0.9242 \text{ gramos}$$

**APENDICE F. Análisis fisicoquímico de índice de acidez del AVR**

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú	 <b>UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO</b> <b>DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA</b> <b>INFORME DE ANÁLISIS</b> <b>Nº0288-24-LAQ</b>		
<b>SOLICITANTE :</b> LUIS ROA CONDORI <b>E.PROFESIONAL :</b> Ing. PETROQUÍMICA <b>MUESTRA :</b> ACEITE VEGETAL RESIDUAL <b>TRATAMIENTO :</b> FILTRADO <b>FECHA :</b> C/31/07/2024			
<b>ENSAYO FISICOQUÍMICO:</b>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Índice de Acidez mg KOH/g</td> <td style="padding: 2px;">2,37</td> </tr> </table>		Índice de Acidez mg KOH/g	2,37
Índice de Acidez mg KOH/g	2,37		
<b>Métodos:</b> R. Lees, Manual de Análisis de Alimentos, pag. 103 <b>Cusco, 02 de Agosto 2024</b>			
 			

**APENDICE G. Análisis fisicoquímico de índice de acidez del AVR pretratado**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO  
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nº0556-24-LAQ

**SOLICITANTE :** KATHERINE LIDIA BELLOTA GONZALES  
**E.PROFESIONAL :** Ing. PETROQUÍMICA  
**MUESTRA :** ACEITE VEGETAL RESIDUAL PRE TRATADO  
**FECHA :** C/25/11/2024

**ENSAYO FISICOQUÍMICO:**

<b>Índice de Acidez mg KOH/g</b>	<b>1,60</b>
----------------------------------	-------------

Métodos: R. Lees, Manual de Análisis de Alimentos, pag. 103

Cusco, 26 de Noviembre 2024

*Cusco 26/11/2024*

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios-Análisis

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Lucila Herrera Aráiz  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

**UNSAAC**

## APENDICE H. Cálculo de la *densidad del AVR y biodiesel*

### **Densidad a 15 °C del AVR**

De acuerdo al ensayo ASTM D1298 se registraron los siguientes datos:

Grados API : 22.5 a 83.3 °F

*Primero se corrige mediante la tabla gravedad API a 60 °F de en el ANEXO G, utilizando una interpolación doble en el cual se obtiene:*

Grados API (Corregido): 21.1595 a 60 °F

*Utilizando la ecuación 6*

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{141.5 * 999.016}{131.5 + ^\circ\text{API}}$$

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{141360.76}{152.65}$$

$$\text{Densidad a } 15 \text{ } ^\circ\text{C AVR} = 926.04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### **Densidad a 15 °C del Biodiesel**

De acuerdo al ensayo ASTM D1298 se registraron los siguientes datos:

Grados API : 28.7 a 84.2 °F

*Primero se corrige mediante la tabla gravedad API a 60 °F de en el ANEXO G, utilizando una interpolación doble en el cual se obtiene:*

Grados API (Corregido): 27.18 a 60 °F

*Utilizando la ecuación 6*

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{141.5 * 999.016}{131.5 + ^\circ\text{API}}$$

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{141360.76}{158.68}$$

$$\text{Densidad a } 15 \text{ } ^\circ\text{C Biodiesel} = 890.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**APENDICE I.** Cálculo de la *viscosidad cinemática del AVR y biodiesel*

**Viscosidad cinemática a 40 °C del AVR**

De acuerdo al certificado de lote del viscosímetro POBEL N° 728C a 40 °C descrita en el ANEXO H, se registraron los siguientes datos:

*Constante 40 °C (Bulbo 1)* : 0.098930

*Constante 40 °C (Bulbo 2)* : 0.078510

$t_{01}$  : 429.84 seg

$t_{12}$  : 545.91 seg

Utilizando la ecuación 7

*Bulbo 1*

$$\nu_{01} = C_1 * t_{01}$$

$$\nu_{01} = 0.098930 * 429.84$$

$$\nu_{01} = 42.5240 \text{ Cts}$$

*Bulbo 2*

$$\nu_{12} = C_2 * t_{12}$$

$$\nu_{01} = 0.07851 * 545.91$$

$$\nu_{01} = 42.8593 \text{ Cts}$$

*Promedio*

$$\nu = \frac{\nu_{01} + \nu_{12}}{2}$$

$$\nu = \frac{42.5240 + 42.8593}{2}$$

$$\nu = 42.6917 \text{ Cts}$$

### **Viscosidad cinemática a 40 °C del biodiesel**

De acuerdo al certificado de lote del viscosímetro POBEL N° 3864 a 40 °C descrita en el ANEXO I, se registraron los siguientes datos:

*Constante 40 °C (Bulbo 1)* : 0.014643

*Constante 40 °C (Bulbo 2)* : 0.010541

$t_{01}$  : 363.31 seg

$t_{12}$  : 502.47 seg

Utilizando la ecuación 7

*Bulbo 1*

$$v_{01} = C_1 * t_{01}$$

$$v_{01} = 0.014643 * 363.31$$

$$v_{01} = 5.3199 \text{ Cts}$$

*Bulbo 2*

$$v_{12} = C_2 * t_{12}$$

$$v_{01} = 0.010541 * 502.47$$

$$v_{01} = 5.2965 \text{ Cts}$$

*Promedio*

$$v = \frac{v_{01} + v_{12}}{2}$$

$$v = \frac{5.3199 + 5.2965}{2}$$

$$v = 5.3082 \text{ Cts}$$

## APENDICE J. Cálculo del *índice de cetano del AVR y biodiesel*

### Índice de cetano del AVR

De acuerdo a la norma ASTM D4737, se registraron los siguientes datos:

$$T_{10} : 332 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Densidad a } 15\text{ }^{\circ}\text{C} : 0.9260 \text{ g/ml}$$

$$T_{50} : 318 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{90} : 306 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Para el cálculo de índice de cetano se utilizó la ecuación 8.

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10N}) + (0.131 + (0.901)(B))(T_{50N}) + (0.0523 - (0.420)(B))(T_{90N}) \\ + (0.00049)((T_{10N})^2 - (T_{90N})^2) + (107)(B) + (60)(B)^2$$

$$DN : D - 0.85$$

$$B : (e^{(-3.5)(DN)}) - 1$$

$$T_{10N} : T_{10} - 215$$

$$T_{50N} : T_{50} - 260$$

$$T_{90N} : T_{90} - 310$$

$$CCI = 35.08$$

### Índice de cetano del biodiesel

De acuerdo a la norma ASTM D4737, se registraron los siguientes datos:

$$T_{10} : 331 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Densidad a } 15\text{ }^{\circ}\text{C} : 0.8908 \text{ g/ml}$$

$$T_{50} : 335 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{90} : 328 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Para el cálculo de índice de cetano se utilizó la ecuación 8.

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10N}) + (0.131 + (0.901)(B))(T_{50N}) + (0.0523 - (0.420)(B))(T_{90N}) \\ + (0.00049)((T_{10N})^2 - (T_{90N})^2) + (107)(B) + (60)(B)^2$$

$$DN : D - 0.85$$

$$B : (e^{(-3.5)(DN)}) - 1$$

$$T_{10N} : T_{10} - 215$$

$$T_{50N} : T_{50} - 260$$

$$T_{90N} : T_{90} - 310$$

$$CCI = 51.15$$

## APENDICE K. Determinación del calor bruto de combustión del AVR y biodiesel

### Calor bruto de combustión del AVR

De acuerdo al ensayo ASTM D240 se registraron los siguientes datos:

$T_o$	: 25.583 °C	$L_o$	: 12 cm
$T_f$	: 29.416 °C	$L_f$	: 1.95 cm
$\Delta t$	: 3.833 °C	$L$	: 10.05 cm
$W_{cal}$ : 1758 Cal/°C			
$g$ : 0.7546 gramos			

*Cálculo de corrección para el calor de combustión del alambre de micrón*

$$e = 2.3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * (L_o - L_f) \text{cm}$$

$$e = 2.3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * (10.05) \text{cm}$$

$$e = 23.115 \text{ Cal}$$

*Cálculo del calor bruto de combustión del AVR*

$$H_g = \frac{\Delta t * W_{cal} - e}{g}$$

$$H_g = \frac{3.833 \text{ °C} * 1758 \frac{\text{Cal}}{\text{°C}} - 23.115 \text{ Cal}}{0.7546 \text{ g}}$$

$$H_g = 8899.1505 * 0.0041868 \text{ MJ/Kg}$$

$$H_g = 37.0916 \text{ MJ/Kg}$$

*Cálculo del calor neto de combustión del AVR*

$$Q_n = 10.025 + 0.7195 * H_g$$

$$Q_n = 10.025 + 0.7195 * 37.0916 \text{ MJ/Kg}$$

$$Q_n = 36.7124 \text{ MJ/Kg}$$

### **Calor bruto de combustión del biodiesel**

De acuerdo al ensayo ASTM D240 se registraron los siguientes datos:

$$T_o : 28.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L_o : 12 \text{ cm}$$

$$T_f : 32.13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L_f : 2.6 \text{ cm}$$

$$\Delta t : 3.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$L : 9.4 \text{ cm}$$

$$W_{cal} : 1758 \text{ Cal/}^\circ\text{C}$$

$$g : 0.7285 \text{ gramos}$$

*Cálculo de corrección para el calor de combustión del alambre de micrón*

$$e = 2.3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * (L_o - L_f) \text{cm}$$

$$e = 2.3 \frac{\text{Cal}}{\text{cm}} * (9.4) \text{cm}$$

$$e = 21.62 \text{ Cal}$$

*Cálculo del calor bruto de combustión del AVR*

$$H_g = \frac{\Delta t * W_{cal} - e}{g}$$

$$H_g = \frac{3.8 \text{ } ^\circ\text{C} * 1758 \frac{\text{Cal}}{\text{C}} - 21.62 \text{ Cal}}{0.7285 \text{ g}}$$

$$H_g = 9153.80 * 0.0041868 \text{ MJ/kg}$$

$$H_g = 38.32 \text{ MJ/kg}$$

*Cálculo del calor neto de combustión del AVR*

$$Q_n = 10.025 + 0.7195 * H_g$$

$$Q_n = 10.025 + 0.7195 * 38.32 \text{ MJ/kg}$$

$$Q_n = 37.6 \text{ MJ/kg}$$

## **APENDICE L. Determinación del contenido de ceniza del AVR y biodiesel**

### ***Contenido de ceniza del AVR***

De acuerdo al ensayo ASTM D 482 se registraron los siguientes datos:

$w$  : 0.0011 g

$W$  : 50.1973 g

#### *Cálculo del contenido de ceniza*

$$\text{Contenido de ceniza} = \frac{0.0011}{50.1973} * 100$$

$$\text{Contenido de ceniza} = 0.0022\%$$

#### *Cálculo del contenido de ceniza para 100 g de muestra*

$$\text{Contenido de ceniza}_{100\text{ g}} = 0.0044\%$$

### ***Contenido de ceniza del biodiesel***

De acuerdo al ensayo ASTM D 482 se registraron los siguientes datos:

$w$  : 0.0002 g

$W$  : 80.5122 g

#### *Cálculo del contenido de ceniza*

$$\text{Contenido de ceniza} = \frac{0.0002}{80.5122} * 100$$

$$\text{Contenido de ceniza} = 0.0002\%$$

#### *Cálculo del contenido de ceniza para 100 g de muestra*

$$\text{Contenido de ceniza}_{100\text{ g}} = 0.0003\%$$

**APENDICE M. Determinación del contenido de carbón Ramsbotten del AVR y biodiesel**

**Contenido de carbón Ramsbotten del AVR**

De acuerdo al ensayo ASTM D189 se registraron los siguientes datos:

$A$  : 0.024 g

$W$  : 8.4842 g

*Cálculo del residuo de carbón Conradson*

$$\text{Residuo de carbón Conradson} = \frac{0.024 * 100}{8.4842}$$

$$\text{Residuo de carbón Conradson} = 0.28\%$$

*A partir del contenido de carbón Conradson se determinó el contenido de carbón Ramsbotten a través de la gráfica del ANEXO J.*

$$\text{Residuo de carbón Ramsbotten} = 0.28\%$$

**Contenido de carbón Ramsbotten del biodiesel**

De acuerdo al ensayo ASTM D189 se registraron los siguientes datos:

$A$  : 0.0009 g

$W$  : 7.5402 g

*Cálculo del residuo de carbón Conradson*

$$\text{Residuo de carbón Conradson} = \frac{0.0009 * 100}{7.5402}$$

$$\text{Residuo de carbón Conradson} = 0.011\%$$

*A partir del contenido de carbón Conradson se determinó el contenido de carbón Ramsbotten a través de la gráfica del ANEXO J.*

$$\text{Residuo de carbón Ramsbotten} = 0.045\%$$

# ANEXOS

## Anexo A.

### *Norma de biodiesel ASTM D6751 (Estados Unidos)*

Property	Test method	Limits		Unit
		min	max	
Calcium & Magnesium, combined	EN 14538	-	5	ppm ( $\mu\text{g/g}$ )
Flash point (closed cup)	D 93	93		°C
Alcohol Control (one to be met)				
1. Methanol Content	EN 14110	-	0.2	% (m/m)
2. Flash Point	D 93	130	-	°C
Water & Sediment	D 2709	-	0.05	% (v/v)
Kinematic Viscosity, at 40 °C	D 445	1.9	6.0	mm <sup>2</sup> /sec
Sulfated Ash	D 874	-	0.02	% (m/m)
Sulfur: S 15 grade	D 5453	-	0.0015	% (m/m)
S 500 grade	D 5453	-	0.05	% (m/m)
Copper Strip Corrosion	D 130	-	3	No.
Cetane	D 613	47	-	-
Cloud Point	D 2500	report		°C
Carbon Residue, 100% sample	D 4530	-	0.05	% (m/m)
Acid Number	D 664	-	0.05	mg KOH/g
Free Glycerin	D 6584	-	0.020	% (m/m)
Total Glycerin	D 6584	-	0.240	% (m/m)
Phosphorus Content	D 4951	-	0.001	% (m/m)
Distillation-Atmospheric equivalent temperatura 90% recovery	D 1160	-	360	°C
Sodium/Potassium, combined	EN 14538	-	5	ppm ( $\mu\text{g/g}$ )
Oxidation Stability	EN 15751	-	3	Hours
Cold Soak Filtration	D 7501	-	360	seconds
For use in temperature below -12°C	D 7501	-	200	seconds

**Anexo B.***Norma Europea Biodiesel (EN 14214)*

Property	Test method	Limits		Unit
		min	max	
Ester content	EN 14103	96.5	-	% (m/m)
Density at 15 °C	EN ISO 3675, EN ISO 12185	860	900	Kg/m <sup>3</sup>
Viscosity at 40 °C	EN ISO 3104, ISO 3105	3.5	5.0	mm <sup>2</sup> /s
Flash point	EN ISO 3679	120	-	°C
Sulfur content	EN ISO 20846, EN ISO 20884	-	10.0	mg/kg
Carbon residue (in 10% dist. residue)	EN ISO 10370	-	0.30	% (m/m)
Cetane number	EN ISO 5165	51	-	-
Sulfated ash	ISO 3987	-	0.02	% (m/m)
Water content	EN ISO 12937	-	500	mg/kg
Total contamination	EN 12662	-	24	mg/kg
Copper strip corrosion (3 hours, 50 °C)	EN ISO 2160	-	1	class
Oxidative stability, 110°C	EN 14112	6.0	-	hours
Acid value	EN 14104	-	0.50	mg KOH/g
Iodine value	EN 14111	-	120	g I/100 g
Linolenic acid content	EN 14103	-	12	% (m/m)
Content of FAME with $\geq$ 4 double bonds		-	1	% (m/m)
Methanol content	EN 14110	-	0.20	% (m/m)
Monoglyceride content	EN 14105	-	0.80	% (m/m)
Diglyceride content	EN 14105	-	0.20	% (m/m)
Triglyceride content	EN 14105	-	0.20	% (m/m)
Free glycerine	EN 14105; EN 14106	-	0.02	% (m/m)
Total glycerine	EN 14105	-	0.25	% (m/m)
Alkali metals (Na + K)	EN 14108; EN 14109	-	5.0	mg/kg
Earth alkali metals (Ca + Mg)	EN 14538	-	5.0	mg/kg
Phosphorus content	EN 14107	-	10.	mg/kg

**Anexo C.***Especificaciones del Diesel B5 S-50*

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIONES		METODOS DE ENSAYO		
	Mínimo	Máximo	ASTM	ISO	UNE EN
<b>VOLATILIDAD</b>					
Destilación, °C (a 760 mmHg)					
90 % recuperado, °C	282	360	D 86	3405	
Punto de inflamación Pensky Martens, °C	52		D 93	2719	
Densidad a 15 °C, Kg/m3	REPORTAR		D 1298 D 4052	3675	
<b>FLUIDEZ</b>					
Viscosidad cinemática a 40 °C, Cst <sup>1</sup>	1.9	4.1	D 445	3104	
Punto de Escrimento, °C <sup>2</sup>		4	D 97	3016	
<b>COMPOSICIÓN</b>					
Numero de Cetano <sup>3</sup>	45		D 613	5165	
Índice de Cetano <sup>4</sup>	40		D 4737 D 976	4254	
Cenizas, % masa		0.01	D 482	6245	
Residuo de Carbon Ramsbottom, 10 % fondos, % masa <sup>5</sup>		0.35	D 524 D 189 D 4294	4262 6615	
Azufre total, mg/Kg (ppm)	50		D 5453 D 2622	14596 4260	
<b>CORROSIVIDAD</b>					
Corrosión a la lámina de Cobre, 3h, 50 °C, N°		3	D 130	2160	
<b>CONTAMINANTES</b>					
Agua y sedimentos, % Vol.	0.05		D 1796 D 2709	3734	
<b>LUBRICIDAD</b>					
Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60 °C, micron		520	D 6079	12156	
<b>REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD</b>					
Punto de obstrucción del Filtro, Flujo en Frio, °C (CFPP) o (POFF)		-8	D 6371	116	
<b>CONDUCTIVIDAD</b>					
Conductividad, Ps/m <sup>6</sup>	25		D 2624 D 4308		
<b>BIODIESEL 100 (B100)</b>					
Contenido, % Vol.	5		D 7371	14078	
<b>Notas:</b>					
(1) El resultado del método de ensayo de la viscosidad cinemática a 40 °C puede ser 1.7 cSt, si se tiene una temperatura de punto de número menor que -12 °C.					
(2) Cuando el cliente lo requiera, se determinará el punto de niebla o enturbiamiento por el método de ensayo ASTM D2500.					
(3) En el caso de no contar con el equipo de método de ensayo ASTM D613 (número de cetano), se calculará el índice de cetano con el método de ensayo ASTM D4737.					
(4) El método de ensayo ASTM D976, se usará únicamente para combustibles diésel de rango número de cetano entre 56.5 a 60.					
(5) En el caso de contar con el equipo, se calculará esta propiedad utilizando el Apéndice IX del método de ensayo ASTM D524, que relaciona el ensayo de carbón Conradson (método de ensayo ASTM D189) con el carbón Ramsbottom.					
(6) El resultado del método de ensayo de la conductividad eléctrica se determinará para cada lote del producto a la temperatura de entrega del combustible. El requerimiento mínimo de conductividad 25 pS/m, aplicara para los casos de transferencias a alta velocidad (7 m/s) y baja velocidad (transportes móviles, cisternas, barcazas, etc.).					

**Anexo D.***Ficha de datos de seguridad de Sodio hidróxido en lentejas puro EMSURE***FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 9.0

Fecha de revisión 13.12.2024

Fecha de impresión 16.12.2024

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

**SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa****1.1 Identificadores del producto**

Nombre del producto : Sodio hidroxido en lentejas puro EMPLURA®

Referencia : 1.06462  
 Artículo número : 106462  
 Marca : Millipore  
 No. Índice : 011-002-00-6  
 REACH No. : 01-2119457892-27-XXXX  
 No. CAS : 1310-73-2

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos identificados : Producción química, Análisis químico

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**

Compañía : MERCK PERUANA S.A. PE  
 Av. Los Frutales 220  
 3 LIMA  
 PERU

Teléfono : +51 1 618-7500  
 Fax : +51 1 437-2955

**1.4 Teléfono de emergencia**

Teléfono de Urgencia : +(51)-17071295 (CHEMTRAC Peru) En caso de urgencias: acúdase al Centro de Salud más cercano.

**SECCIÓN 2. Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**

Corrosivo para los metales, (Categoría 1) H290: Puede ser corrosivo para los metales.

Corrosión cutánea, (Sub-categoría 1A) H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Lesiones oculares graves, (Categoría 1) H318: Provoca lesiones oculares graves.



## 2.2 Elementos de la etiqueta

### Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H290

Puede ser corrosivo para los metales.

H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Consejos de prudencia

P234

Conservar únicamente en el embalaje original.

P260

No respirar el polvo.

P280

Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara.

P303 + P361 + P353

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua.

P304 + P340 + P310

EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.

Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico.

P305 + P351 + P338

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

Declaración Suplementaria ninguno(a)  
del Peligro

### Etiquetado reducido (<= 125 ml)

Pictograma



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H314

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Consejos de prudencia

P260

No respirar el polvo.

P280

Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara.

P303 + P361 + P353

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua.

P304 + P340 + P310

EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.

Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico.

P305 + P351 + P338

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.



Declaración Suplementaria ninguno(a)  
del Peligro

### 2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (mPmB) a niveles del 0,1% o superiores.

#### Información ecológica:

La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

#### Información toxicológica:

La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

## SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

### 3.1 Sustancias

Formula	:	NaOH
Peso molecular	:	40 g/mol
No. CAS	:	1310-73-2
No. CE	:	215-185-5
No. Índice	:	011-002-00-6

Componente	Clasificación	Concentración
<b>Sodio hidróxido</b>		
No. CAS No. CE No. Índice	1310-73-2 215-185-5 011-002-00-6	Met. Corr. 1; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; H290, H314, H318 Límites de concentración: >= 5 %: Skin Corr. 1A, H314; 2 - < 5 %: Skin Corr. 1B, H314; 0,5 - < 2 %: Skin Irrit. 2, H315; 0,5 - < 2 %: Eye Irrit. 2, H319; >= 0,4 %: Met. Corr. 1, H290;

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

## SECCIÓN 4. Primeros auxilios

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

#### Recomendaciones generales

El socorrista necesita protegerse a sí mismo. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

#### Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco. Llamar al médico.



**En caso de contacto con la piel**

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ducharse. Llame inmediatamente al médico.

**En caso de contacto con los ojos**

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Llamar inmediatamente al oftalmólogo. Retirar las lentillas.

**Por ingestión**

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), evitar el vómito (peligro de perforación!). Llame inmediatamente al médico. No proceder a pruebas de neutralización.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

Sin datos disponibles

**SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios****5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.

**Medios de extinción no apropiados**

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Oxídos de sodio

No combustible.

Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno.

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada.

**5.4 Otros datos**

Reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

**SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental****6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

**6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.



**6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

**6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

**SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento****7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Ver precauciones en la sección 2.2

**7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades****Condiciones de almacenamiento**

No almacenar en recipientes de aluminio, estaño o cinc. No usar recipientes metálicos. Bien cerrado. Seco.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

**Clase de almacenamiento**

Clase de almacenamiento (TRGS 510): 8A: Materiales corrosivos peligrosos, combustibles

**7.3 Usos específicos finales**

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

---

**SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual****8.1 Parámetros de control****Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.****8.2 Controles de la exposición****Protección personal****Protección de los ojos/ la cara**

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro

**Protección de la piel**

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN 16523-1, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: [www.kcl.de](http://www.kcl.de))

Sumersión

Material: Caucho nitrílo

espesura mínima de capa: 0,11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado: KCL 741 Dermatril® L

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN 16523-



1, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: [www.kcl.de](http://www.kcl.de))

**Salpicaduras**

Material: Caucho nitrilo  
espesura mínima de capa: 0,11 mm  
Tiempo de penetración: 480 min  
Material probado: KCL 741 Dermatril® L

**Protección Corporal**

prendas de protección

**Protección respiratoria**

necesaria en presencia de polvo.

Nuestras recomendaciones sobre protección respiratoria se basan en las normas siguientes: DIN EN 143, DIN 14387 y otras normas relativas al uso de la protección respiratoria usada.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro tipo P2

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Éstas medidas deben ser documentadas debidamente.

**Control de exposición ambiental**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

**SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas**

**9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

- |    |   |  |
|----|---|--|
| a) | Estado físico   | sólido   |
| b) | Color   | blanco   |
| c) | Olor  | inodoro  |
| d) | Punto de fusión/<br>punto de congelación                    | Punto de fusión: 318 °C  |
| e) | Punto inicial de<br>ebullición e intervalo<br>de ebullición | 1.390 °C a 1.013 hPa   |
| f) | Inflamabilidad<br>(sólido, gas)                             | Sin datos disponibles  |
| g) | Inflamabilidad<br>superior/inferior o<br>límites explosivos | Sin datos disponibles  |
| h) | Punto de inflamación  | No aplicable   |
| i) | Temperatura de<br>auto-inflamación                          | Sin datos disponibles  |
| j) | Temperatura de<br>descomposición                            | Sin datos disponibles  |
| k) | pH  | aprox. > 14 a 100 g/l a 20 °C  |
| l) | Viscosidad  | Viscosidad, cinemática: Sin datos disponibles<br>Viscosidad, dinámica: Sin datos disponibles |

Millipore- 1.06462

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 6 de 13



- m) Solubilidad en agua 1.090 g/l a 20 °C
- n) Coeficiente de reparto n-octanol/agua No aplicable para sustancias inorgánicas
- o) Presión de vapor Sin datos disponibles
- p) Densidad 2,13 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C  
Densidad relativa Sin datos disponibles
- q) Densidad relativa del vapor Sin datos disponibles
- r) Características de las partículas Sin datos disponibles
- s) Propiedades explosivas Sin datos disponibles
- t) Propiedades comburentes ningún

## 9.2 Otra información de seguridad

- Constante de disociación 14,8 a 25 °C
- Densidad relativa del vapor 1,38 - (Aire = 1.0)

---

## SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

### 10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:

- Acetona
- Cloro
- Óxido de etileno
- Flúor
- Haluros de hidrógeno
- Hidrato de hidrazina
- hidroxilamina
- Anhídridos de ácido
- acroleína
- Cloruros de ácido
- Ácidos
- Ácido sulfúrico
- Cloroformo
- Agua
- peróxido de hidrógeno/agua oxigenada
- anhídridos
- fosfuros

Millipore- 1.06462

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 7 de 13



halogenuros de halógeno  
 tricloroetileno  
 Puede descomponerse violentamente en contacto con:  
 Sustancias Orgánicas  
 hidrógeno sulfuro  
 Peligro de ignición o de formación de gases o vapores combustibles con:  
 aluminio en polvo  
 Sales amónicas  
 persulfatos  
 sodio borohidruro  
 fósforo  
 Oxídos de fósforo  
 Hidrocarburo halogenado  
 Metales ligeros  
 Metales  
 Riesgo de explosión/reacción exotérmica con:  
 Bromo  
 Calcio  
 pulvurulento  
 Alcohol furfurílico  
 Nitrometano  
 Peróxidos  
 nitrocompuestos orgánicos  
 Nitrilos  
 Monómeros acrílicos  
 Cloroformo  
 con  
 Acetona  
 Nitrobenceno  
 con  
 Metanol  
 Nitrobenceno  
 con  
 sales  
 magnesio  
 Cinc  
 y  
 Estaño  
 (en presencia de oxígeno del aire y/o humedad)

**10.4 Condiciones que deben evitarse**  
 información no disponible

**10.5 Materiales incompatibles**  
 Sin datos disponibles

**10.6 Productos de descomposición peligrosos**  
 En caso de incendio: véase sección 5

Millipore- 1.06462

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 8 de 13



---

**SECCIÓN 11. Información toxicológica**
**11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**
**Toxicidad aguda**

Síntomas: Si es ingerido, provoca quemaduras severas de la boca y la garganta, así como peligro de perforación del esófago y del estómago.

Síntomas: quemaduras de las mucosas, Tos, Insuficiencia respiratoria, Consecuencias posibles:, perjudica las vías respiratorias

Cutáneo: Sin datos disponibles

**Corrosión o irritación cutáneas**

Piel - Conejo

Resultado: Provoca quemaduras.

Observaciones: (Reglamento (CE) No 1272/2008, Anexo VI)

**Lesiones o irritación ocular graves**

Ojos - Conejo

Resultado: Provoca lesiones oculares graves.

(Directrices de ensayo 405 del OECD)

Observaciones: (Reglamento (CE) No 1272/2008, Anexo VI)

Observaciones: Provoca lesiones oculares graves.

**Sensibilización respiratoria o cutánea**

Test de parches: - Estudio in vitro

Resultado: negativo

Observaciones: (ECHA)

**Mutagenicidad en células germinales**

Sin datos disponibles

**Carcinogenicidad**

Sin datos disponibles

**Toxicidad para la reproducción**

Sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

Sin datos disponibles

**Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

Sin datos disponibles

**Peligro de aspiración**

Sin datos disponibles

**11.2 Información Adicional**
**Propiedades de alteración endocrina**
**Producto:**

Valoración

La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

quemazón, Tos, sibilancia, laringitis, Insuficiencia respiratoria, espasmo, inflamación y edema de la laringe, espasmo, inflamación y edema de los bronquios, neumonitis, edema pulmonar, El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas,



el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Las otras propiedades peligrosas no pueden ser excluidas.

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

## SECCIÓN 12. Información ecológica

### 12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces	CL50 - Gambusia affinis (Pez mosquito) - 125 mg/l - 96 h Observaciones: (Base de datos ECOTOX)
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos	CE50 - Ceriodaphnia (pulga de agua) - 40,4 mg/l - 48 h Observaciones: (ECHA)
Toxicidad para las bacterias	CE50 - Photobacterium phosphoreum - 22 mg/l - 15 min Observaciones: (Ficha de datos de Seguridad externa)

### 12.2 Persistencia y degradabilidad

Los métodos para la determinación de la degradabilidad biológica no son aplicables para las sustancias inorgánicas.

### 12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

### 12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (mPmB) a niveles del 0,1% o superiores.

### 12.6 Propiedades de alteración endocrina

#### Producto:

Valoración	: La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.
------------	--

### 12.7 Otros efectos adversos

Efecto perjudicial por desviación del pH.

A pesar de la dilución forma todavía mezclas cáusticas con agua.

Possible neutralización en depuradoras.

La descarga en el ambiente debe ser evitada.



---

**SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación****13.1 Métodos para el tratamiento de residuos**

Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 14. Información relativa al transporte****14.1 Número ONU**

ADR/RID: 1823

IMDG: 1823

IATA: 1823

**14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID: HIDRÓXIDO SÓDICO SÓLIDO

IMDG: SODIUM HYDROXIDE, SOLID

IATA: Sodium hydroxide, solid

**14.3 Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID: 8

IMDG: 8

IATA: 8

**14.4 Grupo de embalaje**

ADR/RID: II

IMDG: II

IATA: II

**14.5 Peligros para el medio ambiente**

ADR/RID: no

IMDG Contaminante marino: no

no

**14.6 Precauciones particulares para los usuarios**Código de restricciones : (E)  
en túneles

Otros datos : Sin datos disponibles

---

**SECCIÓN 15. Información reglamentaria****15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

**Otras regulaciones**

Tomar nota de la Directiva 94/33/CEE sobre la protección laboral de los jóvenes.

**15.2 Evaluación de la seguridad química**

Se ha realizado una Valoración de la Seguridad Química para esta sustancia.

---

**SECCIÓN 16. Otra información****Texto completo de las Declaraciones-H**

H290 Puede ser corrosivo para los metales,  
 H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.  
 H315 Provoca irritación cutánea.

**Cambios relevantes desde versión previa**

Anexo

Millipore- 1.06462

Pagina 11 de 13

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



#### **Texto completo de otras abreviaturas**

ADN - Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por vías naveables interiores; ADR - Acuerdo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera; AIIC - Inventario de productos químicos industriales de Australia; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; DIN - Norma del Instituto Alemán para la Normalización; DSL - Lista Nacional de Sustancias (Canadá); ECx - Concentración asociada con respuesta x%; ELx - Tasa de carga asociada con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; GLP - Buena práctica de laboratorio; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; RID - reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Ficha de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TECI - Inventario de productos químicos existentes de Tailandia; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo

#### **Otros datos**

La información se considera correcta, pero no es exhaustiva y se utilizará únicamente como orientación, la cual está basada en el conocimiento actual de la sustancia química o mezcla y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con [mlsbranding@sial.com](mailto:mlsbranding@sial.com)



**Anexo E.***Ficha de especificación producto – Tixosil 38AB*
**DIOXIDO DE SILICIO 38**  
**FICHA TECNICA**
**Tixosil® 38AB****FICHA DE ESPECIFICACIÓN PRODUCTO**

**FICHA PRODUCTO:** 7528\_PDS\_T38AB      **Versión:** 14  
**Nº CAS:** 112926-00-8 (previamente : 7631-86-9)  
**Nº EINECS:** 231-545-4

**IDENTIDAD Y ASPECTO:**

Fórmula Molecular: 10 SiO<sub>2</sub>, 1 H<sub>2</sub>O  
 Características: Silice Precipitada Amorfa  
 Aspecto: Polvo blanco, Sin olor, Sin sabor, Higroscópico  
 Sinónimos: Silice precipitada; Silice amorf; Silice hidratada; Silice Sintético

**ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO:**

Type	Unidad	Valor	Método
Humedad (2h,105°C)	%/m/m	7.00 Máx	NA-0467
Perdida por ignición (1000°C muestra sec)	%/m/m	8.50 Máx	NA-0468
SiO <sub>2</sub> (por encima del product calcinado)	%/m/m	96.00 Min	NA-0901
Sales Solubles (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	%/m/m	4.00 Máx	NA-0465
pH (5g/100 ml H <sub>2</sub> O)		6.00 – 7.50	NA-0464
Absorción en aceite (DOA) Brabender	ml/100g	205 - 260	NA-1841
Granulometría Húmeda: Retención malla 325 mesh	%/m/m	20 Máx	NA-0214
Plomo	mg/Kg	5.00 Máx	NA-1619

**PROPIEDADES FÍSICAS**

- Densidad aparente, g/cm<sup>3</sup> ..... 0.14
- Peso específico, g/cm<sup>3</sup> ..... 2.00

**APLICACIONES PRINCIPALES**

- Agente de fluidez para polvos
- Aditivo alimentario antiaglutinante / antihumectante (ANAH)



## Tixosil®

### Tixosil® 38AB

- Aditivo antiaglutinante / antihumectante (ANAH) en suplementos vitamínicos y minerales
- Soporte de materia activa para la transformación de líquidos en polvo o pasta
- Este producto no es recomendado para su uso como insumo farmacéutico

#### ENVASE

- Acondicionamiento estándar:
- Consulte nuestra área comercial.

#### PLAZO DE VALIDEZ

- 2 años, desde que sea almacenado en un lugar seco.

#### SEGURIDAD, ALMACENAJE, MANIPULACIÓN, ETIQUETADO, TRANSPORTE, REGULACIÓN

Consulte nuestra "Ficha de Informaciones de Seguridad Productos Químicos (FISPQ)"

En todos los niveles concentraremos nuestros esfuerzos para asegurar que nuestros productos estén en conformidad con las especificaciones indicadas en esta ficha. A pesar de ello el usuario no está eximido de efectuar todos los controles que juzgue necesario en el momento de la recepción. Se aconseja que el usuario verifique la Legislación local relativa a la utilización del producto. Estamos a disposición de nuestros clientes para ofrecerles cualquier información adicional.

**Anexo F.***Hoja de datos de seguridad TIXOSIL 38AB*

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )		Fecha de emisión: 02.04.2013

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA****1.1 Identificador del producto**

Nombre comercial : TIXOSIL 38AB

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Usos de la sustancia / mezcla : Usos específicos: Adsorbentes, Desecante

Usos desaconsejados : Productos medicinales

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**

Compañía : Rhodia Brasil Ltda  
 Fazenda São Francisco, s/n  
 CEP: 13140-000, Paulínia - SP  
 Tel: (+55 19) 3874 8000

**1.4 Teléfono de emergencia**

MULTI LINGUAL EMERGENCY NUMBER (24/7)  
 Europe/America/Africa : +44 1235 239 670 (UK)  
 Middle East/Africa speaking Arabic : +44 1235 239 671 (UK)  
 Asia Pacific : +65 3158 1074 (Singapore)  
 China : +86 10 5100 3039 (Beijing)

Mercosul : (+55 19) 3874 9333

(+55 19) 3874 7733

**2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación de acuerdo con NBR 14725-2**

Material no clasificado como peligroso.

**2.2 Elementos de la etiqueta****Etiquetado de acuerdo con NBR 14725-3**

Material no clasificado como peligroso.

**2.3 Otros peligros que no dan lugar a la clasificación**

Irritante respiratorio ligero.  
 Por efecto mecánico  
 Ligeramente irritante para los ojos y la piel.  
 No presenta riesgo particular de incendio o explosión.  
 Posible acumulación de cargas electrostáticas por agitación, transporte neumático, rebosamiento, etc.,

**3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES****3.1 Sustancia**

Sinónimos : Sílice amorfa precipitada  
 Nombre químico : Dióxido de silicio

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013	

No. CAS : 112926-00-8

No. EINECS : 231-545-4

Observaciones : No contiene ingredientes o impurezas que contribuyen al peligro, de acuerdo con NBR 14725.

### 3.2 Mezcla

No aplicable, este producto es una sustancia.

## 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

Si es inhalado	: Sacar al aire libre. Mantener en reposo. Si es necesario consultar a un médico.
Contacto con la piel	: Si está en piel, aclare bien con agua. Si es necesario consultar a un médico.
Contacto con los ojos	: Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también debajo de los párpados, al menos durante 15 minutos. Si persiste la irritación ocular, consulte a un médico.
Ingestión	: Enjuague la boca con agua. Si es necesario consultar a un médico.

### 4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Riesgos	: El socorrista necesita protegerse a sí mismo.
---------	---

### 4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deben dispensarse inmediatamente

sin datos disponibles

## 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Punto de inflamación	: No aplicable (Sólido no inflamable).
Temperatura de auto-inflamación	: no aplicable
Infiamabilidad/Límite explosivo	: Límites inferior de explosividad : no aplicable Límites superior de explosividad : no aplicable

### 5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados	: Todos los agentes de extinción son utilizables.
Medios de extinción no apropiados	: Ninguna conocida. El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )		Fecha de emisión: 02.04.2013

#### **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Peligros específicos en la lucha contra incendios : No combustible.

#### **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios : Guantes  
Gafas  
Botas  
Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

Métodos específicos de lucha contra incendios : Utilizar los medios adecuados para combatir los incendios contiguos.

### **6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

#### **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia : Evite el contacto con los ojos.  
Equipo de protección:  
Protección respiratoria  
Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro

#### **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

Precauciones relativas al medio ambiente : No se conocen ni esperan daños ecológicos bajo uso normal.

#### **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Recuperación : Usar un aspirador adecuado.  
Descontaminación/limpieza : Eliminar lavando con mucha agua.  
Recuperar las aguas de lavado para su ulterior eliminación.  
Eliminación : Tratar el material recuperado como está descrito en la sección "Consideraciones de eliminación".

#### **6.4 Referencia a otras secciones**

sin datos disponibles

### **7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

#### **7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Consejos de manejo y uso seguro : Evite la formación de polvo

#### **7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Medidas técnicas para el almacenamiento : No apile los big-bags

#### **Condiciones de almacenamiento**

Recomendados : Proteger contra la humedad.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )		Fecha de emisión: 02.04.2013

**Condiciones de embalaje**

- Materiales de embalaje - Recomendados : Polipropileno, Bolsas de papel  
 Temperatura de almacenamiento : sin datos disponibles

**7.3 Usos específicos finales**

sin datos disponibles

**8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL****8.1 Parámetros de control**

No estamos al corriente de ningún límite de exposición nacional.

**8.2 Controles de la exposición****Medidas de control**

- Disposiciones de ingeniería : Aplicar las medidas técnicas para cumplir con los límites profesionales de exposición.

**Protección personal**

- Protección respiratoria : Utilice un equipo respiratorio con filtro apropiado si una valoración del riesgo indica que es necesario.
- Protección de las manos : Guantes impermeables  
 Los guantes deben enjuagarse muy bien después de su uso.  
 Los guantes deben ser descartados y sustituidos si existe alguna indicación de degradación o perforación química.
- Protección de los ojos : Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro
- Medidas de higiene : Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.
- Medidas de protección : La selección del equipo de protección personal adecuado, debe basarse en una evaluación de las características de funcionamiento del equipo de protección en relación con la tarea (s) a realizar, las condiciones actuales, la duración de uso, y los peligros y/o los riesgos potenciales que se pueden encontrar durante el uso.  
 Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

**Controles de exposición medioambiental**

- Recomendaciones generales : No se conocen ni esperan daños ecológicos bajo uso normal.

**9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS****9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

- Aspecto : Forma : Polvo amorfo  
 Estado físico: sólido  
 Color: blanco

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
TIXOSIL 38AB		
Revisión: 3.00	BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013
Tamaño de partícula	:	aprox. 10 - 20 µm
Olor	:	Ninguno(a)
Umbra olfativo	:	no aplicable
pH	:	6,5 - 7,5 ( 5 % (m/v) ) (suspensión acuosa)
Punto/intervalo de fusión	:	> 1.700 °C
Punto /intervalo de ebullición	:	no aplicable
Punto de sublimación	:	no aplicable
Punto de inflamación	:	No aplicable (Sólido no inflamable)
Tasa de evaporación	:	no aplicable
Inflamabilidad (sólido, gas)	:	no aplicable
Inflamabilidad/Límite explosivo	:	Límites inferior de explosividad: no aplicable Límites superior de explosividad: no aplicable
Temperatura de auto-inflamación	:	no aplicable
Presión de vapor	:	no aplicable
Densidad de vapor	:	no aplicable
Masa volumétrica	:	2,1 g/cm <sup>3</sup> Densidad aparente: aprox. 200 - 230 kg/m <sup>3</sup> Producto vibrado
Solubilidad	:	Solubilidad en agua: aprox. 0,1 g/l Solubilidad en otros disolventes: disolventes orgánicos habituales: insoluble
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	:	no aplicable
Descomposición térmica	:	no aplicable
Viscosidad	:	Viscosidad, dinámica: no aplicable Viscosidad, cinemática: no aplicable
Propiedades explosivas	:	no aplicable
Propiedades comburentes	:	No comburente según criterios CE
<b>9.2 Otra información</b>		
Potencial óxido/reducción	:	no aplicable
Peso molecular	:	60,2 g/mol

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013	

#### 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

##### **10.1 Reactividad**

sin datos disponibles

##### **10.2 Estabilidad química**

Estabilidad química : Estable a temperatura ambiente.

##### **10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**

sin datos disponibles

##### **10.4 Condiciones que deben evitarse**

Condiciones que deben evitarse : No se conoce reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normales.

##### **10.5 Materiales incompatibles**

Materias que deben evitarse : Ninguna reacción peligrosa conocida con los productos usuales.

##### **10.6 Productos de descomposición peligrosos**

sin datos disponibles

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

##### **11.1 Información sobre los efectos toxicológicos**

###### **Toxicidad aguda**

Toxicidad oral aguda : DL50 : > 5.000 mg/kg - rata  
Informes no publicados

Toxicidad aguda por inhalación : Riesgo de oclusión mecánica de las vías respiratorias superiores.  
Por analogía  
Una LC50/inhalación/4h/rata no puede ser determinada porque no se ha observado una mortalidad de las ratas a las concentraciones máximas logradas.

Toxicidad cutánea aguda : DL50 : > 5.000 mg/kg - conejo  
Informes no publicados

Toxicidad aguda (otras vías de administración) : sin datos disponibles

###### **Corrosión o irritación cutánea**

Irritación de la piel : En caso de contacto prolongado o repetido, puede provocar una ligera irritación de la piel.  
Informes no publicados

###### **Lesiones o irritación ocular graves**

Irritación ocular : Irritante ocular leve  
Informes no publicados

<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD</b>	
<b>TIXOSIL 38AB</b>	
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013


**Sensibilización respiratoria o cutánea**

Sensibilización	:	Humanos
No se ha observado ninguna reacción de sensibilización cutánea Informes no publicados		

**Mutagenicidad**

Genotoxicidad in vitro	:	Las pruebas in vitro no demostraron efectos mutágenos Informes no publicados
Genotoxicidad in vivo	:	Las pruebas in vivo no demostraron efectos mutágenos Informes no publicados

**Carcinogenicidad**

Carcinogenicidad	:	rata Exposición oral Los ensayos con animales no mostraron ningún efecto carcinógeno. Informes no publicados
	:	ratón Exposición oral Los ensayos con animales no mostraron ningún efecto carcinógeno. Informes no publicados

**Toxicidad para la preproducción y el desarrollo**

Toxicidad para la preproducción/fertilidad	:	Los ensayos sobre fertilidad y de toxicidad para el desarrollo, no revelaron ningún efecto sobre la reproducción. Datos bibliográficos
Toxicidad para el desarrollo/ Teratogenicidad	:	sin datos disponibles

**STOT**

toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición úni	:	Evaluación Toxicológica La sustancia o mezcla no se clasifica como tóxica específica de órganos diana, exposición única.
toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repeti	:	Evaluación Toxicológica. La sustancia o mezcla no se clasifica como tóxica específica de órganos diana, exposición repetida.
	:	Si es inhalado En los tests de toxicidad por inhalación no se han observado efectos irreversibles ni síntomas de silicosis. Informes no publicados
	:	Exposición oral No se ha observado ningún efecto irreversible en los tests de toxicidad crónica por vía oral Informes no publicados

**Efectos neurológicos**

Efectos neurológicos	:	Ningún efecto neurotóxico observado.
----------------------	---	--------------------------------------

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013	

**Experiencia con exposición de seres humanos**

Experiencia con exposición de seres humanos : Irritante respiratorio ligero.  
humano : Inhalación Informes no publicados

**Toxicidad por aspiración**

Toxicidad por aspiración : no aplicable

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****12.1 Toxicidad****Compartimiento acuático (incluidos los sedimentos)**

Toxicidad aguda para los peces : CL50 - 96 h : > 10.000 mg/l - Danio ferio (pez zebra)  
Informes no publicados

Toxicidad aguda para la dárfia y otros invertebrados acuáticos : CE50 - 24 h : > 1.000 mg/l - Daphnia magna (Pulga de mar grande)  
Informes no publicados

**Evaluación de ecotoxicidad**

Toxicidad acuática aguda : Producto que no presenta efectos nefastos conocidos en los organismos acuáticos objeto de ensayo.

**12.2 Persistencia y degradabilidad****Biodegradabilidad**

Biodegradabilidad : No aplicable (producto mineral)

**12.3 Potencial de bioacumulación**

Factor de bioconcentración (FBC) : No bioacumulable.  
Datos bibliográficos

**12.4 Movilidad en el suelo**

Distribución conocida en los diferentes compartimentos ambientales : Destino final habitual del producto : Suelo  
Destino final habitual del producto : Sedimento

**12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB**

sin datos disponibles

**12.6 Otros efectos adversos**

sin datos disponibles

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013	

### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

#### 13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

##### Destrucción/Eliminación

Interdicción	: No debe liberarse en el medio ambiente
Consejos de eliminación	: Disponer como desechos peligrosos de acuerdo con las regulaciones locales y nacionales. Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos aprobada.

##### Consejos de limpieza y eliminación del embalaje

Consejos	: No necesita limpieza previa a la eliminación. Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de incineración autorizada.
Otros datos	: Eliminar, observando las normas locales en vigor.

### 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

**ANTT**  
no regulado

**DOT**  
no regulado

**TDG**  
no regulado

**RID**  
no regulado

**ADR**  
no regulado

**IMDG**  
no regulado

**IATA**  
no regulado

### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

#### 15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

##### Clasificaciones HMIS

Salud	Ligero
Inflamabilidad	mínimo
Reactividad	mínimo

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD		
<b>TIXOSIL 38AB</b>		
Revisión: 3.00 BR ( ES )	Fecha de emisión: 02.04.2013	

**Clasificaciones NFPA**

Salud	1
Fuego	0
Instabilidad o Reatividad	0

**Clasificación de WHMIS (Sistema de información sobre materiales peligrosos)**

Clasificación : - Producto no controlado

**16. OTRA INFORMACIÓN****Otros datos**

Otros datos : Esta ficha ha sido actualizada (ver fecha en parte superior de la página). Los subtítulos y el texto que se ha modificado desde la versión anterior aparece indicado en dos barras verticales.

A nuestro leal saber y entender, la información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad es correcta a la fecha de su publicación. Dicha información únicamente se facilita para guiar al usuario en la manipulación, utilización, procesamiento, almacenamiento, transporte y eliminación del producto en condiciones de seguridad satisfactorias y no se tendrá por una garantía o especificación de calidad. Esta Ficha de Datos de Seguridad deberá utilizarse conjuntamente con las fichas técnicas, a las que no sustituye. La información únicamente se refiere al producto concreto designado y puede no resultar de aplicación si dicho producto se utiliza en combinación con otros materiales o en otro proceso de fabricación, salvo que se indique expresamente. La Ficha de Datos de Seguridad no exime al usuario de la obligación de asegurarse de que cumple toda la normativa vigente relacionada con su actividad.

NB: En este documento el separador numérico de los miles es el "." (punto), el separador decimal es la "," (coma).

## *Anexo G.*

Gravedad API a 60 °F

Observed Temper- ature, °F.	API Gravity at Observed Temperature									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	Corresponding API Gravity at 60° F.									
50	20.6	21.6	22.6	23.5	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.7
51	20.5	21.5	22.5	23.5	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.6
52	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5	29.5
53	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.5	29.5
54	20.3	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4
55	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3
56	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.3	27.3	28.3	29.3
57	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.2	29.2
58	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1
59	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1
60	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0
61	20.0	21.0	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9
62	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9
63	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8
64	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.7
65	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	27.7	28.7
66	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6
67	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.5
68	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5
69	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4
70	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.3
71	19.4	20.4	21.4	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3
72	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.2	27.2	28.2
73	19.3	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.2
74	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1
75	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0
76	19.1	20.1	21.1	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0
77	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	24.9	25.9	26.9	27.9
78	19.0	20.0	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8
79	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8
80	18.9	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.7	26.7	27.7
81	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6
82	18.8	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.6	25.6	26.6	27.6
83	18.7	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5
84	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5
85	18.6	19.6	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.4	26.4	27.4
86	18.5	19.5	20.5	21.5	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3
87	18.5	19.5	20.4	21.4	22.4	23.4	24.3	25.3	26.3	27.3
88	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.2	27.2
89	18.4	19.3	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1
90	18.3	19.3	20.3	21.2	22.2	23.2	24.2	25.1	26.1	27.1
91	18.3	19.2	20.2	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.0	27.0
92	18.2	19.2	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0
93	18.1	19.1	20.1	21.1	22.0	23.0	24.0	25.0	25.9	26.9
94	18.1	19.1	20.0	21.0	22.0	22.9	23.9	24.9	25.9	26.8
95	18.0	19.0	20.0	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.8	26.8
96	18.0	18.9	19.9	20.9	21.9	22.8	23.8	24.8	25.7	26.7
97	17.9	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.6
98	17.9	18.8	19.8	20.8	21.7	22.7	23.7	24.7	25.6	26.5
99	17.8	18.8	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.5
100	17.8	18.7	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.5	25.5	26.5

**Anexo H.***Certificado de lote del viscosímetro POBEL N° 728C*

**POBEL**  
MATERIAL GÉNÉRAL DE LABORATOIRE  
LABORATORY GLASSWARE & EQUIPMENT

**BATCH CERTIFICATE**

CANNON-FENSKE OPAQUE VISCOMETER  
ASTM D446\* IP319 \*ASTM D2170

Size: 200      Viscometer No: 2893      *728C*

Constant 40°C (Bulb 1)	0,11700	0,098930
(Bulb 2)	0,087390	0,078510
Constant 100°C (Bulb 1)	0,11746	0,099660
(Bulb 2)	0,087733	0,079180

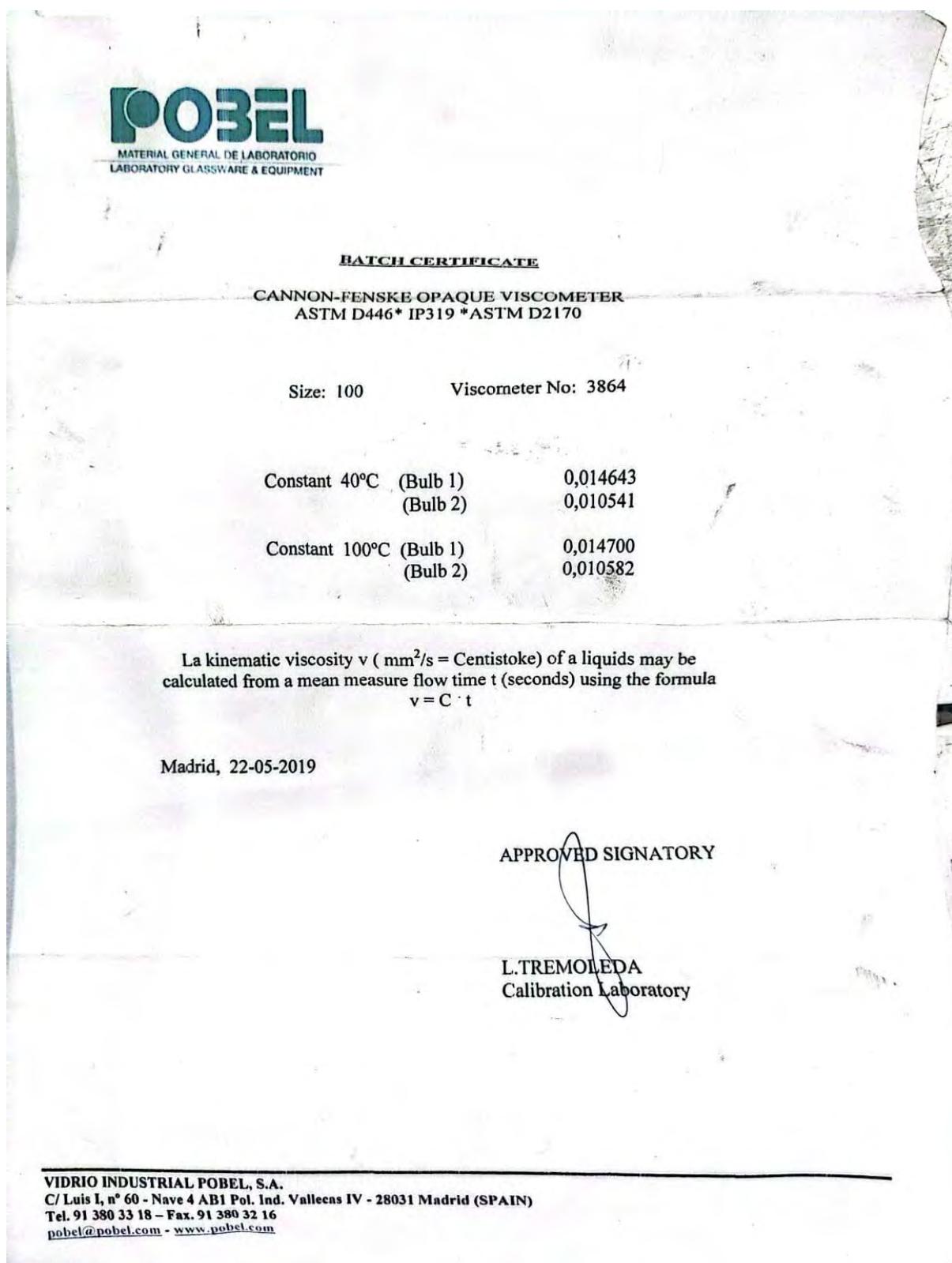
La kinematic viscosity  $\nu$  ( mm<sup>2</sup>/s = Centistoke) of a liquids may be  
calculated from a mean measure flow time  $t$  (seconds) using the formula  
 $\nu = C \cdot t$

Madrid, 28.10.2015

APPROVED SIGNATORY  
*[Signature]*  
L.TREMOLEDA  
Calibration Laboratory

---

VIDRIO INDUSTRIAL POBEL, S.A.  
C/ Luis I, nº 60 - Nave 4 AB1 Pol. Ind. Vallecas IV - 28031 Madrid (SPAIN)  
Tel. 91 380 33 18 - Fax. 91 380 32 16  
[pobel@pobel.com](mailto:pobel@pobel.com) - [www.pobel.com](http://www.pobel.com)

**Anexo I.***Certificado de lote del viscosímetro POBEL N° 3864*

**Anexo J.***Correlación de residuo de carbón Conradson & carbón Ramsbottom*