



**UNAP**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO  
TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL USADO CATALIZADA  
CON RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBTENER BIODIESEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**MARLON ESTEFANO FACHIN SAAVEDRA**

**MOISES ABINADI FASABI RUIZ**

**ASESORES:**

**Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.**

**Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSC.**

**Ing. JORGE ANTONIO SUAREZ RUMICHI, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2024**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



**UNAP**

Facultad de Ingeniería Química  
Unidad de Investigación



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 015-CGT-FIQ-UNAP-2024

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 03 días del mes de AGOSTO de 2024, a horas 11:00, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL USADO CATALIZADA CON RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBTENER BIODIESEL", aprobado con Resolución Decanal N° 188-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Marlon Estefano Fachin Saavedra y Moisés Abinadi Fasabi Ruiz**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 176-2024-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.	Miembro
Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ de ARAUJO, Dra.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: SATISFACTORIAMENTE.

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA con la calificación BUENA, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico. Siendo las 11:50 se dio por terminado el acto de SUSTENTACION.

  
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.  
Presidente de Jurado

  
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.  
Miembro

  
Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ de ARAUJO, Dra.  
Miembro

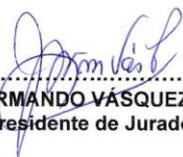
  
Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.  
Asesor

  
Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.  
Asesor

  
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.  
Asesor

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CAJAMARCA

## JURADO Y ASESORES



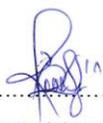
.....  
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.  
Presidente de Jurado



.....  
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.  
Miembro



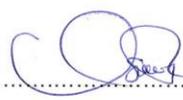
.....  
Ing. MARITZA ECHEVARRÍA ORDOÑEZ de ARAUJO, Dra.  
Miembro



.....  
Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.  
Asesor



.....  
Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.  
Asesor



.....  
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.  
Asesor

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**FIQ\_TESIS\_FACHIN SAAVEDRA\_FASABI  
RUIZ.pdf**

AUTOR

**FACHIN SAAVEDRA / FASABI RUIZ**

RECuento de palabras

**8677 Words**

RECuento de caracteres

**44636 Characters**

RECuento de páginas

**40 Pages**

Tamaño del archivo

**335.1KB**

Fecha de entrega

**Sep 22, 2024 11:44 PM GMT-5**

Fecha del informe

**Sep 22, 2024 11:45 PM GMT-5**

### ● 25% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 24% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## DEDICATORIA

Queremos expresar nuestra profunda gratitud, en primer lugar, a Dios, por ser la luz que guía nuestro camino y nos brinda fuerza en cada paso que damos. Agradecemos a nuestros padres, quienes han sido el pilar fundamental de nuestras vidas, en nuestro crecimiento personal, proporcionándonos amor, apoyo incondicional, sabiduría, sacrificio y los cimientos sólidos sobre los cuales construir nuestro futuro. Su dedicación nos ha permitido tener un hogar, alimentación y educación, así como nos han inculcado valores que nos han formado como individuos íntegros y profesionales comprometidos. Sus ejemplo y valores nos han inspirado a superar obstáculos y a perseverar en la búsqueda de nuestros sueños.

En el ámbito académico, deseamos reconocer la invaluable contribución de los docentes de la facultad de Ingeniería Química. Asimismo, no podemos pasar por alto la influencia positiva de nuestra docente que en vida fue la Dra. Maritza Grandez Ruiz, quien no solo fue nuestra maestra en la carrera, sino que también se convirtió en una mentora comprometida con nuestro crecimiento y aprendizaje.

En el círculo cercano de amistades y familia, valoramos profundamente el apoyo incondicional, quienes nos han brindado su cariño, consejos y aliento en cada momento. Además, reconocemos la labor de los ingenieros Msc. Daniel Diomedes Carrasco Montañez, Dra. Rosa Isabel Souza Najjar y Dr. Jorge Antonio Suarez Rumichi, quienes han sido nuestros asesores de tesis, dedicando su tiempo, conocimiento, experiencia y paciencia para orientarnos en la correcta realización de nuestro trabajo. Sus guías han sido fundamentales en el éxito de este proyecto académico.

## AGRADECIMIENTO

### **A mi abuelita Flor de María**

Por ser mi ángel en la tierra, es la única de mis abuelitos que sigue con vida. Desde muy pequeño fue mi mentora y me sigue guiando hacia Dios, una predicadora de su palabra, te agradezco todo y por tu amor incondicional.

### **A mis padres Marlon y Sheyla.**

Por darme una gran familia y a mis hermanos, por sus valores y sus consejos. Por darme una educación y la dicha de poder estudiar una carrera profesional, con sus esfuerzos lo estoy logrando.

### **A mis hermanos Barbara, Briana y Pedro.**

Por ser mis amigos y muchas veces mis confidentes, por los momentos que compartimos junto a nuestros padres.

**MARLON ESTEFANO FACHIN SAAVEDRA**

### **A Dios**

Por hacerme lo que soy y guiarme en esta carrera.

### **A mis padres Moisés y Liseth**

Por el apoyo incondicional y por la confianza en mí.

### **A mis hermanos Ángel, Rosa y Selene**

Por ser mis amigos de toda la vida, por sus consejos y apoyo incondicional.

**MOISÉS ABINADI FASABI RUIZ**

## ÍNDICE

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESORES	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
INDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	7
1.2.1. Definición de biodiesel	7
1.2.2. Materia prima para la obtención de biodiesel.	7
1.2.3. Propiedades de la materia prima que influyen en el proceso de transesterificación.	8
1.2.4. Obtención del biodiesel	9
1.2.5. Método de transesterificación convencional.	10
1.2.7. Óxidos metálicos como catalizadores básicos:	12
1.2.8. Uso del oxido de calcio (CaO) como catalizador	12
1.2.9. Residuos de concreto y su composición química	14
1.3. Definición de términos básicos	16
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	17
2.1. Formulación de la hipótesis	17
2.2. Variables y su operacionalización:	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño del experimento.	18
3.2. Diseño muestral.	21

3.3. Técnicas e instrumentaciones para la recolección de los datos estarán divididas en dos etapas.	22
3.3.2. Etapa de Campo.	22
3.3.3. Etapa de Laboratorio.	22
3.4. Procesamiento y análisis de datos	25
3.5. Aspectos éticos	25
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	26
4.1. Caracterización fisicoquímica del aceite vegetal usado	26
4.2. Caracterización del residuo de concreto calcinado.	26
4.3. Obtención del biodiesel.	27
4.4. Análisis de los promedios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los 8 ensayos.	27
4.4.1. Análisis de Varianza de los promedios de rendimiento.	27
4.4.2. Prueba de Tukey de los promedios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los 8 ensayos.	28
4.5. Análisis Regresión factorial general: RENDIMIENTO vs. RM, TR, CC	29
4.6. Calidad del biodiesel.	33
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	34
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	37
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41
Anexo 1. Matriz de consistencia	41
Anexo 2. Caracterización fisicoquímica del AVU.	43
Anexo 3. Caracterización del residuo de concreto calcinado.	47
Anexo 4. Determinación de fuerza básica y basicidad del catalizador obtenido a partir los residuos de concreto (Prueba de Hammett).	48
Anexo 5. Fotografías del proceso del desarrollo de la investigación.	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Variables de estudio y sus niveles.	18
Tabla 02. Matriz de planeamiento de experimentos	19
Tabla 03. Variables de estudio y sus niveles	20
Tabla 04. Resultados de análisis de AVU	26
Tabla 05. Concentración de calcio en el concreto calcinado	26
Tabla 06. Determinación de fuerza básica	27
Tabla 07. Rendimiento de biodiesel obtenido	27
Tabla 08. Análisis de varianza ANOVA	28
Tabla 09. Prueba de Tukey una confianza de 95%	28
Tabla 10. Análisis de varianza	29
Tabla 11. Resumen del modelo	30
Tabla 12. Determinación de calidad	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Proceso de generación de biodiesel	9
Figura 02.	Reacción de transesterificación	10
Figura 03.	Estructura de óxidos de metal	12
Figura 04.	Como actúa el óxido de calcio como catalizador en la transesterificación	13
Figura 05.	Diagrama de Pareto	30
Figura 06.	Grafica de efectos principales para rendimiento	31
Figura 07.	Grafica de interaccion para rendimiento	31
Figura 08.	Grafica de probabilidad normal	32

## RESUMEN

El estudio investiga el efecto de variables de proceso (relación aceite/metanol, cantidad de catalizador y tiempo de reacción) en la producción de biodiesel con residuos de concreto como catalizadores y aceites usados. Los residuos de concreto se recolectaron en la intersección de las calles Sta. Rosa y Yavarí, y el aceite vegetal usado se obtuvo de FUNDESAB. La investigación es descriptivo-experimental y busca mejorar la eficiencia del proceso.

El aceite usado mostró un contenido de humedad del 0,06% y un grado de acidez de 0,51%. Los residuos de concreto se secaron a 100°C por 8 horas, pulverizados y pesados en muestras de 5 gramos. Luego, se calcinaron a 700°C, 800°C y 900°C por 4 horas para determinar la temperatura óptima de activación. La cantidad de calcio se evaluó mediante métodos colorimétricos y volumétricos.

Los resultados mostraron un rendimiento máximo promedio de biodiesel del 70,15% utilizando 4 gramos del catalizador, una relación molar de alcohol/aceite de 9/1 y un tiempo de reacción de 180 minutos. El análisis de varianza reveló un valor de  $p < 0,05$  para un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ , lo cual indica diferencias significativas en los rendimientos de biodiesel obtenidos en los diferentes ensayos de reacción.

En conclusión, los residuos de concreto mostraron una eficacia considerable como catalizadores, con un rendimiento promedio del 70.15%, se observó una ligera inferioridad en comparación con el rendimiento obtenido con otros catalizadores.

**PALABRAS CLAVE:** biodiesel, hormigón, concreto, transesterificación

## ABSTRACT

The study investigates the effect of process variables (oil/methanol ratio, amount of catalyst and reaction time) on the production of biodiesel with concrete waste as catalysts and used oils. The concrete waste was collected at the intersection of Sta. Rosa and Yavari streets, and the used vegetable oil was obtained from FUNDESAB. The research is descriptive-experimental and aims to improve the efficiency of the process.

The used oil showed a moisture content of 0.06% and an acidity level of 0.51%. The concrete residues were dried at 100°C for 8 hours, pulverised and weighed in 5 gram samples. They were then calcined at 700°C, 800°C and 900°C for 4 hours to determine the optimum activation temperature. The amount of calcium was evaluated by colorimetric and volumetric methods.

The results showed an average maximum biodiesel yield of 70.15% using 4 grams of the catalyst, an alcohol/oil molar ratio of 9/1 and a reaction time of 180 minutes. The analysis of variance revealed a p-value  $< 0.05$  for a significance level  $\alpha=0.05$ , indicating significant differences in the biodiesel yields obtained in the different reaction trials.

In conclusion, the concrete wastes showed considerable efficiency as catalysts, with an average yield of 70.15%, a slight inferiority was observed compared to the yield obtained with other catalysts.

**KEYWORDS:** biodiesel, concrete, concrete waste, transesterification

## INTRODUCCIÓN

En un mundo donde el cambio climático es una prioridad y se busca disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, el biodiesel ha surgido como una alternativa prometedora en el panorama energético internacional. La creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado la investigación y el desarrollo de métodos más eficientes y sostenibles para la producción de biocombustibles (Pérez et al. 2022). El biodiesel, un biocombustible renovable derivado principalmente de aceites vegetales y grasas animales, despierta un interés creciente debido a su capacidad para reducir las emisiones de gases contaminantes y su potencial para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Su producción, sin embargo, plantea desafíos técnicos y económicos que requieren soluciones innovadoras. (Fernández et al. 2022)

Los catalizadores convencionales han sido ampliamente utilizados en la producción de biodiesel mediante el proceso de transesterificación, que consiste en la reacción de los triglicéridos presentes en los aceites con un alcohol en presencia de un catalizador para producir ésteres metílicos o etílicos, conocidos como biodiesel, y glicerina. Sin embargo, estos catalizadores convencionales presentan limitaciones significativas, como la necesidad de altas temperaturas y presiones, la generación de subproductos no deseados y la necesidad de purificación adicional del biodiesel obtenido. En este sentido, los catalizadores heterogéneos han surgido como una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción de biodiesel. Estos catalizadores ofrecen ventajas como la reutilización, la facilidad de separación del producto y la reducción de subproductos no deseados, lo que los convierte en una opción atractiva para la industria del biodiesel.

Dentro de los catalizadores heterogéneos, el potasio, el calcio y otros metales han demostrado ser eficaces en la transesterificación de aceites vegetales para la producción de biodiesel. Estos catalizadores pueden proporcionar altas conversiones de aceite a biodiesel y tienen el potencial de ser más económicos y sostenibles que los catalizadores convencionales.

Además, la utilización de residuos como materia prima para la producción de biodiesel ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial para reducir los costos y el impacto ambiental asociado con la producción convencional. En particular, el residuo de aceite vegetal usado se presenta como una opción atractiva, ya que puede ser reciclado y reutilizado sin competir con la producción de alimentos. (Pérez et al. 2022)

Estudios han investigado el uso de residuo de concreto como material de soporte para catalizadores en la transesterificación de aceites vegetales, demostrando la viabilidad técnica y económica de este enfoque. Fernández et al. (2022) profundizaron en esta línea de investigación, presentando los resultados de un estudio que confirma la utilización de residuo de concreto como catalizador heterogéneo en la producción de biodiesel, lo que representa una alternativa prometedora para la gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición. Estos hallazgos respaldan la idea de que la valorización de los residuos de concreto en la cadena de producción de biodiesel puede contribuir a cerrar el ciclo de los materiales, fomentando así una economía más circular y sustentable. (Fernández et al. 2022)

En esta investigación, nos enfocamos en explorar la influencia de las variables del proceso de transesterificación de aceite vegetal usado catalizada con residuo de concreto para obtener biodiesel. Esta innovadora aproximación busca no solo superar las limitaciones de los catalizadores convencionales, sino también aprovechar los residuos agroindustriales disponibles para promover la sostenibilidad y la economía circular en la producción de biocombustibles.

En ese contexto el trabajo sigue una estructura clara y ordenada. En el Capítulo I, se exponen los fundamentos teóricos, incluyendo la transesterificación. En el Capítulo II, se detallan las variables de estudio y cómo se operacionalizan. El Capítulo III aborda la metodología y el diseño experimental, así como el tratamiento de datos. Finalmente, en el Capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos de cada ensayo de la reacción de transesterificación y el análisis estadístico. Por último, se presentan las discusiones de los resultados, las conclusiones, recomendaciones, y finalmente las referencias bibliográficas referenciadas.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

En todo el mundo, se está estudiando la transesterificación de aceites vegetales usados, ya que se considera una materia prima potencialmente no aprovechable y que además representa un problema para el medio ambiente. Actualmente, se están investigando las características físicas y químicas de estos aceites, ya que son importantes para su conversión en biodiesel. Estas características varían dependiendo del lugar donde se generan, como restaurantes, establecimientos de comidas rápidas y viviendas, así como también de un país a otro debido a los diferentes hábitos alimenticios en cada zona.

Además, se están probando diferentes parámetros de operación en el proceso de transesterificación, como la relación molar alcohol/aceite, tiempos de reacción, tipos y concentración de catalizador, y velocidad de agitación, para obtener un mejor rendimiento en biodiesel y una co-conversión en metil éster. Entre los catalizadores que se han utilizado, se encuentra el óxido de calcio, que se ha demostrado que es efectivo en la transesterificación de aceite con metanol. El óxido de calcio y materiales que lo contienen se vienen estudiando debido a su alta fortaleza básica por lo que se le considera atractivo para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales usados.

### **A NIVEL INTERNACIONAL:**

Pérez-Bravo et al. 2022, realizó una investigación sobre los biocombustibles, como el biodiesel donde menciona que es una opción viable para reemplazar los combustibles fósiles. En esta revisión se sintetizan las materias primas y las condiciones operativas que impactan en el rendimiento del biodiesel, así como los mecanismos de reacción asociados. Se destaca que el biodiesel se puede emplear en motores existentes sin modificaciones, asegurando un proceso de distribución seguro. Además, se ha estudiado la transesterificación y la aplicación de ultrasonido en condiciones supercríticas. El proceso más eficiente utiliza las materias primas y los equipos adecuados, minimizando el consumo de energía, tiempo e insumos. La transesterificación con ultrasonido y catalizador heterogéneo es una de las opciones más prometedoras.

Avellán et al. 2019, llevó a cabo una evaluación de las condiciones mínimas necesarias en la reacción de transesterificación utilizando tres catalizadores a diferentes concentraciones: óxido de calcio al 99,90%, óxido de calcio al 55,0% (obtenido de la cáscara de huevo), hidróxido de calcio al 99,90%, hidróxido de calcio al 55,0% (también obtenido de la cáscara de huevo) e hidróxido de sodio al 99,90%. La transesterificación se realizó con aceite de *Jatropha curcas L.* y metanol. Se descubrió que la presencia de agua y el contenido de ácidos grasos libres en el aceite de *Jatropha* son factores mínimos de inhibición, en comparación con las condiciones atmosféricas de reacción cuando se utilizó óxido de calcio e hidróxido de calcio. Por otro lado, cuando se utilizó hidróxido de sodio como catalizador y una relación molar 10:1 de metanol y aceite, se logró un rendimiento de biodiesel del 98,9%. Además, se obtuvo el mismo rendimiento con o sin esterificación del aceite.

Kumar et al. 2018, llevaron a cabo una investigación que evaluó la utilidad de los materiales de desecho de hormigón y mortero como catalizadores para la producción de biodiesel a partir de aceite. Estos materiales fueron recogidos localmente, lavados, secados, molidos, tamizados y calcinados a 850°C durante 3 horas antes de ser utilizados como catalizadores en la transesterificación. Se caracterizaron mediante el método de indicador de basicidad de Hammett y se encontró que la resistencia básica de los materiales calcinados era mayor que la de los materiales no calcinados. Se comparó la actividad catalítica de los materiales de desecho cemento con la del cemento y el CaO de grado comercial. Se obtuvo una alta conversión del 96,9%, con una carga de catalizador del 5%, relación molar de aceite y alcohol de 1:4, temperatura de reacción de 65 °C y tiempo de reacción de 4 horas. Se descubrió que, entre todos los materiales cementosos probados, el cemento fue el más eficiente (con un rendimiento del 76±0.3%) en la transesterificación de aceite de Karanja a biodiesel. En conclusión, la investigación demuestra que es posible utilizar materiales de desecho de hormigón y mortero como catalizadores en la reacción de transesterificación.

De Oliveira et al. 2020, llevó a cabo un estudio para investigar el efecto catalítico, la eficiencia y la reutilización de la cáscara de huevo calcinada y enriquecida con glicerina y metanol (ECEG) en la síntesis de ésteres metílicos a partir de aceite residual de fritura. Los resultados mostraron que las cáscaras de huevo modificadas termoquímicamente demostraron una eficiencia catalítica durante la transesterificación de aceites residuales en concentraciones máxicas del 15%, 5%, 3% y 1%, debido a la presencia de un alto nivel de ésteres (97,39%, 96,97%, 97,75% y 92,96%, respectivamente). La concentración inicial de la cáscara de huevo enriquecida utilizada en la metanólisis tuvo un efecto directo en la mezcla final de ésteres. El ECEG fue reactivo y eficiente durante cuatro ciclos de reacción sin reactivación de los sitios catalíticos, debido a la evidencia de un alto contenido de éster (97,85%, 98,67%, 98,89% y 98,46%), lo que permitió alcanzar la calidad estándar de biodiesel a nivel mundial según las regulaciones.

Moreno Varona 2018, realizó un estudio sobre el uso del CaO dopado con nanopartículas (Fe-Co) como catalizador para la transesterificación de ácidos grasos de aceite de cocina, aceite de palma y aceite de canola. La conversión de ésteres metílicos se midió mediante cromatografía. El CaO se obtuvo de las cáscaras de huevo calcinadas a una temperatura de 900°C durante 4 horas, mientras que las nanopartículas (Fe-Co) se obtuvieron por el método de coprecipitación de solución acuosa de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y NaOH mediante reflujo continuo durante 4 horas. El dopaje se logró mezclando físicamente el CaO y las nanopartículas (Fe-Co) por agitación magnética. El catalizador se evaluó con un tiempo de reacción de 6 horas, con agitación magnética y una temperatura de reacción de 55°C. El estudio arrojó resultados muy positivos en cuanto al rendimiento de ésteres metílicos, logrando un 94,2% de conversión a las 4 horas para el aceite de cocina usado con el catalizador CaO/(Fe-Co), mientras que el CaO neto obtuvo un rendimiento del 92,2%. Este estudio demuestra que el uso de catalizadores heterogéneos como el CaO dopado con nanopartículas (Fe-Co) puede ser una opción más económica y amigable con el medio ambiente para la producción de biodiesel a partir de aceites de cocina usados mediante la transesterificación.

### **A NIVEL NACIONAL:**

Rodríguez Bustamante 2018, El propósito de este estudio fue evaluar el rendimiento de la producción de biodiesel a partir de aceite de soja usado utilizando el proceso de transesterificación, específicamente en el comedor de la Universidad Peruana Unión. Se empleó la metodología de Superficie de Respuesta con un diseño experimental  $2^2$ , incluyendo cinco puntos centrales, para analizar el impacto de dos parámetros: la relación molar etanol:aceite y el porcentaje de concentración de óxido de calcio, en el rendimiento del biodiesel. Se ajustó un modelo de primer orden y luego se realizó un Diseño Central Compuesto con cinco puntos centrales como modelo de segundo orden, utilizando la metodología de superficie de respuesta para explorar la optimización del rendimiento. La evaluación reveló que el mayor rendimiento, alcanzando el 60.9%, se obtuvo con una relación molar de 15:1 de etanol:aceite y una concentración de óxido de calcio del 6%. Se comparó la viscosidad de este biodiesel, que fue de 8.70 cSt, con la del Diesel B5 S-50 de la refinería La Pampilla, para verificar el cumplimiento con la norma ASTM D6751-09. Sin embargo, se encontró que el biodiesel no cumplía con los estándares establecidos por la normativa. En resumen, se concluyó que las variables de control con relaciones molares superiores a 15:1 y concentraciones de catalizador cercanas al 6% son aplicables para optimizar el rendimiento del biodiesel, lo que resultaría en una menor viscosidad que cumpla con los estándares establecidos.

### **A NIVEL LOCAL:**

Souza et al. 2021. Esta investigación empleó cenizas de cáscara de plátano como catalizador en la transesterificación. Las cenizas fueron obtenidas tras secar y calcinar la cáscara a 700°C. Se analizó su contenido de potasio y calcio, así como su fuerza básica. Se realizó una transesterificación alcalina directa del aceite usado debido a su humedad y acidez. El biodiesel se obtuvo con un rendimiento máximo del 86,94%, utilizando un 2% de catalizador, relación metanol/aceite 6/1 y tiempo de reacción de 60 minutos. Los resultados sugieren que el catalizador posee potencial debido a su alta alcalinidad, atribuida a su contenido de potasio.

## **1.2.Bases teóricas**

### **1.2.1. Definición de biodiesel**

El biodiesel es una fuente de energía renovable producida por transesterificación de recursos naturales renovables como aceites vegetales y grasas animales. Es biodegradable, no tóxico y reduce los gases de efecto invernadero en comparación con el diésel fósil. Su uso evita la formación de emisiones de dióxido de carbono y azufre, lo que ayuda a prevenir la formación de lluvia ácida. A diferencia de los hidrocarburos, el biodiesel es un combustible renovable e ilimitado (Enguilo Gonzaga 2016). La Norma D6751 de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) definió el biodiésel como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos derivados de aceites vegetales y grasas animales y se consideró un reemplazo parcial del combustible diésel a base de petróleo.

El biodiesel es un líquido transparente e inodoro cuyo color varía de amarillo claro a marrón claro dependiendo de la materia prima, tiene una lubricidad inherente, un punto de inflamación relativamente alto y un balance energético positivo que normalmente produce menos emisiones que el diésel fósil. (Martínez 2019)

### **1.2.2. Materia prima para la obtención de biodiesel.**

De las materias primas para la producción de biodiesel tenemos: aceites vegetales vírgenes, grasas animales, aceites vegetales usados. Sin embargo, esta cantidad no es suficiente para la demanda generalizada de biodiesel. Este estudio se centra en el aceite usado o desechado. (López Cruz 2022)

#### **Aceites vegetales de primer uso**

Al refinar el crudo, obtenemos un aceite refinado que da un biodiesel de mejor calidad que no contiene gomas, jabones e impurezas que pueden perjudicar el funcionamiento del motor diésel que lo utiliza. (Beltrán Velásquez et al. 2020)

### **Aceites vegetales usados**

Se refiere a todos los aceites vegetales o animales comestibles que, tras ser utilizados en la preparación o elaboración de alimentos y sometidos a tratamiento térmico, experimentan cambios en sus propiedades físico-químicas, convirtiéndose en residuos contaminantes para el medio ambiente. (ElPeruano, 2021)

De este tipo de aceite se obtiene el biodiésel, que se puede utilizar como máximo una vez, ya que puede provocar oxidación, lo que lleva a la pérdida de sus propiedades. Es la materia prima más barata, pero debe manipularse con cuidado debido a las impurezas y/o al contenido de agua.

### **Grasas animales**

Se obtienen hirviendo y enfriando tejido graso animal en agua. La grasa más utilizada es la de aves, res y cerdo. El biodiésel elaborado a partir de grasa tiene una composición más sólida que el biodiésel elaborado a partir de aceite. Por lo tanto, tiende a mejorar su desempeño y se mezcla con combustible diésel para un uso eficiente. (López Cruz 2022)

#### **1.2.3. Propiedades de la materia prima que influyen en el proceso de transesterificación.**

Los aceites vegetales empleados en la cocina para freír experimentan cambios significativos en su composición química, color, textura y otras propiedades físicas y químicas debido a la exposición a elevadas temperaturas y al continuo uso en los procesos de cocción. Este deterioro se atribuye principalmente a la oxidación de los lípidos, la hidrólisis, la polimerización y otras reacciones. La viscosidad aumenta debido a la polimerización y al incremento de los ácidos grasos libres, mientras que el índice de acidez se eleva por la hidrólisis a alta temperatura y el uso repetido, que resulta en la liberación de agua de los alimentos. (Echevarría Trujillo et al. 2018)

Se ha observado que la influencia de estas propiedades físicas y químicas varía según el tipo de aceite utilizado en la fritura. Factores como la temperatura y el tiempo de reciclado emergen como determinantes en la elección del aceite vegetal usado, ya que afectan el aumento de impurezas, impactando tanto en las propiedades del aceite usado como en el producto final, especialmente en relación con la calidad del biodiesel obtenido a partir de esta fuente. (Ospino Ruth 2020)

#### 1.2.4. Obtención del biodiesel

Para obtener biodiésel se necesita alcohol y grasa o aceite, dependiendo del origen del aceite graso, estos pueden ser aceites comestibles, aceites no comestibles o aceites usados (grasas animales y/o aceites de cocina usados). Las grasas usadas o residuales, si tienen un alto contenido en ácidos grasos libres (> 1%) y humedad, han sido previamente esterificadas, en caso contrario han sido directamente transesterificadas. (Machorro López 2020)

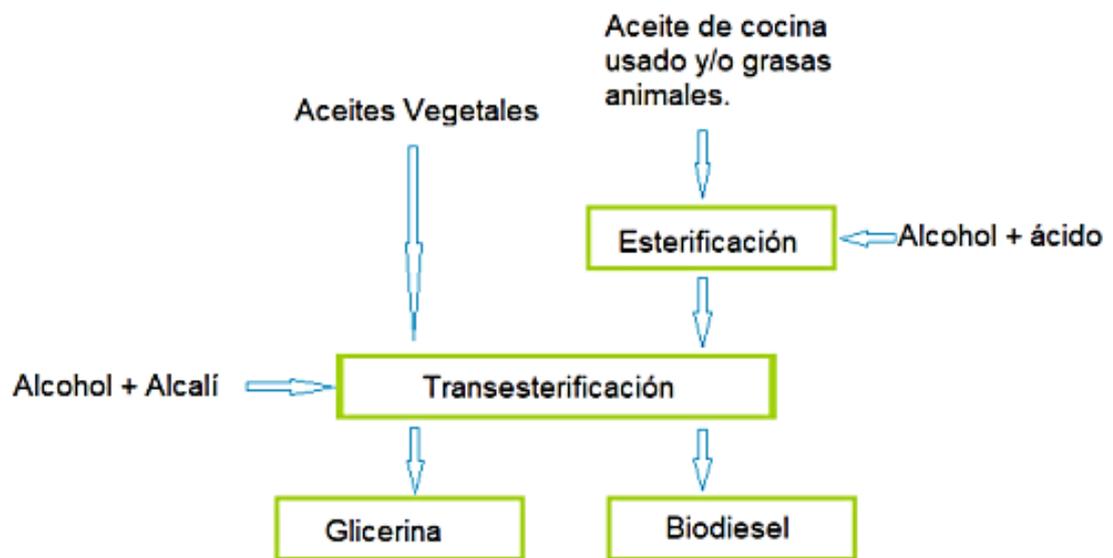


Figura 01. Proceso de generación de biodiesel

Fuente: (Machorro López 2020)

### 1.2.5. Método de transesterificación convencional.

El proceso de transesterificación de materias primas orgánicas se logra mediante la reacción de triglicéridos contenidos en aceites animales o vegetales con alcohol, que es mayoritariamente metanol, bajo la influencia de un catalizador, que puede ser una base homogénea o un ácido. (Lescano Pizarro 2019)

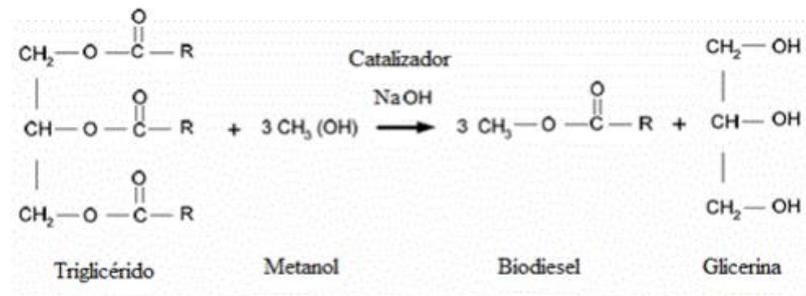


Figura 02. Reacción de transesterificación

Fuente: (Lescano Pizarro 2019)

### 1.2.6. Variables que se considera que tienen mayor influencia en la reacción de transesterificación son:

- ✓ **Tipo de aceite:** El biodiesel puede obtenerse a partir de diferentes materias, como grasas animales, aceites vegetales y aceites usado de cocina. La elección de la materia prima para la producción de biodiesel tiene impacto en varios aspectos, como el costo, el rendimiento, la composición y la pureza del biodiesel obtenido. Las materias primas se pueden clasificar según su disponibilidad y el tipo de fuente de donde provienen. Además, la selección de las materias primas también está influenciada por la región en la que se lleva a cabo la producción. (Pérez-Bravo et al. 2022)
- ✓ **Tipo de Alcohol:** El metanol es ampliamente utilizado y en menor medida el etanol, en la producción de biodiesel. Otros alcoholes de cadena corta, como propanol, butanol, isopropanol, alcoholes ramificados y octanol, también se utilizan, pero su costo es más elevado.

#### Relación molar alcohol: aceite

Se necesitan estequiométricamente tres moles de alcohol y un triglicérido para que la transesterificación proporcione tres ésteres alquílicos y un glicerol; sin embargo, como la alcoholólisis es un proceso reversible, se necesita alcohol adicional (Ospino, 2020). La relación molar entre aceite y alcohol no influye en la acidez ni en el contenido de yodo del biodiésel. Sin embargo, como la solubilidad tiende a aumentar, una relación molar alta de alcohol y aceite podría dificultar la separación del glicerol. El glicerol es más difícil de separar y tiene una menor tasa de conversión de ésteres en solución (Vicente, 2012).

#### Catalizador:

Los catalizadores juegan un papel importante en la conversión de la reacción, por lo que elegir el tipo de catalizador y la concentración de catalizador adecuados es muy importante para lograr las condiciones de reacción óptimas. (Rodríguez Bustamante 2018)

#### Temperatura de la reacción:

El aumento de la temperatura en la reacción también aumenta la tasa de conversión de triglicéridos en ésteres de alquilo. Sin embargo, a altas temperaturas, el alcohol puede evaporarse y causar serios problemas en la reacción. Si se utilizan catalizadores básicos en la transesterificación, las condiciones de reacción deben controlarse especialmente en función de la temperatura y la cantidad de catalizador. Los catalizadores alcalinos se usan a temperaturas típicamente entre 40 y 75 °C. En la reacción con catalizadores heterogéneos, las temperaturas pueden variar entre 20 y 200 °C. (Rodríguez Bustamante 2018)

### 1.2.7. Óxidos metálicos como catalizadores básicos:

Varios óxidos, incluyendo los alcalinotérreos y los de metales de transición, han sido examinados en detalle, como se muestra en la figura 2. La estructura de estos óxidos está compuesta por iones metálicos positivos (cationes) con propiedades de ácidos de Lewis, y iones de oxígeno negativos (aniones) con propiedades de bases de Brönsted. Durante la transesterificación, estos óxidos proporcionan sitios activos suficientes para el metanol, donde los enlaces O-H del alcohol se convierten en metóxidos y cationes de hidrógeno. (Enguilo, 2016)

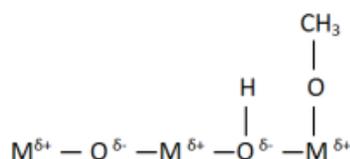


Figura 03. Estructura de óxidos de metal

Fuente: (Enguilo Gonzaga 2016)

La rapidez con la que reaccionan los óxidos metálicos está estrechamente relacionada con su grado de basicidad, especialmente la fuerza de los sitios básicos.(Enguilo Gonzaga 2016)

### 1.2.8. Uso del óxido de calcio (CaO) como catalizador

El óxido de calcio (CaO) ha despertado interés como catalizador en la reacción de transesterificación debido a su alta resistencia básica y su compatibilidad con el alcohol, lo que resulta en menores impactos ambientales. Además, el CaO puede obtenerse a partir de fuentes económicas como la caliza y el hidróxido de calcio. Es ampliamente utilizado como catalizador debido a su abundancia, bajo costo y alta actividad.(Rodríguez Bustamante 2018)

El CaO puede ser preparado a partir de diversas fuentes de materiales, como piedras de cal, cáscaras de huevo y cáscaras de ostra. Si se utiliza de manera adecuada en el desarrollo regional, el uso del catalizador CaO en la producción de biodiésel resultará en la forma más rentable y beneficiosa para la sociedad

local. Asimismo, el CaO puede ser utilizado como catalizador mediante la impregnación con otros reactivos, como el nitrato de potasio. Esta impregnación potencia la cualidad básica del óxido de calcio como catalizador en la reacción de transesterificación. (Rodríguez Bustamante 2018)

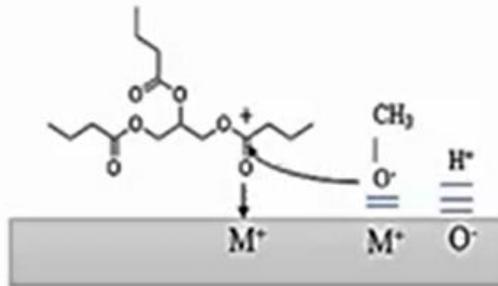


Figura 04. Como actúa el óxido de calcio como catalizador en la transesterificación

Fuente: (Castellar Ortega et al. 2014)

#### **Velocidad de agitación:**

La solubilidad del aceite en alcohol es débil, se puede interpretar que no puede formar una fase homogénea con el alcohol. Por lo tanto, la tasa impulsora para que ocurra la transferencia de masa permite una mayor transferencia de masa y una mayor producción de biodiesel. El tipo y rango de triglicéridos en el aceite influyen mucho en la tasa de transesterificación, por lo que no depende solo de las condiciones de operación o del tipo de catalizador, es muy importante conocer el tipo. triglicérido que reacciona.

La velocidad de mezcla juega un papel muy importante en la obtención de biodiesel. Se realizaron diferentes velocidades de movimiento que van desde 800 a 1500 rpm. Al aumentar la velocidad a 800 rpm, la conversión de éster aumentó a 1200 rpm, desde 1200 rpm no hubo un efecto significativo sobre el aumento en el contenido de éster. (Rodríguez Bustamante 2018)

**Tiempo de reacción:**

La transesterificación con catalizadores heterogéneos es generalmente lenta, lo que da como resultado tiempos de reacción más prolongados; Utilizaron tiempos de reacción de 2 h a 4 h para producir biodiesel, que estimaron era el tiempo óptimo para obtener un mayor rendimiento. Decidieron que el tiempo óptimo para esta reacción era de 3 horas, en este método utilizaron óxido de calcio, que se consideraba un catalizador básico heterogéneo. (Rodríguez Bustamante 2018)

**1.2.9. Residuos de concreto y su composición química**

Los residuos de Construcción y Demolición (C&D) representan una parte importante de los residuos sólidos urbanos. La forma más común de eliminar estos residuos es mediante la fundición, ya que hay pocas opciones de reutilización y reciclaje disponibles en la actualidad. Una parte significativa de estos residuos está compuesta por hormigón y mortero, los cuales contienen un contenido de CaO de alrededor del 28,6%. (Kumar et al. 2018)

El hormigón contiene minerales como cuarzo, calcita, aluminosilicatos de sodio/calcio, albita y portlandita. Estos materiales cementosos tienen una alta capacidad de neutralización de ácidos y un rango amplio de valores de pH (7,5-12) debido a su composición mineral natural, que los hace alcalinos. Los principales productos hidratados del silicato de calcio (alita y belita) son el hidrato de silicato de calcio (CSH) y el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), que ayudan a mantener una mezcla altamente alcalina, lo cual es importante para la durabilidad del hormigón armado.

La hidratación de los silicatos de calcio puede causar carbonatación, lo que lleva a la formación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). La calcinación del cemento hidratado conduce a la deshidroxilación y descarbonización, convirtiendo los hidróxidos y carbonatos de calcio en óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ). Estos compuestos de calcio tienen actividad catalítica y se ha observado que la fase  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se transforma en  $\text{CaO}$  al calcinar el cemento hidratado a temperaturas superiores a  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . (Kumar et al. 2018)

### 1.3. Definición de términos básicos

- ✓ **Índice de acidez:** Se define como la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar el contenido total de ácido en 1 gramo de aceite. En aceites no refinados, este valor se utiliza para determinar la cantidad de hidróxido de potasio necesaria para la purificación del aceite final. En aceites refinados, el índice de acidez se utiliza como indicador del efecto del proceso de refinado. (Boatella et al. 2004)
- ✓ **Índice de saponificación:** Da una idea de la longitud media de las cadenas de ácidos grasos, es utilizado para identificar los aceites. (Boatella et al. 2004)
- ✓ **Biodiesel:** combustible líquido fabricado a partir de recursos renovables, como grasas vegetales o animales, en los motores diésel. (Medina et al. 2012)
- ✓ **Residuos de concreto:** se refieren al concreto desechado o RCD, que se desvía de los flujos de residuos y se reutiliza o se recupera para su uso en la fabricación de nuevos productos. (wbcsd, 2009)
- ✓ **Catalizador:** sustancia, simple o compuesta, que aumenta o reduce la velocidad de una reacción química. (RAE, 2014)
- ✓ **Variables del proceso:** Son los factores que pueden ser controlados, modificados o medidos durante un proceso determinado. En este caso, se refiere a los parámetros que afectan la transesterificación del aceite vegetal usado.
- ✓ **Actividad Catalítica.** Se trata de la rapidez con la que se impulsa la reacción hacia el equilibrio químico y se puede describir como la capacidad de acelerar la velocidad de la reacción en comparación con la velocidad observada sin catalizador, manteniendo las mismas condiciones de temperatura, presión, concentración, etc.
- ✓ **Tiempo de reacción.** Tiempo estimado que dura la reacción de transesterificación.

## CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

#### Hipótesis General

Los residuos de concreto calcinado como catalizadores heterogéneos si muestra capacidad catalítica para transesterificar el aceite vegetal usado.

### 2.2. Variables y su operacionalización:

Variable dependiente:  $Y_1 =$  Rendimiento Biodiesel

Indicadores:  $Y_1 =$  Porcentaje en peso con relación a la masa de aceite

Variable Independiente:  $X_1:$  Cantidad de catalizador (residuos)

$X_2:$  Relación molar Alcohol/aceite

$X_3:$  Tiempo de reacción

Indicadores  $X_1:$  Porcentaje de catalizador por relación a la masa del aceite

$X_2:$  Moles de metanol/moles del aceite vegetal usado

$X_3:$  Minutos

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño del experimento.

En la investigación se utilizaron dos enfoques: descriptivo y experimental. Mediante la técnica descriptiva se determinaron las propiedades físicas y químicas del aceite vegetal empleado, así como el calibre del biodiésel generado. Por el contrario, se utilizó una metodología experimental para evaluar la eficacia catalítica del catalizador derivado de restos de cemento durante el proceso de transesterificación. Para ello se ajustaron variables como la cantidad de catalizador, la duración de la reacción y la relación molar aceite/metanol. Las variables y sus correspondientes dos niveles de estudio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de estudio y sus niveles

Variables	Nivel bajo	Nivel alto
Relación Molar (RM), Alcohol/ aceite	6/1	9/1
Tiempo de Reacción (TR), minutos	120	180
Concentración del Catalizador (CC)	7%	8%

Factores intervinientes:

Temperatura : 60°C

Velocidad de Agitación : 1250 rpm

### Diseño de experimento.

El diseño experimental utilizado en este estudio es un diseño factorial  $2^3$ , que implica la manipulación de tres variables de estudio: la relación molar alcohol/aceite (RM) con dos niveles (6:1 y 9:1), la concentración del catalizador (CC) con dos niveles (7% y 8%), y el tiempo de reacción (TR) con dos niveles (120 y 180 minutos). Además, se tuvieron en cuenta dos factores intervinientes: la temperatura de reacción a 60 °C y la velocidad de agitación a 1250 rpm. En total, se llevaron a cabo 8 ensayos por triplicado, generando un total de 24 ensayos.

## PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL 2<sup>3</sup>

La tabla 2 representa el planteamiento de los 8 ensayos donde el nivel alto de la variable se representa con el signo (+) y el nivel bajo con el signo (-).

Tabla 2: Matriz de planteamiento de experimentos

Ensayos	RM	TR	CC
1	-	-	-
2	-	-	+
3	-	+	-
4	-	+	+
5	+	-	-
6	+	-	+
7	+	+	-
8	+	+	+

Donde:

- (-) : Representa los niveles más bajos de los factores en estudio.
- (+) : Indica los niveles más altos de los factores en estudio.

Tabla 3. Variables de estudio y sus niveles.

ENSAYOS	TIEMPO	CAT.	RM
1	120 min	3.5 g	6/1
2	120 min	4 g	6/1
3	180 min	3.5 g	6/1
4	180 min	4 g	6/1
5	120 min	3.5 g	9/1
6	120 min	4 g	9/1
7	180 min	3.5 g	9/1
8	180 min	4 g	9/1

Factores intervinientes:

Temperatura : 60°C

Velocidad de Agitación : 1250 rpm

### **3.2.Diseño muestral.**

#### **3.2.1. Población de estudio.**

Estuvo constituido por los residuos de concreto que se generaron en refacciones de la intersección de las calles Sta. Rosa y Yavarí, de la ciudad de Iquitos; y el aceite vegetal usado generados en el Centro de estudios gastronómico de la Fundación de la UNAP.

#### **3.2.2. Tamaño de la población de estudio.**

Estuvieron constituidos por la cantidad de los residuos de 1 kg de concretos que se generaron en refacciones de pistas de las calles Sta. Rosa y Yavarí, de la ciudad de Iquitos, y 5 litros del aceite vegetal usado generados en el Centro de estudios gastronómico de la Fundación de la UNAP.

#### **3.2.3. Muestreo o selección de la muestra.**

Los residuos las muestras tuvieron que ser recolectadas de la intersección de las calles Sta. Rosa y Yavarí, de la ciudad de Iquitos que presentaba residuos de concreto armado producto de su refacción, y el aceite vegetal usado fue colectado de la FUNDESAB escuela de Gastronomía UNAP. El tipo de muestreo se realizó por conveniencia del investigador.

#### **3.2.4. Criterios de selección.**

El criterio de la selección que se tuvo en cuenta es que el residuo de concreto provenga del pavimento y el aceite sea un aceite vegetal era usado.

### **3.3. Técnicas e instrumentaciones para la recolección de los datos estarán divididas en dos etapas.**

#### **3.3.1.** Las técnicas para la recolección de los datos.

Las técnicas usadas fueron técnicas de síntesis y análisis químico a nivel de laboratorio.

#### **3.3.2.** Etapa de Campo.

Recolección y acondicionamiento del aceite vegetal usado. Se recogieron 5 litros de aceite usado provenientes de la FUNDESAB, específicamente de la escuela de Gastronomía. Estos fueron transportados al laboratorio de Análisis Químicos Industriales, donde se sometieron a un proceso de decantación y filtrado para eliminar cualquier impureza presente. Posteriormente, se procedió a realizar su análisis químico.

#### **3.3.3.** Etapa de Laboratorio.

En el laboratorio se determinaron las características físicas y químicas del aceite vegetal usado, el acondicionamiento de los residuos de concreto para ser usados como catalizador y se evaluó el rendimiento en conversión a biodiesel.

## **A. Caracterización del aceite vegetal usado.**

### **Caracterización Física y Química del aceite vegetal usado (AVU).**

Las características físico químicas, se realizarán según las metodologías indicadas para cada parámetro. Cuyo procedimiento se pueden verificar en el Anexo 2.

•	Determinación de humedad	NTP 209.004:1968
•	Densidad	ASTM D 1298
•	Viscosidad Cinemática	ASTM D 445
•	Índice de Acidez Libre	NTP 209.005:1968
•	Ácidos grasos libres	NTP209.005:1968
•	Índice de Peróxido	NTP 209.006:1968
•	Índice de Saponificación	NTP 209.058:1980
•	Peso Molecular	(Cálculos)

## **B. Activación de fuerza básica del residuo de concreto para su uso como catalizador.**

### **Tratamiento térmico**

Los residuos de concreto, después de ser colectados, fueron sometidos a secado en una estufa a 100 °C durante 8 horas. Luego se pesaron muestras de 5 gramos en crisoles y se calcinaron en una mufla a tres temperaturas diferentes, 700°C, 800°C y 900°C durante 4 horas, con la finalidad de estandarizar la temperatura optima de activación de la fuerza básica en el concreto.

### **Caracterización del residuo del concreto calcinado.**

Contenido de calcio: la cantidad de calcio se determinó mediante el método colorímetro, precipitándolo con cobaltinitrito de potasio y la cantidad de calcio por el método volumétrico con EDTA. Anexo 3

### **Fuerza básica.**

El método empleado fue el de indicadores de Hammett. Anexo 4

### **C. Obtención del biodiesel usando aceite vegetal usado y residuo de concreto como catalizador.**

Se tomó un nivel de relación metanol/ aceite 6:1 y 9:1, cantidad de catalizador 3.5gr y 4gr con respecto al peso del aceite vegetal usado y tiempo de reacción 120 min, 180 min.

#### **Reacción de transesterificación**

La reacción de transesterificación se realizó en un balón esférico de tres bocas pírrex de 500 ml, con tapa, agitador magnético, condensador de doble tubo y termómetro de mercurio, todo esto inmerso en un baño maría con temperatura controlada, se mezcló el residuo de concreto, con el metanol y se agitaron a 550rpm por un tiempo de 20 minutos a temperatura ambiente. Luego se añadió el aceite vegetal usado elevándose la temperatura hasta 60 °C a partir de ahí se controló el tiempo de reacción con una velocidad de agitación de 1250 rpm. Los 8 ensayos, con sus tres replicas ensayos se realizaron según el diseño experimental planteado. El catalizador de concreto residual que se uso fue el que contenía mejor característica básica.

#### **Filtración**

Cumplida la reacción se vertió el producto al embudo y se dejó 24 horas, luego se decantó para la separación de fases en un pera de decantación.

#### **Decantación**

En la separación del biodiesel con la glicerina se utilizó una pera de decantación y se dejó 24 horas, para garantizar la separación de las fases.

#### **Filtración y secado**

El biodiesel obtenido se filtró con carbonato de sodio para eliminar humedad y luego secado a temperatura de 100 °C para eliminar restos de moléculas de agua que se pudieran generar en el proceso.

## **D. Pruebas de la calidad del biodiesel**

<b>Parámetros</b>	<b>Norma</b>
- Densidad.	A.O.C.S 1981
- Índice de acidez	ASTM D 974
- Viscosidad	Cerdeira S. 2000

### **3.3.4. Instrumentos reactivos químicos utilizados.**

- ✓ Balanza analítica digital con resolución 0.1mg.
- ✓ Estufa con regulador de temperatura (0-250 °C)
- ✓ Crisoles.
- ✓ Balón base plana de 550ml.
- ✓ Matraces de erlenmeyer.

### **3.4. Procesamiento y análisis de datos**

Se utilizaron tablas y gráficos para presentar los resultados mediante estadísticas descriptivas, y se emplearon ANOVA y la prueba de Tukey para evaluar las medias con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las diversas series utilizadas para producir biodiésel. Se utilizó el programa estadístico MINITAB 17.

### **3.5. Aspectos éticos**

El trabajo no se realizará experimentos con seres humanos ni animales por lo que no se considera este punto.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Caracterización fisicoquímica del aceite vegetal usado

**Tabla 4: Resultado de características físicas y químicas del AVU.**

Determinaciones	Muestra
<b>Humedad</b>	0,06
<b>Densidad (g/ml) a 15.6°C</b>	0,921
<b>Viscosidad cSt</b>	30,99
<b>Índice de Acidez (mg de KOH/ g aceite)</b>	1,01
<b>Grado de Acidez (%Ac. Oleico)</b>	0,51
<b>Índice de Peróxido (mEq O<sub>2</sub>/Kg aceite)</b>	28,09
<b>Índice de Saponificación (mg KOH/ g aceite)</b>	213,61
<b>Peso molecular (g/mol) *</b>	791,62

### 4.2. Caracterización del residuo de concreto calcinado.

**Tabla 5. Concentración de calcio en el concreto calcinado.**

Determinaciones	Promedio	DS
Calcio (ca) %	7.5%	0.27

**Tabla 6. Determinación de la fuerza básica. Prueba de Hammett (Método colorimétrico)**

CATALIZADORES	Azul de bromotimol pK <sub>BH</sub> = 7,2	Fenolftaleína pK <sub>BH</sub> = 9,8	Índigo de Carmín pK <sub>BH</sub> = 12,2
700	+	+	-
800	+	+	-
900	+	+	-

#### 4.3. Obtención del biodiesel.

**Tabla 7. Rendimiento de biodiesel obtenido**

Ensayos	RM (mol/mol)	TR (min)	CC (g)	RENDIMIENTO				
				1	2	3	Media	Desv.Est.
1	6/1	120	7	68.83	69.58	68.87	69.09	0.422
2	6/1	120	8	64.65	65.35	65.51	65.17	0.457
3	6/1	180	7	68.56	68.74	68.82	68.71	0.133
4	6/1	180	8	66.41	67.3	67.17	66.96	0.481
5	9/1	120	7	63.51	63.87	64.28	63.89	0.385
6	9/1	120	8	67.69	68.63	69.35	68.56	0.832
7	9/1	180	7	66.61	67.81	68.06	67.49	0.775
8	9/1	180	8	69.61	70.34	70.51	70.15	0.478

Desv.Est. agrupada = 0.536994

En la tabla 7 se puede apreciar los promedios del rendimiento en biodiésel obtenido en los 8 ensayos, los valores fluctúan entre el 63.89% al 70.15% usando residuos de concreto calcinados a 800°C.

#### 4.4. Análisis de los promedios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los 8 ensayos.

##### 4.4.1. Análisis de Varianza de los promedios de rendimiento en biodiesel

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

**Tabla 8. Análisis de Varianza ANOVA**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Ensayos	7	92.784	13.2549	45.97	0.000
Error	16	4.614	0.2884		
Total	23	97.398			

Con una probabilidad de error  $p= 0.000$  y para un nivel de significancia  $\alpha= 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula que todas las medias son iguales y se acepta la hipótesis alterna que no todas las medias son iguales.

#### 4.4.2. Prueba de Tukey de los promedios del rendimiento en biodiesel obtenidos en los 8 ensayos

**Tabla 9. Prueba de Tukey a una confianza de 95%**

<b>Ensayos</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>		
8	3	70.153	A		
1	3	69.093	A	B	
3	3	68.7067	A	B	C
6	3	68.557		B	C
7	3	67.493		C	D
4	3	66.960			D
2	3	65.170			E
5	3	63.887			E

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Para un nivel de confianza del 95% se puede observar que el promedio del ensayo 8 no comparte una letra con los promedios de los ensayos 2,4,5,6,7 presentando diferencia significativa, sin embargo, comparte letra con los promedios de los ensayos 1 y 3 indicando que no existe diferencia significativa con estos promedios.

#### 4.5. Análisis Regresión factorial general: RENDIMIENTO vs. RM, TR, CC

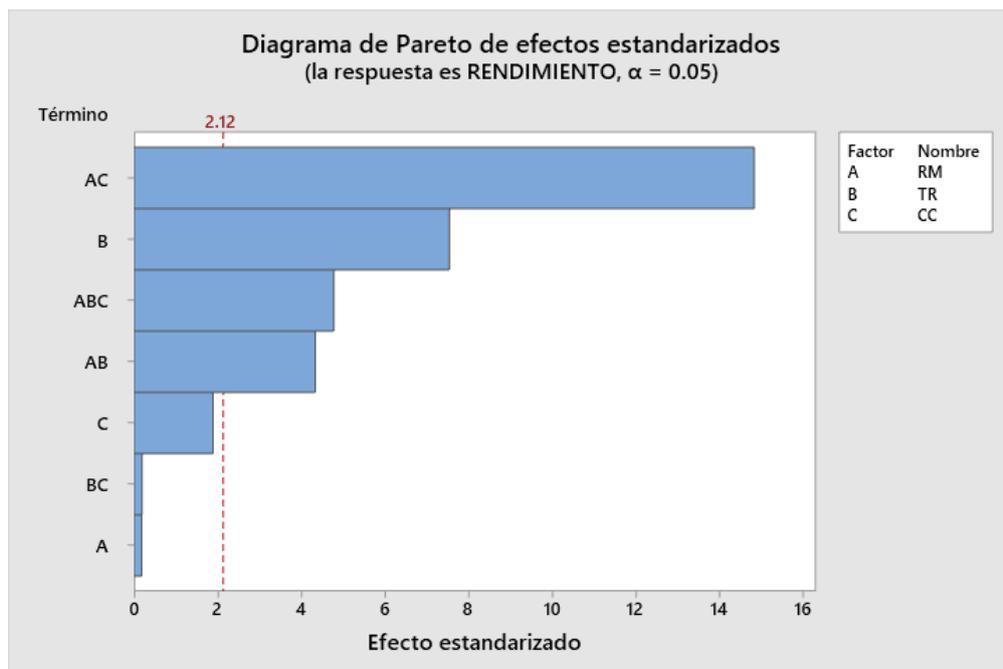
##### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
RM	2	6/1, 9/1
TR	2	120, 180
CC	2	7, 8

**Tabla 10. Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	92.7845	13.2549	45.97	0.000
Lineal	3	17.4110	5.8037	20.13	0.000
RM	1	0.0096	0.0096	0.03	0.858
TR	1	16.3680	16.3680	56.76	0.000
CC	1	1.0333	1.0333	3.58	0.077
Interacciones de 2 términos	3	68.8004	22.9335	79.53	0.000
RM*TR	1	5.4150	5.4150	18.78	0.001
RM*CC	1	63.3750	63.3750	219.78	0.000
TR*CC	1	0.0104	0.0104	0.04	0.852
Interacciones de 3 términos	1	6.5731	6.5731	22.79	0.000
RM*TR*CC	1	6.5731	6.5731	22.79	0.000
Error	16	4.6138	0.2884		
Total	23	97.3983			

En la tabla 11 se puede observar que el factor tiempo de reacción (TR) presenta un efecto significativo con  $p=0,000$  a diferencia de la relación molar (MR)  $p=0,858$  y concentración de catalizador (CC)  $p=0,077$ . En las interacciones de 2 términos la RM \* TR presenta un efecto significativo con  $p=0,001$ , así mismo la interacción de RM \* CC con un  $p=0,000$ . En las interacciones con 3 términos RM \* TR\* CC presenta un efecto significativo con  $p=0,000$ .

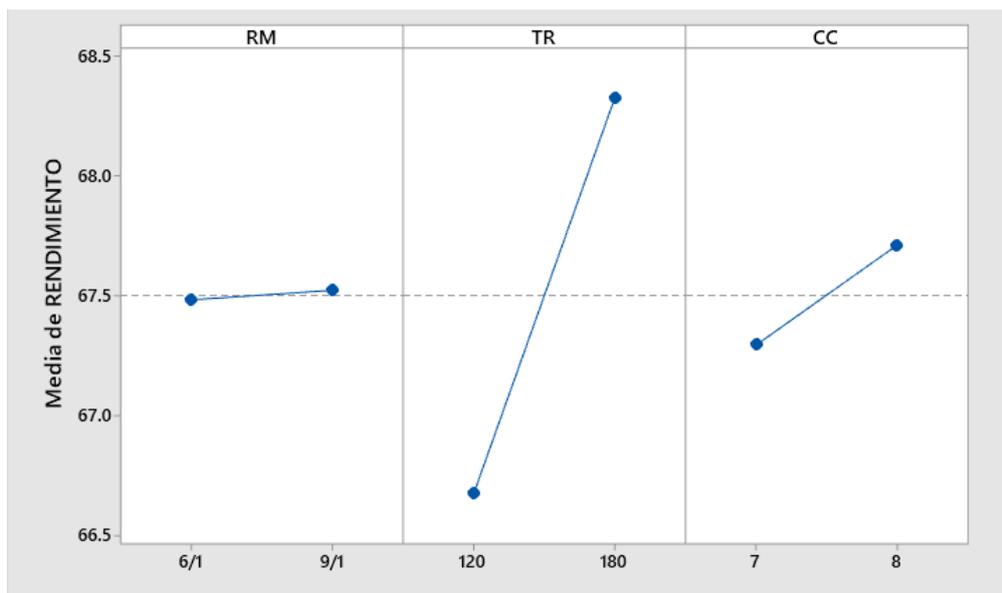


**Figura 05. Diagrama de Pareto**

**Tabla 11. Resumen del modelo**

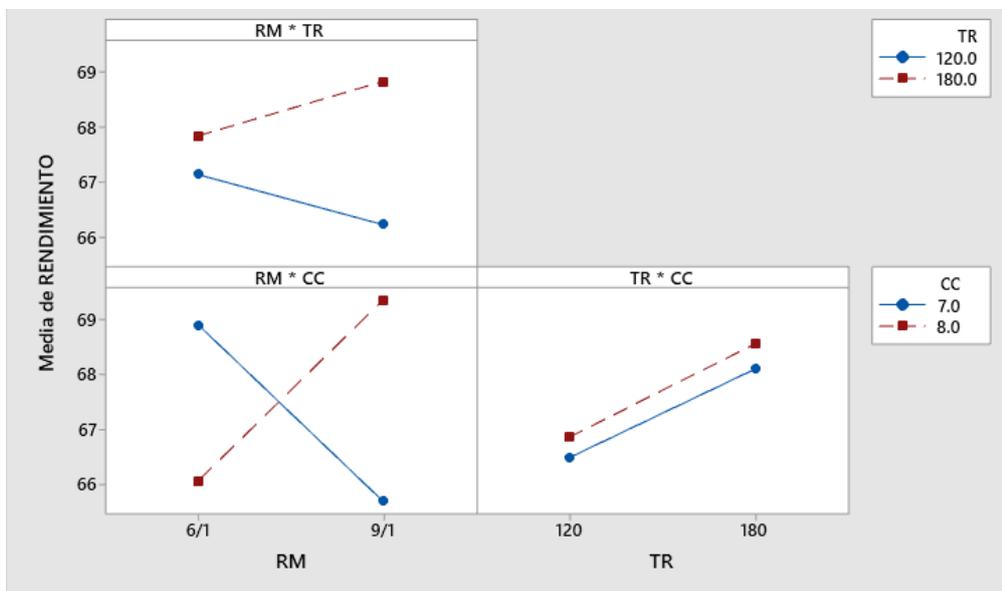
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.536994	95.26%	93.19%	89.34%

El diseño factorial  $2^3$  se ajusta al estudio para un R- cuadrado (ajustado) del 93,19%, un valor alto que nos indica que el diseño explica el comportamiento de las variables en el proceso de transesterificación.



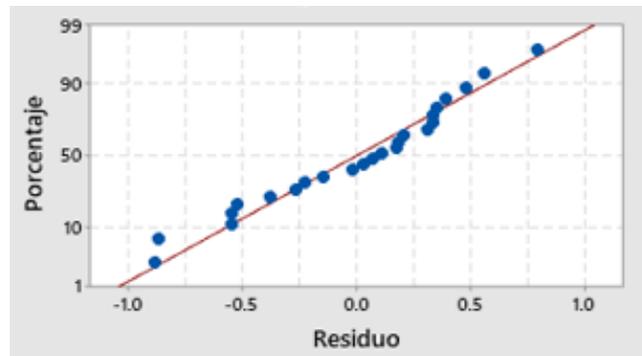
**Figura 06. Grafica de efectos principales para rendimiento**

Los efectos que producen los factores son positivos cuando pasan de un nivel bajo al nivel alto producen un incremento en el rendimiento del biodiesel, observandose que el tiempo de reaccion es el que mayor influencia tiene en el rendimiento.



**Figura 07. Grafica de interaccion para rendimiento**

En la figura 07. se observa que las líneas de la CC se cruzan cuando RM se cambia 6/1 a una RM 9/1 indicando que la interacción entre estas dos variables produce un efecto significativo en el rendimiento de la reacción de transesterificación para obtener el biodiesel.



**Figura 08. Grafica de probabilidad normal**

En la figura 08. Se puede observar que los puntos están distribuidos sobre la línea roja indicando que los datos obtenidos en los ensayos presentan una distribución normal, lo que indica que el análisis estadístico realizado a los resultados obtenidos es el apropiado.

#### 4.6. Calidad del biodiesel

Tabla 12. Determinación de calidad

	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>DENSIDAD</b>	873.80	882.67	873.31	886	874.61	882.93	882.19	875.53
<b>VISCOSIDAD</b>	16.04	15.08	16.85	16.00	15.37	15.31	15.78	15.76
<b>INDICE DE ACIDEZ</b>	1,5230	1,2862	1,5289	1,2786	1,2570	1,0862	1,2352	0,8810

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La Tabla 4 presenta las propiedades físicas y químicas del aceite vegetal usado (AVU). Se observa que el parámetro de humedad es de 0,06%, que es significativamente mejor que el 0,42% reportado por Souza et al. (2021) en su investigación, que también menciona que el aceite debe ser deshidratado para evitar la formación de jabones durante la reacción. Además, se observa que el valor de ácidos grasos libres es de 0,51%, superior al valor de 0,27% reportado por Souza et al. (2021). Una transesterificación básica directa es posible en base a los valores de humedad y ácidos grasos libres encontrados en el aceite vegetal utilizado en esta investigación.

Según la Tabla 5, el catalizador contiene 7,5% Ca de calcio, que es inferior al 33,80% Ca encontrado por Nath et al. (2019). Las altas concentraciones de calcio y potasio en el catalizador son cruciales para la alta actividad catalítica durante la transesterificación de aceite vegetal en biodiésel, según Nath et al. (2019).

En contraste, nuestro estudio se centró en explorar el potencial de los residuos de concreto como catalizadores en la transesterificación. Descubrimos que, si bien los residuos de concreto mostraron una eficacia considerable, con un rendimiento promedio de biodiésel del 70.15% (utilizando 4 gramos del catalizador, una relación molar de alcohol/aceite de 9/1 y un tiempo de reacción de 3 horas), el rendimiento fue inferior al obtenido con cemento comercial, como lo demostró Kumar et al. (2018), quienes lograron un rendimiento del  $76\pm 0.3\%$  con una relación molar de 1:4 y con 4 horas de reacción. Esta discrepancia entre los rendimientos puede atribuirse a varias variables, incluyendo diferencias en la preparación de los catalizadores, las condiciones de reacción y las características específicas del aceite utilizado.

En la Tabla 7 se muestran los rendimientos de biodiésel obtenidos en cada ensayo. Los datos muestran que se obtuvo un rendimiento del 68,87% en el experimento 1, en el que se empleó una mayor concentración de catalizador (3,5%), una relación molar metanol-aceite de 6/1 y un periodo de reacción de 120 minutos. Sin embargo, en el experimento 8 se obtuvo un rendimiento de biodiésel del 70,51% empleando un catalizador del 4%, una relación molar metanol-aceite de 9/1 y un periodo de reacción de 180 minutos. De entre todos los experimentos realizados, este último fue el de mayor rendimiento medio, lo que indica que podría ser el más pertinente para

conseguir una alta eficiencia en la conversión de aceite en biodiésel bajo los parámetros evaluados.

Con la prueba de Tukey (tabla 9) a un nivel de confianza del 95%, se observa que el promedio del ensayo 8 es significativamente diferente, debido que no comparte una letra con los promedios de los ensayos 2, 4, 5, 6 y 7, lo que sugiere que hay una diferencia significativa entre ellos. Sin embargo, comparte una letra con los promedios de los ensayos 1 y 3, lo que indica que no existe una diferencia significativa entre estos promedios y el promedio del ensayo 8.

El modelo de regresión factorial  $2^3$  de la tabla 10 es altamente significativo (valor  $F = 45,97$ , valor  $p = 0,000$ ), según el análisis de la varianza (ANOVA), lo que indica que el modelo puede explicar una parte considerable de la variabilidad de los rendimientos de biodiésel. Las variables TR (tiempo de reacción), CC (concentración de catalizador) y RM (relación molar) muestran efectos lineales significativos; los valores  $F$  y  $p$  muestran cómo afectan estas influencias a los rendimientos. Además, se han encontrado notables interacciones de dos términos, incluyendo  $RM*TR$  y  $CC*RM$ , lo que indica que determinadas combinaciones de estas variables tienen un impacto sustancial en los rendimientos de biodiésel. Por último, la significación estadística de la interacción de tres términos,  $RM*TR*CC$ , sugiere que la amalgama de estas variables tiene un notable impacto combinado sobre los rendimientos de biodiésel. Estos resultados ofrecen un conocimiento profundo de las variables y de cómo se combinan para afectar a la generación de biodiésel.

El valor de “S” en la Tabla 11 representa el error estándar de las estimaciones, que en este caso es de 0,536994. Las cifras de R-cuadrado (R-cuadrado) muestran qué parte de la variación de los rendimientos de biodiésel puede explicar el modelo. Después de tener en cuenta la cantidad de variables predictoras en el modelo, el R-cuadrado ajustado del 93,19% indica que el modelo de regresión factorial  $2^3$  es extremadamente eficaz para describir la variabilidad de los rendimientos de biodiésel. Además, el modelo tiene una gran capacidad predictiva para estimar los rendimientos de biodiésel en observaciones futuras, como demuestra la R-cuad.(pred) del 89,34%. Estos resultados demuestran que el modelo es una herramienta útil para estudiar y optimizar el proceso de transesterificación de aceite vegetal usado utilizando cenizas residuales de hormigón calcinado. El modelo es particularmente adecuado para explicar y predecir los rendimientos de biodiesel en función de las variables TR, CC y RM.

Los resultados de las pruebas se muestran en la Tabla 12 e indican que, en términos de densidad, FAME y viscosidad, el biodiésel producido por transesterificación de aceite vegetal usado utilizando cenizas de residuos de hormigón calcinadas como catalizador heterogéneo no cumple principalmente las normas y especificaciones ASTM D 6751-03, EN 14214 y N.T.P 321.125.2019.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES**

1. Los residuos de concreto mostraron una eficacia considerable como catalizadores, con un rendimiento promedio del 70.15% a una relación molar de 9:1 y a un tiempo de reacción de 3 horas.
2. Se comprobó estadísticamente que la relación molar y la concentración de catalizador influyen significativamente en la reacción de transesterificación.
3. La influencia de los factores son positivos cuando están a un nivel alto, produciendo un incremento en el rendimiento del biodiesel. Concluyendo que el tiempo de reacción es el que mayor influencia tiene en el rendimiento.
4. Se acepta la hipótesis que la relación molar aceite/metanol, la cantidad de catalizador y el tiempo de reacción tienen un efecto significativo en la producción de biodiesel.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

1. Llevar a cabo estudios adicionales para investigar más a fondo las condiciones de reacción y las características específicas de los catalizadores, con el fin de comprender mejor la discrepancia en los rendimientos observados entre los diferentes estudios.
2. Es fundamental explorar y desarrollar métodos de preparación de catalizadores, especialmente aquellos que utilizan materiales de desecho como los residuos de concreto, para promover la sostenibilidad en la producción de biodiesel.
3. Para cumplir con estándares más estrictos en ciertas especificaciones, es necesario ajustar el proceso de transesterificación, considerando variables como la cantidad de catalizador, la temperatura y el tiempo de reacción. Para aumentar el contenido de FAME, también hay que mejorar las técnicas de purificación y separación. Para mantener niveles bajos durante todo el proceso y garantizar la consistencia de la calidad del biodiésel, es necesario un control continuo. Para garantizar que el biodiésel producido satisface los más altos requisitos de pureza y calidad, son esenciales los ajustes.
4. Además, se recomienda utilizar espectroscopia FTIR para caracterizar y cuantificar FAME en el biodiesel. Es rápido, preciso, económico, confiable y no hay pérdida de muestra.

## CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

- AVELLÁN, A., GARCÍA, S., BURGOS, G., MOREIRA, C., GARCÍA, O. y BANCHÓN, C., 2019. Factores limitantes en la producción del biodiésel de *Jatropha curcas* L. *REVISTA RIEMAT*, vol. 4, no. 2,
- BELTRÁN VELÁSQUEZ, E. y GAVIRIA NAVARRO, J., 2020. *Evaluación de los parámetros cinéticos de la transesterificación de los aceites vegetales*. Bogotá D.C.: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- CASTELLAR ORTEGA, G.C., ANGULO MERCADO, E.R. y CARDOZO ARRIETA, B.M., 2014. Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. . S.l.:
- DE OLIVEIRA, C. de J., TELEKEN, J.G. y ALVES, H.J., 2020. Catalytic efficiency of the eggshell calcined and enriched with glycerin in the synthesis of biodiesel from frying residual oil. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 15, ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-020-08272-8.
- ECHEVARRÍA TRUJILLO, R.G., ÑIQUE MESÍA, T.E. y GUERRERO CHIQUILÍN, Y., 2018. Manual para la PRODUCCIÓN DE BODIESEL a partir del aceite de PIÑÓN BLANCO (*Jatropha curcas* L.). . S.l.:
- ENGUILLO GONZAGA, V.N., 2016. *ESTUDIO DE ACTIVIDAD CATALÍTICA DE CaO SOPORTADO EN Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> EN LA OBTENCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITE CÁRTAMO*. Toluca: UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO.
- KUMAR, D., SINGH, B., BANERJEE, A. y CHATTERJEE, S., 2018. Cement wastes as transesterification catalysts for the production of biodiesel from Karanja oil. *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.02.122.
- LESCANO PIZARRO, F.H., 2019. *TRANSESTERIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS DE LAS GRASAS DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO MARÍA PARA LA OBTENCIÓN DE BODIESEL*. Tingo María: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA.
- LÓPEZ CRUZ, O.I., 2022. *Propuesta técnica para la producción de biodiésel a pequeña escala a partir de aceite desechado de frituras de los locales de comida de la ciudad de Chiclayo*. LAMBAYEQUE: UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.
- MACHORRO LÓPEZ, J.J., 2020. *Desarrollo de catalizadores heterogéneos de titanato de sodio para la reacción de transesterificación de triglicéridos en la generación de biodiésel*. Santiago de Querétaro:

CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN  
ELECTROQUÍMICA, S.C.

- MARTÍNEZ MARTÍNEZ, A.R., 2019. *Obtención de biodiesel mediante catálisis heterogénea con CaO/SBA-15 y su análisis de ciclo de vida*. S.I.: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS.
- MORENO VARONA, M.A., 2018. *OBTENCION DE CaO A PARTIR DE CASCARÓN DE HUEVO, DOPADO CON NANOPARTÍCULAS (Fe-Co) PARA UTILIZARLO COMO CATALIZADOR EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL PROVENIENTE DE PALMA AFRICANA Y ACEITE DE REÚSO*. Toluca de Lerdo: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
- OSPINO RUTH, M.C., 2020. *OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE ACEITES DE FRITURAS USADOS MEDIANTE TRANSESTERIFICACIÓN BÁSICA*. Pamplona: UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.
- PÉREZ-BRAVO, S.G., AGUILERA-VÁZQUE, L., CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M.D.R. y GALLARDO-RIVAS, N.V., 2022. Condiciones del proceso de transesterificación en la producción de biodiésel y sus distintos mecanismos de reacción. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 25, ISSN 1405-888X. DOI 10.22201/fesz.23958723e.2022.481.
- RODRÍGUEZ BUSTAMANTE, J.I., 2018. *Evaluación del rendimiento de obtención de biodiesel mediante el proceso de transesterificación de aceite de soja usado por el método de Superficie de Respuesta*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN.
- SOUZA, R., SUAREZ, J., CARRASCO, D. y CASTILLO, A., 2021. Use of shell ash from Musa paradisiacal variety Valery as a basic heterogeneous catalyst in obtaining biodiesel. *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 17, no. 4, ISSN 18106781. DOI 10.17268/rev.cyt.2021.04.05.

# ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA												
<p>Problema general ¿Cuál es el efecto de diferentes variables de proceso, como la relación molar aceite/metanol, cantidad de catalizador y tiempo de reacción, en la producción de biodiesel en términos de rendimiento y calidad, utilizando residuos de concreto como catalizadores y aceites usados como materia prima?</p> <p>Problemas específicos ¿Qué características físicas y químicas presentara el aceite usado que se recolectara y como influenciara estas en el proceso de producción de biodiesel? ¿Cuál será la concentración de calcio y su característica básica del residuo de concreto recolectados en la ciudad de Iquitos? ¿Cuál es la influencia de la relación molar aceite/metanol, la cantidad de catalizador, el tiempo de reacción y la interacción entre ellos, en el rendimiento de la reacción de transesterificación en la producción de biodiesel, utilizando residuos de</p>	<p>Objetivo general: Evaluar el efecto de diferentes variables de proceso, como la relación molar aceite/metanol, cantidad de catalizador y tiempo de reacción, en la producción de biodiesel utilizando residuos de concreto como catalizadores y aceites usados como materia prima, en términos de rendimiento y calidad del biodiesel obtenido.</p> <p>Objetivos específicos: Determinar las características físicas y químicas del aceite usado recolectado y cómo podrían influir en el proceso de producción de biodiesel.  Determinar la concentración de calcio y caracterizar la naturaleza básica de los residuos de concreto recolectados en la ciudad de Iquitos.  Examinar la influencia de la relación molar aceite/metanol, la cantidad de catalizador, el tiempo de reacción y la interacción entre ellos en el rendimiento de la reacción de transesterificación en la producción de biodiesel, utilizando residuos de concreto como catalizadores y aceites usados como materia prima.</p>	<p>Hipótesis general Ho: La relación molar aceite/metanol, la cantidad de catalizador y el tiempo de reacción tendrán un efecto significativo en la producción de biodiesel en términos de rendimiento y calidad, al utilizar residuos de concreto como catalizadores y aceites usados como materia prima</p>	<p>Variable independiente Relación molar aceite/metanol  Cantidad de catalizador  Tiempo de reacción</p>	<p>mol metanol/mol aceite  gramos de catalizador/gramos aceite  minutos</p>	<p>Tipo de investigación  El tipo de investigación sería experimental y el diseño a utilizar es factorial 2<sup>3</sup> para que nos permitirá evaluar a tres factores en dos niveles de medición  Niveles de los factores de estudio y de los parámetros</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>Niveles</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RM</td> <td>6/1, 9/1</td> <td>mol/mol</td> </tr> <tr> <td>TR</td> <td>120, 180</td> <td>minutos</td> </tr> <tr> <td>CC</td> <td>7, 8</td> <td>porcentaje</td> </tr> </tbody> </table> <p>Población Esta constituidos por los residuos de concretos que se generan en refacciones de la intersección de las calles Sta. Rosa y Yavarí de la ciudad de Iquitos, y el aceite vegetal usado generados en el Centro de estudios gastronómico FUNDESAB.</p> <p>Muestra Esta constituidos por la cantidad de los residuos de 1 kg de concretos que se generan en refacciones de la intersección de las calles Sta. Rosa y Yavarí de la ciudad de Iquitos, y 5 litros del aceite vegetal usado generados en el Centro de estudios gastronómico FUNDESAB.</p>	Factor	Niveles	Unidades	RM	6/1, 9/1	mol/mol	TR	120, 180	minutos	CC	7, 8	porcentaje
Factor	Niveles	Unidades															
RM	6/1, 9/1	mol/mol															
TR	120, 180	minutos															
CC	7, 8	porcentaje															
			<p>Variable dependiente  Rendimiento del biodiesel  Calidad del biodiesel:</p>	<p>Gramos biodiesel/gramo aceite usado  Índice de acidez  Densidad  Viscosidad</p>													

<p>concreto como catalizadores y aceites usados como materia prima?  ¿Cuál será la calidad del biodiesel producido a partir de residuos de concreto como catalizadores y aceites usados, considerando?</p>	<p>Determinar la calidad del biodiesel producido usando el residuo de concreto como catalizador y aceites usados, considerando parámetros clave como el contenido</p>				
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--

## **Anexo 2. Caracterización fisicoquímica del AVU.**

### **1. Determinación de Humedad. (NTP 209.004:1968)**

#### **Procedimiento**

Se procede a pesar 10 gramos de muestra en una cápsula de porcelana, luego se introduce en una estufa a 105°C durante 2 horas. Al finalizar este tiempo, se retira de la estufa y se coloca en un desecador para permitir su enfriamiento. Posteriormente, se vuelve a pesar la muestra y se repite este procedimiento hasta alcanzar un peso constante.

Cálculo:

$$\%H = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde

- ✓  $W_i$  = Peso inicial
- ✓  $W_f$  = Peso final

### **2. Densidad Relativa. (NTP 209.128:1980)**

#### **Procedimiento.**

Primero, se procedió a pesar el picnómetro vacío. Luego, se llenó completamente con la muestra y se tapó cuidadosamente para evitar la entrada de burbujas de aire. Acto seguido, se sumergió en un baño de agua a una temperatura controlada de 25°C ± 0,2°C, manteniéndolo allí durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, se retiró el picnómetro del baño y se secó meticulosamente con papel absorbente adecuado. Después, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos y finalmente se pesó con una aproximación de 0,1 mg.

### 3. Viscosidad Cinemática.

#### Procedimiento

Se introduce una muestra de 10 ml en un viscosímetro limpio y seco a través del tubo de mayor diámetro. Luego, se coloca el viscosímetro en un baño termostático y se espera aproximadamente 5 minutos para que la muestra alcance la temperatura de 25°C. Posteriormente, se succiona el aceite por encima de la marca superior del viscosímetro (ubicada en el tubo de menor diámetro) y se mide el tiempo que tarda en pasar entre las marcas A y B.

Calculo:

$$\frac{v}{\rho} = Kx t$$

Donde:

$v$  = Viscosidad cinemática (cSt ó mm<sup>2</sup>/s)

$K$  = Constante del viscosímetro que debe determinarse por calibración con un líquido de viscosidad conocida (por ejemplo, agua).

$t$  = Tiempo en que el menisco superior cae de la marca superior del viscosímetro a la inferior (de A a B).

$\rho$  = Densidad de la muestra de aceite. (g/ml)

#### 4. Índice de Acidez Libre. (NTP 209.004:1968)

##### **Procedimiento.**

Se procede a pesar 2 gramos de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Luego, se añaden 50 mL de una mezcla de etanol y éter etílico en una proporción de 1:2. Posteriormente, se agregan 3 gotas de indicador de fenolftaleína al matraz. Se procede a valorar la solución con una solución etanólica de KOH 0.1N hasta que se observe el cambio de color indicado por el indicador.

Calculo:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{56,1xVxN}{P}$$

Donde:

V = Volumen en ml de solución etanólica de KOH empleada

N = Normalidad exacta de la solución etanólica de KOH empleada.

P = Peso en gramos de la muestra empleada.

#### 5. Ácidos grasos libres. (AOAC 940.28. Cap 41. Pag.2 y 3. Edition 21.2019)

##### **Procedimiento.**

Primero, se pesan 2 gramos de muestra en un matraz. Luego, se añaden 50 ml de alcohol neutralizado al matraz. Se calienta el matraz y posteriormente se agregan 5 gotas del indicador fenolftaleína. A continuación, se titula la solución con NaOH 0.1 N, agitando vigorosamente hasta que aparezca el primer color rosado permanente, que debe ser de igual intensidad que el del alcohol neutralizado. Este color debe persistir durante al menos 30 segundos.

**Calculos:**

$$\% \text{ AGL (Ac. Oleico)} = \frac{N \times V \times 0,282 \times 100}{P}$$

Donde:

V = Volumen en ml de solución etanoica de NaOH empleada

N = Normalidad exacta de la solución etanolica de NaOH empleada.

P = Peso en gramos de la muestra empleada.

**6. Índice de Peróxido. (NTP 209.006:1968)****Procedimiento.**

Se pesó 2 g de la muestra en un erlenmeyer, luego se añade 30 ml de solución de ácido acético-Cloroformo (3:2), se agita el frasco hasta que la muestra se disuelva en la solución. Enseguida se añade 0,5 ml de solución saturada de KI y se deja en reposo por exactamente 1 minuto. Luego se agrega 50 ml de agua destilada y se valora con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N hasta que el color amarillo de la solución casi desaparezca, enseguida se agrega 0,5 ml de solución de almidón y se continúa la valoración hasta que desaparezca completamente el color.

**Cálculos:**

$$\text{Indice de Peróxidos} = \frac{N \times V \times 1000}{P}$$

Donde:

V = Volumen de Tiosulfato en mililitros consumido en la valoración.

N = Normalidad de la solución de tiosulfato.

P = peso en gramos de la muestra.

## 7. Índice de Saponificación. (NTP 209.058:1980)

### Procedimiento.

Se comienza pesando 2 gramos de muestra en un matraz, seguido por la adición de 25 mililitros de una solución etanólica de KOH 0.5 N. Luego se coloca un refrigerante de reflujo y se lleva la mezcla a ebullición, manteniéndola así durante 60 minutos y agitando ocasionalmente por rotación. Al finalizar este tiempo, se retira del calor y se añaden 4 o 5 gotas de fenolftaleína. La solución jabonosa se valora en caliente utilizando una solución de ácido clorhídrico 0.5N.

### Anexo 3. Caracterización del residuo de concreto calcinado.

- ✓ Determinación de calcio: Método Volumétrico con EDTA

Se pesó 0.1 g de muestra y se llevó a una fiola de 100 mililitros de volumen en seguida se agregó 10 mililitros de HCl 0,1 N se agitó y se enrazó con agua. De esta muestra se tomó 3 mililitros y se tituló con una solución de EDTA 0,02 N usando como indicador murexida hasta el cambio de coloración. (Souza et al. 2021)

Cálculos:

$$\% \text{ Ca} = \frac{N \cdot V \cdot 40}{2000} \times 100$$

W muestra

**Anexo 4. Determinación de fuerza básica y basicidad del catalizador obtenido a partir los residuos de concreto (Prueba de Hammett).**

Se emplearon tres indicadores: bromotimol azul ( $pK_{BH}=7,2$ ), fenolftaleína ( $pK_{BH}=9,8$ ) e Índigo de Carmin ( $pK_{BH}=12,2$ ). El método consistió en mezclar 0,1 g del catalizador con 2 ml de tolueno, que contenía 0,2 mg del indicador, agitando para observar el cambio de color entre las formas ácidas y básicas del indicador, lo que indicaba el rango de basicidad del material. Luego, se realizaron pruebas cuantitativas con 0,05 g de catalizador en suspensión en 2 ml de tolueno y fenolftaleína como indicador, observando el cambio de color que determinó la capacidad del catalizador. (Souza et al. 2021)

## Anexo 5. Fotografías del proceso del desarrollo de la investigación.

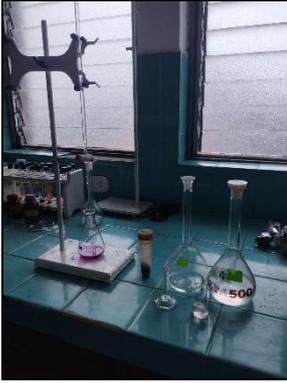
- Recolección y Caracterización del aceite de vegetal usado.



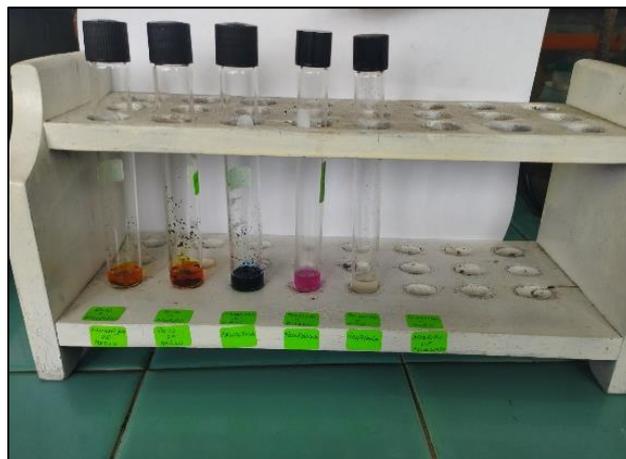
- Recolección y Caracterización de los residuos de concreto.



- Determinación del contenido de calcio (Método Volumétrico).



- Determinación de fuerza básica (Método Hammett).



- Catalizador a 700, 800 y 900 °C y Aceite Vegetal Usado caracterizados.



- Evaluación actividad catalítica del catalizador en la transesterificación del aceite vegetal usado.

Reactor de transesterificación

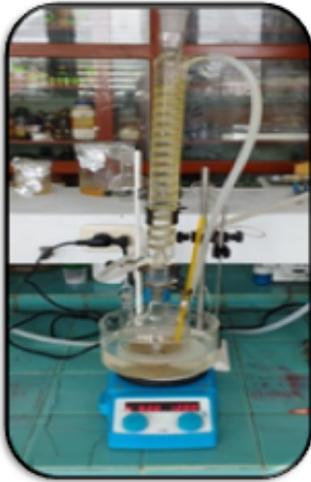
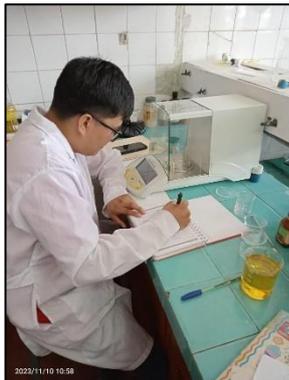


Tabla. Cantidad de reactivos usados en cada ensayo

ENSAYOS	TIEMPO	CC.	RM	PESO AVU	PESO METANOL	TEMPERATURA
1	120 min	3.5 g	6/1	50g	12,14g	60°C
2	120 min	4 g	6/1	50g	12,14	60°C
3	180 min	3.5 g	6/1	50g	12,14g	60°C
4	180 min	4 g	6/1	50g	12,14g	60°C
5	120 min	3.5 g	9/1	50g	18,21g	60°C
6	120 min	4 g	9/1	50g	18,21g	60°C
7	180 min	3.5 g	9/1	50g	18,21g	60°C
8	180 min	4 g	9/1	50g	18,21g	60°C

- Reacción de transesterificación.





- Filtración y separación de las dos fases, biodiesel y glicerina.



- Biodiesel obtenido respectivamente envasado.



- Determinación del índice de acidez del AVU.



- Determinación de la viscosidad del AVU.

