



**UNAP**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL USANDO  
CENIZA DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DEL  
*Oenocarpus bataua* COMO CATALIZADOR  
HETEROGÉNEO EN IQUITOS - 2022**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**MAYRA DENISSE DEL CASTILLO TAPULLIMA  
ROVINSON ANTONIO CHAVEZ GAVIDIA**

**ASESORES:**

**Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.  
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ  
2024**



**UNAP**

**Facultad de Ingeniería Química  
Unidad de Investigación**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001 -CGT-FIQ-UNAP-2024**

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 26 días del mes de Enero de 2024, a horas 11:00, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL USANDO CENIZA DEL RESIDUO AGROINDUSTRIAL DEL (*Oenocarpus batahua*) COMO CATALIZADOR HETEROGÉNEO EN IQUITOS - 2022"**, aprobado con Resolución Decanal N° 007-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Mayra Denisse Del Castillo Tapullima y Rovinson Antonio Chávez Gavidia**, 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° 278-2023-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ DE ARAUJO, Dra.	Miembro
Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.	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 12:00 se dio por terminado el acto de Sustentación

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

Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ DE ARAUJO, Dra.  
Miembro

Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.  
Miembro

Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.  
Asesor

Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.  
Asesor



**JURADO Y ASESOR**



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



.....  
**Ing. MARITZA ECHEVARRÍA ORDÓÑEZ de ARAUJO, Dra.**  
**Miembro**



.....  
**Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.**  
**Miembro**



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



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

NOMBRE DEL TRABAJO

**FIQ\_TESIS\_DEL CASTILLO TAPULLIMA\_  
CHAVEZ GAVIDIA.pdf**

AUTOR

**DEL CASTILLO TAPULLIMA / CHAVEZ G  
AVIDIA**

RECuento DE PALABRAS

**8103 Words**

RECuento DE CARACTERES

**41949 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**43 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**547.4KB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 6, 2024 8:54 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 6, 2024 8:55 AM GMT-5**

● **24% de similitud general**

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

- 22% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% 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

### **A DIOS.**

Por guiarnos hacia nuestros objetivos y sobre todo hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A mis padres **Roger e Irma.**

Por haberme apoyado siempre desde un inicio de la carrera, por instruirme con buenos valores, porque son el motivo de mi ímpetu en este camino a convertirme en profesional y como persona.

**MAYRA DENISSE DEL CASTILLO TAPULLIMA**

A mis padres **Luis Chávez y Florencia Gavidia** y también a mis hermanos, porque ellos han sido la inspiración para llegar al primer escalón de la meta.

**ROVINSON ANTONIO CHAVEZ GAVIDIA**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer profundamente a Dios, nuestro Señor, por permitirme realizar esta tesis satisfactoriamente, sin ningún accidente y que siempre me tiene bajo su total misericordia y bendición.

A la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, específicamente a la Facultad de Ingeniería Química, por haber sido parte de ella y por haberme brindado la oportunidad de realizar mi tesis, otorgándome el espacio en los laboratorios y los equipos necesarios para realizarla cómoda y satisfactoriamente.

A mis queridos asesores el Ing. Jorge Antonio Suárez Rumiche, Dr. y la Ing. Rosa Isabel Souza Najjar, Dr. por sus conocimientos otorgados, por sus apoyo incondicional y asesoramiento constante que me brindaron durante todo el periodo del desarrollo de la tesis, que sin ellos no hubiera sido posible realizar el trabajo de investigación.

Eterno agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Química por sus valiosas contribuciones en mi formación profesional.

De igual manera eterno agradecimiento a mis amigos que compartieron conmigo sus conocimientos, tristezas y alegrías y todos aquellos compañeros de estudios que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

La vida es maravillosa, y una de las principales características de ésta es que podamos compartir y deleitar con quienes amamos, podemos ayudar a quienes nos lo permiten; de la misma manera podemos recibir ayuda y guía a lo largo de nuestra vida. Es por ello que, a través de este trabajo de investigación, quiero engrandecer el trabajo de mis asesores, maestros, colegas, amigos, mis padres, mis hermanos y mi familia, quienes estuvieron presentes en el proceso de realización y desarrollo, gracias por su aporte a todos.

## ÍNDICE CONTENIDO

<b>PORTADA</b>	i
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b>	ii
<b>JURADO Y ASESOR</b>	iii
<b>RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD</b>	iv
<b>DEDICATORIA</b>	v
<b>AGRADECIMIENTO</b>	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	vii
<b>INDICE DE TABLAS</b>	viii
<b>RESUMEN</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	x
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO</b>	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases Teóricas	7
1.2.1. Transesterificación	7
1.2.2. Catálisis de la reacción de transesterificación.	7
1.2.3. Catalizadores usados en la reacción de transesterificación.	8
1.2.4. Residuos Agroindustriales en la reacción de transesterificación	12
1.3. Definición de terminos	13
<b>CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES</b>	15
2.1. Formulación de la hipótesis	15
2.2. Variables y su operacionalización	15
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA</b>	16
3.1. Tipo y diseño	16
3.2. Diseño Muestral	18
3.3. Procedimientos de recolección de datos.	18
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS</b>	30
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN</b>	34
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES</b>	38
<b>CAPITULO VII: RECOMENDACIONES</b>	39
<b>CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	41
<b>ANEXOS</b>	49
Anexo 1. Cálculo de la cantidad de metanol requerido para la reacción de transesterificación por cada corrida.	50
Anexo 2. Determinación del peso molecular del aceite vegetal usado (AVU).	51
Anexo 3. Cálculo del porcentaje de la masa (%m) de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Según la norma ASTM D7371-07.	52
Anexo 4. Preparacion del catalizador	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de estudio y sus niveles.	16
Tabla 2. Estudio de los efectos de las variables del diseño factorial 2 <sup>3</sup> .	17
Tabla 3. Cantidad de reactivo en cada ensayo	27
Tabla 4. Contenido de potasio y calcio en las cenizas de los residuos agroindustriales de ungurahui calcinadas (CRAUC).	30
Tabla 5. Características física y química del aceite usado (AVU)	30
Tabla 6. Rendimiento de la reacción de transesterificación usando el catalizador (CRAUC).	30
Tabla 7. Análisis de Varianza de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de Ungurahui (CCRAU).	31
Tabla 8. Prueba de Tukey de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de Ungurahui (CCRAU) para un nivel de confianza del 95%	31
Tabla 9. Análisis de varianza de la interacción entre los factores según el modelo de regresión factorial 2 <sup>3</sup> : Rendimiento versus TR, %CAT, RM, de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CCRAU).	32
Tabla10. Resumen del modelo regresión factorial 2 <sup>3</sup> : Rendimiento versus TR, %CAT, RM, de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CCRAU).	32
Tabla 11. Características físicas y químicas del biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI ( <i>Oenocarpus bataua</i> ).	34



## RESUMEN

En el presente estudio se muestra la investigación experimental para la obtención de biodiesel empleando cenizas de los residuos agroindustriales de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) calcinadas como catalizador heterogéneo en la transesterificación de aceites vegetales usados. Los residuos agroindustriales fueron colectados de la empresa Negocios Agroindustriales Loreto NALSAC y el aceite vegetal usado, de las instalaciones de la FUNDESAB. Se caracterizó físico y químicamente al aceite vegetal usado, obteniendo valores de humedad de 0,42% y grado de acidez de 0,62%. Los residuos agroindustriales de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) fueron llevados a la estufa a 90°C de temperatura por 120 minutos para eliminar la humedad, luego se pulverizaron, y finalmente fueron colocadas en la mufla a 700°C por 4 horas logrando obtener el catalizador CRAUC (Cenizas de residuos agroindustriales del unguurahui calcinada). A través del análisis de absorción atómica se determinaron la cantidad de potasio (12,04%) y calcio (6,24%). Los resultados muestran un rendimiento máximo de 81,76% de biodiesel usando 4% del catalizador, relación molar alcohol/ aceite 9/1 y tiempo de reacción de 120 minutos. El análisis de varianza muestra un p valor < 0.05 para un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , indicando diferencias significativas en los rendimientos de biodiesel obtenidos en los diferentes ensayos de la reacción. Se confirmó la presencia del grupo funcional éster mediante el análisis de espectroscopía infrarroja media con un máximo valor de 98,7 % V de metil éster en el biodiesel producido. Se concluyó que los residuos agroindustriales de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) tienen un gran potencial para ser usados como catalizadores heterogéneos en la reacción de transesterificación de aceites vegetales usados, por la presencia de potasio y calcio en su composición química.

**Palabras clave:** Biodiesel; Transesterificación; *Oenocarpus Bataua*; catalizador

## ABSTRACT

The present study shows the experimental research to obtain biodiesel using ashes from the agro-industrial waste of unguarui (*Oenocarpus bataua*) calcined as a heterogeneous catalyst in the transesterification of used vegetable oils. The agroindustrial waste was collected from the Negocios Agroindustriales Loreto NALSAC company and the used vegetable oil was collected from the FUNDESAB facilities. The used vegetable oil was physically and chemically characterized, obtaining humidity values of 0.42% and acidity level of 0.62%. The agro-industrial residues of unguarahui (*Oenocarpus bataua*) were taken to the oven at a temperature of 90°C for 120 minutes to eliminate moisture, then they were pulverized, and finally they were placed in the muffle at 700°C for 4 hours, obtaining the catalyst. CRAUC. Through atomic absorption analysis, the amount of potassium (12.04%) and calcium (6.24%) were determined. The results show a maximum yield of 81.76% of biodiesel using 4% of the catalyst, alcohol/oil molar ratio 9/1 and reaction time of 120 minutes. The analysis of variance shows 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. The presence of the ester functional group was confirmed by mid-infrared spectroscopy analysis with a maximum value of 98.7% V of methyl ester in the produced biodiesel. It was concluded that agroindustrial waste from unguarui (*Oenocarpus bataua*) has great potential to be used as heterogeneous catalysts in the transesterification reaction of used vegetable oils, due to the presence of potassium and calcium in its chemical composition.

**Keywords:** Biodiesel; Transesterification; *Oenocarpus Bataua*; catalyst

## INTRODUCCION

El aumento del consumo de combustibles que usamos diariamente como sociedad de consumo masivo, el cambio climático, el rápido crecimiento demográfico, la contaminación ambiental en los últimos tiempos, ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía que sean sostenibles y renovables (Amenaghawon, 2021). Por otro lado (A.N. Amenaghawon, 2022), sostiene que el biodiesel es un biocombustible cuya fuente de energía es renovable con diversos beneficios ambientales. Asimismo (Sanjay Basumatary, 2018), indica que el biodiesel se produce mediante una reacción de transesterificación obteniendo como producto ésteres de alquilo cuando los triglicéridos reaccionan con un alcohol de cadena corta con la finalidad de reducir la viscosidad y la densidad del aceite usado como materia prima. A nivel industrial la producción de biodiesel se realiza por catálisis homogénea básica, emplean como catalizadores hidróxidos sodio y potasio, la desventaja de este proceso es que en la etapa de purificación del biodiesel se usan grandes cantidades de agua y energía para secar el biodiesel lo cual eleva el costo de producción y tiene un impacto negativo en el medio ambiente.

Por otra parte, Las actividades agroindustriales generan grandes cantidades de residuos en los diversos procesos productivos ocasionando una serie de problemas ya que en su mayoría no tienen una disposición conveniente ni son tratados, lo cual propicia la degradación ambiental (ASTM D445-04, 2017).

Hoy en día uno de los mayores desafíos que tienen las grandes comunidades, es usar en forma adecuadamente y optima los residuos y convertirlos en diversos productos útiles para muchas aplicaciones. En los últimos tiempos es de interés el estudio de las cenizas derivadas de los residuos de la biomasa como catalizadores heterogéneos básicos en la producción de biodiesel (A. Talukdar and D. C. Deka,

2016), y son abundantes, de bajo costo, renovables y sostenibles (Bishwajit Changmai, 2019). Los residuos agrícolas son compuestos que presentan metales alcalinos como sodio, potasio y metales alcalinotérreos como calcio y mediante su la calcinación se obtienen sus respectivos óxidos y carbonatos. (B. Nath et al, 2019) Por lo antes mencionado, se considera significativo realizar estudios sobre la actividad catalítica de las cenizas obtenidos de la calcinación de los residuos agroindustriales del unguurahui (*Oenocarpus bataua*), fruta muy consumida en toda la amazonia peruana y según (Becerra, J. 2022) y contiene cantidades considerables de potasio y calcio.

La metodología del presente estudio comprende el análisis fisicoquímicas del aceite vegetal usado colectado de la escuela de gastronomía de Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (FUNDESAB).Determinación del contenido de calcio y potasio de las cenizas de los residuos de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) colectados en la empresa Negocios Agroindustriales Loreto SAC., que se dedica a la extracción de aceites vegetales de frutas nativas de la Amazonía generando residuos que no tienen ningún tratamiento previo antes de ser arrojadas al botadero municipal.

El problema General de la presente investigación es:

¿En qué medida será posible lograr la transesterificación del aceite vegetal usando la ceniza del residuo agroindustrial de *Oenocarpus bataua* (Ungurahui) como catalizador básico heterogéneo?

El objetivo general de la investigación es:

Evaluar la transesterificación del aceite vegetal usando la ceniza del residuo agroindustrial de *Oenocarpus bataua* (Ungurahui) como catalizador básico heterogéneo

## **CAPITULO I: MARCO TEORICO**

### **1.1. ANTECEDENTES**

En la actualidad está causando gran interés el estudio de las cenizas que proceden de los residuos agroindustriales para ser aplicados como catalizadores heterogéneos básicos en la síntesis de biodiesel, buscando reducir los impactos negativos en el ambiente que generan el uso de catalizadores básicos homogéneos y que sea viable producir biodiesel a bajo costo.

A nivel mundial se mencionan las siguientes investigaciones científicas.

En 2019, se desarrolló una investigación cuyo objetivo fue determinar el rendimiento catalítico de las cenizas obtenidas de la cáscara de naranja (OPA) usados como catalizador heterogéneo en transesterificación del aceite vegetal de soya en biodiesel. Las cáscaras de naranja fueron lavadas y cortadas en pequeños trozos, luego fueron secadas al sol por tres días. Después 50 g de cáscara seca de naranja se quemaron al aire libre por un tiempo de 30 minutos y después fueron molidas para obtener cenizas de cáscara de naranja. Para la transesterificación se colocaron en un balón 14 g de aceite de soya, 4 mililitros de metanol (RM: 6:1) y 1 g de catalizador (7% con respecto al peso del aceite) enseguida se agitó a temperatura ambiente durante 7 horas. Los resultados de la caracterización de las cenizas indican presencia de potasio (14,67%) y calcio (7,34%) y la conversión en biodiesel fue de 98%. Los autores concluyeron que, la presencia del potasio y el calcio como principales componentes en forma de óxidos lo hace muy básico y potencialmente puede reemplazar a los catalizadores homogéneos básicos convencionalmente usados en la transesterificación. (Bravo, R. 2020)

En el 2019, se realizó un trabajo de investigación cuya finalidad fue aprovechar los residuos de la planta Brassica nigra (mostaza negra) empleándolo como catalizador en la transesterificación del aceite de soja para producir biodiesel. El catalizador se preparó mediante la calcinación de las cenizas obtenidas después de quemar los residuos secos de la planta Brassica nigra (mostaza negra), luego se caracterizó utilizando técnicas instrumentales como XRD en polvo, FT-IR, BET, XRF, SEM EDX. El análisis del catalizador indicó presencia de potasio (56,13% en peso) como el componente principal seguido del calcio (26,04% en peso) en forma de óxido, carbonato y cloruro. El catalizador mostró una notable actividad catalítica en la conversión de aceite de soja en biodiesel con un rendimiento del 98,79% empleando una relación aceite/ metanol 12:1 con 7% en peso de catalizador en un tiempo de 25 minutos a una temperatura de 65°. La investigación concluyó que la ceniza derivada de Brassica nigra (mostaza negra) es un producto con alto potencial como catalizador heterogéneo reciclable para obtener biodiesel, la presencia de potasio como carbonato y óxido fue importante para realizar la reacción de transesterificación. (DEL CASTILLO SIAS, 2019)

En 2019, se desarrolló otra investigación con la finalidad de elaborar un catalizador a partir de residuos de la cáscara de tucumá para ser empleado en la producción de biodiesel. Las cáscaras de tucumá fueron calcinadas a 800 °C y caracterizadas por WDXRF mostrando que es un compuesto constituido principalmente por K, P, Ca y Mg. El aceite de soja refinado fue caracterizado por su índice de acidez. La actividad catalítica se evaluó mediante transesterificación de aceite de soja con metanol, empleando 1% p/p de catalizador, relación molar metanol/aceite de 15:1, tiempo de reacción de 4 horas a 80 °C de temperatura, produciendo biodiesel con

alta conversión de aceite. El valor del índice de acidez del aceite fue de 0.45 mg de KOH/g, la presencia de potasio y calcio en el catalizador fue de (63,81%) y (12,67%) respectivamente, se obtuvo valores superiores al 97% en la conversión del aceite en biodiesel. La investigación concluye que es factible producir un compuesto eficaz y de bajo costo para producir biodiesel. (Mendonça I.M. 2019)

En el 2022, se ejecutó el estudio de investigación con la finalidad de evaluar la producción de biodiésel, empleando residuos de cáscaras de naranja como catalizador en la reacción de transesterificación del aceite refinado de palma (RBD) y aceite usado de cocina (AUC), en una relación 50/50 wt%. Para la transesterificación se usó un reactor batch con reflujo empleando en los ensayos una relación molar metanol/ aceite de 6:1, 9:1, 12:1, catalizador 1, 3 y 5%, el tiempo de reacción fue de 120 min a una temperatura de 60 °C y 600 rpm de agitación. Se aplicó un diseño factorial  $3^2$  empleando el software design-expert. El resultado de la prueba de colorimetría Hammett del catalizador sólido presentó una fuerza básica de ( $9.8 \leq pK_b < 10.1$ ); la mezcla de los aceites presentó 0,03% de ácidos grasos libres, el rendimiento óptimo de biodiésel fue del 86,9% con una relación metanol: aceite de 9:1 y 5 wt% de catalizador. El trabajo concluyó que la presencia de potasio y calcio en las cáscaras de naranja aportan una fuerza básica apropiada permitiendo obtener buenos rendimientos en la producción de biodiésel. (Becerra, J. 2022)

A nivel nacional se mencionan las siguientes investigaciones científicas.

En 2021, se realizó un estudio de investigación cuya finalidad fue obtener biodiesel utilizando las cenizas de la cáscara de plátano de *Musa x paradisiaca* L de la variedad "valery" calcinadas como catalizador heterogéneo en la reacción de transesterificación de aceites vegetales usados. Mediante la calcinación de las cenizas de la cáscara de plátano a 700°C por 4 horas obtuvo el catalizador CCPC. El contenido de humedad de 0.42% y grado de acidez de 0.27% del aceite vegetal usado, le permitió aplicar una transesterificación directa. Los resultados del contenido de potasio y calcio en el catalizador CCPC fue de 515.02 mg/Kg y 41.14 mg/Kg respectivamente. Obtuvo un rendimiento máximo en biodiesel de 90.17% usando 4% de catalizador, relación molar alcohol/ aceite 9/1 y tiempo de reacción 90 minutos. El resultado del análisis de espectroscopía infrarroja media (FITR-ATR-PLS) del biodiesel obtenido, confirmó la conversión máxima de 91,565 % m en metil éster (FAME). La investigación concluyó, que debido a la presencia de potasio y calcio en las cenizas de la cáscara de plátano calcinadas en cantidades apropiadas presentan un gran potencial para ser utilizados como catalizador en la producción metil éster empleando aceites vegetales usados. (Souza Nájar, R. I. 2021)

A nivel local no se registran investigaciones científicas sobre la producción de biodiesel que empleen cenizas de los residuos agroindustriales *oenocarpus bataua* (ungurahui) como catalizador heterogéneo básico.



## **1.2. Bases Teóricas**

### **1.2.1. Transesterificación**

La transesterificación, es el proceso donde los triglicéridos que se encuentran en los aceites o grasas reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador idóneo que acelere la reacción, este catalizador puede ser homogéneo o heterogéneo para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos conocido como biodiesel o FAME y obteniendo glicerol como subproducto. (Gohain M; Devi, A; Deka D. 2017)

El biodiesel es un combustible renovable compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales, que pueden ser usados en motores de ignición de compresión. (Díaz, A. 2016)

### **1.2.2. Catálisis de la reacción de transesterificación.**

Conforme a la estequiometria la reacción de transesterificación se produce entre un mol de triglicéridos con tres moles de alcohol obteniendo como productos tres moles de ésteres y un mol de glicerol, como se muestra en la figura 1. (K. L. Man, T.2010)

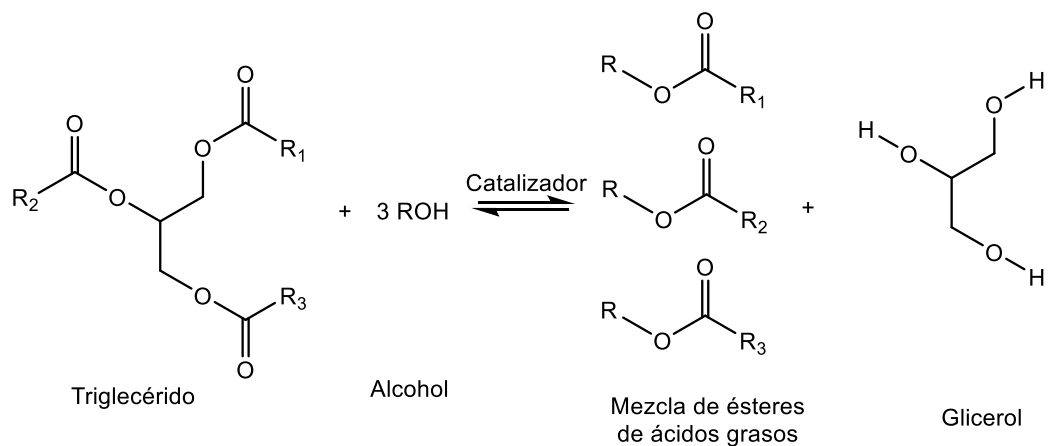


Figura 1. Reacción de esterificación

La reacción de transesterificación consiste en tres fases en cada fase se produce un éster alquílico y el triglicérido secuencialmente pasa a diglicérido luego monotriglicérido y finalmente a glicerol. Asimismo, menciona que la transesterificación es una reacción de equilibrio y para alcanzar altos rendimientos de ésteres es necesario usar exceso de alcohol y de un catalizador para que aumente la velocidad de reacción y disminuya la energía de activación y ocurra la reacción en menor tiempo. (K. L. Man, T.2010)

### 1.2.3. Catalizadores usados en la reacción de transesterificación.

#### Catálisis Homogénea.

A nivel industrial es la más utilizada, esto se debe a factores como el uso de velocidades altas, altas conversiones logradas y disponibilidad y bajo costo de los catalizadores, normalmente hidróxido o metóxido de sodio o de potasio. Pero este método tiene como desventaja, que durante el proceso de purificación del biodiesel se emplean grandes cantidades de energía y agua,

elevando el costo de producción afectando negativamente al medio ambiente. (Mohammed, N.I.2018)

La catálisis homogénea básica consiste en producir un alcóxido nucleofílico a partir del alcohol (ver figura 2) que luego ataque la parte electrofílica del grupo carbonilo (Mohammed, N.I.2018)

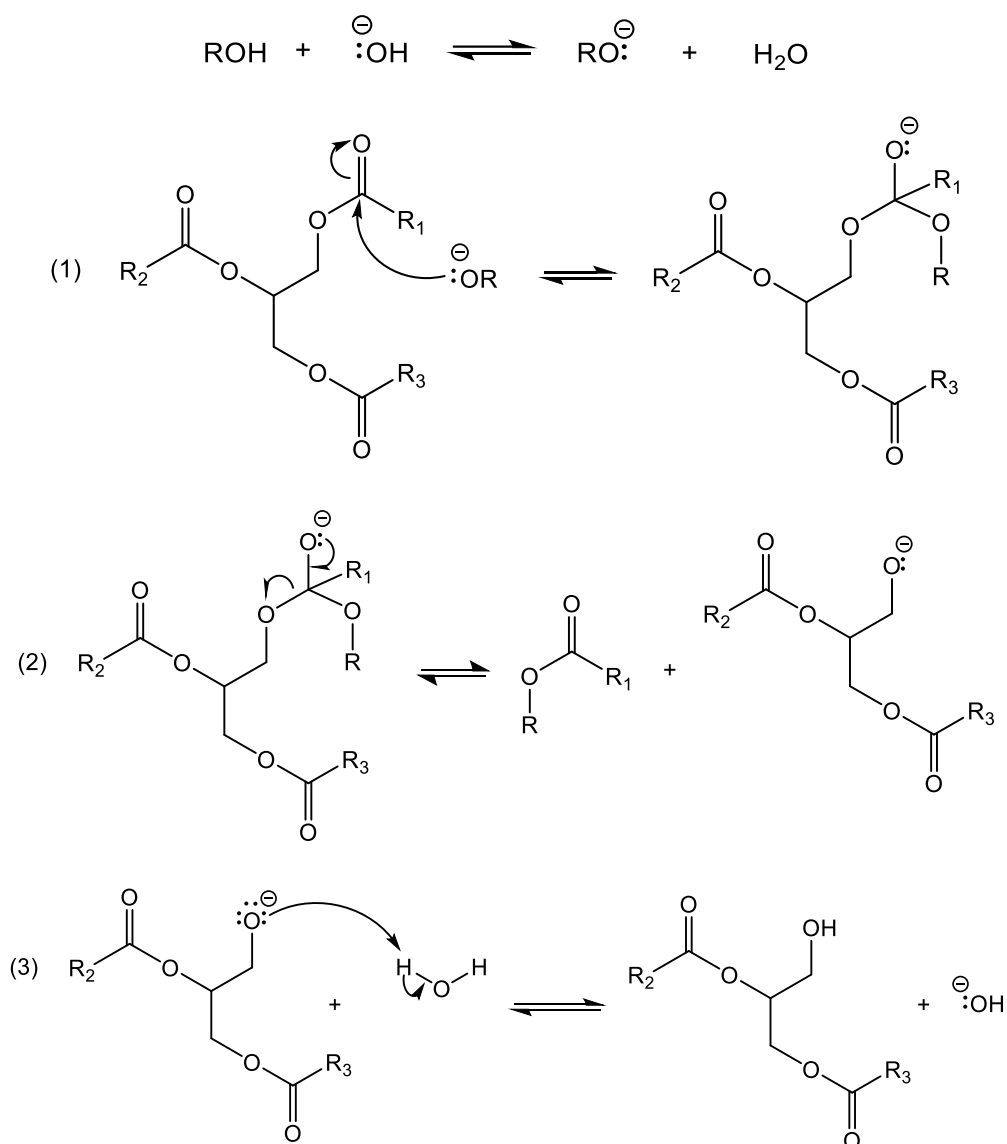
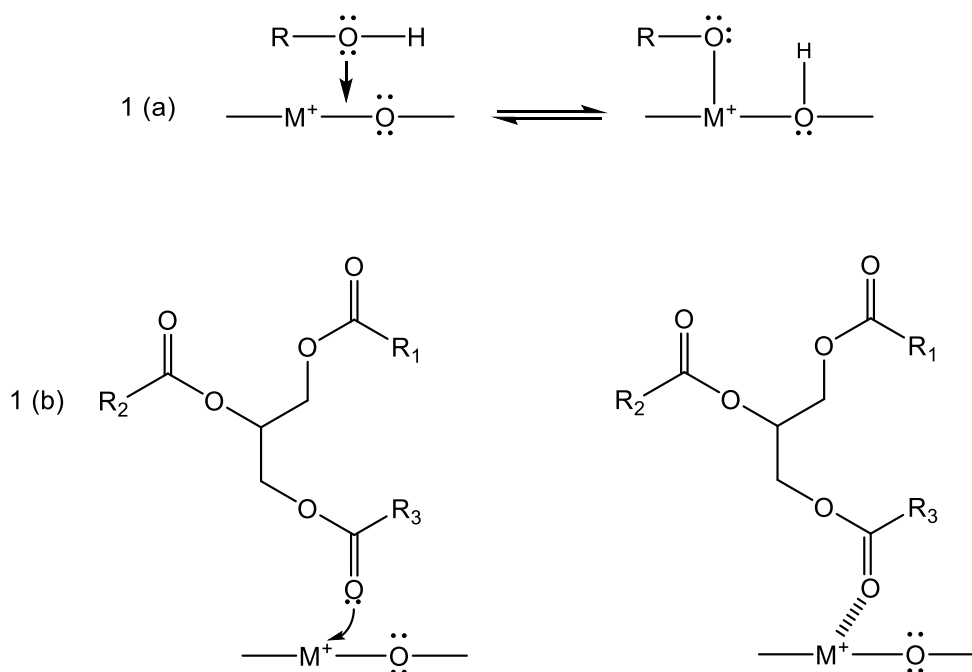


Figura 2. Mecanismo de la transesterificación básica homogénea. (Mohammed, N.I.2018)

## Catálisis Heterogénea

La perspectiva de la catálisis heterogénea en la reacción de transesterificación es de reducir los problemas de separación de productos y catalizadores, que se presentan en la catálisis homogénea básica, empleando catalizadores sólidos recuperables. Los catalizadores sólidos básicos comúnmente empleados son los óxidos de metales alcalinotérreos, y cuyo paso fundamental es la formación de funciones alcóxidos. En este tipo de catálisis, la adsorción de especies y la desorción de productos se realiza en la superficie del catalizador. En la figura 3 El mecanismo consiste en la adsorción del alcohol en el sitio catalítico para formar un anión alcoxi (RO<sup>-</sup>), que luego esta especie ataca al carbono positivamente polarizado del triglicérido en la fase líquida produciendo el intermedio tetraédrico (2). Un éster del ácido graso se produce y un diacilglicérido es el producto en el último paso. (Mohammed, N.I.2018)



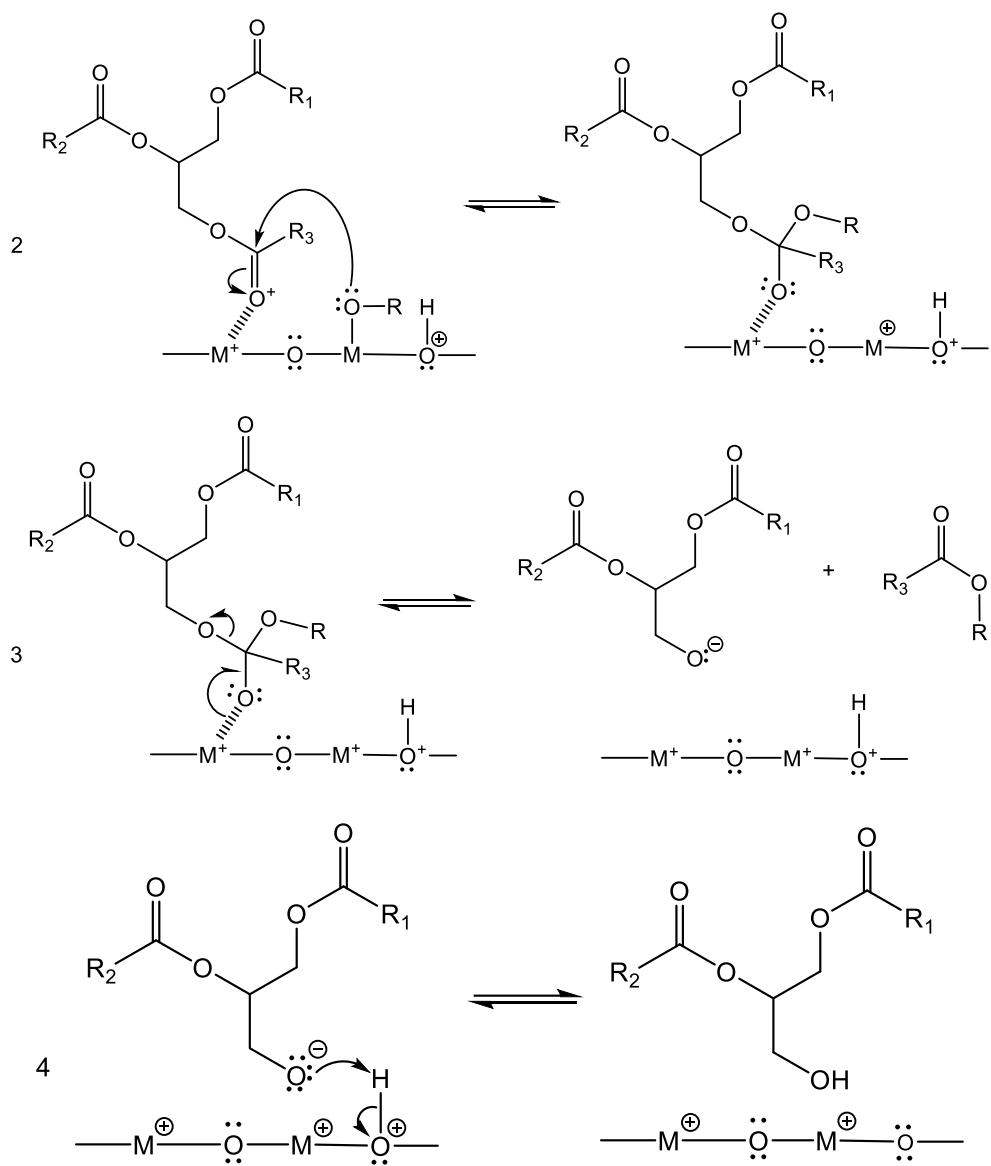


Figura 3. Transesterificación heterogénea básica. (Mohammed, N.I.2018)

### **Catálisis Enzimática.**

Las enzimas usadas como biocatalizadores en la reacción de transesterificación son las lipasas y entre las ventajas de su uso es que la transesterificación se produce a temperaturas bajas, realizan la esterificación de ácidos grasos libres, no forman jabones. Pero una de las grandes desventajas es que presentan conversiones a ésteres relativamente bajas. (Sánchez Faba, E.M.2018)

### **Catalizadores heterogéneos basados en biomasa**

El estudio de catalizadores heterogéneos a partir de fuentes renovables ha recibido interés debido a su naturaleza básica de los constituyentes carbonosos dentro de estos materiales, como son las conchas de marisco, huesos de animales y residuos industriales. El bajo costo de estos materiales, su fácil recuperación y reutilización, poder operar en condiciones de reacción similares a las el de la transesterificación alcalina convencional hace que este método sea prometedor y viable. (Sánchez Faba, E.M.2018)

#### **1.2.4. Residuos Agroindustriales en la reacción de transesterificación**

Actualmente, los residuos agrícolas se estudian considerablemente para el desarrollo sostenible de productos y procesos de valor agregado, y potencialmente su uso es como catalizadores heterogéneos básicos en reacción de transesterificación para obtener biodiesel, que están teniendo gran interés mundialmente. Los

catalizadores derivados de residuos agrícolas son accesibles, son fáciles de usar y preparar, fácil de manipular, biodegradable, menos tóxico, más ecológico, más económico y renovables. El rendimiento de catalizadores heterogéneos derivados de varios residuos agrícolas en la síntesis de biodiesel a partir de diferentes materias primas ha producido rendimientos notables de ésteres metílicos. (Official Methods of Analysis: 2012)

### 1.3. DEFINICION DE TERMINOS

- ❖ **Aceite vegetal usado (AVU).** Se refiere al aceite generado en establecimientos comerciales de comida o residencias que ha pasado por un proceso térmico para la cocción de alimentos, lo cual cambia las características propias del aceite original. (Normas Técnicas Peruanas 209.001:1983.2012)
- ❖ **Ungurahui (*Oenocarpus bataua*).** Es una palmera nativa de 15 a 25 m de altura, arraigada a un racimo que, en conjunto, es empleada tradicionalmente de diversas maneras por las comunidades amazónicas. (Gonzáles Coral A.2019)
- ❖ **Residuos.** Constituyen aquellos materiales cuyo generador desecha o rechaza debido a que sus características no permiten emplearlo nuevamente en la actividad que lo generó, y comúnmente carecen de valor económico. (Gonzáles Coral A.2019)

- ❖ **Reciclaje.** Proceso cuyo objetivo es transformar a los desechos en otros productos o en materia prima para luego darle uso en algún proceso de fabricación, evitando de esta manera el aumento de residuos. (K. Nelson, 2020)
  
- ❖ **Actividad Catalítica.** Se refiere a la velocidad con el cual se induce a la reacción a seguir hacia el equilibrio químico y puede definirse como la propiedad de aumentar la velocidad de reacción con respecto a la manifestada sin catalizador, en las mismas condiciones de temperatura, presión, concentración. (O.A. Falowo, E.2022)
  
- ❖ **Catalizador.** Sustancia que disminuye la energía de activación necesaria, facilitando la transformación química. (O.A. Falowo, E.2022)



## CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

#### Hipótesis General

Las cenizas de los residuos agroindustriales de la *Oenocarpus bataua* (ungurahui) empleados como catalizadores heterogéneos presentan actividad catalítica en la transesterificación del aceite vegetal usado.

### 2.2. Variables y su operacionalización

Variable	Definición	Tipo por naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categorías	Valores de las categorías	Medio de verificación
<b>Independientes</b>							
Cantidad de catalizador	Cantidad estequiometría entre el metanol y aceite usado en la reacción de transesterificación	Continua	Porcentaje en peso de unguurahui / peso de aceite usado	Numérica	Valores de Moles de metanol/mol es de aceite usados en la reacción	RM1=6 RM2=9	Cuaderno de laboratorio
Relación molar metanol/aceite	Cantidad de ceniza de unguurahui en relación al peso del aceite	Continua	Mol de metanol/ mol de aceite	Numérica	Valores Porcentuales en peso de Ungurahui por peso de aceite usado	CC1= 3 CC2= 4	Cuaderno de laboratorio
Tiempo de reacción	Tiempo estimado que dura la reacción de transesterificación	Continua	Minutos que dura la reacción	Numérica	Valores en minutos que dura la reacción	T1= 90 T2= 120	Cuaderno de Laboratorio
<b>Dependiente:</b>							
Actividad catalítica	Cantidad porcentual de biodiesel obtenido a partir de una cantidad determinada de aceite	Continua	Rendimiento en biodiesel. Porcentaje en peso de biodiesel obtenido por peso de aceite usado	Numérica	Valores Porcentuales en peso de biodiesel obtenido por peso de aceite usado	0 a 100 %	Cuaderno de Laboratorio

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño

La investigación realizada es de tipo descriptivo y experimental respectivamente. Es descriptivo por que se caracterizó física y químicamente el aceite vegetal usado y la calidad del biodiesel y es experimental ya que se alteraron las variables para determinar la actividad catalítica del catalizador elaborado de los residuos agroindustriales de *Oenocarpus bataua* (ungurahui) en la reacción de transesterificación como, la relación molar aceite/ metanol, tiempo de reacción y cantidad de catalizador. En la tabla 1. Se muestran las variables y sus dos niveles de estudio.

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	90	120
Concentración del Catalizador (CC)	3%	4%

Factores intervinientes:

Temperatura : 60°C

Velocidad de Agitación : 600 rpm

#### Diseño de experimento.

El diseño experimental relaciona un diseño factorial  $2^3$ , este diseño presenta tres variables de estudio: relación molar alcohol/aceite (RM) evaluado en dos niveles 6:1 y 9:1, concentración del catalizador (CC) el cuál fue evaluado en dos niveles 3% y 4% y tiempo de reacción (TR) con dos niveles evaluados de 90 y 120 minutos. Por otro lado, se consideraron los factores intervinientes a la temperatura de reacción 60 °C y velocidad de agitación 600 rpm. Se desarrollaron 8 ensayos por triplicado produciendo un total de 24 ensayos. Se

aplico un análisis de varianza (ANOVA), prueba de Tukey y análisis de diseño factorial para determinar cuál es la incidencia de las variables en estudio en los resultados de los rendimientos alcanzados en biodiésel. Se usará el software MIITAB 19

### **Planteamiento de los ensayos del diseño 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. Estudio de los efectos de las variables del diseño factorial 2<sup>3</sup>

<b>Ensayo</b>	<b>Relación Molar</b>	<b>Tiempo de reacción</b>	<b>Concentración del Catalizador</b>
1	+	-	-
2	-	-	-
3	+	+	-
4	-	+	-
5	+	-	+
6	-	-	+
7	+	+	+
8	-	+	+

### **3.2. Diseño Muestral**

#### **Población y muestra.**

Estuvo constituida por el residuo agroindustrial de *Oenocarpus bataua* (ungurahui) y el aceite vegetal usado (AVU) originados en la empresa Negocios Agroindustrial Loreto NALSAC y en el FUNDESAB, Centro de estudios gastronómico de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana respectivamente.

### **3.3. Procedimientos de recolección de datos.**

#### **3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recolección de los residuos agroindustriales de Ungurahui (*Oenocarpus bataua*), fueron colectados en la empresa agroindustrial NALSAC la cual los desecha para el recojo del basurero municipal después de la extracción de aceite de los frutos, enseguida se le trasladaron al laboratorio de Análisis Químicos Industriales para su tratamiento y posterior uso.

#### **3.3.2. Preparación del Catalizado a partir de los residuos agroindustriales de Ungurahui (*Oenocarpus batana*).**

Los residuos agroindustriales del unguurahui (*Oenocarpus batana*), después de ser colectados fueron secados a una temperatura de 90 °C por un tiempo de 2 horas, y luego fueron calcinados en una mufla a una temperatura de 700°C por un tiempo de 4 horas. Las cenizas del residuo agroindustrial de unguurahui (*Oenocarpus batana*) calcinadas (CRAUC) se pulverizaron hasta obtener partículas finas usando mortero y pilón y luego se guardaron en un

recipiente de plástico para su caracterización y uso posterior como catalizador en la reacción de transesterificación. (Souza Nájjar, R. I. 2021)

#### **Determinación de potasio y calcio en el catalizador (CRAUC).**

La cantidad de potasio y calcio se determinaron por absorción atómica en el laboratorio de Análisis de Suelos Aguas y Foliareos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo.

#### **3.3.3. Aceite vegetal usado (AVU).**

El aceite vegetal usado (AVU) fue recolectado de los ambientes de la FUNDESAB, generados por la escuela de Gastronomía de la UNAP, para luego ser llevado al laboratorio de Análisis Químicos Industriales para su acondicionamiento, caracterización y posterior uso.

#### **Caracterización física y química del aceite vegetal usado (AVU).**

Mediante la determinación de una serie de parámetros físico químicos, se caracterizó el aceite recolectado, empleando según la metodología de la Normas Técnicas Peruanas 209.001:1983 (revisada 2012), Métodos Oficiales de Análisis (AOAC. 2012) y Métodos Estándares de Materiales. El peso molecular del (AVU) se calculó con los valores del índice de acidez y de saponificación. (Bravo,R. 2020)

**Determinación de Humedad.** Es la cantidad de agua libre en la muestra.

Se aplicó el método de la Norma Técnica Peruana (NTP 209.004:1968(revisada 2016))

**Equipos y materiales.**

- ✓ Balanza analítica digital con resolución 0.1mg
- ✓ Estufa con regulador de temperatura (0-200 °C)
- ✓ Capsula de porcelana.
- ✓ Placas de base plana de diámetro  $a \geq 5\text{cm}$  con tapa.
- ✓ Desecador de vidrio con agente desecante.

**Procedimiento**

Se peso 10 g de muestra en una cápsula de porcelana y se llevo a la estufa (105°C) por un tiempo de 2 horas, terminado el tiempo se coloco en un desecador para que se enfríe, luego se peso, se repitio este procedimiento hasta obtener peso constante.

Cálculo:

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

Donde

$W_i$  = Peso inicial

$W_f$  = Peso final

**Densidad.** Se determina la masa de la unidad de volumen. Se aplicó el método de la Norma Técnica Peruana (NTP 209.128:1980) revisada el 2012.

## **Materiales**

- ✓ Picnómetro con termómetro de 10 mililitros.
- ✓ Baño de agua, con regulador de temperatura, ajustado a  $25^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Estufa, con regulador de temperatura. Termómetro, con divisiones de  $0,1^{\circ}$  ó  $0,2^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Balanza analítica, sensible a 0,1 mg.

## **Procedimiento.**

Se pesó el picnómetro y luego se llenó completamente con la muestra de aceite, se tapó cuidadosamente evitando la inclusión de burbujas de aire. En seguida se lo sumergió en el baño de agua a  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  y se mantuvo allí durante 30 minutos. Pasado el tiempo se sacó el picnómetro del baño y se secó con papel absorbente adecuado. Se enfrió a temperatura ambiente durante 30 minutos, finalizado y se pesó.

**Viscosidad Cinemática.** Es la resistencia que presenta un fluido al flujo bajo gravedad. Se aplicó el método de Métodos Estándares de Materiales (ASTM D445-04. 2017)

## **Materiales**

- ✓ Viscosímetro de Oswald
- ✓ Cronómetro
- ✓ Vasos de vidrio de 100 mililitros.

## Procedimiento

Se colocó en el viscosímetro limpio y seco 10 ml de muestra, a través del tubo de mayor diámetro, se colocó el viscosímetro en el baño termostático y esperó unos 5 minutos para que el líquido problema alcance la temperatura de 40 °C. Se succiono el aceite por encima de la marca superior del viscosímetro (tubo de menor diámetro) y finalmente se controló el tiempo de paso del aceite 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).

ρ = Densidad de la muestra de aceite. (g/ml)

**Índice de Acidez** .Expresa el peso de KOH en miligramos necesarios para neutralizar un gramo de grasa. Se desarrolló el método de la Norma Técnica Peruana (NTP 209.004:1968) (revisada el 2011)

## Materiales.

- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 mililitros.
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Soporte Universal, bureta, Probetas.



### **Procedimiento.**

Se peso 2 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se añadió 50 mL de una mezcla etanol - éter etílico (1:2), enseguida se agregó 3 gotas de indicador de fenolftaleína y se valoró con una solución etanólica de KOH 0.1N, hasta el cambio de color del 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.

**Ácidos grasos libres.** Indica el contenido en porcentaje de ácidos grasos libre. Se usó el método de la AOAC 940.28. Cap 41. Pag.2 y 3. Edition 21.2019.

### **Materiales.**

- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 mililitros.
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Soporte Universal, bureta, Probetas.

### **Procedimiento.**

Se peso 2 g de muestra en un matraz, inmediatamente se agrego 50 ml de alcohol neutralizado, se calentó el matraz, se añadió 5 gotas del indicador fenolftaleína: Se tituló con NaOH 0.1 N moviendo constantemente hasta la aparición del primer color rosado permanente de igual intensidad que el del alcohol neutralizado.

### **Calculos:**

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

Donde:

V = Volumen en ml de solución etanólica de NaOH empleada

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

P = Peso en gramos de la muestra empleada.

**Índice de Peróxido.** Se refiere a los miliequivalentes de oxígeno activo contenidos en un kilogramo de materia grasa. Se empleó el método de la Norma Técnica Peruana (NTP 209.006:1968) (Revisada al 2011)

### **Materiales**

- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 mililitros.
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Soporte Universal, bureta, Probetas.

### **Procedimiento.**

Se peso 2 g de la muestra en un matraz erlenmeyer, se agrego 30 ml de solución de ácido acético-Cloroformo (3:2), se agito el frasco hasta que la muestra se disolvio en la solución. Inmediatamente se se agrego 0,5 ml de solución saturada de KI y se dejo en reposo por 1 minuto. Se agrego enseguida 50 ml de agua destilada y se valoro con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N hasta que el color amarillo de la solución casi desaparecio, enseguida se agrego 0,5 ml de solución de almidón y se continuo la valoración hasta que desaparecio 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.

**Índice de Saponificación.** Se refiere al peso en miligramos de KOH necesario para saponificar 1 gramo de grasa. Se empleo el método de la Norma Técnica Peruana (NTP 209.058:1980) (Revisada al 2011).

### **Materiales**

- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 mililitros.
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Soporte Universal, bureta, Probetas.

### **Procedimiento.**

Se pesó en un matraz 2 g de muestra, se agregó 25 mililitros de solución etanólica de KOH 0.5 N. Luego se adaptó el refrigerante de reflujo, se llevó a ebullición durante 60 minutos con agitación por rotación de cuando en cuando. Terminado el tiempo se retiró de la fuente de calor. Se añadió 4 ó 5 gotas de fenolftaleína, y valoró en caliente la solución jabonosa con una solución de ácido clorhídrico 0.5 N.

### **Transesterificación del aceite vegetal usado.**

La reacción de transesterificación para la síntesis de biodiesel se realizó a nivel de laboratorio. En un balón de fondo plano de tres bocas de capacidad de 250 mL acoplado a un sistema de reflujo se colocó 50 g de (AVU). El sistema se llevó a una temperatura de 100 °C y luego se dejó enfriar hasta una temperatura de 60 °C, añadió el metanol de acuerdo a la cantidad de cada ensayo, la mezcla metanol /aceite se agitó por un tiempo de 5 minutos y enseguida se agregó la carga del catalizador (CRAUC) con una velocidad de agitación de 600 rpm. La reacción se realizó hasta el tiempo requerido de cada ensayo manteniendo. El sistema estuvo colocado en baño maría sobre una plancha de calentamiento con agitador magnético (M. Balajii and S. Niju.2019), Al finalizar el tiempo de reacción, en el producto obtenido se aprecia tres fases; biodiésel (superior) glicerina (media) y catalizador (inferior), enseguida se recuperó el catalizador (CRAUC) por filtración mediante el empleo de un embudo de separación. (Souza Nájar, R. I. 2021).

### Cantidad de reactivo.

En cada ensayo se empleó 50 gramos de aceite vegetal usado (AVU), de acuerdo a la estequiometría de la reacción de transesterificación y al diseño experimental en la Tabla 3 se indican las cantidades de los reactivos usados.

Tabla 3. Cantidad de reactivo en cada ensayo

Ensayo	Relación molar Alcohol/Aceite (RM)	Tiempo de reacción (TR)	Concentración del catalizador (CC)	Peso aceite vegetal usado	Peso alcohol Metílico	Peso catalizador (CRAUC)	Temperatura reacción
	Mol/mol	min	%	g	g	g	°C
1	9/1	90	3	50	17,05	1,5	60
2	6/1	90	3	50	11,34	1,5	60
3	9/1	120	3	50	17,05	1,5	60
4	6/1	120	3	50	11,34	1,5	60
5	9/1	90	4	50	17,05	2,0	60
6	6/1	90	4	50	11,34	2,0	60
7	9/1	120	4	50	17,05	2,0	60
8	6/1	120	4	50	11,34	2,0	60

### Separación de fases y purificación del biodiesel

La mezcla biodiésel / glicerina se trasladó a un pera de decantación por un tiempo de 12 horas, para que las dos fases formadas por biodiésel y el glicerol se establezcan completamente. Transcurrido el tiempo se separó el glicerol y el biodiésel producido, al biodiesel se llevó a una plancha de calentamiento para eliminar el metanol que no reacciono. Luego el biodiesel purificado se almaceno para su posterior caracterización. (Amenaghawon, A.N.2021)

### **Evaluación de la actividad del catalizador (CRAUC)**

En la reacción de transesterificación se evaluó la actividad catalítica del catalizador (CRAUC) mediante el cálculo del porcentaje del rendimiento en biodiésel.

La relación entre la masa de biodiésel producido y la masa del aceite vegetal usado (AVU) empleado en la reacción, multiplicado por 100 expresa el rendimiento (ASTM D445-04.2017). Ecuación (1).

$$\%Rendimiento = \frac{\text{gramos de biodiesel producidos (gr)}}{\text{Aceite vegetal usado (gr)}} \times 100 \dots (1)$$

### **Calidad del biodiésel obtenido empleando el catalizador (CRAUC)**

Mediante los análisis de los parámetros de la viscosidad cinemática, porcentaje en volumen de esteres metílicos de ácidos grasos (FAME), el índice de acidez y la densidad se determinaron la calidad del biodiésel obtenido.

<b>METODOS</b>	<b>DEFINICION</b>
Densidad	Se determina la masa de la unidad de volumen.
Viscosidad cinemática	Es la resistencia que presenta un fluido al flujo bajo gravedad.
Índice de acidez	Expresa el peso de KOH en miligramos necesarios para neutralizar un gramo de masa.
Ácidos grasos	Indica el contenido en porcentaje de ácidos grasos.

### **Análisis de datos.**

La información fue recopilada en tablas y cuadros y procesada por comparación con estándares establecidos, los resultados fueron analizados mediante análisis de varianzas y prueba de Turkey para observar diferencias existentes empleado el paquete estadístico MINITAB 19

## CAPITULO IV:

### RESULTADOS

Tabla 4. Contenido de potasio y calcio en las cenizas de los residuos agroindustriales de ungurahui calcinadas (CRAUC).

Determinaciones	Promedio
Potasio (K) %	12,04
Calcio (ca) %	6,24

Tabla 5. Caracterización Física y Química del Aceite Vegetal Usado (AVU).

Determinaciones	Promedio	DS
Humedad (%)	0,76	±0,022
Densidad (g/ml) a 15°C	0,92	±0,001
Viscosidad Cinemática (cSt) a 40 °C	49,87	±1,046
Índice de Acidez (mg de KOH/ g aceite)	1,24	±0,011
Grado de Acidez (% Ácido Oleico)	0,62	±0,005
Índice de Peróxido (mEq O <sub>2</sub> /Kg aceite)	11,66	±0,08
Índice de Saponificación (mg KOH/g aceite)	321,08	±3,680
Peso molecular (g/mol) *	575,2	±0,011

\*Calculo: Anexo

Tabla.6. Rendimiento de la reacción de transesterificación usando el catalizador (CRAUC).

Ensayo	TR	CAT.(g)	RM	Promedio	Desv.Est.
1	90	2	9/1	81.36	0.867
2	90	2	6/1	72.49	0.64
3	120	2	9/1	81.76	0.434
4	120	2	6/1	64.94	0.903
5	90	1.5	9/1	54.92	0.249
6	90	1.5	6/1	74.98	0.374
7	120	1.5	9/1	63.21	0.382
8	120	1.5	6/1	60.75	0.835



Tabla 7. Análisis de Varianza de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CCRAU).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Ensayos	7	2036.75	290.965	724.91	0.000
Error	16	6.42	0.401		
Total	23	2043.18			

Tabla 8. Prueba de Tukey de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CCRAU) para un nivel de confianza del 95%

Ensayo	N	Media	Agrupación		
3	3	81.757	A		
1	3	81.357	A		
6	3	74.983		B	
2	3	72.493			C
4	3	64.940			D
7	3	63.210			D
8	3	60.750			E
5	3	54.923			F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 9. Análisis de varianza de la interacción entre los factores según el modelo de regresión factorial 2<sup>3</sup>: Rendimiento versus TR, %CAT, RM, de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CRAUC).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2036.75	290.965	724.91	0.000
Lineal	3	905.97	301.990	752.37	0.000
TR	1	64.35	64.354	160.33	0.000
%CAT	1	817.13	817.133	2035.79	0.000
RM	1	24.48	24.482	61.00	0.000
Interacciones de 2 términos	3	1051.21	350.405	872.99	0.000
TR*%CAT	1	0.55	0.546	1.36	0.261
TR*RM	1	348.23	348.234	867.58	0.000
%CAT*RM	1	702.43	702.434	1750.03	0.000
Interacciones de 3 términos	1	79.57	79.570	198.24	0.000
TR*%CAT*RM	1	79.57	79.570	198.24	0.000
Error	16	6.42	0.401		
Total	23	2043.18			

Tabla 10. Resumen del modelo regresión factorial 2<sup>3</sup>: Rendimiento versus TR, %CAT, RM, de los rendimientos en biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas calcinadas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (CRAUC).

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.633548	99.69%	99.55%	99.29%

Gráfico 1. Efectos Principales de los rendimientos de cada ensayo

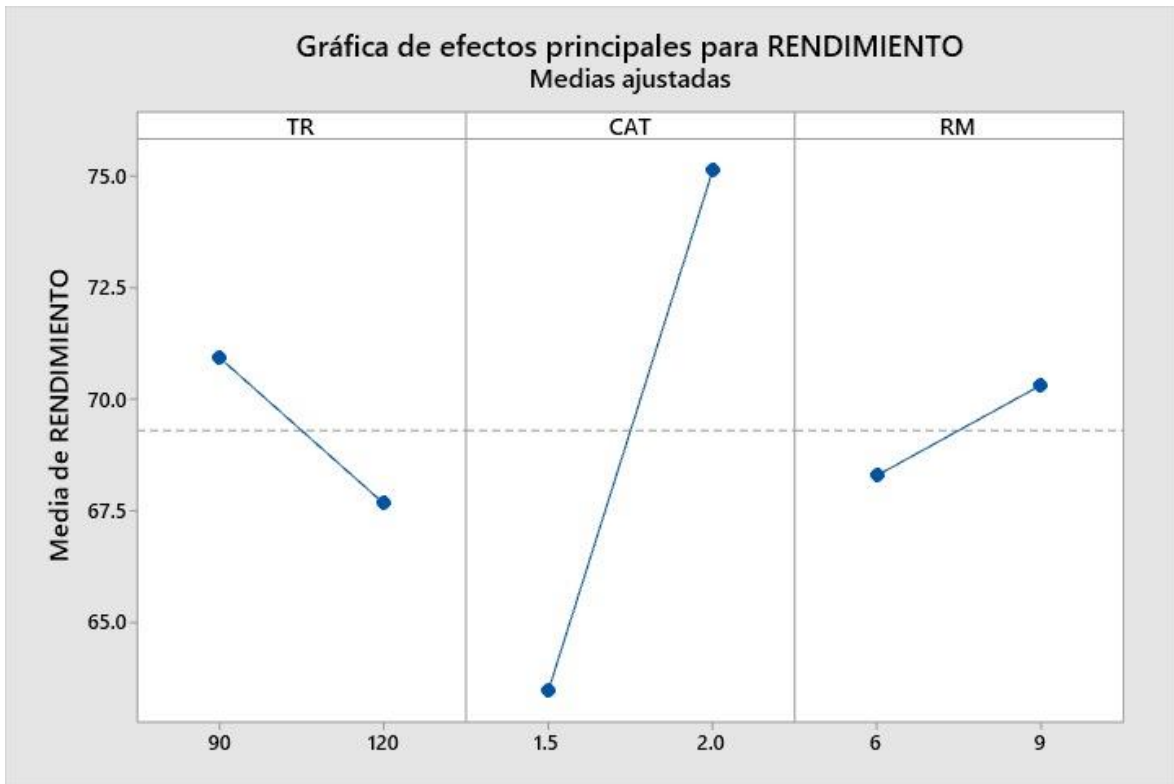


Gráfico 2. Interacción de los rendimientos de cada ensayo

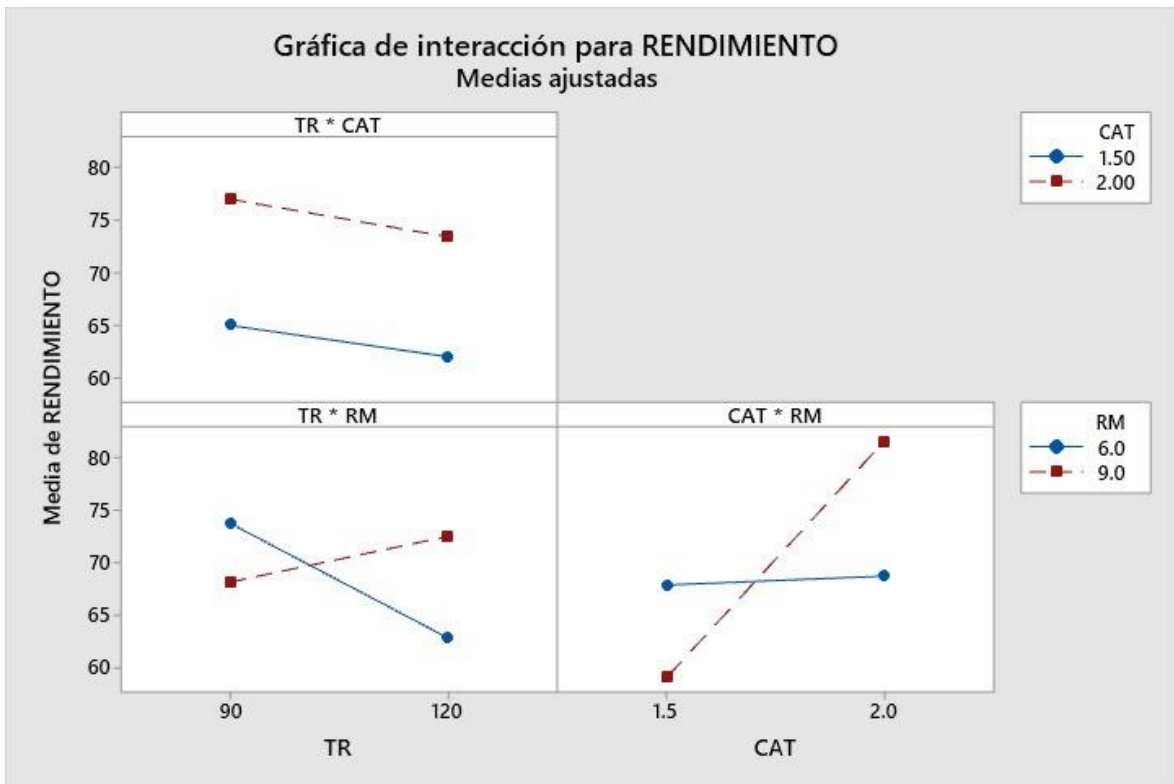


Tabla 11. Características físicas y químicas del biodiesel obtenido en la transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas de residuos agro industriales de UNGURAHUI (*Oenocarpus bataua*) calcinadas.

Parámetros	Ensayos								ASTM D 6751-03	EN 14214	N.T.P 321.125:2019
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,9125	0,9070	0,9305	0,9384	0,9051	0,9519	0,9556	0,9122	0,86-0,90	0,85	-----
Viscosidad (cSt) 40°C	28,23	15,60	28,80	28,66	28,74	25,77	32,84	32,79	1,90-6,0	3,5-5,0	1,90-6,0
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	0,5365	0,2678	0,3484	0,4099	0,5149	0,5122	0,3757	0,4186	< 0,8máx.	0,5 máx.	0,5 máx.
Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) % v	92,2	86,5	91,7	<b>98,7</b>	<b>98,5</b>	94,8	90,4	93,9	-----	96,5 min	96,5 min

## **CAPITULO V:**

### **DISCUSIÓN**

En la tabla 4, se muestran que la cantidad de potasio en el catalizador (CRAUC), es 12,04 % K, valores muy por debajo a lo obtenido por (M. Balajii 2019) de 29,64% K y (S. Niju.2019) de 42,23% K de los péndulos de *Musa acuminata*. Asimismo, se observa que la cantidad de calcio del catalizador (CRAUC) es 6,24 % Ca, valor bajo con respecto a lo obtenido por (M. Balajii 2019) de y 33, 80 % Ca, pero alto con respecto a lo obtenido por (S. Niju.2019) de 1,70% Ca. Según (S. Niju.2019), cantidades altas de potasio y calcio en el catalizador juega un papel importante en la alta actividad catalítica para la transesterificación del aceite vegetal en biodiesel.

Las características físicas y químicas del aceite vegetal usado (AVU) se muestran en la tabla 5, se observa que el parámetro de humedad tiene un valor de 0.76% relativamente alto a lo reportado por (K. Nelson, 2020) de 0,42% y (K. L. Man 2010) de 0,62%, investigaciones mencionan que el aceite debe ser deshidratado para evitar formar jabones durante la reacción. También se observa que el valor de ácidos grasos libres es de 0,62 % valor alto con respecto a lo obtenido por (Rossi, GZ. 2018) de 0,27% y por debajo a lo indicado por (Gohain M. 2017) de 0,98%. Los valores de humedad y ácidos grasos libres reportados en aceite vegetal usado del presente estudio valores permiten realizar una transesterificación básica directa. Por otra parte, el valor de la viscosidad fue alto (49,87 cSt) con lo reportado por (A. Talukdar 2016) de 33 cSt,

En la tabla 6 se refiere a los rendimientos de biodiesel obtenido en cada ensayo, en el ensayo 1 los resultados indican que un mayor porcentaje de catalizador (%CAT) 4%, una relación molar metanol-aceite de 9/1 y un tiempo de reacción (TR) de 90 minutos se obtuvo un rendimiento de 81.36% y el ensayo 3 con un 4% de catalizador, relación molar metanol-aceite 9/1 con un tiempo de reacción de 120 minutos se obtuvo 81.76% de rendimiento en biodiesel. Este ensayo tiene el promedio más alto entre todos los ensayos y, por lo tanto, se podría considerar como el más relevante en términos de obtener una alta eficiencia en la conversión de aceite a biodiesel bajo las condiciones evaluadas.

En la tabla 7, el análisis de varianza muestra un p valor  $< 0.05$  para un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , indicando diferencias significativas en los rendimientos de biodiesel obtenidos en los diferentes ensayos de la reacción de transesterificación. Esto sugiere que alguna variación en el proceso, quizás relacionada con las condiciones o factores específicos de cada ensayo, está influyendo en los resultados. La tabla 8, demuestra que, dentro de los ensayos evaluados, los que presentan los mejores rendimientos y son estadísticamente diferentes del resto son los ensayos 3 y 1, que se agrupan en el Grupo A. Estos ensayos destacan al exhibir los rendimientos más altos y, según la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%, son significativamente superiores a los demás ensayos, lo que sugiere que las condiciones específicas aplicadas en estos dos ensayos han demostrado ser más efectivas en la producción de biodiesel a partir del aceite vegetal usado en comparación con los otros ensayos evaluados.

En la tabla 9, el análisis de varianza (ANOVA) muestra que el modelo de regresión factorial  $2^3$  es estadísticamente significativo (Valor F = 724.91, Valor p = 0.000), lo que indica que el modelo puede explicar una parte significativa de la variabilidad en los rendimientos de biodiesel. Además, se observa que hay efectos lineales significativos para los factores TR (tiempo de reacción), %CAT (porcentaje de catalizador) y RM (relación molar), con valores F y valores p que indican su importancia en la variabilidad de los rendimientos. También se encuentran interacciones de dos términos significativas, como TR\*RM y %CA\*TRM, lo que sugiere que las combinaciones específicas de estos factores tienen un impacto significativo en los rendimientos de biodiesel. Finalmente, una interacción de tres términos, TR\*%CAT\*RM, también es estadísticamente significativa, lo que indica que la combinación de estos tres factores tiene un efecto conjunto significativo en los rendimientos de biodiesel. En conjunto, estos resultados proporcionan información valiosa sobre cómo los factores y sus interacciones influyen en la producción de biodiesel y pueden ayudar en la optimización del proceso para obtener rendimientos deseados.

En la tabla 10, el valor de "S" representa el error estándar de las estimaciones, que en este caso es de 0.633548. Los valores de R-cuadrado (R-cuad.) indican la proporción de variabilidad en los rendimientos de biodiesel que se explica mediante el modelo. El R-cuad. ajustado es del 99.55%, lo que sugiere que el modelo de regresión factorial  $2^3$  es altamente efectivo para explicar la variabilidad en los rendimientos de biodiesel después de tener en cuenta el número de variables predictoras en el modelo. Además, el R-cuad. (pred) es del 99.29%, lo que indica que el modelo tiene una alta capacidad predictiva para predecir los rendimientos de biodiesel en futuras observaciones. Estos

resultados confirman que el modelo es muy adecuado para explicar y predecir los rendimientos en biodiesel en función de las variables TR, %CAT y RM, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para el estudio y la optimización del proceso de transesterificación del aceite vegetal usado empleando cenizas de residuos agroindustriales de UNGURAHUI (CRAUC) calcinadas.

La tabla 11, muestra los resultados de los ensayos indican que el biodiesel producido a partir de la transesterificación del aceite vegetal usado con cenizas de residuos agroindustriales de UNGURAHUI calcinados (CCRAU) como catalizador heterogéneo no cumple en su mayoría con las normativas y especificaciones ASTM D 6751-03, EN 14214 y N.T.P 321.125.2019 en cuanto a densidad, viscosidad, mientras que en el índice de acidez todos se encuentran dentro de los valores establecidos por la norma, en cuanto al contenido de FAME en su mayoría no cumplen con los estándares a excepción de los ensayos 5 y 6.



## **CAPITULO VI:**

### **CONCLUSIONES**

Los ensayos de transesterificación han demostrado que las cenizas de residuos agroindustriales de Ungurahui calcinadas (CRAUC) poseen actividad catalítica efectiva en la conversión del aceite vegetal usado en biodiesel. Los resultados indican que se obtienen rendimientos aceptables de biodiesel bajo ciertas condiciones de reacción.

Los análisis de la calidad del biodiesel producido muestran que, si bien se ha obtenido biodiesel, no cumple completamente con los estándares de calidad internacionales, particularmente en términos de densidad, viscosidad y contenido de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Esto sugiere la necesidad de optimizar el proceso de producción y purificación para alcanzar los estándares requeridos.

Finalmente podemos concluir que es factible utilizar cenizas de residuos agroindustriales de Ungurahui calcinadas (CRAUC) como catalizadores sólidos en la transesterificación de aceite vegetal usado para la producción de biodiesel. Sin embargo, se requieren ajustes y optimizaciones adicionales en el proceso para cumplir completamente con los estándares de calidad del biodiesel.

Estos hallazgos contribuyen al conocimiento en el campo de la producción de biodiesel y la gestión de residuos agroindustriales, brindando oportunidades para un uso más eficiente y sostenible de estos recursos en el futuro.

## **CAPITULO VII:**

### **RECOMENDACIONES**

Para alcanzar los límites más estrictos de ciertas especificaciones, se deben realizar los siguientes ajustes:

- ✓ Se requiere una optimización del proceso de transesterificación, considerando cambios en la cantidad de catalizador, la temperatura de reacción y el tiempo de reacción, así como mejoras en la purificación y separación para aumentar el contenido de FAME.
  
- ✓ Se debe mantener un monitoreo continuo para garantizar niveles bajos a lo largo del tiempo de producción y asegurar la consistencia en la calidad del biodiesel.

Estos ajustes son esenciales para garantizar que el biodiesel producido cumpla con los estándares más exigentes de calidad y pureza.

Asimismo, se recomienda caracterizar el catalizador sólido mediante sus propiedades texturales y morfológicas, área específica BET (ABET,) y su fuerza básica ( $H_+$ ) y los sitios activos básicos.

Realizar también la composición de los ácidos grasos mediante cromatografía de gases.

Finalmente caracterizar, identificar y determinar el contenido de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) en el biodiésel obtenido mediante espectroscopia FTIR, según Medina et al (2011) es un método que usa menor tiempo de análisis, es exacto, económico, fiable y no hay pérdida de muestra.

Sin embargo, para alcanzar los límites más estrictos de ciertas especificaciones, se deben realizar los siguientes ajustes:

- ✓ Se requiere una optimización del proceso de transesterificación, considerando cambios en la cantidad de catalizador, la temperatura de reacción y el tiempo de reacción, así como mejoras en la purificación y separación para aumentar el contenido de FAME.
- ✓ Se debe mantener un monitoreo continuo para garantizar niveles bajos a lo largo del tiempo de producción y asegurar la consistencia en la calidad del biodiesel.  
Estos ajustes son esenciales para garantizar que el biodiesel producido cumpla con los estándares más exigentes de calidad y pureza.

**CAPITULO VIII:**  
**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Amenaghawon, A.N., Evbarunegbe, N.I., Obahiagbon, K., 2021. Optimum biodiesel production from waste vegetable oil using functionalized cow horn catalyst: a comparative evaluation of some expert systems. Clean. Eng. Technol. 4, 100184 <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2021.100184>.

A.N. Amenaghawon (2022) et al. Cleaner Engineering and Technology 8 100501. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100501>

Application of agro-waste derived materials as heterogeneous base catalysts for biodiesel synthesis (2018). Sanjay Basumatary, Biswajit Nath, and Pranjal Kalita  
Citation: Journal of Renewable and Sustainable Energy 10, 043105; doi: 10.1063/1.5043328 View online: <https://doi.org/10.1063/1.5043328> View Table of Contents: <http://aip.scitation.org/toc/rse/10/4> Published by the American Institute of Physic.

ASTM D445-04 (2017). Método de prueba estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (Y el cálculo de la viscosidad dinámica). ASTM Internacional, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos.

A. Talukdar and D. C. Deka (2016). "Preparation and characterization of a heterogeneous catalyst from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Catalytic application in the synthesis of bis(indolyl)methanes and bis(pyrrolyl)methanes under solvent free condition," *Curr. Catal.* 5(1), 51–65.

Bishwajit Changmai, Putla Sudarsanam and Lalthazuala Rokhum (2019), *Industrial Crops & Products*, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111911>

B. Nath et al. / *Journal of Cleaner Production* 239 (2019) 118112: Waste to value addition: Utilization of waste *Brassica nigra* plant derived novel green heterogeneous base catalyst for effective synthesis of biodiesel.

Becerra, J. (2022). *Producción de biodiesel a partir de mezclas de aceite refinado de palma - RBD y aceite usado de cocina - AUC, utilizando un catalizador residual de cenizas de cáscara de naranja y metanol*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/26891>. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Bravo,R. (2020) Diagnóstico del sistema de gestión de reciclaje de aceites vegetales usados en la comuna de algarrobo.

Del castillo sias, shesira ingrid bach. Pinedo huaycama, virginia lina (2019). Bromatología de las pulpas integrales de *Oenocarpus bataua* (ungurahui) y *Oenocarpus mapora* (cinamillo): caracterización, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y minerales. Para optar el título profesional de licenciada en bromatología y nutrición humana.

D. Leung, M.Wu,K.Leung (87,1083-1095).”A review on biodiesel production using catalyzed transesterification”.

Díaz, A. (2016) Programa de Gestión Integral de residuos de aceite vegetal usado (AVU) y grasa animal (GA) generados en el parque recreativo y zoológico Pisilago.

F. Jamil, L. Al-Haj, A. H. Al-Muhtaseb, M. A. Al-Hinai, M. Baawain, U. Rashid and M. N. M. Ahmad, Rev. Chem. Eng., 2018, 34, 267–297.

Gonzáles Coral A, Mejía Carhuanca K y Torres Reyna G. Caracterización morfológica de frutos de *Oenocarpus bataua* C. Martius “ungurahui”. Rev Folia Amazónica.

Gohain M; Devi, A; Deka D. 2017. Musa balbisiana Colla peel as highly effective renewable heterogeneous base catalyst for biodiesel production. Industrial Crops & Products. Journal home Page. Disponible en: 109, 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.006>. Consultado 4/6/2023

Green heterogeneous base catalyst from ripe and unripe plantain peels mixture for the transesterification of waste cooking oil. *Chemical Engineering Journal Advances* 10 (2022) 100293

K. Nelson (27 May 2020), ASTM establece las normas para el biodiésel, [https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson\\_spjf09.html](https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html).

K. L. Man, T. L. Keat, R. M. Abdul (2010), "Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review", *Biotechnol. Adv.* 28, 500-518, 2010. [ [Links](#) ]

Karla Fernanda Monroy Díaz (2020). Aprovechamiento de residuos de camarón y caracol para su uso como catalizadores heterogéneos en la producción de biodiesel. Tecnológico de estudios superiores de ecat epec maestría en eficiencia energética y energías renovables. Ecatepec de Morelos, Estado de México, diciembre 2020.

Mendonça I.M. et al. / *Renewable Energy* 130 (2019) 103-110. Nuevo catalizador heterogéneo para la producción de biodiesel a partir de residuos cáscaras de tucuma (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parámetros estudio de optimización.

Mohammed, N.I., Kabbashi, N.A., Alade, A.O. and Sulaiman, S. (2018) Advancement in the Utilization of Biomass-Derived Heterogeneous Catalysts in

Biodiesel Production. Green and Sustainable Chemistry, 8, 74-91.  
<https://doi.org/10.4236/gsc.2018.81006>

M. Balajii and S. Niju (2019). A novel biobased heterogeneous catalyst derived from *Musa acuminata* peduncle for biodiesel production – Process optimization using central composite design. Energy Conversion and Management 189 (2019) 118–131.

Nasello, M.E.(2019) Tratamiento de los aceites vegetales usados y evaluaciones de su factibilidad técnica como materia prima en una planta de biodiesel en la ciudad de Tandil.

Nath, B., Kalita, P., Das, B., & Basumatary, S. (2019). Highly efficient renewable heterogeneous base catalyst derived from waste *Sesamum indicum* plant for synthesis of biodiesel. Renewable Energy. Advance online publication.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.029>

Normas Técnicas Peruanas 209.001:1983 (revisada 2012) Aceites vegetales comestibles

O.A. Falowo, E. Betiku, A novel heterogeneous catalyst synthesis from agrowastes mixture and application in transesterification of yellow oleander-rubber oil: optimization by Taguchi approach, Fuel 312 (2022), 122999.



Official Methods of Analysis: 2012 (OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC) – Hardcover. Latimer, George

Putla, S., Peeters, E., Makshina, E., Parvulescu, V., Sels, B., 2019. Advances in porous and nanoscale catalysts for viable biomass conversion. Chem. Soc. Rev. 48, 2366–2421. <https://doi.org/10.1039/c8cs00452h>

R. Verhé, C. Echim, W. De Greyt and C. Stevens, in Handbook of Biofuels Production, eds. R. Luque, J. Campelo and J. Clark, Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, First ed., 2011, pp. 97–133.

Rossi, GZ.; Borges, I.R.; Perego, T.F.; Toledo, V.D.M.; Ferreira, L.F.P. 2018. Análise Técnica Da Producao Do Biodiesel A Partir Do Óleo De Fritura Residual. The Journal of Engineering and exact Sciences-JCEC, Vol. 04 N.01 (2018). Disponible en: <https://doi.org/10.18540/jcecvl4isslpp0101-0108>

Sánchez Faba, E.M., Ferrero, G.O., Dias, J.M. y Eimer, G.A. (2018). Thermo-chemically tuning of active basic sites on nanoarchitected silica for biodiesel production. Molecular Catalysis, Article in press. doi: 10.1016/j.mcat.2018.08.013

Souza Nájar, R. I. (2021). Utilización de cenizas de cáscara de Musa x paradisiaca L. como catalizador en la obtención de biodiésel de aceites vegetales usados.

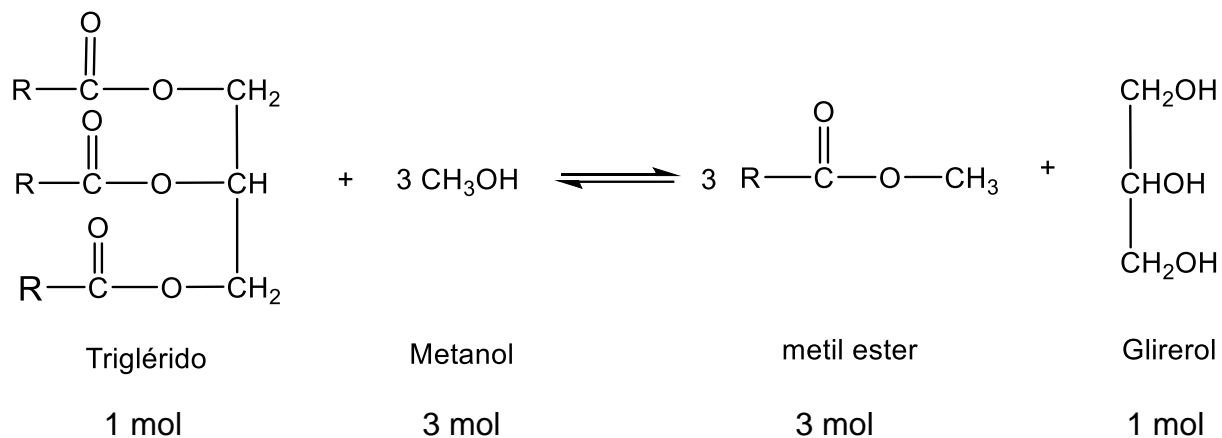
Salas Gonzales, A.E. (2018). Desactivación del catalizador de óxido de potasio soportado en zeolitas NaX para la reacción de transesterificación de aceite vegetal.

Vargas Corredor et ál. |Rev. Fac. Ciencia Básicas Vol. 14 (1) 2018, 59-72 |  
Universidad Militar Nueva Granada

# ANEXOS

**Anexo 1 Cálculo de la cantidad de metanol requerido para la reacción de transesterificación por cada corrida.**

De acuerdo a la relación estequiométrica por cada mol de grasa se requiere tres moles de metanol.



Se realizaron los cálculos tomando en consideración el peso molecular del aceite vegetal usado (600.9 g/mol) determinado con el valor del índice de saponificación.

Para una relación molar 1:6

Masa del aceite	=	50.00 g.
PM (AVU)	=	600.95 mol gramo
$\eta$ (aceite): 1 mol	=	0.083 Moles
PM (Metanol)	=	32.04 mol gramo
$\eta$ (Metanol requerido): 6 moles	=	0.499 Moles
Masa del metanol requerido	=	16.00 G

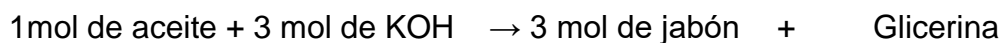
Para una relación molar 1:9

Masa del aceite	=	50.00 g.
PM (AVU)	=	600.95 mol gramo
$\eta$ (aceite):	=	0.083 moles
PM (Metanol)	=	32.04 mol gramo
$\eta$ (Metanol requerido):	=	0.749 moles
Masa Metanol requerido	=	24.00 g.

## **Anexo 2. Determinación del peso molecular del aceite vegetal usado (AVU).**

Índice de Saponificación (I. S). Es el peso en miligramos de potasa cáustica (KOH) necesaria para saponificar 1 gramo de grasa.

La saponificación consiste en la reacción de una grasa con un álcali, estequiométricamente se cumple:



Sabiendo el valor del índice de saponificación del aceite vegetal usado (280.11 mg KOH/ g de aceite) y el valor índice de acidez (0.53 mg KOH/ g de aceite) promedio, se aplica la siguiente relación.

$$\text{PM aceite vegetal usado (g/mol)} = \frac{3000 \times \text{PM KOH}}{IS - IA}$$

$$\text{PM aceite vegetal usado (g/mol)} = 600.95$$

**Anexo 3. Cálculo del porcentaje de la masa (%m) de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Según la norma ASTM D7371-07.**

Sabiendo el valor del porcentaje en volumen (%v) se usa la siguiente ecuación

$$V_b = M_b (D_f / D_b)$$

Donde:

$V_b$  = Porcentaje en volumen de biodiesel.

$M_b$  = Porcentaje en masa de biodiesel.

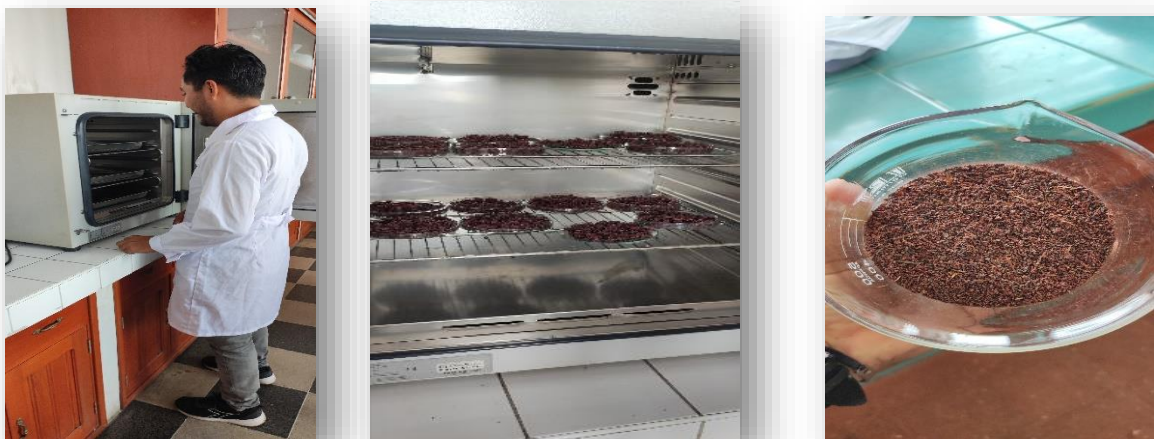
$D_f$  = Densidad del patrón de calibración = 0,882g/ml

**Anexo 4. Preparación del catalizador**

**Figura 2.1. Cáscara Ungurahui (*Oenocarpus bataua*)**



**Figura 2.2. Cáscara seca y molida**



**Figura 2.3. Calcinación**



**Figura 2.4 Cenizas de la cáscara de unguirahui.**



**Figura 2.5 Colecta del aceite vegetal usado**



**Aceite Usado colectado en el Comedor-UNAP**

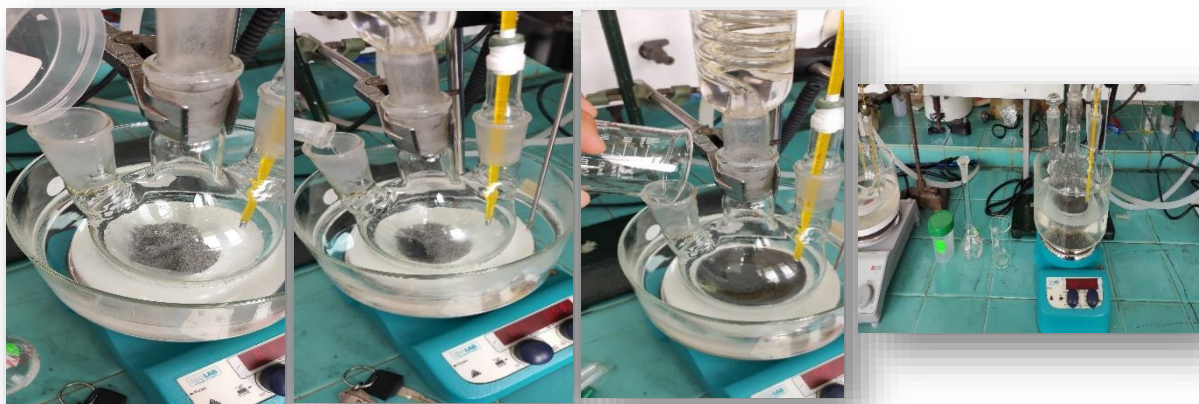


**Figura 2.6 Tratamiento del aceite vegetal usado.**

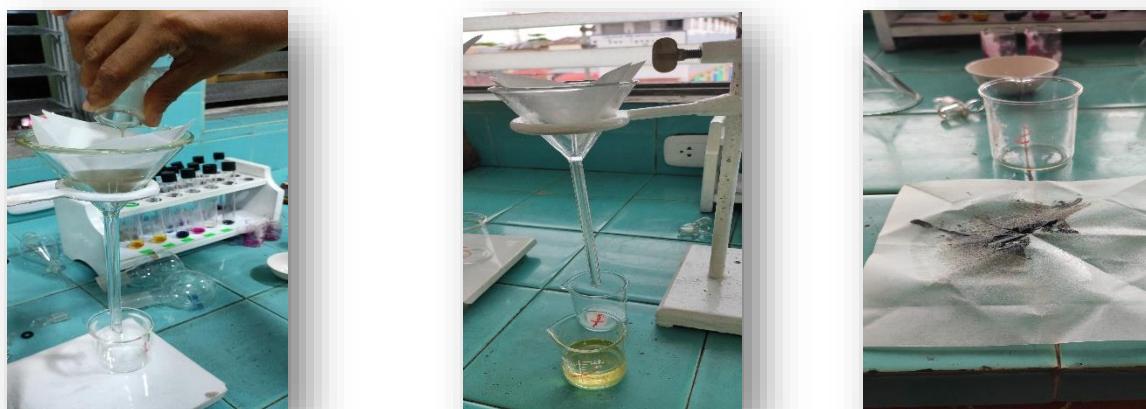


Decantación, filtración y almacenamiento del AVU

**Figura 2.8 Reacción de Transesterificación**

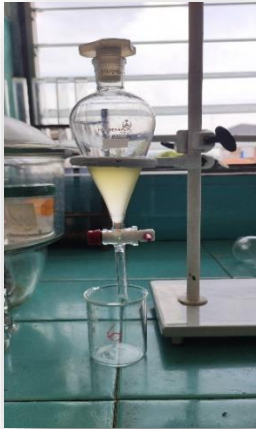


**Figura 2.9 recuperación del catalizador**





**Figura 2.10 Separación de las fases**



Decantación



Separación de las fases Glicerina/ Biodiésel



**Figura 2.11 Proceso de purificación del biodiésel**



**Figura 2.12 Biodiésel purificado**



**Caracterización física y química del aceite vegetal usado (AVU).**

Parámetro	Método y Técnica
Humedad	NTP 209.004:1968
Densidad	Picnometro. NTP 209.128:1980
Viscosidad Cinemática	Oswald. ASTM D445-04. 2017
Índice de Acidez	Volumétrico. NTP 209.004:1968
Ácidos grasos libres	Volumétrico. AOAC 940.28
Índice de Peróxido	Volumétrico. NTP 209.006:1968
Índice de Saponificación	Volumétrico. NTP 209.058:1980

Fuente: AOAC. 2012, Norma Tecnica Peruana.

**Caracterización física y química del Biodiesel**

Parámetro	Método y Técnica
Densidad	Picnometro. NTP 209.128:1980
Viscosidad Cinemática	Oswald. ASTM D445-04. 2017
Índice de Acidez	Volumétrico. NTP 209.004:1968
Ácidos grasos libres	Volumétrico. AOAC 940.28
FAME: (metil éster de ácidos grasos)	ASTM D7371.

Fuente: AOAC. 2012, Norma Tecnica Peruana.

# Resultados del Análisis del catalizador



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS AGUAS Y FOLIARES



INFORME DE ENSAYO  
2305009

**Cliente** : Tesis de Titulación: "Transesterificación de aceite vegetal usando ceniza del residuo agroindustrial del *Oenacarpus batata* como catalizador heterogéneo en Iquitos - 2022"  
**Dirección** : Av. Grau 1074 - Iquitos  
**Procedencia de muestra:** Iquitos - Loreto  
**Matriz** : Cenizas

**Fecha de Muestreo** : 01/04/2023  
**Fecha de Ingreso** : 08/05/2023  
**Fecha de Informe** : 22/05/2023  
**Nº de páginas** : 1 de 1

Id.		Ca %	K %
Lab	Campo		
2305009.1	Ungurahui	6.24	12.04

(\*) Muestras en base seca

Ing. Julio Zavaleta Armas  
Jefe de Laboratorio

Av. Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria,  
Trujillo – Perú

E-mail: laboratoriosuelosunt@gmail.com

PETROLEOS DEL PERU – PETROPERU S.A.  
 GERENCIA DPTO. REFINACIÓN SELVA  
 UNIDAD LABORATORIO – JEFATURA TECNICA

**RESULTADO DE ENSAYO MUESTRA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA**

Ensayo	VISCOSIDAD CINEMATICA A 30 °C, cSt	CONTENIDO FAME, %V	OBSERVACIONES
1	5,48	86,5	
2	5,22	74,8	
3	4,98	81,2	
4	5,92	88,4	
5	5,53	86,9	
6	4,97	74,5	
7	4,98	78,8	
8	5,25	80,2	

- FAME (metil éster de ácidos grasos)
- La viscosidad cinemática se efectuó de acuerdo a la norma ASTM D445.
- El contenido de FAME efectuó de acuerdo a la norma ASTM D7371.



Firmado digitalmente por:  
 LAYCHE LOZANO Edwin  
 Modesto FAU 201001282 soft  
 Motivo: En señal de  
 Conformidad  
 Fecha: 25/05/2023 09:42:38-050