



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA: AGROINDUSTRIA

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN

CURRICULAR, MODALIDAD PRESENCIAL

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE DIFERENTES CATALIZADORES PARA LA
OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL
USADO”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial.

Línea de investigación: Soberanía, seguridad e inocuidad alimentaria sustentable.

Autora: Romero Portilla Evelin Ximena

Director: Ing. Jimmy Núñez Pérez MSc.

Ibarra-2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	0401814207	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Romero Portilla Evelin Ximena	
DIRECCIÓN:	El Olivo – Ibarra		
EMAIL:	exromerop@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0999236670
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE DIFERENTES CATALIZADORES PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO”		
AUTORA:	Romero Portilla Evelin Ximena		
FECHA: AAAAMMDD	2024-09-25		
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN			
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/>	GRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial		
DIRECTOR:	Ing. Jimmy Núñez Pérez MSc.		

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo Evelin Ximena Romero Portilla, con cédula de identidad Nro.0401814207, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 25 días del mes de septiembre del 2024

EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Evelin Ximena Romero Portilla

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días, del mes de septiembre del 2024

EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Evelin Ximena Romero Portilla

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 25 de septiembre del 2024

Ing. Jimmy Núñez MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

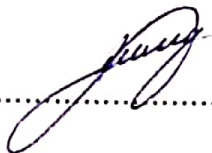
①
Ing. Jimmy Nuñez Pérez MSc.

C.C.: 175660633

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Evaluación de diferentes catalizadores para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado” elaborado por Evelin Ximena Romero Portilla, previo a la obtención del título del Ingeniera Agroindustria, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....



Ing. Jimmy Núñez

Pérez MSc.

C.C.1756606339

(f):.....



Ing. Jhomaira

Burbano MSc.

C.C. 0401198361

DEDICATORIA

Con amor para mi querida madre que me acompañó siempre en este proceso y a mi padre allá en el cielo.

Evelin Ximena Romero Portilla

AGRADECIMIENTO

Agradezco a:

Dios

Universidad Técnica del Norte

Mi madre Silvia Portilla

Mis hermanos Jonathan, Marco, Estiven y Jimmy

Mi amor Sebastián

Mi tutor Ing. Jimmy Núñez

Mi asesora Ing. Jhomaira Burbano

Evelin Ximena Romero Portilla

RESUMEN EJECUTIVO

El aceite vegetal usado (AVU) es un residuo que se genera en los restaurantes y en los domicilios. Este puede llegar a contaminar fuentes de agua, suelo, taponar sistemas de alcantarillado si su manejo no es adecuado. En esta investigación se buscó evaluar diferentes catalizadores para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado. Se llevó a cabo un diseño experimental con arreglo factorial mixto A x B en donde se estableció como factores en estudio tipo de catalizador (A) teniendo 3 niveles NaOH, ZnO y H₂SO₄ y concentración de catalizador (B) con 2 niveles 0.5% y 1.5%; la temperatura fue constante a 60 °C, tiempo de reacción de 2 horas y relación molar correspondiente a metanol y aceite 12:1. Teniendo así 6 tratamientos con 3 réplicas en total 18 unidades experimentales, cada unidad experimental se realizó en 500 ml de AVU. Los análisis que se realizó al biodiesel fueron la densidad, viscosidad, punto de inflamación y corrosión de la lámina de cobre, esto se hizo con la finalidad de determinar si los resultados de estos parámetros concuerdan con la norma INEN 2492:2009. El T4 fue el tratamiento que mejores resultados arrojó ya que cumple con la viscosidad 4.448 mm²/s, punto de inflamación 128 °C y corrosión de lámina de cobre 2a. Se puede afirmar que el catalizador NaOH con el porcentaje de 1.5% fue el mejor catalizador para obtener biodiesel.

Palabras clave: Proceso, transesterificación, calidad, concentración, costos.

ABSTRACT

Used vegetable oil (UVA) is a waste that is produced in restaurants and homes. This can contaminate water sources, soil, and clog sewage systems if its management is not appropriate. This research sought to evaluate different catalysts for obtaining biodiesel from used vegetable oil. An experimental design was carried out with a mixed factorial arrangement A x B where the type of catalyst (A) with 3 levels NaOH, ZnO and H₂SO₄ and catalyst concentration (B) with 2 levels 0.5% and 1.5 were established as factors under study. %; The temperature was constant at 60 °C, reaction time of 2 hours and molar ratio corresponding to methanol and oil 12:1. Thus having 6 treatments with 3 replicates in total 18 experimental units, each experimental unit was carried out in 500 ml of AVU. The analyzes carried out on the biodiesel were the density, viscosity, flash point and corrosion of the copper sheet, this was done in order to determine if the results of these parameters agree with the INEN 2492:2009 standard. T4 was the treatment that gave the best results since it meets the viscosity of 4,448 mm²/s, flash point of 128 °C and corrosion of copper foil 2a. It can be stated that the NaOH catalyst with a percentage of 1.5% was the best catalyst to obtain biodiesel.

Keywords: Process, transesterification, quality, concentration, cost.

LISTA DE SIGLAS

AVU: Aceite vegetal usado

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE ANEXOS	7
INTRODUCCIÓN	8
Problema.....	8
Justificación.....	9
Objetivos	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos	10
Hipótesis.....	10
Hipótesis Alternativa (Ha).....	10
Hipótesis Nula (Ho).....	10
CAPÍTULO I	11
MARCO TEÓRICO.....	11
1.1. Aceite vegetal usado.....	11
1.2. Parámetros y metodologías para determinar cuando el aceite vegetal usado debe ser desechado.	11

1.3.	Efectos ambientales causados por el aceite vegetal usado	13
1.3.1.	Efectos en el agua	13
1.3.2.	Efectos en el suelo	13
1.3.3.	Efectos en el aire	13
1.3.4.	Efectos en la salud humana	13
1.3.5.	Efectos en los animales	14
1.4.	Gestión y disposición final de aceite vegetal usado	14
1.5.	Proceso de transesterificación	15
1.6.	Catalizador	15
1.7.	Tipos de catalizadores	16
1.8.	Importancia económica de los catalizadores	16
1.8.1.	Catalizadores homogéneos	16
1.8.2.	Catalizadores heterogéneos	16
1.9.	Descripción de los catalizadores usados para la investigación	17
1.9.1.	Hidróxido de sodio (NaOH)	17
1.9.2.	Óxido de Zinc (ZnO)	17
1.9.3.	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	17
1.10.	Impacto de los catalizadores en la cadena de valor del biodiesel	17
1.11.	Eficiencia de catalizadores	17
1.12.	Metanol (CH ₃ OH)	18

1.13.	Biodiesel	18
1.14.	Caracterización del biodiesel.....	19
1.14.1.	Viscosidad cinemática.....	19
1.14.2.	Densidad.....	19
1.14.3.	Punto de inflamabilidad	19
1.14.4.	Corrosión de la lámina de cobre.....	20
1.15.	Normativa NTE INEN 2482:2009 Requisitos biodiesel	20
1.16.	Importancia del biodiesel.....	21
1.17.	Estado actual de la producción de biodiesel en el mundo	21
1.18.	Indicadores económicos	22
CAPÍTULO II.....		23
MATERIALES Y MÉTODOS		23
2.1.	Localización del experimento	23
2.2.	Materiales y equipos.....	23
2.3.	Métodos.....	24
2.3.1.	Determinación del efecto producido por AVU	24
2.3.2.	Bases del proceso.....	24
2.3.3.	Elaboración de tratamientos.....	25
2.4.	Descripción del experimento.....	27
2.5.	Análisis del biodiesel	28

2.5.1. Densidad	28
2.5.2. Viscosidad.....	29
2.5.3. Punto de inflamación	29
2.5.4. Corrosión de la lámina de cobre	29
2.5.5. Rendimiento.....	30
CAPÍTULO III.....	31
RESULTADOS Y DISCUSION	31
3.1. Caracterización del manejo del aceite vegetal usado por los productores del sector de Yahuarcocha.....	31
3.2. Características fisicoquímicas del producto	34
3.3. Análisis económico del mejor tratamiento.....	39
CAPÍTULO IV.....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
4.1. Conclusiones	41
4.2. Recomendaciones.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	43
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de Catalizadores	16
Tabla 2	Requisitos del biodiesel	20
Tabla 3	Materiales y equipos usados en la experimentación	24
Tabla 4	Factores de estudio en la investigación.....	26
Tabla 5	Tratamientos	26
Tabla 6	Corrosión de la lámina de cobre del biodiesel obtenido por cada tratamiento	38
Tabla 7	Costo de producción al mejor tratamiento en cuanto al rendimiento	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de transesterificación	15
Figura 2	Ubicación del laboratorio para la experimentación.....	23
Figura 3	Flujograma de la obtención de biodiesel.....	27
Figura 4	Manejo de AVU como residuo.....	31
Figura 5	Cantidad que se produce semanalmente de AVU	32
Figura 6	Concientización del impacto ambiental del AVU	33
Figura 7	Participación en un programa para la recolección de AVU	34
Figura 8	Densidad del biodiesel obtenido por cada tratamiento.....	35
Figura 9	Viscosidad del biodiesel obtenido por cada tratamiento	36
Figura 10	Punto de inflamación del biodiesel obtenido por tratamiento.....	37
Figura 11	Rendimiento del biodiesel obtenido por cada tratamiento	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Norma INEN 2482:2009	51
Anexo 2 Encuesta de AVU producido por los restaurantes del sector de Yahuarcocha	52
Anexo 3 Análisis de Varianza de la densidad	53
Anexo 4 Análisis de Varianza para la Viscosidad.....	53
Anexo 5 Análisis de Varianza para el punto de inflamación.....	53
Anexo 6 Análisis de Varianza para el rendimiento	54
Anexo 7 Elaboración de biodiesel	54
Anexo 8 Análisis fisicoquímicos del biodiesel.....	55

INTRODUCCIÓN

Problema

El aceite vegetal es un insumo básico en la preparación de alimentos tanto en los hogares como en la industria. Pero, el uso de este genera impactos negativos una vez que se convierte en residuo, debido a que su uso en las frituras alcanza indicadores no deseables como el olor, color, sabor, sedimentos y viscosidad alterada. Se estima que en Ecuador alrededor de 54 millones de litros de aceite vegetal usado (AVU) son desechados anualmente (Alarcon & Romero, 2021). Los problemas generados por este residuo es que actualmente no se tiene un manejo sostenible, debido a la ausencia de un sistema de puntos de recogida, almacenamiento, transporte y disposición final como el que se presenta para los residuos sólidos, y lo más importante, no existe una cultura ciudadana para darle una buena disposición a este residuo, como reutilización en otros productos que pueden ser usados como son el jabón, lubricantes para la industria y el propio biodiesel (Solarte & Vargas, 2013). Se ha determinado que el 54% de los ecuatorianos deposita el aceite en la basura, 24% lo arroja a desagües y quebradas y 21% lo utiliza como alimento para animales (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010).

En la ciudad de Ibarra los establecimientos de comida generan, en promedio por semana entre 10 a 24 litros de AVU (Andrade & Moncada, 2020). Los datos de una encuesta orientada a establecimientos de comida en un sector de la ciudad arrojaron que el 51% entregan el aceite usado a gestores, el 42% de los establecimientos desecha el aceite en los contenedores de basura urbanos y el 7% lo reutiliza hasta agotarlo (Andrade & Moncada, 2020).

El AVU es un contaminante que genera impactos en fuentes de agua y suelo. Al

ser desechado a través de tuberías este tiende a taponar sistemas de alcantarillado que pueden convertirse en hábitats para roedores e insectos (Moya & Moya, 2021). De la misma forma, contamina el agua mediante la generación de una película que cubre la superficie y dificulta el paso de oxígeno para peces y otros seres vivos (Moya & Moya, 2021). En el suelo, deteriora la fertilidad y evita el desarrollo de las plantas (Hosseinzadeh, y otros, 2022).

Por lo que no al contar con políticas claras sobre su manejo y estudios de investigación sobre la reutilización conlleva a cada vez más el deterioro de ambientes que en un futuro no lejano pueden llegar a hacer irreversibles.

Justificación

El AVU es buena opción de energía renovable, ya que se lo aprovecha para obtener biodiesel, producto considerado como sostenible, ya que ofrece menores emisiones de gases de efecto invernadero y es amigable con el medio ambiente debido a su naturaleza renovadora (Animasaun, Ameen, & Belewu, 2021).

En la era de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente, el reciclaje de AVU ha adquirido una importante atención. La reutilización de este residuo no solo evita la inadecuada disposición, sino que, produce beneficios económicos y sociales (Vera & Vargas, 2021). Al explotar este aceite como materia prima, se crea la posibilidad de generar empleo e ingresos. Su bajo costo y debido a que se genera diariamente en domicilios y establecimientos de comida, lo convierten en un recurso altamente accesible (Garcia, 2020).

La dependencia a los combustibles fósiles y la limitación de estos ha llevado a la búsqueda de fuentes de energía renovable y sostenible (Hodson, 2018). Es así como, el

AVU constituye una alternativa de fuente de energía renovable, lo que lo convierte en una opción atractiva para producir biodiesel, y contribuir a minimizar las emisiones generadas por la combustión como el de CO₂ a la atmósfera, comparado con los combustibles fósiles (López, Bocanegra, & Malagón, 2015) .

Por lo tanto, esta propuesta investigativa se centra en cómo desarrollar un proceso eficiente y económico para la obtención de biodiesel a partir del aceite vegetal usado, abordando de manera simultánea los problemas ambientales asociados con la disposición inapropiada de este residuo y la demanda de fuentes de energía sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar diferentes catalizadores para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado.

Objetivos Específicos

- Establecer el impacto ambiental producido por el aceite vegetal usado.
- Verificar que las características fisicoquímicas del producto final concuerden con la norma INEN 2482:2009.
- Realizar un análisis económico respecto a cada catalizador usado.

Hipótesis

Hipótesis Alternativa (H_a)

El tipo de catalizador usado en la obtención de biodiesel influye en la eficiencia del proceso, la calidad del producto y el costo económico.

Hipótesis Nula (H₀)

El tipo de catalizador usado en la obtención de biodiesel no influye en la eficiencia del proceso, la calidad del producto y el costo económico.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Aceite vegetal usado

Es el aceite que tiene un origen en una planta oleaginosa y es aquello que ha sido utilizado para cocinar o freír alimentos ya sea en locales de comida o domicilios (Flores & Imbaquingo, 2015).

Este residuo puede ser aprovechado para elaborar jabón, ceras, biodiesel. También puede usarse como aditivo reductor de la retracción y su en hormigón de alto rendimiento; puede usarse como una fuente de carbono para la obtención de lípidos microbianos (Cárdenas & Vélez, 2022)

1.2. Parámetros y metodologías para determinar cuando el aceite vegetal usado debe ser desechado.

Los siguientes parámetros y metodologías pueden ser aplicados para vigilar la calidad de los aceites y grasas utilizados en frituras para saber cuándo deben ser desechados (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2014).

- **Ácidos grasos libres.** La formación de los ácidos grasos libres tiende a ocurrir en paralelo con otros procesos de degradación durante la fritura, como la hidrólisis y la oxidación. La acidez libre en el aceite o grasa de fritura no debería exceder el 2,5 % máximo medido bajo el método de la AOCS Ca 5a-40 (97). Sin embargo, el punto final específico de la acidez dependerá del tipo de aceite utilizado y del producto que se está friendo.
- **Punto de humo.** El punto de humo de un aceite baja a medida que se usa para freír debido a que se descompone. El seguimiento de los valores de este parámetro

es un buen sistema para controlar el avance de la alteración global del aceite. Esto se puede medir de forma sencilla (AOCS 9a-48) y nos indica cuándo el aceite ya no es seguro para usar. Un aceite bueno no debería humear por debajo de los 170 °C.

- **Índice de peróxidos.** Al inicio del proceso de descomposición de los aceites y grasas, se generan unas sustancias llamadas peróxidos. Para medir la cantidad de estos peróxidos, se utiliza un método específico (AOCS Cd 8b-90). Sin embargo, este método solo es efectivo al principio, ya que los peróxidos son inestables y se descomponen rápidamente en otras sustancias, que se miden con otros métodos.
- **Índice de p-Anisidina.** El método (AOCS Cd 18-90) se utiliza para determinar el contenido de ciertos aldehídos, principalmente 2-alquenal y 2,4-dienal, que se forman durante los procesos de oxidación secundaria de las grasas y aceites. Por lo tanto, sirve como una confirmación del grado de deterioro de estos.
- **Color.** El color de los aceites y grasas empleados en frituras se oscurece con el uso, lo cual eventualmente afecta al producto final. Para determinar el grado de oscurecimiento, se pueden utilizar kits o analizadores comparativos (tintómetros).
- **Espuma.** Una formación excesiva de espuma en el aceite durante la fritura, que no se dispersa, es una señal de que el aceite debe ser eliminado o desechado. La espuma puede representar un peligro para la seguridad del manipulador de alimentos.
- **Viscosidad.** A medida que los aceites y/o grasas se deterioran durante los procesos de fritura, su viscosidad aumenta debido a la formación de compuestos de alto peso molecular (polimerización). Para determinar estos cambios en el producto, se pueden utilizar densímetros o viscosímetros.

1.3.Efectos ambientales causados por el aceite vegetal usado

1.3.1. Efectos en el agua

Si el AVU es desechado por los lavabos este puede convertirse en un contaminante de fuentes hídricas porque se acumula en la superficie formando una capa que impide una correcta oxigenación en los medios acuáticos provocando la muerte de los seres vivos acuáticos (Moya & Moya, 2021).

1.3.2. Efectos en el suelo

Cuando el AVU es desechado en el suelo causa problemas como la inhibición de la germinación de semillas, morfología de las plantas, destrucción del humus. Además, las sustancias oleosas en el suelo tienden a envolver las semillas con una película, formando una barrera física, evitando la transferencia de agua y oxígeno, así como deteniendo la absorción de nutrientes (Hosseinzadeh, y otros, 2022).

1.3.3. Efectos en el aire

En algunos países, el aceite vegetal usado se utiliza como combustible en calderas de baja temperatura o directamente en hornos. Sin embargo, la combustión incompleta del aceite en este proceso puede producir dioxinas, que son sustancias tóxicas que se liberan a la atmósfera (Serrano, 2019).

1.3.4. Efectos en la salud humana

El aceite que es reutilizado muchas veces produce toxinas peligrosas, siendo un gran riesgo para la salud humana (Alarcon & Romero, 2021). Al usar el aceite de manera reiterada para cocer los alimentos, estos empiezan a producir radicales libres y acrilamidas que se encuentra presentes en alimentos fritos o asados a altas temperatura

(Cárdenas & Vélez, 2022).

1.3.5. Efectos en los animales

En algunos países el AVU es mezclado con desechos orgánicos para producir piensos, y esto ocasiona efectos negativos para vacunos, porcinos y aviares. Debido a la transferencia de compuestos tóxicos particularmente los hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados y las dioxinas (Namoco, Comaling, & Buna, 2017).

1.4. Gestión y disposición final de aceite vegetal usado

- **Generación y almacenamiento:** se almacena el AVU en contenedores específicos para luego ser transportados al sitio de tratamiento (Gioia, 2013).
- **Recolección y transporte:** se recogen los contenedores con el AVU para transportarlos desde los lugares de producción hasta los lugares de tratamiento (Gioia, 2013).
- **Tratamiento:** Es el proceso mediante el cual debe pasar el AVU y consta de filtración, decantación y purificación (Gioia, 2013).
- **Filtración:** Se realiza esta operación con el fin de eliminar los materiales más gruesos, seguida de un posterior tratamiento con agua caliente para terminar de clarificar el AVU (Gioia, 2013).
- **Decantación:** El AVU se separa del agua y del resto de las impurezas por decantación en donde se va separando el AVU, obteniéndose una mayor pureza (Gioia, 2013).
- **Purificación:** el AVU con más impurezas es sometido a la purificación la cual se logra mediante el uso de un reactor a una determinada temperatura, que permitirá evaporar el agua que pueda quedar mezclada con el AVU (Gioia, 2013).

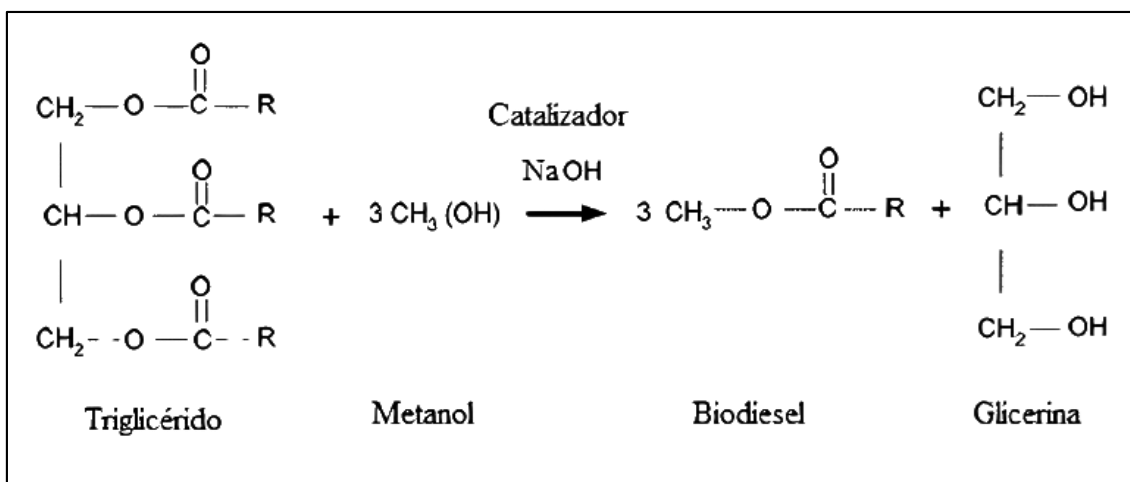
- **Valorización:** aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos (Gioia, 2013).

1.5. Proceso de transesterificación

La transesterificación es el proceso en que se combina un aceite vegetal ya sea usado o no, grasa animal con un alcohol en presencia de un catalizador, para producir biodiesel y glicerina como residuo del valor añadido (Pérez & Gallardo, 2022). Sin embargo, se utiliza una proporción molar de alcohol más alta para producir más biodiesel. El tipo de catalizador, la temperatura, la duración de la reacción y el tipo de materia prima afectan directamente el proceso de transesterificación (Ahmed & Jazie, 2023).

Figura 1

Proceso de transesterificación



Fuente: García et al., (2018)

1.6. Catalizador

Los catalizadores son sustancias que aumentan la velocidad de una reacción química sin ser consumida en el proceso, es decir no pasa a formar parte de los productos finales (Fierro, 2021).

1.7. Tipos de catalizadores

Para la producción de biodiesel se usan catalizadores que según en la fase que se encuentren pueden ser heterogéneos y homogéneos; por su capacidad de actuar químicamente se clasifican en ácidos y básicos (Cabello, Rincon, & Zepeda, 2017).

A continuación, se muestra los tipos de catalizadores usados en la producción de biodiesel (Tabla 1).

Tabla 1

Tipos de Catalizadores

Tipos de catalizadores	Ejemplo
Ácidos homogéneos	H ₂ SO ₄ , HCl y H ₃ PO ₄
Ácidos heterogéneos	Zeolitas, resinas sulfónicas, ZnO, SO ₄ , ZrO ₂ , TiO ₂ y catalizadores a base de carbono
Básicos homogéneos	KOH y NaOH
Básicos heterogéneos	MgO, CaO, NaOH, Al ₂ O ₃
Enzimáticos	Lipasas, Candida, Penicillium y Pseudomonas.

Fuente: Cabello, Rincón & Zepeda, (2017).

1.8. Importancia económica de los catalizadores

1.8.1. Catalizadores homogéneos

Son eficaces pero tienen la necesidad de purificar el agua y la generación de compuestos sin reaccionar (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

1.8.2. Catalizadores heterogéneos

Utilizan un soporte sólido y poroso con una superficie externa, pero son propensos a la lixiviación, lo que puede influir negativamente en la reacción. Para obtener una

producción óptima de biodiesel, es esencial elegir la combinación adecuada de catalizadores, aceites y condiciones de proceso (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

1.9. Descripción de los catalizadores usados para la investigación

1.9.1. Hidróxido de sodio (NaOH)

Pertenece a los compuestos inorgánicos, es una de las bases más fuertes entre los compuestos químicos, es soluble en agua y al disolverse desprende calor y forma la lejía de sodio que suele ser altamente corrosiva (Sikorska, 2023).

1.9.2. Óxido de Zinc (ZnO)

Es un compuesto inorgánico de color blanco, es poco soluble en agua, pero se disuelve fácilmente en los ácidos, sus propiedades mecánicas y eléctricas muy particulares que le permiten tener un amplio rango de aplicaciones en las industrias (Pochteca, 2023).

1.9.3. Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Es un ácido fuerte usado en diferentes procesos industriales como la producción química, el tratamiento de aguas es higroscópico, reactivo y corrosivo (Foodcom, 2023).

1.10. Impacto de los catalizadores en la cadena de valor del biodiesel

En la producción de biodiesel los catalizadores son esenciales para la reacción de transesterificación estos ayudan a acelerar la reacción, lo que reduce el tiempo de producción y los costos, también pueden ayudar a mejorar el rendimiento del biodiesel (Cabello, Rincon, & Zepeda, 2017).

1.11. Eficiencia de catalizadores

Los catalizadores homogéneos ácidos como como HCl, H₂SO₄ son apropiados

para la transesterificación de aceites usados debido a su alto contenido de ácidos grasos libres. No obstante, estos catalizadores son menos efectivos y más corrosivos en comparación con los catalizadores alcalinos (Benedictto, 2019).

Los catalizadores homogéneos alcalinos como NaOH y KOH son los más usados en la producción de biodiesel debido a su corto tiempo de reacción, mínimas reacciones secundarias y son menos corrosivos que los catalizadores homogéneos ácido (Benedictto, 2019).

Los catalizadores heterogéneos ácidos como el ZnO son eficaces para la transesterificación de aceites con altos niveles de ácidos grasos libres, ya que no inducen la saponificación. No obstante, estos catalizadores tienen baja actividad a temperaturas bajas, es necesario operar a temperaturas superiores a 100 °C (Benedictto, 2019).

Las sales y óxidos de ciertos metales y las zeolitas se encuentran entre los principales catalizadores heterogéneos alcalinos utilizados en la síntesis de biodiesel. Estos catalizadores suelen ser altamente reactivos, lo que los hace idóneos para su uso en aceites con bajo contenido de ácidos grasos libres (Benedictto, 2019).

1.12. Metanol (CH₃OH)

Alcohol primario, en un líquido incoloro con baja viscosidad y olor frutal penetrante, soluble en el agua y con la mayoría de los solventes orgánicos pero insoluble en aceite además es toxico (Flores & Imbaquingo, 2015).

1.13. Biodiesel

El biodiesel es un producto resultante de la transesterificación de aceites vegetales usados o sin usar y grasas animales (Rouhany & Montgomery, 2018). Es un combustible alternativo, renovable, biodegradable y amigable con el medio ambiente (Sotomonte,

2021).

1.14. Caracterización del biodiesel

1.14.1. Viscosidad cinemática

Es una medida de la facilidad con la que un fluido fluye. Se mide midiendo el tiempo que tarda un volumen específico de fluido en pasar a través de un orificio (Sanchez, 2018). Los métodos ASTM D445 y EN ISO 3104 se utilizan para medir la viscosidad cinemática del biodiesel, los niveles elevados de viscosidad pueden afectar el rendimiento del motor e incluso pueden dañar los sistemas del motor (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

1.14.2. Densidad

El biodiesel tiene una densidad típicamente más alta que el diésel convencional, lo que puede afectar su rendimiento en el motor. La densidad del biodiesel se puede medir utilizando los procedimientos de prueba ASTM D1298 y EN ISO 3675/12185 y debe cumplir con los estándares establecidos. La densidad del biodiesel típicamente cae dentro del rango de 869,0 a 877,4 kg/m³ (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

1.14.3. Punto de inflamabilidad

Es un parámetro importante, ya que indica la temperatura a la que el combustible puede encenderse cuando se expone a una llama abierta, la presencia de impurezas o contaminantes, como el agua, puede reducir el punto de inflamación, haciendo que el biodiesel sea más inflamable. Se emplean métodos estándar como ASTM D93 y EN ISO 2719 para medir el punto de inflamación del biodiesel (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

1.14.4. Corrosión de la lámina de cobre

La norma ASTM D130 se utiliza para determinar la corrosión causada por el biodiesel. Esta norma se estableció para evaluar la acción por descomposición de derivados de azufre sobre una lámina de cobre, la corrosión se evalúa cualitativamente en función de la pérdida de brillo. Para el caso del biodiesel es la más leve, ya que éste no contiene azufre (Amaya, Piamba, & Olaya, 2018).

1.15. Normativa NTE INEN 2482:2009 Requisitos biodiesel

En la presente norma se especifican los requisitos que debe de cumplir el biodiesel en Ecuador (Tabla 2).

Tabla 2

Requisitos del biodiesel

Requisitos	Unidad	Min	Max	Método de ensayo
Densidad a 15° C	g/cm ³	0.860	0.900	ASTMD 1298
Punto de inflamación	de °C	120	-	ASTMD 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar	Reportar	Reportar
Φ Agua y sedimento	%	-	0.05	ASTMD 1796
Contenido de agua	mg/kg	-	500	ASTMD 95
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /s	3.5	5	ASTMD 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	-	0.02	ASTMD 874
Contenido de Azufre	mg/kg	-	10	ASTM D 1552
W Carbón Residual ²	%	-	0.05	ASTM D 4530
Corrosión de lámina de cobre	Clasificación	-	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	-	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90%	°C	-	360	ASTM D 1160

recuperado				
W Glicerina libre	%	-	0.02	ASTM D 6584
W Glicerina total	%	-	0.25	ASTM D 6584
W contenido de ésteres	%	96.5	-	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	-	120	EN 14111
W Contenido de metanol	%	-	0.20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	de mg/kg	-	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	de mg/kg	-	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	de mg/kg	-	5	EN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	-	0.5	ASTM D 664

Fuente: Datos obtenidos de Requisitos para Biodiesel INEN2482:2009

1.16. Importancia del biodiesel

Estudios han comprobado que el biodiesel emite entre un 65% y un 80% menos de gases de efecto invernadero que el petrodiesel (Diaz & Perez, 2021). Este biocombustible ha adquirido importancia en el desarrollo energético de naciones tanto desarrolladas como en vías de desarrollo, impulsado por el cambio climático y el temor al agotamiento de los combustibles fósiles (Animasaun, Ameen, & Belewu, 2021). Reconocido como un combustible limpio y una alternativa superior al petrodiesel, el biodiesel se presenta como una opción sostenible debido a sus menores emisiones y su naturaleza renovable (Diaz & Perez, 2021). Fomentar su producción y uso contribuirá en gran medida a la preservación del ecosistema y generará nuevas fuentes de ingresos (Animasaun, Ameen, & Belewu, 2021).

1.17. Estado actual de la producción de biodiesel en el mundo

Existe una creciente demanda mundial de biodiesel, particularmente en países con

mandatos de biocombustibles y objetivos de reducción de carbono; en la última década la producción mundial de biodiesel mostró un crecimiento acumulado del 97 %. Los cinco principales productores de biodiesel en el mundo son Estados Unidos, Indonesia, Brasil, Alemania y Tailandia con el 18%, 17%, 13%, 8%, y el 4% respectivamente. El 40% restante de la producción se distribuye entre el resto de los países del mundo, con una participación destacada de Francia, China, España, Malasia y Argentina (Torroba, 2021).

1.18. Indicadores económicos

Los indicadores económicos son datos que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto, teniendo en cuenta factores como los ingresos, los beneficios y los costes.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Subproductos de la carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica del Norte, el cual está ubicado en la parroquia El Sagrario, ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. Este sector cuenta con una altitud de 2250 m.s.n.m y una latitud de 0°20' Norte (Figura 2).

Figura 2

Ubicación del laboratorio para la experimentación



2.2. Materiales y equipos

A continuación, se describen los materiales, métodos y software que se utilizaron en la investigación (Tabla 3).

Tabla 3*Materiales y equipos usados en la experimentación*

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos	Software
Aceite vegetal usado	Agua destilada	Cocina eléctrica	Excel
AVU	Ácido Acético	Balanza analítica	
	Metanol	Picnómetro	
	Hidróxido de Sodio (NaOH)	Viscosímetro	
	Óxido de Zinc (ZnO)		
	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)		

2.3. Métodos

2.3.1. Determinación del efecto producido por AVU

Para ello se realizó el levantamiento de datos mediante una encuesta exploratoria, la cual se realizó a 31 locales de comida del sector de Yahuarcocha. Esto permitió a determinar qué cantidad de AVU es desechado semanalmente, la forma en la que es desechado, si los productores de AVU están conscientes de los efectos negativos de este residuo y si están de acuerdo con participar en un programa de recolección de este desecho.

2.3.2. Bases del proceso

Se recopiló información mediante encuestas realizadas en los puestos de comida en el sector de Yahuarcocha, se determinó la cantidad de aceite vegetal usado producido en los puestos y la forma en la que es desechado (Anexo 2).

El AVU utilizado para la experimentación fue adquirido en dos locales de comida del sector de Yahuarcocha. Se realizó pruebas de densidad y pH para la recepción de AVU.

Determinación de densidad

Se usó el método del picnómetro para determinar la densidad, para ello se tomó una muestra de 50ml de AVU se usó un picnómetro (Glassco de 50ml tol= ± 1.000 ml), este proceso se llevó por replicado para tener un dato exacto, se obtuvo un resultado de 1.108 g/cm^3 (Zea, 2022).

Determinación de pH

Se colocó la muestra de 500ml en un vaso de precipitación. Se puso el vaso de precipitación en una superficie horizontal y se introdujo el pH metro (Hanna-HI 2550) y se procedió a la lectura y se obtuvo un pH de 4.86.

2.3.3. Elaboración de tratamientos

Para la elaboración de los tratamientos se llevó a cabo un diseño experimental con arreglo factorial mixto A x B en donde se estableció como factores en estudio tipo de catalizador (A) teniendo 3 niveles NaOH, ZnO y H₂SO₄ y concentración de catalizador (B) con 2 niveles 0.5% y 1.5%; la temperatura fue constante a 60 °C, tiempo de reacción de 2 horas y relación molar correspondiente a metanol y aceite 12:1. Teniendo así 6 tratamientos con 3 réplicas en total 18 unidades experimentales, cada unidad experimental se realizó en 500ml de AVU.

2.3.3.1. Factores en estudio

Los factores de estudio que se evaluaron en la investigación son los siguientes (Tabla 4).

Tabla 4*Factores de estudio en la investigación*

Factor	Nivel
Tipo de catalizador (A)	
NaOH	A1
ZnO	A2
H ₂ SO ₄	A1
Concentración del catalizador (B)	
0.5 %	B1
1.5 %	B2

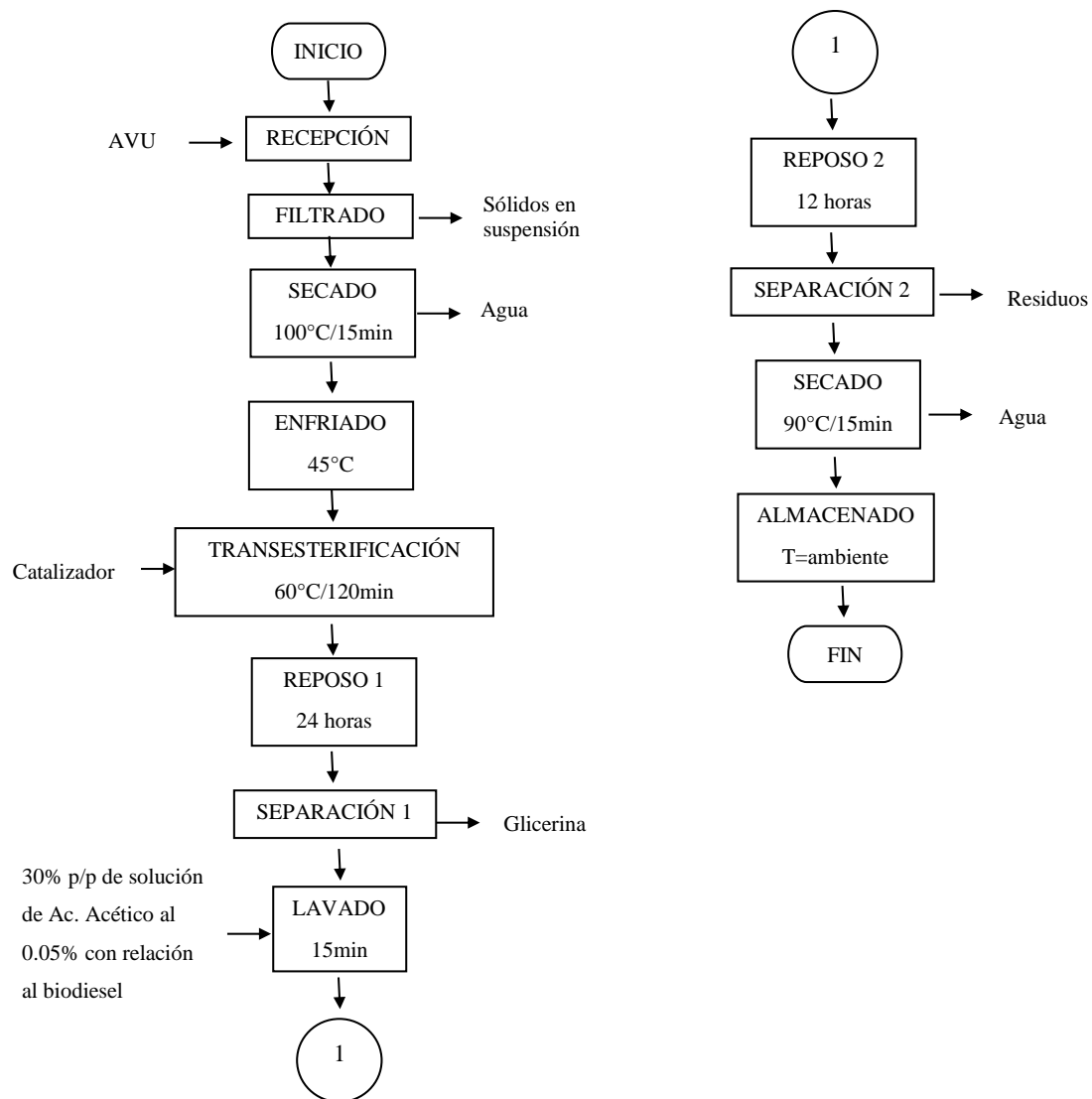
2.3.3.2. Tratamientos**Tabla 5***Tratamientos*

Tratamiento	A: tipo de catalizador	B: concentración de catalizador	Combinaciones
T1	A1	B1	A1B1
T2	A2	B1	A2B1
T3	A3	B1	A3B1
T4	A1	B2	A1B2
T5	A2	B2	A2B2
T6	A3	B2	A3B2

2.4.Descripción del experimento

Figura 3

Flujograma de la obtención de biodiesel



Se tomó una alícuota de 500ml de AVU en un envase de vidrio. Esta muestra fue sometida a un proceso de calentamiento a una temperatura de 100 °C por 15 minutos. Una vez cumplido el calentamiento la alícuota se dejó reposar hasta que alcanzó una temperatura de 45 °C. Cuando alcanzó la temperatura de 45 °C, se procedió a mezclar 750 ml de metanol con cada porcentaje de catalizador de 0.5 y 1.5 % y esto a su vez se mezcló con los 500 ml de AVU, esto se realizó por replicado (Flores & Imbaquingo, 2015).

Para la transesterificación se procedió a calentar a 60 °C la mezcla durante 2 horas en el envase de vidrio. Trascorridas las dos horas se dejó en reposo de 24 horas el producto en un envase plástico lo cual ayudó a la separación del biodiesel y glicerina; para la separación se usó embudos de separación (Flores & Imbaquingo, 2015).

Realizada la primera separación se lavó el biodiesel utilizando solución de ácido acético al 0.05%. Se llevó el biodiesel en un envase plástico con 30% (p/p) de solución de ácido acético en relación con la masa del biodiesel. Culminado el lavado se dejó en reposo por 12 horas y se pudo realizar la segunda separación. Después de la segunda separación se procedió a secar el biodiesel a una temperatura de 90 °C por 15 minutos (Flores & Imbaquingo, 2015).

2.5. Análisis del biodiesel

2.5.1. Densidad

Se determinó mediante el método del picnómetro marca (Glassco de 50 ml ± 1.000 ml), en donde se llenó el picnómetro con agua destilada y registro la temperatura y la masa del picnómetro lleno, se vació el picnómetro después se llenó el picnómetro con la muestra de biodiesel se registró la temperatura y la masa del picnómetro lleno (Zea, 2022).

La (Ecuación 1) sirvió para calcular la densidad.

Ecuación 1

$$\rho_b = \frac{m_{p+b} - m_p}{m_{p+w} - m_p} \cdot \rho_w$$

Donde:

ρ_b = densidad de biodiesel

m_{p+b} = masa de picnómetro mas biodiesel

m_p = masa del picnómetro

m_{p+w} = masa del picnómetro mas agua

ρ_w = densidad del agua

2.5.2. Viscosidad

La viscosidad se determinó gracias al uso de un viscosímetro rotacional STS marca (Selecta=±1.0 %), en la cual se tomó la muestra de 250 ml de biodiesel en un vaso de precipitación y se llevó al viscosímetro y se procedió a su lectura (Sanchez, 2018).

2.5.3. Punto de inflamación

En un crisol se colocó 10ml de biodiesel en un crisol, este se llevó a una estufa hasta que el biodiesel desprendió una llama, con la ayuda de un termómetro se controló la temperatura a la que el biodiesel desprendió la llama, se anotó el valor de dicha temperatura (Hernandez, 2021).

2.5.4. Corrosión de la lámina de cobre

Para su determinación se utilizó el método ASTM D130, consistió en tomar una lámina de cobre y sumergirla en 30 ml de biodiesel en un vaso de precipitación en cual se llevó a una estufa a una temperatura de 50 °C por tres horas, trascurrido este tiempo se sacó la lámina se secó y se examinó la superficie de la lámina de cobre en busca de signos de

corrosión, como deslustre, manchas o decoloración y se procedió a clasificar: 1a (superficie brillante, sin deslustre), 1b (ligero deslustre, apenas perceptible), 2a (deslustre ligero, uniformemente distribuido), 2b (deslustre moderado, con áreas ligeramente oscurecidas), 3a (deslustre moderado a severo, con áreas oscurecidas más definidas), 3b (deslustre severo, con pérdida de brillo notable)

(Martinez, 2014).

2.5.5. Rendimiento

El rendimiento se determinó gracias a la (Ecuación 2).

Ecuación 2

$$Rendimiento = \frac{\text{volumen de biodiesel}}{\text{volumen de AVU}} \times 100$$

Calculado el rendimiento se procedió a realizar en análisis económico respecto a cada catalizador usado para procesar 500ml de AVU. Tomando en cuenta los precios de los insumos y los catalizadores usados en cada tratamiento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

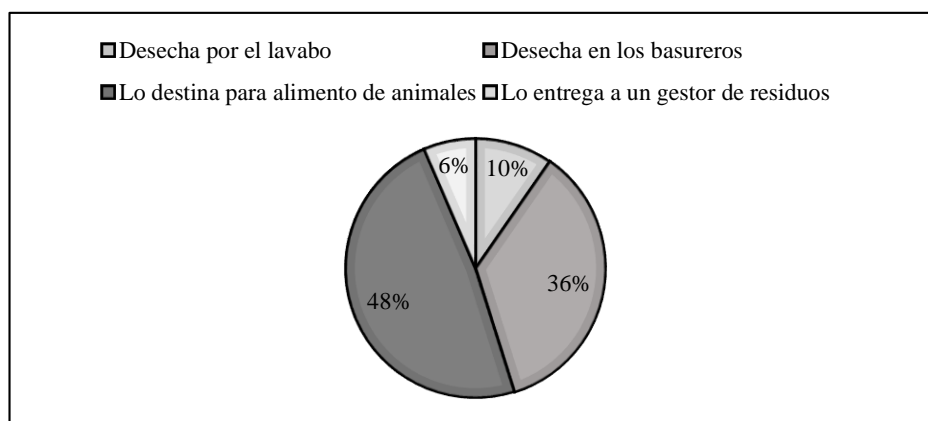
3.1. Caracterización del manejo del aceite vegetal usado por los productores del sector de Yahuarcocha

En el sector de Yahuarcocha se lograron identificar 53 productores de alimentos preparados que utilizan aceite vegetal como insumo en la cocina. No obstante, la encuesta aplicada alcanzó como muestra objetiva 31 productores.

A la primera pregunta que buscaba indagar sobre el manejo que los productores dan al aceite vegetal usado se obtuvo que, 48% destinan este residuo para la alimentación animal, 36% desecha este subproducto en los basureros, el 10% lo desecha por el lavado y apenas el 6% lo entrega a un gestor de residuos (Figura 4).

Figura 4

Manejo de AVU como residuo



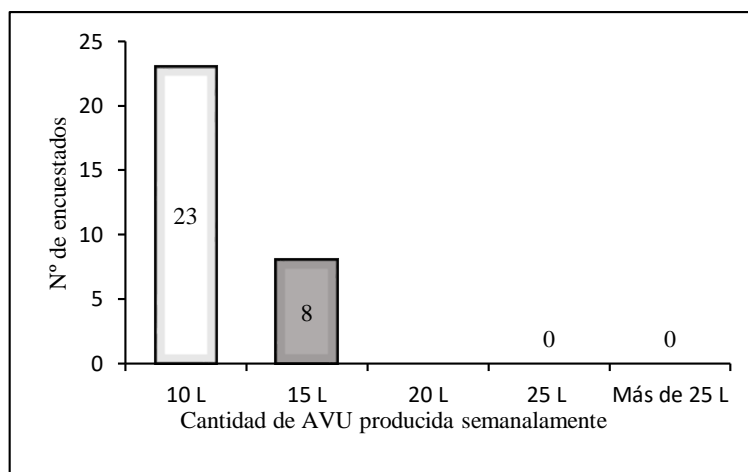
Apenas el 6% entrega el AVU a un gestor lo que conlleva a un mal manejo del AVU. Por lo que se busca concientizar a las personas sobre el manejo de este residuo, para ser aprovechado como materia prima para producir biodiesel. En España Solo se gestiona el 10% de los residuos de aceite de cocina, lo que indica que la práctica de

recolección y gestión aún no es adoptada por la mayoría de los residentes del país (Cacay, 2024).

Cuando fueron consultados acerca de la cantidad de AVU que se generan por semana, 23 de los productores encuestados contestaron que producían en promedio 10 L/semana. Esto significaría que 11960 L de AVU son desechados anualmente. Si apenas el 6% de estos son entregados a un gestor de residuos, se tendría una resultante de 11242 L que son desechados y potencialmente contaminantes del medio ambiente (Figura 5).

Figura 5

Cantidad que se produce semanalmente de AVU



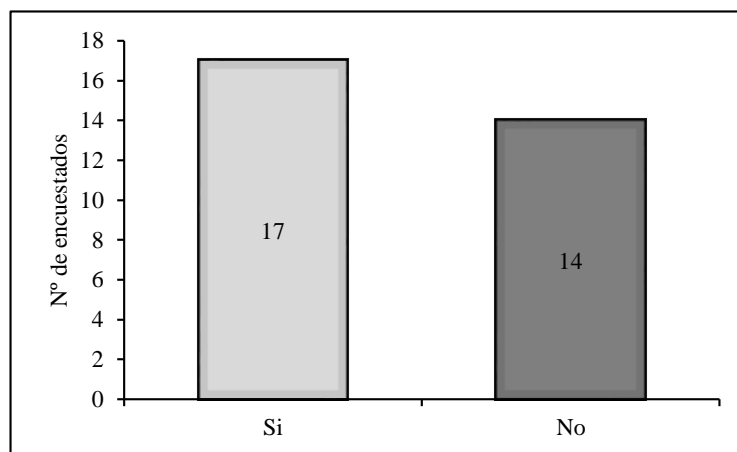
Anualmente se desechan 11960 L de AVU que pueden ser aprovechados como materia prima. Tomando en cuenta que 11242 L son tratados incorrectamente, lo que se hace necesario desarrollar técnicas para el aprovechamiento de este residuo (AVU) logrando que las personas le den un manejo adecuado al residuo. En relación con los países europeos, según un informe estadístico realizado por Bioenergy Europe, el aprovechamiento del AVU como materia prima para la producción de biodiesel se encuentra en un porcentaje del 17% que resulta la cuarta parte de la contribución a la producción de biodiesel a mayor escala. En España, por ejemplo, se utilizan

aproximadamente 180000 toneladas de aceite de cocina usado para fabricar biodiesel (Rico, 2019).

A los dueños de los locales de comida también se le preguntó si estaban conscientes de los impactos ambientales que producen el desecho incorrecto del AVU. A lo que 17 de los encuestados respondieron que sí y 14 que no estaban conscientes (Figura 6).

Figura 6

Concientización del impacto ambiental del AVU

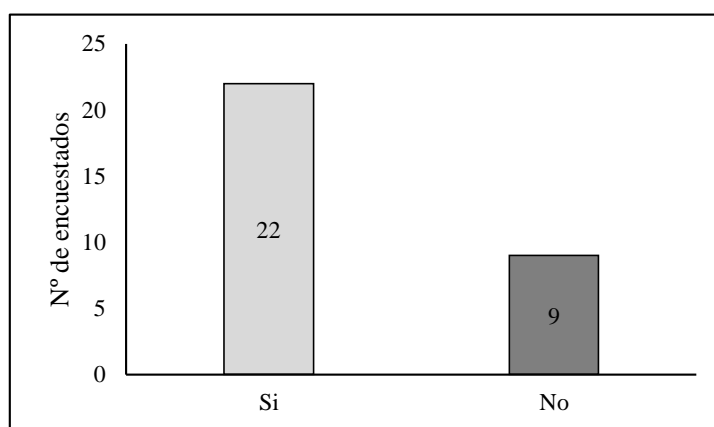


La mayoría de las personas están conscientes de los impactos ambientales que conlleva el manejo inadecuado que produce el AVU, pero, no saben cómo darle una correcta disposición. Por otro lado, a pesar de que fue menos porcentaje (46%) las personas que desconocen el impacto ambiental, resultan alarmante debido a la gravedad que representa, también teniendo en cuenta que los números presentados anteriormente no son estáticos sino van en creciente aumento. Los países en desarrollo tienen mayor porcentaje de desconocimiento sobre el reciclaje de este residuo debido a la ausencia de normas, procedimientos y la falta de infraestructuras para darle correcta disposición al AVU (Guerrero, Santana, & Robalino, 2022).

Otra de las preguntas que se hizo a los dueños de los locales de comida, fue si estarían dispuestos a participar en un programa de recolección de AVU. De los encuestados 22 respondieron que sí, mientras que 9 respondieron que no estarían dispuestos a participar en el programa (Figura 7).

Figura 7

Participación en un programa para la recolección de AVU



Se tiene un buen número de personas interesada en participar en dicho programa, por lo que se sugiere que en Ibarra exista una ordenanza para el manejo adecuado de AVU. La cual incluya trabajos de concientización con charlas, cursos, etc. De las personas y manejo de este residual para lograr que las personas contribuyan a la solución de la problemática.

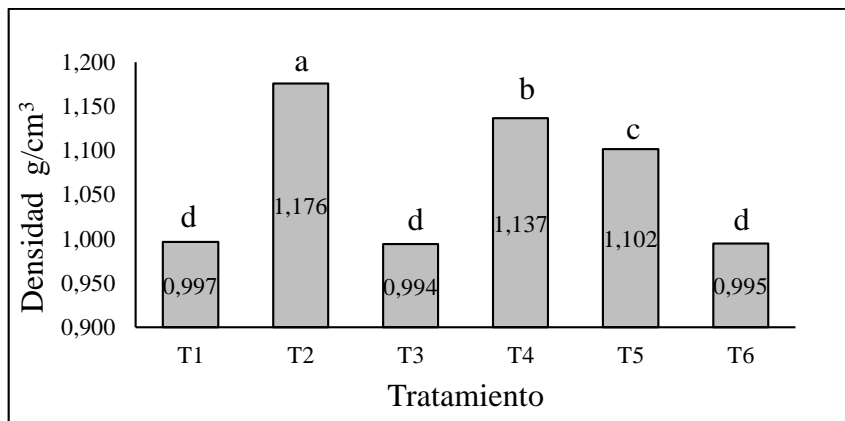
3.2. Características fisicoquímicas del producto

Como se planteó en la metodología al biodiesel obtenido de cada tratamiento se le realizaron mediciones de las características fisicoquímicas para establecer la calidad de este según lo establece la norma INEN 2482:2009.

Los resultados de la densidad al producto obtenido de cada tratamiento fueron los siguientes (Figura 8).

Figura 8

Densidad del biodiesel obtenido por cada tratamiento



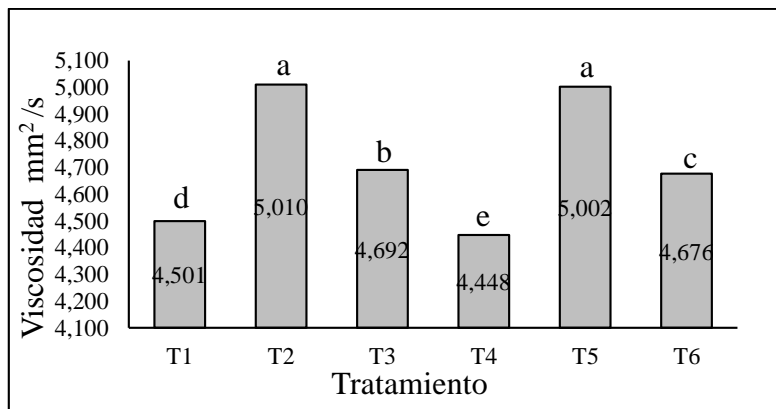
Se pudo observar que T1, T3 y T6 son estadísticamente iguales, estos tratamientos son los que más se acercan al rango de la densidad que describe la norma INEN 2482:2009, el cual es (0.860-0.900) g /cm³ (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2009) Los valores no se encontraron en el rango establecido por la norma, pero esto se podía mejorar con equipos de mejor precisión. En el caso de la densidad el catalizador cumple un rol importante, porque al usar catalizadores ácidos como fue el caso del H₂SO₄ usado en el tratamiento 3 y 6, debido a la formación de ésteres de ácidos grasos más pequeños y ramificados (Gonzales, 2022).

La densidad del biodiesel está influenciada por el contenido de ésteres y alcohol residual, por lo que está determinada principalmente por la materia prima usada para obtener el biodiesel. La densidad de los biocombustibles es un parámetro crucial, ya que los sistemas de inyección, bombas e inyectores deben entregar la cantidad precisa de combustible para una combustión adecuada (Torres, Ben, & Perez, 2019).

Los resultados de la viscosidad del producto obtenido por cada tratamiento se expresan en el siguiente gráfico (Figura 9).

Figura 9

Viscosidad del biodiesel obtenido por cada tratamiento



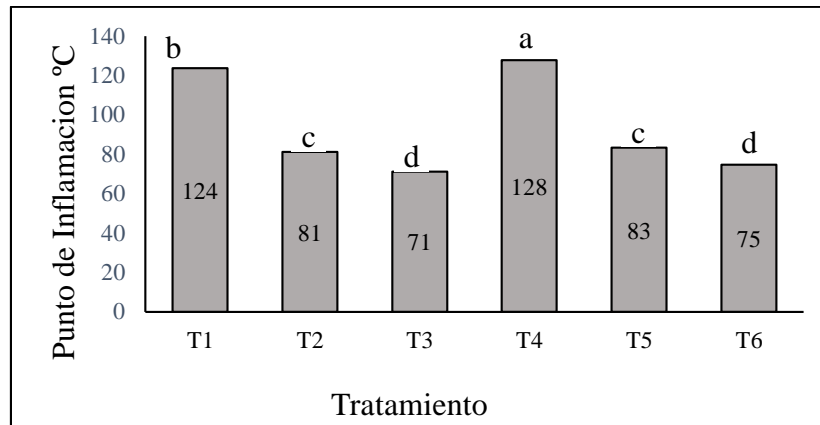
Los resultados del análisis de la viscosidad arrojaron que T1, T3, T4 y T6 son los que cumplen con la norma INEN 2482:2009, ya que los valores de la densidad de estos tratamientos están dentro del rango que pide la norma el cual es (3.5-5.0) mm²/s (INEN, 2009).

El catalizador usado para T1 y T4 fue NaOH y se obtuvo valores de viscosidad más bajos de todos los tratamientos, debido a que ya este catalizador tiene una alta saponificación que ocurre en paralelo a la transesterificación (Mezones, Garcia, & Ponce, 2023). En un estudio en el que se usó NaOH como catalizador, se obtuvo una viscosidad de 5.190 mm²/s (Merino & Salame, 2022). Al tener niveles elevados de viscosidad pueden afectar el rendimiento del motor e incluso pueden dañar los sistemas del motor (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

Otra propiedad que se analizó fue el punto de inflamación cuyos resultados fueron (Figura 10).

Figura 10

Punto de inflamación del biodiesel obtenido por tratamiento



Los tratamientos que cumplen con la norma INEN 2482:2009 respecto al punto de inflamación son T1 y T4 ya que superan el punto mínimo de inflamación de acuerdo con la norma que es 120 °C mínimo (INEN, 2009). Pero, los valores obtenidos en los tratamientos 1 y 4 son muy cercanos al valor mínimo, en comparación a los resultados obtenidos en otra experimentación semejante a esta el cual el resultado fue 150 °C (Lomas & Moran, 2020).

El punto de inflamación es importante, ya que indica la temperatura a la que el biodiesel puede encenderse cuando se expone a una llama abierta, la presencia de impurezas o contaminantes, como el agua, puede reducir el punto de inflamación (Kosuro, Delhiwala, & Mekala, 2024).

La corrosión de la lámina de cobre fue otra propiedad que se analizó en los tratamientos teniendo los siguientes resultados (Tabla 6).

Tabla 6*Corrosión de la lámina de cobre del biodiesel obtenido por cada tratamiento*

Tratamiento	Clasificación	Descripción
T1	1 b	Ligero deslustre, apenas perceptible
T2	3 a	Deslustre oscuro
T3	2 a	Superficie brillante, sin deslustre
T4	2 a	Superficie brillante, sin deslustre
T5	3 b	Deslustre oscuro
T6	2 a	Superficie brillante, sin deslustre

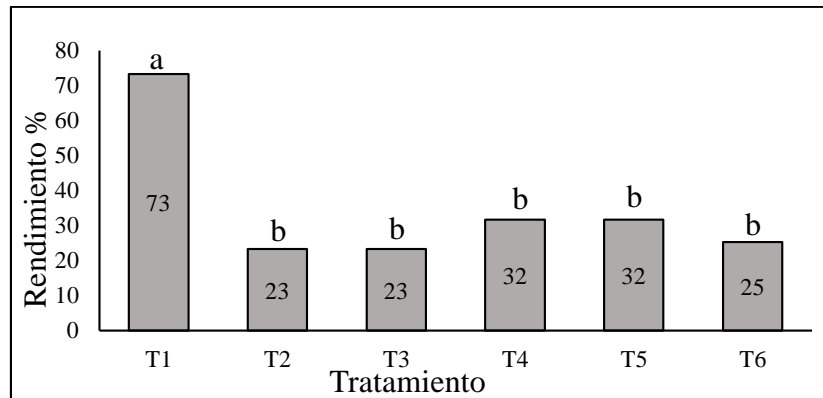
Los tratamientos T3, T4 y T6 fueron los mejores para esta propiedad, ya que no presentaron ningún deslustre ni cambio de color en la lámina. Esta prueba es importante porque, los motores tienen compuestos de cobre y al no tener un biodiesel de calidad hace que se corroan partes de los motores presentando daños (Corrales, Quesada, & Villareal, 2022).

La mejor clasificación para el biodiesel en cuanto a la lámina de cobre es (1 a), este resultado lo obtuvieron en una investigación similar cuando usaron NaOH como catalizador para la transesterificación (Ramírez, Buestan, & Pinos, 2023).

También se calculó el rendimiento de cada tratamiento en el cual se obtuvo estos resultados (Figura 11).

Figura 11

Rendimiento del biodiesel obtenido por cada tratamiento



El T1 fue el que mejor rendimiento tuvo con el 73% en comparación a los demás tratamientos. En este tratamiento se usó como catalizador NaOH con un porcentaje de 0.5%. Pero, este rendimiento es bajo comparado con el rendimiento obtenido en una experimentación que se usó el NaOH como catalizador con un porcentaje de 1%, el rendimiento obtenido en dicha experimentación fue 98% (López, Bocanegra, & Malagón, 2015). Estos porcentajes se podrían mejorar con el equipamiento más especializado y con un proceso ya establecido de etapa a etapa.

3.3. Análisis económico del mejor tratamiento

Teniendo en cuenta el mejor tratamiento de acuerdo con los parámetros medidos fue en T1, se procedió a realizar el análisis económico. Se pudo determinar que el costo para procesar 500 ml de AVU para obtener biodiesel fue \$ 1.00 (Tabla 7).

Tabla 7*Costo de producción al mejor tratamiento en cuanto al rendimiento*

Costo de procesar 500 ml de AVU a biodiesel				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
AVU	500	ml	0.00	0.00
Metanol	750	ml	0.90	0.68
NaOH	2.5	g	1.60	0.00
Ácido acético	5	ml	5.00	0.03
Agua tratada	167	ml	0.00	0.00
Energía eléctrica	3	kW/h	0.10	0.30
Total				1.00

Para producir un galón de biodiesel los costos serian de \$10.51, es un costo superior al del diésel ya que un galón de diésel tiene un costo promedio de \$3.04 en Ecuador (Orozco, 2023). Esto se debe a que en Ecuador es más costoso producir biodiesel porque esto se hace a pequeña escala.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El manejo del aceite vegetal usado (AVU) en el sector de Yahuarcocha no es el adecuado, a pesar de que las personas son conscientes de los efectos negativos que el AVU causa al medioambiente, desconocen cómo darle un uso correcto. Por esta razón, manifiestan su predisposición a participar en futuros programas de recolección de este residuo, con el fin de aprovecharlo como materia prima en la producción de biodiesel.

Los productos generados cumplen con algunas de las características dispuestas en la Norma INEN 2482:2009 excepto con la densidad. Se determinó que los biodiesel generados con los tratamientos T1, T3, T4 y T6 tienen una viscosidad adecuada para el mercado. En el caso del punto de inflamación únicamente T1 y T4 cumplieron con la normativa. Y para la corrosión de la lámina de cobre los tratamientos T3, T4 y T6 cumplieron con lo establecido en las regulaciones.

El tipo de catalizador usado influyen en el costo del producto final. El tratamiento T1 es el que mejor conviene producir en cuanto a los costos porque es el que mejor rendimiento tuvo.

4.2.Recomendaciones

- Capacitar a los dueños de locales de comida sobre la manera correcta de desechar el aceite vegetal usado (AVU). Esta capacitación es crucial para asegurar que el AVU recolectado sea de alta calidad y apto para la producción de biodiesel. Al educar a los propietarios sobre las mejores prácticas para la disposición y recolección del AVU, se garantiza un suministro constante y adecuado de materia prima. Esto no solo minimiza los efectos negativos del AVU en el medio ambiente, sino que también contribuye al desarrollo de una fuente de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y promoviendo la sostenibilidad.
- Investigar cual es la temperatura y tiempo de transesterificación óptimos para cada catalizador para obtener resultados que puedan cumplir con la norma INEN 2482:2009.
- Considerar las limitaciones de los costos de producción del biodiesel en caso de un posible emprendimiento, debido a los costos de los insumos necesarios para su obtención y la materia prima adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahmed, A., & Jazie, A. (2023). Applications of Super Critical Technology in Biodiesel Production. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1232, 012011. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1232/1/012011>
- Alarcon, M., & Romero, R. (2021). Estudio y diseño de un sistema de recolección de aceite vegetal usado para el sector comercial y residencial del Norte de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21048/1/UPS-GT003413.pdf>.
- Amaya, A., Piamba, O., & Olaya, J. (2018). ESTUDIO DE LOS EFECTOS CORROSIVOS DEL DIÉSEL Y BIODIESEL SOBRE UNA FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS. Obtenido de <https://ve.scielo.org/pdf/rlmm/v34n2/art12.pdf>
- Andrade, N., & Moncada, J. (2020). Manejo de los residuos de aceite comestible en los expendios de comida. Ibarra, Ecuador. Obtenido de <https://doi.org/10.32645/13906925.987>
- Animasaun, D., Ameen, M., & Belewu, M. (2021). Protocolo para la Producción de Biodiesel mediante el Método de Transesterificación Catalizada por Bases. En: Basu, C. (eds) Biocombustibles y Biodiesel. *Methods in Molecular Biology*, vol 2290. Humana, Nueva York, NY. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1323-8_7
- Benediccto, G. (2019). PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR CATÁLISIS HETEROGÉNEA. DISEÑO Y APLICACIÓN DE CATALIZADORES,

ORIENTADOS A SU APLICACIÓN INDUSTRIAL EN PLANTAS MODULARES. Obtenido de

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81184/CONICET_Digital_Nro.ad48de2b-6be8-43d5-9183-ab8ef5a48b79_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Cabello, C., Rincon, S., & Zepeda, A. (2017). Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel. *Revista de química teórica y aplicada*, 74(577), 51-59.

Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6139314>

Cacay, J. (2024). Determinantes de la disposición final del aceite domiciliario en la ciudad de Loja 2023. *Revista Económica*, 12(1), 9–21. Obtenido de <https://doi.org/10.54753/rve.v12i1.2023>

Cárdenas, M., & Vélez, J. (2022). *Análisis Técnico del Aprovechamiento del Aceite Vegetal Usado del Catón Cuenca-Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23501/4/UPS-CT010100.pdf>

Corrales, R., Quesada, J., & Villareal, C. (2022). Review of materials characterization techniques to study corrosion in biodiesel engines. *Tecnología en Marcha.*, 35. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v35i7.6342>

Diaz, S., & Perez, O. (2021). Uso del biodiesel en motores de combustion interna destinados a actividades ganaderas. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542021000100007&script=sci_arttext&tlng=es

Fierro, J. (2021). Entre la comprensión y la predicción del funcionamiento de catalizadores sólidos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 14(26), 00004. Obtenido de

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.69645>

Flores, F., & Imbaquingo, J. (2015). Determinación de parámetros óptimos para la producción de biodiesel (B100) a partir del aceite vegetal usado de fritura. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4487>

Foodcom. (2023). El Ácido Sulfúrico: producción, usos y medidas de seguridad. Obtenido de <https://foodcom.pl/es/el-acido-sulfurico-produccion-usos-y-medidas-de-seguridad/> Pérez

Garcia, P. (2020). VALORIZACIÓN ECOLÓGICA DEL ACEITE DOMÉSTICO USADO DE COCINA PARA LA ELABORACIÓN DE JABONES Y BIODIESEL EN EL MERCADO DE MONTEBELLO. Obtenido de <https://cia.uagraría.edu.ec/Archivos/GARCIA%20CHOCHO%20PATRICIA%20DEL%20ROCIO.pdf>

Gioia, G. (2013). Gestión Integral de Aceites Vegetales Usados (AVU's). *Rio Negro*.

Gonzales, A. (2022). Producción de Biodiesel a partir de ACR: Proceso Actual y Oportunidades de Mejora. Obtenido de https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137319/daniel_ensayo%20repositorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guerrero, M., Santana, K., & Robalino, D. (2022). Evaluación de estrategias de gestión de aceites de cocina usados. Caso de estudio Puyo, Amazonia Ecuatoriana. *Revista EIA*, 19(38), Reia3813. Obtenido de <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1545>

Hernandez, J. (2021). ASTM D93 - Método para Determinar El Punto de Inflamación. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/491602331/ASTM-D93-Metodo->

para-determinar-el-punto-de-inflamacion

Hodson, E. (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.650>

Hosseinzadeh, H., Li, C., Chen, X., Peng, W., Aghbashlo, M., Lam, S. S., & Tabatabaei, M. (2022). Managing the hazardous waste cooking oil by conversion into bioenergy through the application of waste-derived green catalysts. *Journal of Hazardous*, 424. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127636>

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2014). *Resolución No. 14242*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-232.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2009). *INEN 2482 Biodiesel. Requisitos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/377485391/Norma-INEN-Biodiesel>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *Censo de población y vivienda*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.

Kosuro, S., Delhiwala, Y., & Mekala, M. (2024). A review on the biodiesel production: Selection of catalyst, Pre-treatment, Post treatment methods. *Green Technologies and Sustainability*, 2(1), 100061. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.grets.2023.100061>

Lomas, M., & Moran, V. (2020). Aprovechamiento de aceites vegetales desechados de la Avenida José Roura para obtener biodiesel empleando técnicas de esterificación y transesterificación. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51458>

López, L., Bocanegra, J., & Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel a partir de

- aceite usado de cocina por trans-esterificación. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/477/47736230010.pdf>
- Martinez, A. (2014).). Método de Prueba Estándar ASTM D 130 para determinar la corrosividad de productos derivados del petróleo mediante la Prueba de Tira de Cobre. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/218877354/ASTM-D-130-04-Corrosividad-de-Cobre>
- Merino, C., & Salame, D. (2022). Elaboracion de biodiesel a partir de aceite residual domestico y aceite residual industrial, comparando calidades según sus parametros fisicoquimicos. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65347>
- Mezones, J., Garcia, S., & Ponce, W. (2023). Effects of Alkaline Catalysts in Obtaining Biodiesel from *Jatrophas Curca L.* *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*. doi:10.60100/rcmg.v4i2.165
- Moya, M., & Moya, J. (2021). Biodegradacion de Residuos de Aceite Usado de Cocina por Hogos Lipoliticos. Obtenido de <https://doi.org/10.20937/rica.53054>
- Namoco, J., Comaling, V., & Buna, C. (2017). Utilization of used cooking oil as an alternative cooking fuel resource. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 12(2), 435–442. Obtenido de https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0117_5637.pdf
- Orozco, M. (2023). Escasez de diésel eleva costos de producción y el subsidio en Ecuador. *Primicias*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/suben-precios-diesel-subsidio-ecuador/>

- Pérez, S., & Gallardo, N. (2022). Condiciones del proceso de transesterificación en la producción de biodiesel y sus distintos mecanismos de reacción. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25.
- Pochteca, G. (2023). *Óxido de zinc | Grupo Pochteca*. Grupo Pochteca | Venta de Materias Primas Para la Industria. Obtenido de [Https://mexico.pochteca.net/oxido-de-zinc/](https://mexico.pochteca.net/oxido-de-zinc/)
- Ramírez, J., Buestan, L., & Pinos, V. (2023). Preparation and Physicochemical Characterization of Biodiesel from Recycled Vegetable Oil in Cuenca, Ecuador by Transesterification Catalyzed by KOH and NaOH. *Valorization of Material Wastes for Environmental, Energetic and Biomedical Applications II*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/eng4010056>
- Rico, J. (2019). España solo recoge el diez por ciento del aceite de cocina usado y Europa importa millones de litros para producir biodiesel. Energías renovables. Obtenido de <https://www.energiasrenovables.com/biocarburantes/espana-solo-recoge-el-10-del-aceite20191120>
- Rouhany, M., & Montgomery, H. (2018). Producción mundial de biodiesel: estado del arte e impacto en el cambio climático. En: Tabatabaei, M., Aghbashlo, M. (eds) Biodiesel. Tecnologías de biocombustibles y biorrefinerías, vol 8. Springer, Cham. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-030-00985-4_1
- Sanchez, J. (2018). Viscosidad. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/412016549/Tarea-2-Mecanica-de-Fluidos>
- Serrano, D. (2019). *EVALUACIÓN DEL USO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ACEITE VEGETAL RESIDUAL PROVENIENTE DE COMEDORES EN GENERAL VILLAMIL PLAYAS, ECUADOR*. Obtenido de

<https://repositorio.ug.edu.ec/items/6db427fd-7e71-405d-9435-6945ca3505a8>

Sikorska, J. (2023). *¿Qué es el hidróxido de sodio y para qué sirve?* Foodcom S.A.

Obtenido de <https://foodcom.pl/es/que-es-el-hidroxido-de-sodio-y-para-que-sirve/>

Solarte, N., & Vargas, M. (2013). DISEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DEL ACEITE DE COCINA USADO PARA SU REUTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN CUATRO (4)

BARRIOS DE LA CIUDAD DE CALI. Obtenido de [Https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5196/TIA01580.pdf?Sequence=1&isallowed=y](https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5196/TIA01580.pdf?Sequence=1&isallowed=y)

Sotomonte, K. (2021). Analisis de los beneficios que obtiene el medio ambiente a partir de la produccion de biocombustibles. Obtenido de

<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1064>

Torres, L., Ben, B., & Perez, M. (2019). Characteristics of glycerin obtained from the reaction process of sodium methoxide in the production of Biodiesel. Obtenido de

https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/volumen18/Revista_de_Energ%C3%ADa_Qu%C3%ADmica_y_F%C3%ADsica_V6_N18.pdf#page=26

Torroba, A. (2021). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2020-2021* (1.^a ed.). Creative Commons. Obtenido de

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18661/BVE21097939e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vera, M., & Vargas, F. (2021).). EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA


PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE USADO DE
COCINA EN COLOMBIA. Obtenido de
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=ing_quimica

Zea, M. (2022). Densidad de Líquidos con Picnómetro. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/422273803/Densidad-de-liquidos-con-Picnometro-pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Norma INEN 2482:2009

	
ENMIENDA (2013-06-14)	
<hr/>	
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA	NTE INEN 2482:2009
<hr/>	
BIODIESEL. REQUISITOS	
Primera edición	
BIO DIESEL. REQUIREMENTS	
First edition	
En la página 2, tabla 1	
Díce:	
<hr/>	
<small>DESCRIPCIÓN: Tecnología química, productos químicos orgánicos, ácidos orgánicos, aceites combustibles, biodiesel, requisitos. CUI: 03.02-405 CDU: 665.12.662.75 CIIU: 3511 ICS: 71.080.40</small>	

Anexo 2

Encuesta de AVU producido por los restaurantes del sector de Yahuarcocha

<p>Encuesta de Aceite Vegetal Usado producido por los restaurantes del sector de Yahuarcocha</p> <p>Esta encuesta tiene como objetivo de levantar información sobre el aceite vegetal usado producido en los locales de comida en el sector turístico de Yahuarcocha</p> <p>1.Nombre del local</p> <p>2. ¿Cómo maneja su restaurante el aceite vegetal usado?</p> <p><input type="checkbox"/> Desecha por el lavabo</p> <p><input type="checkbox"/> Desecha en los basureros</p> <p><input type="checkbox"/> Lo destina para alimento de animales</p> <p><input type="checkbox"/> Lo entrega a un gestor de residuos</p> <p>3. ¿Cuánto aceite vegetal usado genera aproximadamente en su local por semana?</p> <p><input type="checkbox"/> 10 L</p> <p><input type="checkbox"/> 15 L</p> <p><input type="checkbox"/> 20 L</p> <p><input type="checkbox"/> 25 L</p> <p><input type="checkbox"/> Más de 25 L</p> <p>4. ¿Su restaurante está consciente de los impactos ambientales del desecho inadecuado de aceite vegetal?</p> <p><input type="checkbox"/> Si</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p>5. ¿Estaría dispuesto/a a participar en un programa de recolección de aceite vegetal usado?</p> <p><input type="checkbox"/> Si</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>

Anexo 3*Análisis de Varianza de la densidad*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prueba bilidad	Valor crítico para F
				7371.	1.7428	3.1058752
Entre grupos	0.1003298	5	0.020065967	17143	E-20	39
Dentro de los grupos	3.26E-05	12	2.72222E-06			
Total	0.1003625	17				

Anexo 4*Análisis de Varianza para la Viscosidad*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prueba bilidad	Valor crítico para F
				8670.	6.5816	3.1058752
Entre grupos	0.8646471	5	0.172929422	55599	6E-21	39
Dentro de los grupos	0.0002393	12	1.99444E-05			
Total	0.8648864	17				

Anexo 5*Análisis de Varianza para el punto de inflamación*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prueba bilidad	Valor crítico para F
				114	1.2383	3.10587523
Entre grupos	9524	5	1904.8	2.88	7E-15	9
Dentro de los grupos	20	12	1.666666667			
Total	9544	17				

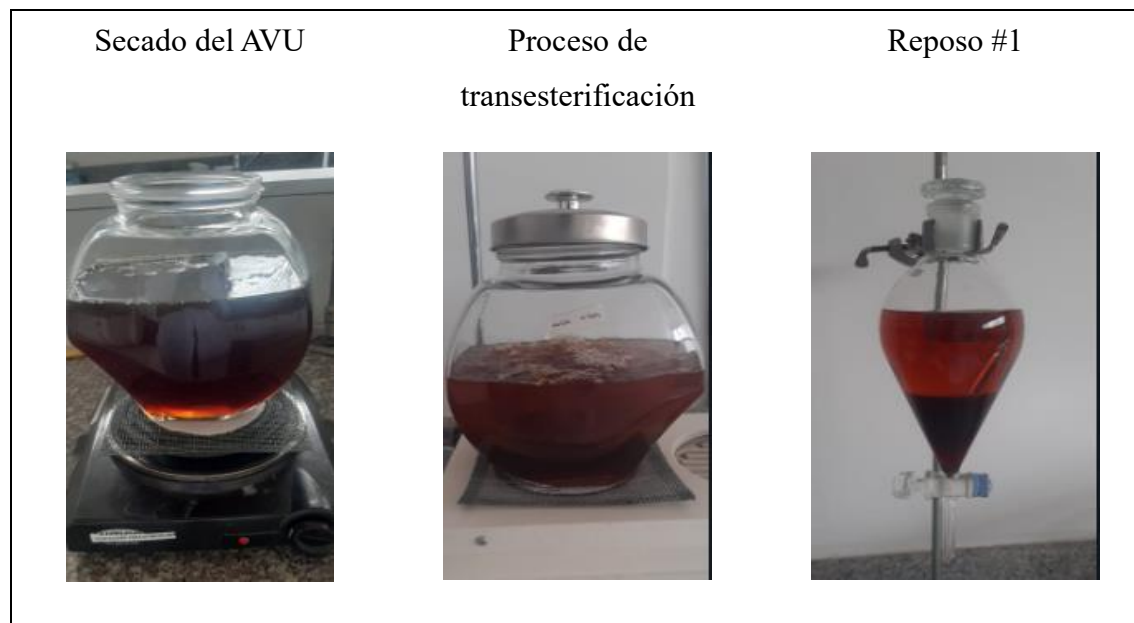
Anexo 6

Análisis de Varianza para el rendimiento

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prueba bilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5571.1111	5	1114.222222	33.93	1.1156	3.1058752
Dentro de los grupos	394	12	32.83333333	57022	7E-06	39
Total	5965.1111	17				

Anexo 7

Elaboración de biodiesel





Anexo 8

Análisis fisicoquímicos del biodiesel

