FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

"APROVECHAMIENTO DEL ACEITE DOMÉSTICO RESIDUAL (ADR) PARA LA GENERACIÓN DE BIODIESEL EN IQUITOS, LORETO, 2019."

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

WAGNER MICHELLE DEL ÁGUILA OJANAMA

ASESOR:

Ing. ANA MARÍA RENGIFO PANDURO, Dra.

IQUITOS, PERÚ

2020

UNAP

FACULTAD DE AGRONOMIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°014-CGYT-FA-UNAP-2020

En Iquitos, mediante la plataforma virtual de Zoom, a los 10 días del mes de julio del 2020, a horas 08:00 p.m., se dio inicio a la sustentación pública del Trabajo de investigación titulado: **"APROVECHAMIENTO DEL ACEITE DOMÉSTICO RESIDUAL (ADR) PARA LA GENERACIÓN DE BIODIESEL EN IQUITOS, LORETO, 2019"**, aprobado con Resolución Decanal **N°019-CGYT-FA-UNAP-2019,** presentado por el Egresado **WAGNER MICHELLE DEL AGUILA OJANAMA** , para optar el Título Profesional **DE INGENIERO (A) EN GESTIÓN AMBIENTAL** que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal **N°013-CGYT-FA-UNAP-2020**, está integrado por:

ING. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
ING. HITLER FRANCOIS VASQUEZ AREVALO, M.Sc.
ING. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, M.Sc.

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 el trabajo de investigación han sido:.....**APROBADO**.....

con la calificación .....**MUY BUENA**.....

Estando el Egresado .....**APTO**.....para obtener el Título Profesional de **INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL**.....

Siendo las ...**10 pm**....., se dio por terminado el acto .....**ACADEMICO**.....

ING. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
Presidente (a)

ING. HITLER FRANCOIS VASQUEZ AREVALO, M.Sc.
Miembro

ING. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, M.Sc.
Miembro

ING. ANA MARÍA RENGIFO PANDURO, Dra.
Asesor (a)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis aprobada en sustentación pública el día 10 de julio del 2020, por el jurado Ad-Hoc, designado por el comité de grados y títulos de la escuela profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, para optar el título profesional de:

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

ING. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
Presidente

ING. HITLER FRANCOIS VASQUEZ AREVALO, Ms.
Miembro

ING. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, Ms.
Miembro

ING. ANA MARÍA RENGIFO PANDURO, Dra.
Asesor (a)

ING. FIDEL ASPAJO VARELA, M. Sc.
Decano

DEDICATORIA

A mis madres, **Juana López Salas, Salvith Ojanama López**, a mi padre (mi abuelo), **Lauro Fernando Ojanama Paredes,** y a la otra figura paterna que la vida me dio; que de una forma u otra estuvieron para mí en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero Agradecer principalmente a mi familia, que indiferente a todo lo que ocurría alrededor, siempre han estado cuando los he necesitado, soportándome y apoyándome día tras día. Este logro también les pertenece a ellos.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana por haberme brindado las facilidades durante la elaboración del proyecto y a sus docentes por haberse involucrado, guiándome y aconsejándome.

Al ingeniero José Ramírez Chung, Dr. y al ingeniero Julio Pinedo Jiménez por su apoyo durante la elaboración de la tesis.

A la ingeniera Ana María Rengifo Panduro, Dra. por el apoyo, los consejos y su tiempo en el asesoramiento de la tesis.

ÍNDICE

	Pág.
Portada	i
Acta de sustentación	ii
Jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice	vi
Resumen	x
Abstract	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. BASES TEÓRICAS	9
1.2.1. Marco legal	9
1.2.2. Marco conceptual	14
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	31
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	
2.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	34
2.2. VARIABLES Y SU OPERACIONALIZACIÓN	34
2.2.1. Variables	34
2.2.2. Operacionalidad de las variables	35
CAPITULO III: METODOLOGÍA	
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1.1. Tipo de investigación	36
3.1.2. Diseño de investigación	36
3.2. DISEÑO MUESTRAL	36
3.2.1. Área de estudio	36
3.2.2. Población y muestra	38
3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.3.1. Tipos de datos	39
3.3.2. Técnicas de recolección de datos	53
3.3.3. Instrumentos de recolección de datos	53
3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	54
3.5. ASPECTOS ÉTICOS	54

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Volúmenes generados de aceite doméstico residual en los hogares de la ciudad de Iquitos. 55
4.2. Rendimiento de biodiesel obtenido. 56
4.3. Temperatura óptima necesaria para mayor rendimiento en la producción de biodiesel. 57
4.4. Cantidad de metanol optimo necesario para mayor rendimiento en la producción de biodiesel. 59
4.5. Tratamiento óptimo para la obtención de mayor rendimiento de biodiesel. 61
4.6. Pruebas de calidad del biodiesel obtenido. 64

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Del volumen de aceite doméstico residual generado. 65
5.2. Del grado de acidez del aceite doméstico residual de la ciudad de Iquitos. 66
5.3. De la temperatura óptima para la producción de biodiesel. 67
5.4. Del volumen de metanol óptimo para la producción de biodiesel. 68
5.5. De la interacción de factores. 69
5.6. Del análisis de la calidad del biodiesel. 71

CAPITULO VI: CONCLUSIONES 72

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES 74

CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN 77

ANEXOS 92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ácidos grasos de los triglicéridos 15
Tabla 2: Propiedades físico-químicas del aceite comestible 16
Tabla 3: Características físicas y químicas del aceite usado de cocina 17
Tabla 4: Normas ASTM D6751 para biodiesel 28
Tabla 5: Normas técnicas para calidad de biodiesel (B100) 28
Tabla 6: Operacionalidad de las variables 36
Tabla 7: Población de la ciudad de Iquitos 2017 38
Tabla 8: Muestra por distrito 39
Tabla 9: Estimación anual de la generación de aceite doméstico residual en la ciudad de Iquitos. 55
Tabla 10: Rendimiento de biodiesel promedio obtenido en laboratorio. 57
Tabla 11: Análisis de varianza ANOVA para el factor temperatura. 57
Tabla 12: Prueba de Tukey para el factor temperatura. 58
Tabla 13: Análisis de varianza ANOVA para el factor metanol. 59
Tabla 14: Prueba de Tukey para el factor metanol. 60
Tabla 15: Análisis de varianza ANOVA para la interacción de factores. 61
Tabla 16: Prueba de Tukey para los tratamientos. 62
Tabla 17: Resultados de la prueba de calidad del biodiesel obtenido. 64
Tabla 18: Volumen de aceite doméstico residual recolectado por distrito. 97
Tabla 19: Densidad del aceite doméstico residual. 98
Tabla 20: Viscosidad del aceite doméstico residual. 98
Tabla 21: Índice y grado de acidez del aceite doméstico residual. 98
Tabla 22: Índice de saponificación del aceite doméstico residual. 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reacción dentro del proceso de transesterificación. 24
Figura 2. Reacción general del proceso de transesterificación. 24

Figura 3. Ubicación de la ciudad de Iquitos (2019). 37
Figura 4. Estructura del diseño experimental. 41
Figura 5. Viscosímetro de Ostwald. 45
Figura 6. Flujograma del proceso de producción del biodiesel. 52
Figura 7. Ficha de recolección de datos experimentales. 96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Estimado anual de aceite doméstico residual generado. 56
Gráfico 2. Influencia de la temperatura en el rendimiento del biodiesel. 58
Gráfico 3. Influencia del metanol en el rendimiento del biodiesel. 60
Gráfico 4. Rendimiento obtenido por tratamiento. 62
Gráfico 5: Normalidad del rendimiento bajo influencia del factor temperatura. 93
Gráfico 6: Dispersión del rendimiento bajo influencia del factor temperatura. 93
Gráfico 7: Normalidad del rendimiento bajo influencia del factor metanol. 94
Gráfico 8: Dispersión del rendimiento bajo influencia del factor metanol. 94
Gráfico 9: Normalidad del rendimiento de la interacción de factores. 95
Gráfico 10: Dispersión del rendimiento de la interacción de factores. 95

RESUMEN

El proyecto se realizó en el laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Teniendo como objetivo la obtención de biodiesel a partir del aceite doméstico residual. El aceite fue recolectado de un total de 384 casas de la ciudad de Iquitos, al cual se le realizo un pretratamiento para eliminar sólidos y humedad; al aceite debidamente tratado se le realizaron algunas pruebas de calidad, siendo la más importante la determinación del índice de acidez, ya que de ese resultado se determinó la cantidad de catalizador a usar en la reacción, siendo este 0,4173 g NaOH por 100 ml de aceite doméstico residual. Posteriormente se realizó un proceso de reacción llamado transesterificación, utilizando 100 ml de aceite doméstico residual con distintas temperaturas de reacción (T° ambiente, 45°C y 65°C) y distintos volúmenes de metanol (20 ml, 40 ml y 60 ml), obteniéndose distintos rendimientos de las nueve combinaciones evaluadas; de estos resultados y realizando la prueba de significancia de Tukey, se determinó que la temperatura óptima y el volumen de metanol necesario para obtener un mayor rendimiento de biodiesel es la combinación de 45°C con un volumen entre 40 y 60 ml de metanol. Finalmente, se concluye que el aceite doméstico residual generado en la ciudad de Iquitos cumple con las características necesarias para ser aprovechados mediante su trasformación en biodiesel, pues las pruebas de calidad realizadas, demostraron que el biodiesel cuenta con propiedades dentro de los parámetros nacionales e internacionales.

Palabras clave: Aceite doméstico residual, reaprovechamiento, transesterificación, biodiesel, hidróxido de sodio, metanol, catalizador.

ABSTRACT

The project was carried out in the laboratory of organic chemistry of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of the Peruvian Amazon, aiming to obtain biodiesel from residual domestic oil. The oil was collected from a total of 384 houses in the city of Iquitos, which was pre-treated to remove solids and moisture; to the properly treated oil some quality tests were performed, being the determination of acidity index the most important, because of that result the amount of catalyst to be used in the reaction was determined, this being 0,4173 gr NaOH per 100 ml of residual domestic oil. Subsequently, a reaction process called transesterification was performed, using 100 ml of residual domestic oil with different reaction temperatures (room temperature, 45°C and 65°C) and different volumes of methanol (20 ml, 40 ml and 60 ml), obtaining different yields of the nine combinations evaluated; of these results and performing Tukey's significance test, it was determined that the optimum temperature and volume of methanol needed to obtain higher biodiesel yield is the combination of 45°C with a with a volume between 40 and 60 ml of methanol. Finally, in order to conclude that the residual domestic oil generated in the city of Iquitos meets the necessary characteristics to be used through its transformation into biodiesel, quality tests were carried out, which showed that biodiesel has properties within national and international parameters.

Keywords: Residual domestic oil, reuse, transesterification, biodiesel, sodium hydroxide, methanol, catalyst.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, día tras día se genera alrededor de 19 mil toneladas de residuos sólidos, que equivale a llenar tres estadios nacionales[1] y que por falta de una adecuada gestión se transforman en potenciales contaminantes para los suelos, cuerpos de agua y el aire, esto debido a que tan solo el 1,9% de los residuos reaprovechables generados diariamente se reciclan[2]**.** Pero a la par, las medidas para desarrollar acciones de segregación o separación de residuos en la fuente y de minimización van en aumento como por ejemplo el programa de incentivos para la mejora de la gestión municipal, que en una de sus metas establece incentivos en el manejo integral de residuos sólidos municipales[1], sin embargo la mayoría de estos esfuerzos se centran principalmente en los residuos del tipo sólido, que son solo una parte del problema, ya que dejan de lado los esfuerzos para implementar sistemas eficientes que se encarguen, durante el mismo u otro proceso, de la disposición final y el tratamiento de los residuos en estado líquido; este hecho se puede comprobar al observar que en la gran mayoría de documentos como leyes, normativas, planes de acción y otros, el nombre residuos sólidos es el que prevalece.

En la ciudad de Iquitos y de acuerdo al levantamiento de información realizado, se tiene conocimiento de la presencia de una gran cantidad del residuo producto de la utilización de aceites en la fritura de alimentos en los hogares, centros e instituciones, restaurantes y otros ámbitos económicos, que no cuentan con un apropiado plan de gestión para este tipo de residuos, hecho por el cual, este residuo junto a otros factores como el aumento y la dispersión poblacional, el no contar con medidas para su control,

minimización, reutilización o reciclamiento, trae consigo que la problemática ambiental aumente considerablemente.

Frente a esta realidad surge la idea de realizar este trabajo de investigación, con el objetivo principal de producir biodiesel utilizando el aceite doméstico residual generado en la ciudad de Iquitos, como alternativa para el reciclaje y aprovechamiento de este residuo.

Agregado a lo mencionado anteriormente, la carencia de un sistema para la gestión de residuos líquidos en nuestra ciudad, la desinformación, la falta de conciencia ambiental y el desinterés, hace que incurramos en erróneas prácticas de manejo, las cuales se deben evitar. Mediante la correcta gestión de este tipo de residuos, se busca lograr la adecuada recolección y el tratamiento para su aprovechamiento a partir de su reciclamiento.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

En el 2013, el consorcio de aguas Bilbao Bizkaia, realizó un estudio situacional sobre las problemáticas que lleva consigo la mala gestión de los aceites usados de cocina, que tuvo como población de estudio a la población de Bizkaia, España; de donde la investigación determinó que la cantidad de aceite generado es de 2-4 litros/hab. Año, generando de acuerdo a su población en el 2013, de 2 313 000 a 4 626 000 litros/año, concluyendo que la problemática del vertido de aceite usado de cocina a través de los desagües, genera un incremento en el coste para la sociedad y el medio ambiente, que podría ser reducido utilizando una gestión adecuada de recogida y posterior transformación en biodiesel[3].

En el 2016, Sarracent et al.[4] en un estudio sobre de la transformación del aceite de soya usado en esteres etílicos de ácidos grasos, de tipo experimental, teniendo como muestra de estudio el aceite de soya residual proveniente de una empresa productora de alimentos fritos y utilizando etanol e Hidróxido de sodio en el proceso de transesterificación; determino que el rendimiento final utilizando etanol es más bajo que el rendimiento utilizando metanol como el alcohol de la transesterificación. Los autores concluyeron que transformar el aceite usado en biocombustible es una alternativa para su eliminación como residuo peligroso y que a pesar haber obtenido un rendimiento

bajo utilizando etanol de baja pureza y que no cumplió con los parámetros establecidos para los biocombustibles, lograron el objetivo principal, que fue la transesterificación del aceite usado.

En el 2015, se desarrolló un estudio de tipo experimental y económico sobre la valorización energética de los aceites vegetales desechados en Chile y su aplicación como materia prima en la producción heterogénea de biodiesel, determinándose que el origen del aceite vegetal desechado afecta y limita al proceso de producción de biodiesel mediante transesterificación, debido a la composición química y a su grado de degradación. El trabajo concluyó que la producción de biodiesel a base de aceites vegetales desechados es un proceso técnicamente viable, que valoriza un residuo altamente contaminante y lo transforma en un biocombustible, y que la producción de biodiesel utilizando sistemas heterogéneos es una opción más rentable que al utilizar sistemas homogéneos[5].

En el 2014, el proyecto de tipo experimental “Producción de biodiesel a partir del aceite vegetal usado”, recolecto aceite de restaurantes en el vecindario de Wuse 2, al noroeste de Abuja (Nigeria) y lo sometió a un proceso de transesterificación; Para este proceso se utilizó 2 litros del aceite tratado y lo hicieron reaccionar con 8 gr de hidróxido de sodio y 400 ml de metanol. El resultado encontrado demostró que el biodiesel derivado de transesterificar aceites vegetales o grasas animales con metanol o etanol es una alternativa viable, de menos emisión y un sustituto del diésel de petróleo[6].

En el 2007, se llevó a cabo una investigación de tipo experimental para la obtención de biodiesel a partir del aceite oxidado de piñón, utilizando el método base-base con etanol, para ello utilizaron como muestra aceites rancios almacenados durante 6 a 12 meses aproximadamente, obtenido a partir de ellos varios lotes mediante el método de investigación empleado y determinaron que los parámetros obtenidos en sus resultados son positivos al comprarlos con un biodiesel testigo (fabricado con la misma materia prima a nivel industrial), además que cumplieron con los estándares de calidad nacional e internacional; el trabajo concluyo demostrando que al obtener biodiesel por el método base-base a nivel laboratorio a base de aceite de piñón, se obtiene un rendimiento volumétrico promedio de 86,5%[7].

En el Perú, Desde hace más de 10 años, La Universidad Agraria “La Molina” ha venido desarrollando estudios sobre la producción de biodiesel a partir del uso de aceites usados y quemados, por lo que en el 2004, apoyado por Soluciones Prácticas-ITDG, llevaron a cabo el lanzamiento del primer autobús ecológico alimentado por biodiesel producido en los laboratorios de la universidad y actualmente continúan con buenos resultados en cuanto a la aplicación de este combustible a sus buses universitarios, El sistema implementado incluye la recolección del aceite, su limpieza y transformación en biodiesel. Todos los procesos se realizan en un reactor piloto diseñado y construido por el equipo técnico del proyecto[8].

En el 2017, el proyecto titulado “Reaprovechamiento de aceites usados en pollerías para la producción de biodiesel”, de carácter experimental

y con una población muestral de 21 pollerías de la ciudad de Juliaca determino que los aceites vegetales usados en cada establecimiento tienen un promedio de 9,72 litros/AVU/día. Y que el reaprovechamiento como biodiesel utilizando metanol no presenta diferencia significativa en el rendimiento. El trabajo concluyo con una prueba realizada en un motor de diésel, comprobándose su correcto funcionamiento en proporciones de BD5, BD20 y BD50[9].

De igual forma, el 2017, se llevó a cabo una investigación de tipo cuantitativa y experimental titulada “Aprovechamiento de los desechos de aceites vegetales generados por el comedor universitario de la Universidad Nacional de Trujillo para la producción de biodiesel”, la cual tuvo como población muestral el aceite recogido de su comedor universitario, cuantificándolo y dándole el tratamiento necesario para su posterior transformación en biodiesel; utilizaron un diseño completo al azar para poder determinar a qué temperatura (60°C, 50°C, 40°c y 30°C) y con qué tipo de catalizador (NaOH y KOH) se obtiene mayores rendimientos y consideraron a la producción de glicerol como un determinante para la obtención de un mejor producto, concluyendo que se obtiene un mayor rendimiento (96,9%) al utilizar NaOH como catalizador[10].

Por otro lado, en el 2013 Marquez[11] desarrolló una investigación del tipo cualitativo, que incluyo como población de estudio 10 pollerías de la ciudad de Cañete, determinando una generación promedio de 7,59 litros de aceites vegetales usados al día por cada establecimiento, concluyendo que el tratamiento de los aceites vegetales usados y su

transformación a nivel industrial es un proceso rentable y de alta inversión, pero lo más importante son los beneficios que traerán al ciudadano a mediano y largo plazo, ya sea en el plano económico, sanitario y el ambiental.

En otro ámbito, en el 2018, la municipalidad de San Borja instalo 3 puntos de acopio de aceite en desuso para que luego pueda ser transformado en biodiesel, la iniciativa involucra a la comuna y a 34 restaurantes del distrito y que el proceso de transformación se realiza en las instalaciones de la casa de energía renovable “Kallpa Wasi”, perteneciente a la municipalidad. Otro detalle de esta iniciativa es que cuentan con vehículos que funcionan con biodiesel. Mediante la transformación se determinó que 3 litros de aceite usado se pueden convertir en 2 litros de biodiesel[12].

El 2009, Saavedra[13] llevó a cabo una investigación de tipo experimental sobre transesterificación de los ácidos grasos del aceite de palma virgen con metanol como su catalizador, para ello se utilizó un diseño factorial completamente al azar de 3 temperaturas y 5 volúmenes de metanol, donde los resultados obtenidos concluyeron que la temperatura óptima para un mayor rendimiento de biodiesel fue de 65°C y que el volumen de metanol optimo fue a 20 ml y 60 ml. Concluyendo que el tratamiento óptimo para un mayor rendimiento es la combinación de 20 ml de metanol con 65°C, con un rendimiento de 88,9%.

En la ciudad de Iquitos, el 2016, se desarrolló un proyecto de tipo experimental sobre la obtención de jabón líquido usando aceite vegetal

reciclado, que fue recolectado de las cocinas del comedor y del instituto de gastronomía de la universidad, las cuales pasaron por un pretratamiento y un análisis de calidad; luego para la obtención del jabón líquido se mezcló aceite de coco y aceite reciclado. La investigación determino que aumentar el catalizador (KOH) influye desfavorablemente el pH de la pasta jabonosa obtenida, lo que la vuelve más alcalina, mientras que incrementar la temperatura de reacción, produce la disminución del rendimiento en pasta jabonosa y el tiempo de reacción, al finalizar el proyecto obtuvieron un jabón líquido de buenas características en cuanto a fluidez y persistencia de espuma, concluyéndose que la obtención del jabón líquido a partir del aceite reciclado de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana es técnicamente viable[14].

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Marco legal

- **Constitución política del Perú[1].**

La constitución política del Perú, en el artículo 2° - inciso 22, menciona que toda persona tiene derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

- **Ley General del ambiente[2].**

"La ley general del ambiente en el artículo I de su título preliminar, hace referencia a que toda persona tiene el derecho a vivir en un ambiente saludable y debe contribuir a la gestión y protección del ambiente para asegurar principalmente la salud de las personas" (p1).

Título I: política nacional de la ambiente y gestión ambiental.

"En su capítulo 2 sobre la política nacional del ambiente, en el artículo 11, se indica que uno de los lineamientos básicos de las políticas públicas debe ser la prevención de riesgos, daños y control de la contaminación ambiental, principalmente en las fuentes emisoras. En particular, la promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción, comercialización y disposición final más limpias" (p6).

[1] Constitución política del Perú, del 29 de diciembre de 1993, pág. 41.
[2] Ley N° 28611: Ley General del Ambiente, del 15 de octubre del 2005, Perú.

Título II: De los sujetos de la Gestión Ambiental

“En el capítulo 3 de la población y ambiente, artículo 66° sobre la salud ambiental, inciso 66.1; menciona que la prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental. Además que la efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas es responsabilidad del estado y de las personas dentro del territorio nacional y en su artículo 67°, sobre el saneamiento básico, se indica que las autoridades públicas debe priorizar medidas de saneamiento básico en cuanto a la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reusó de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales” (p26).

Título III: Integración de la Legislación Ambiental

“En el capítulo 3 de calidad ambiental, artículo 120° sobre la protección de la calidad de aguas, inciso 120.1; menciona que el estado es el encargado de la protección de la calidad del recurso hídrico del país a través de las entidades responsable por ley; además que como dice el inciso 120.2, debe promover el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización” (p39).

“En su artículo 122° sobre el tratamiento de residuos líquidos, inciso 122.1, menciona que las entidades encargadas de los

servicios de saneamiento son responsables por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales” (p40).

- **Decreto supremo N°008-2005-PCM[3]**

  “En su capítulo X sobre ciencia, tecnología y educación ambiental, artículo 84° del fomento de la investigación ambiental científica y tecnológica, inciso 1; menciona que debe promoverse y fomentarse la investigación y el desarrollo científico y tecnológico en materia ambiental”.

- **Decreto Legislativo N° 1278[4]**

  En su título I: Disposiciones generales, principios y lineamientos de la ley.

  “En el capítulo 1 sobre disposiciones generales, artículo 2° se menciona que La gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, co-procesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente.

[3] Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, Reglamento de la Ley N° 28245: Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, del 28 de enero del 2005. Perú, Pág. 126.

[4] Decreto Legislativo N° 1278, del 23 de diciembre del 2016 donde se aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos. Perú

La disposición final de los residuos sólidos en la infraestructura respectiva constituye la última alternativa de manejo y deberá realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas, las cuales se definirán en el reglamento del presente Decreto Legislativo emitido por el Ministerio del Ambiente" (p2).

Título IV: Competencias en materia de residuos solidos

"En su capítulo 3 de las competencias de las autoridades descentralizadas, artículo 22° se menciona que Las municipalidades provinciales, en lo que concierne a los distritos del cercado, y las municipalidades distritales son responsables por la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, especiales y similares, en el ámbito de su jurisdicción" (p11).

- **Ley general de salud[5]**

"En el capítulo 3 sobre sobre la protección del ambiente para la salud, artículo 104° se menciona que Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente" (p20).

"El artículo 105° indica que Corresponde a la Autoridad de Salud competente, dictar las medidas necesarias para minimizar y

[5] Ley N° 26842: Ley General de Salud, del 15 de julio de 1997. Perú

controlar los riesgos para la salud de las personas derivados de elementos, factores y agentes ambientales.

En el artículo 107° se menciona que El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento” (p21).

1.2.2. Marco conceptual

- **Aceites comestibles**

El Ministerio de Economía y Comercio de Costa Rica[15] menciona que, “los aceites comestibles son los productos líquidos obtenidos a partir de la refinación de aceites crudos que son extraídos en su mayoría de frutos o semillas oleaginosas, los cuales tienen en su composición principalmente glicéridos de ácidos grasos” (p6).

NTP 209.001:1983[16]**,** describe al aceite vegetal comestible como, “el producto alimenticio constituido principalmente por glicéridos de ácidos grasos obtenidos únicamente de fuentes vegetales: frutos y semillas oleaginosas, líquido a la temperatura de 20ºC” (p1).

Fuentes

Las fuentes más comunes para la obtención de aceite comestible son las fuentes vegetales como la aceituna, la soja, la palma, la almendra y el maíz. Barriga[17], “indica que la manera de identificarlos es extraerlos, purificarlos y aplicar cromatografía para determinar la cantidad de ácidos grasos y el tipo. Los aceites obtenidos de plantas aportan ácidos grasos insaturados y son ricos en vitamina E” [Como se citó en Arias[18] (p25)].

Composición

Los aceites y grasas están constituidos por triglicéridos, se caracterizan principalmente por el tipo de ácido graso presente

y cuya estructura varia por el tipo de ácido[19]. Los tipos de ácidos grasos presentes en algunos aceites de fuentes comunes se observan en la Tabla 1.

Tabla 1:
Ácidos grasos de los triglicéridos

Ácido graso	Nº de C	Enl. Dobles	Estructura
Láurico	12		CH_3-$(CH_2)_{10}$-COOH (coco y semillas de palma)
Mirístico	14		CH_3-$(CH_2)_{12}$-COOH (nuez moscada, coco y semillas de palma)
Palmítico (s)	16		CH_3-$(CH_2)_{14}$-COOH (animales, casi todos los aceites vegetales)
Esteárico (s)	18		CH_3-$(CH_2)_{16}$-COOH (animales, cacao y casi todos los aceites vegetales)
Palmitoleico	16	1	CH_3-$(CH_2)_5$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH (animales y vegetales)
Oleico	18	1	CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH (aceituna y almendra)

Nota. Fuente: Adaptado de "Tecnología de grasas, aceites y ceras", Química Industrial por Sanz[19].

Propiedades físico-químicas de los aceites comestibles

Las propiedades físicas y químicas de los aceites comestibles dependen principalmente de la materia prima de procedencia, por lo que las propiedades físico-químicas del aceite comestible de origen vegetal se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2:
Propiedades físico-químicas del aceite comestible

Parámetros	Aceite
Peso especifico	
20 °C	0,858
34 °C	
Índice de yodo (%m/m)	93,95
Índice de saponificación (mg KOH/g)	160,1
Índice de refracción (500C)	1,456
Humedad y material volátil (%m/m)	0,1526
Punto de fusión (0C)	26
Impurezas insolubles (%m/m)	0,066
Índice de acidez (%m/m ácido oleico)	1,07
K232	0,015
K270	0,03
Color (%T550nm)	100
Kreis (interfase)	Amarillo claro

Nota. Fuente: Adaptado de "Caracterización de biodiesel de aceite residual de cocina", por Murcia et al[20].

- **Residuos líquidos**

Aceite usado de cocina

El Ministerio para la Transición ecológica[21] los define como, "grasas de origen animal o vegetal utilizados en el cocinado de alimentos en una gran variedad de ámbitos, de donde su poseedor desecha o tiene la intención o la obligación de desecharlos después de su uso".

Reacciones durante el proceso de Fritura

El aceite al ser utilizado a altas temperaturas y varias veces, pierde sus características principales, afectando su calidad para seguir siendo utilizado. Preciado[22] refiere que, "el calor transferido a los alimentos a través del aceite, lo que propicia que estos sufran cambios y reacciones entre sus componentes" (p25).

Las reacciones que ocurren durante el proceso de fritura son: Hidrolíticas, termo-oxidativas y de Isomerización.

Características físicas y químicas del aceite usado de cocina

El aceite de cocina usado, debido a las reacciones que ocurren durante su uso, sufre cambios en su composición. Castro et al.[28] realizó una comparación y se encontró los valores que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3:
Características físicas y químicas del aceite usado de cocina

Parámetros	Aceite usado de cocina
Densidad (gr/ml)	0,9115-0,9156
Viscosidad (poise)	0,0198
Índice de acidez	0,2-0,824
Índice de yodo (gr/100 gr de sustancia)	60-70
Índice de saponificación (mg de KOH/g)	196,98

Nota. Fuente: Adaptado del "Estudio de prefactibilidad técnico económica para la instalación de una planta procesadora de aceite usado de cocina obtenido de las localidades de Usaquén y chapinero". Por Castro et al. [23] (p.19).

- **Problemática Y afecciones ocasionadas por el aceite de cocina usado**

El aceite usado de cocina, es un residuo generado diariamente en todos los países del planeta, por lo que el volumen generado es considerablemente alto y su mala gestión es uno de los principales factores de contaminación ambiental. Horrach[24] afirma:

> "Que los aceites vertidos tienen un elevado contenido de carga contaminante y además que un litro de aceite contamina igual que mil litros de agua residual. Por lo que el consorcio de aguas de Bilbao decidió analizar esta pauta, llegando a la conclusión de que un litro de aceite usado puede llegar a contaminar el equivalente a 40.000 litros de agua".

Esto debido a que tradicionalmente, el aceite de cocina usado, es tirado por el lavatorio, llegando a los alcantarillados y finalmente depositándose en los cuerpos de agua, ensuciándola.

Afecciones ocasionadas por el aceite de cocina usado

La contaminación al medio ambiente es la principal afección ocasionada por el aceite de cocina usado. Pues, este residuo llega a los ríos y forma una película superficial que afecta al intercambio de oxígeno y perjudica a los seres vivos del ecosistema[25].

Entre las afecciones que ocasionan los aceites usados de cocina, el Instituto de Tecnología Industrial[26] menciona los siguientes:

La contaminación del suelo por derrames y disposición inadecuada.

En el contacto con la tierra o pozos, el aceite usado se convierte en un agente de infertilidad, llegando a ser en muchos casos irreversible, además que contamina el agua superficial y si se infiltra puede contaminar el agua subterránea.

El deterioro de tuberías y alcantarillado.

El aceite que se arroja por el lavadero de la cocina naturalmente llega a enfriarse y al mezclarse con otros sólidos, que se arrojan por las tuberías, estos se aglutinan y obstruyen la red de saneamiento, impidiendo el normal flujo de las aguas residuales, trayendo como consecuencias inundaciones de alcantarillado, problemas de olores y de plagas de ratas; como en mayores gastos para la limpieza del alcantarillado.

El incremento de los costos de operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El aceite arrojado por la cañería forma parte de las aguas residuales domésticas e industriales y mientras más

elevado sea la cantidad de aceite en las aguas residuales, su depuración se torna más difícil y requiere más tiempo el poder convertirla en agua apta para reutilizar y/o depositarla en el ambiente

La contaminación de cursos de agua, como arroyos y canales de agua.

Muchos municipios alrededor del mundo no disponen de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, lo que hace que el aceite arrojado por la cañería culmine directamente en una fuente de agua. El aceite que llega a los cuerpos de agua es capaz de causar la muerte de la flora acuática porque es difícilmente biodegradable, ya que forma una capa delgada difícil de eliminar, que afecta la capacidad de intercambio de oxígeno del agua con el aire.

Efectos en la salud humana y en los animales

Al aglutinarse en la red de saneamiento, los bioresiduos que ahí se forman se convierten en caldo de cultivo para la multiplicación de gérmenes que inciden en la salud de la población[25].

La sobre exposición de los aceites a elevadas temperaturas da como resultado una serie de reacciones químicas que generan nuevos componentes potencialmente peligrosos para las personas.

Gámez[27] menciona que, “el oxígeno al combinarse con los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites produce radicales libres, los cuales al ingerirse en la comida pueden afectar la salud de las personas y desarrollar varias enfermedades crónicas tales como parálisis, hipertensión, artritis, alergias, hipersensibilidad, debilitamiento del sistema inmune, cataratas, arrugas y cáncer” (p18).

De igual manera, Gamez[27] menciona que:

> se han reportado pequeñas cantidades de una sustancia toxica en humanos llamada acroleína, la cual aparece en aceites de cocina recalentado varias veces, además de contaminantes como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), los cuales han sido reportados como potencialmente cancerígenos para humanos. (p18-19)

Los aceites domésticos residuales no deben desecharse como el resto de la basura, ya que no se encuentra en un estado fácil de manejar y/o recuperar, y su mala disposición no favorece al adecuado tratamiento.

Aprovechamiento de los aceites de cocina usado

El aprovechamiento del aceite usado de cocina dándole un nuevo uso, significa minimizar los impactos que puede generar en el medio ambiente. Pineda et al.[28], indican las siguientes alternativas de aprovechamiento: Crema Lustradora de Zapatos

(Betún), Biodiesel (Combustible Alternativo), cera para muebles y jabón (p3).

Todas las opciones garantizan la reducción del impacto que puede generar el aceite doméstico residual al medio ambiente, sin embargo, la producción de biodiesel es una de las alternativas que permite aprovechar el residuo de manera más eficiente, transformándolo en combustible y cuya producción no está limitada por la cantidad de materia prima y/o la cantidad de biodiesel que se desea producir**.** Varty et al.[29] mencionan que el proceso de elaboración de biodiesel utilizando su metodología puede ser ampliada o reducida, y que se pueden realizar varios lotes de producción. (p3)

- **Biocombustibles**

Biodiesel

Es el combustible diésel derivado de recursos renovables que puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o de grasas animales. Prácticamente no contiene azufre[30].

Materias primas para la producción de biodiesel

Las materias primas para la producción de biodiesel son aquellas fuentes que poseen un alto índice de triglicéridos como los aceites vegetales, el aceite de fritura usado u otras grasas como el sebo, etc. Moreira[31] afirma:

> “El aceite vegetal usado en la producción de biodiesel puede obtenerse a partir de diversas oleaginosas. Estas oleaginosas difieren en sus especies por sus características agronómicas, y en relación con el contenido de aceite en la composición del grano y perfil de ácidos grasos” (p2).

Métodos utilizados para la producción de biodiesel

En la producción de biodiesel, sin importar el método, una de las principales ventajas es que las materias primas son naturales y renovables.

Método de transesterificación o alcoholisis

Se le denomina alcoholisis por la utilización de un alcohol de cadena corta. Parawira[32] afirma que, “transesterificación es la reacción de una grasa o aceite (triglicérido) con un alcohol para formar esteres alquílicos de ácidos grasos (valiosos intermedios en óleo química), metilo y esteres etílicos (que son excelentes sustitutos del biodiesel) y glicerol” (p7). Se puede apreciar la reacción en la Figura 1.

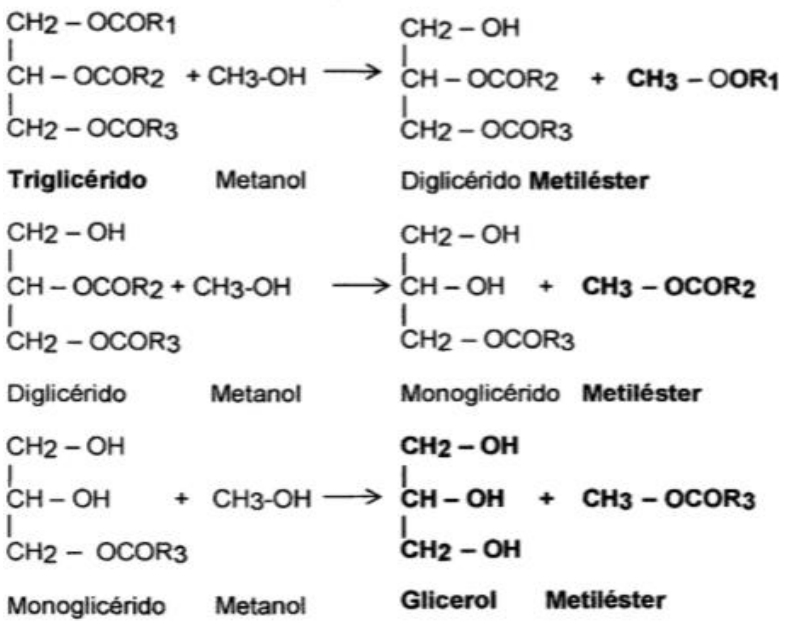


Figura 1. Reacción dentro del proceso de transesterificación

Fuente: Adaptado de "Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis". Por Lotero et al.[33] (p2). USA: Industrial & engineering chemistry research.

Todo el proceso anterior se puede resumir de la manera como se observa en la Figura 2.

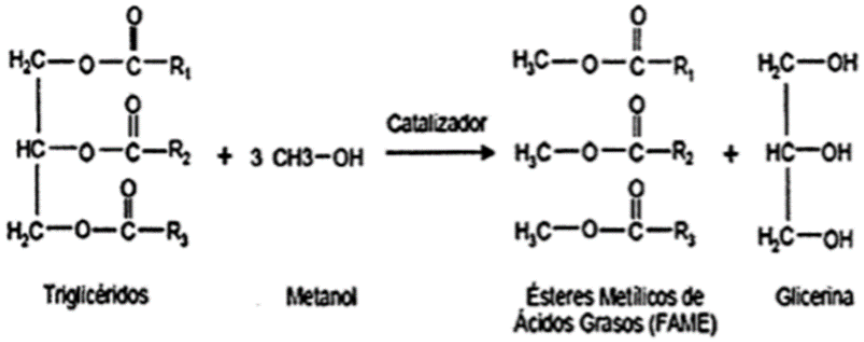


Figura 2. Reacción general del proceso de transesterificación

Fuente: Adaptado de "Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis". Por Lotero et al.[33] (p2). USA: Industrial & engineering chemistry research.

Dentro del proceso de transesterificación existen distintos métodos para obtener biodiesel, los cuales están relacionados con el catalizador a utilizar.

El método mediante catálisis acida. Limarte et al.[34], citado por Benjumea et al.[35] (p4) mencionan:

> “Los catalizadores ácidos más utilizados son ácidos inorgánicos como el ácido sulfónico y el ácido sulfúrico, este método permite obtener un mejor rendimiento, sin embargo, el tiempo de reacción requiere temperaturas por encima de los 100°C y más de 3 horas para alcanzar la conversión completa, la ventaja del uso de catalizadores ácidos es que cualquier ácido graso libre presente en el aceite puede ser esterificado o convertido en biodiesel”.

El método mediante catálisis alcalina. Khalil[36] afirma:

> La transesterificación alcalina es la ruta más utilizada industrialmente en las matrices de combustibles por razones económicas. Sin embargo, es reconocido que la catálisis básica tiene problemas operacionales cuando el aceite vegetal contiene un alto contenido de ácidos grasos libres, que, durante la reacción, produce emulsiones que obstaculizan la separación del éster de glicerina al final de la reacción. [Como se citó en Miranda et al.[37] (p7)]

El método alcalino o básico permite realizar la reacción en tiempos cortos y una transesterificación exitosa produce esteres y glicerina.

Otro de los métodos es el método biológico o biocatálisis, mediante la utilización de lipasas. Linko et al.[38]; Nelson et al[39]; Nimcevic et al.[40] [Citado en Benjumea et al.[35] (p5)] afirman:

> "Con las lipasas es posible alcanzar conversiones similares a las obtenidas con los catalizadores homogéneos básicos, sin tener que utilizar alcohol en exceso. Sin embargo, esta alternativa presenta desventajas críticas como el alto costo de las enzimas y los más prolongados tiempos de reacción".

Producción de biodiesel

En la producción de biodiesel, el aceite vegetal o la grasa animal, de características conocidas, reacciona con el etanol o metanol a una temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol empleado, en presencia de un catalizador (potasa o soda caustica). Después de aproximadamente 3 horas de reacción bajo condiciones de continua agitación, los triglicéridos reaccionan completamente con el alcohol, para formar ésteres de alquilo, bien sea metil o etil - ésteres, y glicerina como producto secundario, la cual es insoluble en el éster, y por ser más pesada se decanta llevando consigo la mayoría del catalizador disuelto[41].

Transesterificación de aceites vegetales usados

Producir biodiesel a partir de aceite vegetales usados es una manera efectiva de disminuir el precio de producirlo con aceite virgen. “Debido a que el costo del aceite usado es menor que el del aceite virgen, se podría usar dicho subproducto como materia prima para la generación de biodiesel. Sin embargo, una evaluación económica será la que permita evaluar esta posibilidad[42] (p15)”.

Previamente se realiza un tratamiento al aceite para disminuir el porcentaje de ácidos grasos libres y así poder obtener rendimientos óptimos al momento de realizar el proceso de transesterificación. Cedrón et al. [43], afirman:

> Los residuos de aceite domésticos pueden ser transformados en biodiesel mediante una reacción de transesterificación sencilla y rápida, con reactivos fácilmente asequibles, como etanol e hidróxido de potasio. Es una propuesta ecológica para descartar adecuadamente los restos de aceite y evitar que puedan contaminar el agua. (p5)

Características del biodiesel

Para que el biodiesel pueda ser comercializado debe cumplir con ciertos estándares, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4:
Normas ASTM D6751 para biodiesel

Propiedad	Método ASTM	Limites	Unidad
Punto de inflamación	D93	130 mín.	°C
Agua y sedimentos	D 2709	0,050 máx.	% vol.
Punto de ebullición	D 2500	Reportar	°C
Viscosidad cinemática a 40 °C	D 445	1,9 – 6,0	mm^2 /sec.
Cenizas sulfatadas	D 874	0,020 máx.	% masa
Azufré (Grado S 15)	D 5453	0,0015 máx.	% masa (ppm)
Azufre (Grado S 500)	D 5453	0,05 máx.	% masa (ppm)
Acidez	D 664	0,50 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	D 6584	0,020 máx.	% masa
Glicerina total	D 6584	0,240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	D 4951	0,001 máx.	% masa

Nota. Fuente: Adaptado de "Specification for Biodiesel (B100) – ASTM D6751-07a[44]" (p1). 2007

Tabla 5:

Normas técnicas para calidad de biodiesel (B100)

Propiedad	NTP 321.125	Norma Europea (EN 14214)	Unidad
Punto de inflamación	130,0 min	120,0 mín.	°C
Agua y sedimentos	0,050 máx.		% vol.
Punto de ebullición	Reportar		°C
Viscosidad cinemática a 40 °C	1,9-6,0 (b)	3,5-5	mm^2 /sec.
Cenizas sulfatadas	0,020 máx.	0,02	% masa
Azufré	0,005 máx.	10 máx.	% masa (ppm)
Numero de cetano	47 min.	51	
Acidez	0,50 máx.	0,50 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	0,020 máx.		% masa
Glicerina total	0,240 máx.		% masa
Contenido de éster (Fame)		96,5 min	% masa

Nota. Fuente: Adaptado de "NTP 321.125, 2008/ EN 14214", citado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), proyecto PNIA 087_PI[45] (p25). 2018

Ventajas y desventajas del biodiesel

En cuanto a las ventajas y desventajas en la producción y uso del biodiesel, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura[46], mencionan algunas:

Las principales ventajas son:

- El biodiesel tiene mayor lubricidad que el diésel de origen fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores.
- El biodiesel se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil.
- El biodiesel permite al productor agrícola autoabastecerse de combustible; además, su producción promueve la inclusión social de los habitantes menos favorecidos del sector rural, debido a que no requiere altos niveles de inversión.
- Prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO_2 (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental.
- El biodiesel no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos.

Las principales desventajas serían las siguientes:

- El biodiesel presenta problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas (<0°C), especialmente el que se produce de palma africana.
- Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiesel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques.
- El contenido energético del biodiesel es algo menor que el del diésel (12% menor en peso u 8% en volumen), por lo que su consumo es ligeramente mayor.

1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Glicéridos[47]: “son lípidos constituidos por una molécula de glicerol (alcohol) a la cual se le pueden unir; uno (monoglicérido), dos (diglicéridos) o tres moléculas de ácidos grasos (triglicéridos)”**.**

Plantas oleaginosas[48]: “son vegetales de cuya semilla se extrae aceite que puede ser aprovechado, en algunos casos como alimento y en otros en diversas industrias”.

Cromatografía[49]: “es una técnica de separación en la que los componentes de una muestra se separan en dos fases: una estacionaria y una móvil”.

Triglicéridos[50]: “Es una clase de lípidos que se forman por una molécula de glicerina. También conocidos como triacilgliceroles o triacilglicéridos, los triglicéridos forman parte de las grasas”.

Residuos líquidos[51]: Los residuos o desechos líquidos, son todos aquellos residuos que se encuentran en estado líquido provenientes de las actividades humanas, que en su conjunto se denominan como aguas residuales o aguas servidas que contienen sólidos en suspensión, que también son contaminantes, entre algunos de estos residuos tenemos aceite usado, queroseno, aguas con metales tóxicos y otros.

Bioresiduos[52]: Se corresponde con la fracción de “residuos orgánicos”, es decir, aquellos residuos compuestos por elementos biodegradables de origen orgánico**.**

Biodegradable[53]: Es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

Hidrolíticas[22]: reacción en la cual los triglicéridos en contacto con humedad o agua se descomponen en diglicéridos y monoglicéridos, liberando una o dos cadenas de ácidos grasos.

Termolíticas[22]: Reacción de separación de compuestos al exponerlos a altas temperaturas.

Oxidativas[22]: "Proceso en el cual un elemento o compuesto se une con el oxígeno. El óxido, por otra parte, es lo que se produce cuando el oxígeno se combina un metal o con los elementos conocidos como metaloides".

Isomerización[22]: "Los ácidos grasos insaturados contienen dobles enlaces en conformación, ubicados en posiciones muy concretas".

Acroleína[54]: La acroleína es un producto tóxico perjudicial para la salud, debido a los problemas respiratorios, de irritación de la cavidad nasal, ojos y garganta, náuseas, etc., que provoca. Aparece en el humo de los coches o del tabaco, o también al recalentar excesivamente el aceite de freír.

Saponificación[55]: "Proceso químico por el cual un cuerpo graso, unido a un álcali y agua, da como resultado jabón y glicerina".

Viscosidad[56]: “La viscosidad es una propiedad importante de los líquidos que describe la resistencia del líquido al flujo y está relacionada con la fricción interna en el líquido”.

Índice de acidez[57]: “Se define como el número de miligramos de KOH o NaOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa”.

Biocombustibles[58]: “Son aquellos productos químicos que se obtienen de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplan con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes”.

Transesterificación[59]: “Proceso para obtención del biodiesel que consiste en combinar el aceite (por lo general aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo glicerina, que se separa para emplearlo en otras industrias, por ejemplo, la cosmética”.

Catalizador[60]: “Sustancia química, simple o compuesta, que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella, pero sin llegar a formar parte de los productos resultantes de la misma”.

Fame[61]: “Biodiesel o FAME por sus siglas en inglés (Fatty Acid Methyl Ester), Ester metílico de ácidos grasos”.

Punto de inflamación[62]: “Es la temperatura a la que un líquido se quemará y continuará ardiendo. El punto de inflamación implica la existencia de una chispa o cualquier otra fuente de ignición con suficiente calor para calentar el líquido hasta incendiarlo”.

CAPITULO II

HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La producción de biodiesel utilizando como materia prima el aceite doméstico residual generado en la ciudad de Iquitos, es una alternativa de reciclaje para este residuo altamente contaminante.

2.2. VARIABLES Y SU OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1. Variables

- **Variable independiente**

  X_1: Volumen de metanol

  X_2: Temperatura de reacción

- **Variable dependiente**

  Y_1: Rendimiento de Biodiesel obtenido

2.2.2. Operacionalidad de las variables

Tabla 6:
Operacionalidad de las variables

Variable	Definición	Por su Naturaleza	Tipo por su relación	Indicador	Valores	Medios de verificación
Volumen de metanol	Cantidad de alcohol utilizado para transesterificar el aceite doméstico residual (ADR).		Independiente	Volumen	20 ml, 40ml y 60 ml	Ficha de datos experimentales.
Temperatura de reacción	Temperatura a la cual se somete el proceso de transesterificación.	Cuantitativa		Grados centígrados	T° ambiente del día, 45°C y 65°C	
Rendimiento de Biodiesel obtenido[a]	Biodiesel obtenido a base de 100 ml de aceite doméstico residual.		Dependiente	Porcentaje	0-100%	Tabla de resultados

Nota. Fuente: Elaboración propia.
a Variable obtenida del proceso de producción, se somete a una prueba de calidad.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, se recolecto datos, se analizó y se procesó para exponer y generalizar los resultados sobre la obtención de biodiesel a partir de aceites domésticos residuales. Obteniendo como producto final la información y la confiablidad de los resultados; además de tener como plan ampliar los resultados hacia poblaciones más grandes, mediante la precisión, replica y predicción de los resultados encontrados.

3.1.2. Diseño de investigación

Por la naturaleza de las variables en estudio fue un diseño experimental, en la cual se observó los fenómenos luego de realizar una variación intencional de los factores en un espacio controlado para ver el efecto en los resultados.

3.2. DISEÑO MUESTRAL

3.2.1. Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la provincia de Maynas, conformada por sus 4 distritos (San Juan Bautista, Iquitos, Belén y Punchana).

Ubicación geográfica

País	: Perú
Departamento	: Loreto
Provincia	: Maynas
Coordenadas Geográficas	: O 73° 15´ 13.79” y S 3° 44´ 56.83”
Altitud	: 108 m.s.n.m.
Ubicación	: Orilla izquierda del río Amazonas.

Figura 3. Ubicación de la ciudad de Iquitos (2019)

Fuente: Adaptado de “Coordenadas de Iquitos”. ANTIPODAS.NET: Coordenadas geográficas UTM[63].

3.2.2. Población y muestra

a. Población

La población en estudio fue la cantidad de aceite doméstico residual generado por las viviendas de la ciudad de Iquitos, distribuidas en sus 4 distritos. El número total de viviendas se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7:
Población de la ciudad de Iquitos 2017

Municipios Metropolitanos	Extensión km²	Viviendas	Densidad (Hab/km²)	Población total
Iquitos	358,15	31 967	444,01	146 853
Belén	632,8	15 664	108,73	64 488
Punchana	1 573,39	17 834	48,58	75 210
San Juan Bautista	3 117,05	36 592	32,75	127 005
Total	**5 681,39**	**102 057**	**71,52**	**413 556**

Nota. Fuente: Adaptado del "Perú: crecimiento y distribución de la Población, 2017". Por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)[64]. 2018.

b. Muestra

Para determinar el número de viviendas del cual se obtendrá la muestra se utilizó a la siguiente formula:

$$n = \frac{z^2 x\ p(1-p) x\ N}{E^2 x\ (N-1) + Z^2 x\ p\ (1-p)}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población

Z: nivel de confianza: 1,96 (seguridad del 95%)

P: probabilidad de éxito: 50%

E: error máximo: 5%

Cálculo de la muestra

La cantidad de viviendas para la recolección de la muestra, se dividió porcentualmente en los 4 distritos que conforman la provincia de Maynas.

Tabla 8:
Muestra por distrito

Distrito	Viviendas	Porcentaje (≅)	Muestra (≅)
San Juan Bautista	36 592	36%	138
Iquitos	31 967	31%	119
Belén	15 664	15%	58
Punchana	17 834	18%	69
Total	**102 057**	**100%**	**384**

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Tipo de datos

a. Datos primarios

Los datos primarios que se tomaron en cuenta para la elaboración de este proyecto de tesis, están relacionados directamente con la selección de las viviendas para la recolección y el volumen recolectado. Así también como su registro.

b. Datos secundarios

Se tomó como información de soporte o secundaria a los datos existentes de otros proyectos relacionados, que sirvieron como base referencial para el desarrollo del proyecto de investigación.

c. Datos experimentales

La información experimental se obtuvo como el producto de la aplicación del proceso de producción de biodiesel, desarrollados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP. Se aplicó un diseño experimental de factores para determinar donde se obtiene mayor rendimiento en la producción de biodiesel.

Unidad y Factores experimentales

- **Unidad experimental**

  El aceite doméstico residual, se utilizó 100 ml por cada tratamiento

- **Factores experimentales independientes**

  Volumen de metanol

  Temperatura

- **Factor experimental dependiente**

  Porcentaje de rendimiento de biodiesel obtenido.

Tratamientos

Factor temperatura: Ambiente (28 °C), 45°C y 65°C

Factor metanol: 20 ml, 40 ml y 60 ml

Se realizó un arreglo factorial 3A x 3B. Modelo lineal del arreglo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

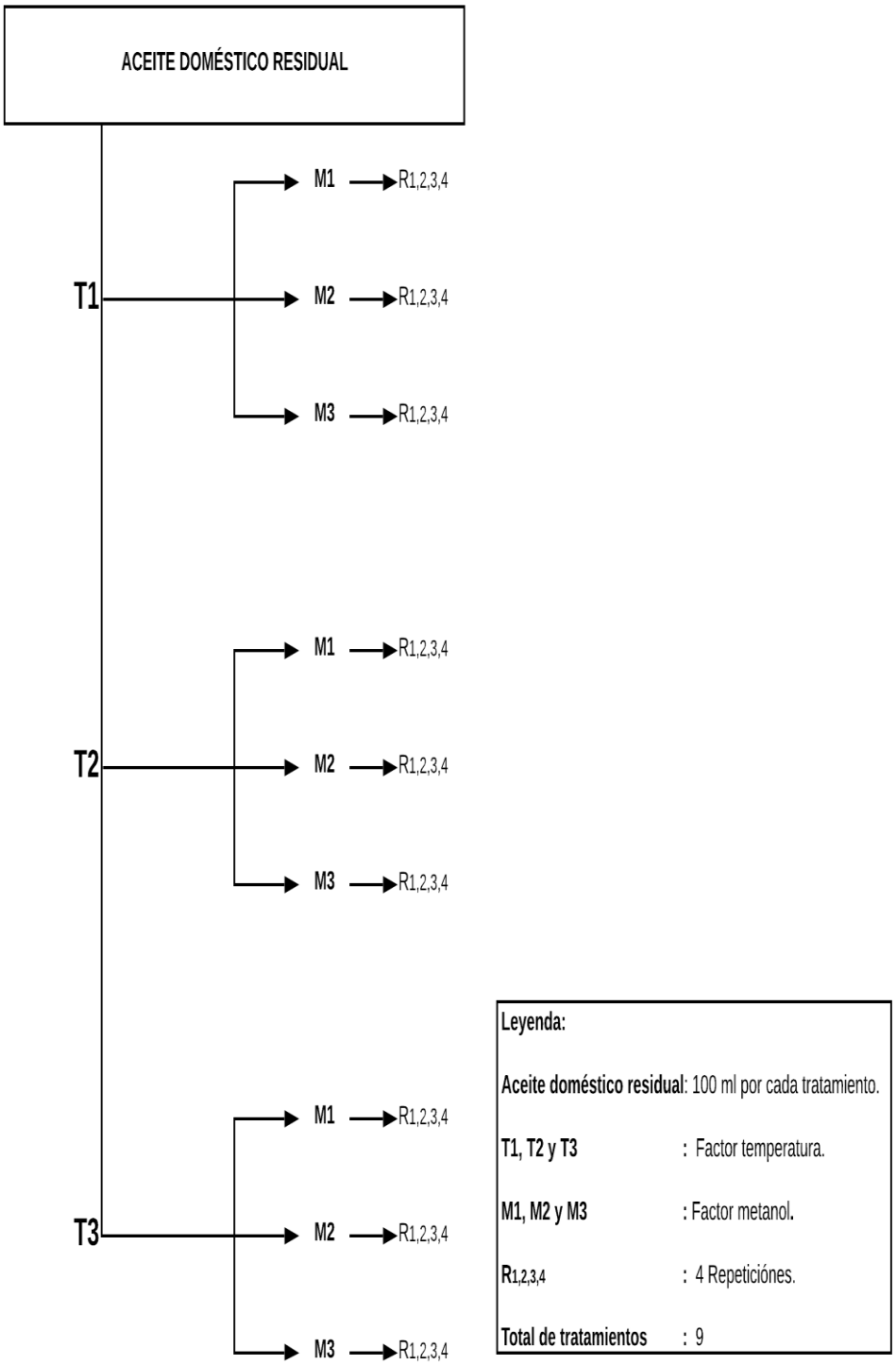


Figura 4. Estructura del diseño experimental

Fuente: elaboración propia.

Producción de biodiesel

- **Pre-tratamiento del aceite doméstico residual (ADR)**

  Para poder llevar a cabo las pruebas al aceite doméstico residual, se realizó un tratamiento para limpiar y mejorar la calidad del aceite.

  Recolección del aceite

  El aceite que se utilizó se obtuvo de las viviendas familiares que aceptaron participar en el proyecto, el aceite fue recolectado por el periodo de 1 mes y se almacenó en galoneras (anexo fotográfico N° 1) que se entregó a cada familia.

  Decantación del aceite

  Con la finalidad de reducir la cantidad de sedimentos en el aceite recolectado, se procedió a dejar reposar por el periodo de 2 semanas hasta que las partículas más grandes se depositaron en el fondo del recipiente (anexo fotográfico N°2).

  Posterior a las 2 semanas, se utilizó una jarra medidora para obtener el volumen de cada muestra, este paso se realizó con mucho cuidado para evitar el pase de los sedimentos; una vez medido los volúmenes, se almacenó el aceite en galones de mayor tamaño mezclando todo el aceite recogido y se sacó una muestra general, 5 litros de aceite doméstico residual.

  Filtrado del aceite

Para reducir mucho más la cantidad de sedimentos, se utilizó papel filtro para retener las partículas, reduciendo las impurezas en el aceite (anexo fotográfico N°3).

Secado del aceite

Posterior al filtrado y con la finalidad de eliminar el agua del aceite, evitar la lentitud de la reacción y la saponificación, se calentó 5 Litros del aceite (muestra general), con agitación constante (anexo fotográfico N° 4), se observó la presencia de burbujas de agua, se mantuvo por 10 min al llegar a los 100 °C (temperatura de ebullición del agua), una vez se observó la reducción o ausencia de formación de burbujas, se aumentó la temperatura y se mantuvo durante 5 minutos; se dejó de calentar, se puso a enfriar, se obtuvo los gramos de agua perdida y se almacenó.

- **Pruebas de calidad del aceite**

Se determinó la calidad del aceite pre tratado con pruebas en el laboratorio. Se realizó 3 repeticiones y se utilizó el promedio como dato final.

Cálculo de la densidad (método del picnómetro)

Se utilizó un picnómetro de 25 ml, se obtuvo su masa vacía y se registró la temperatura de muestreo (28 °C, temperatura ambiente el día de la prueba), con la finalidad de utilizar la densidad del agua a esa temperatura. Luego se llenó el picnómetro con agua completamente lleno hasta el capilar, se

pesó y se obtuvo su masa, de ahí se realizó el mismo procedimiento con el aceite (anexo fotográfico N° 5), se registraron los datos de cada repetición, y finalmente se utilizó la siguiente fórmula para calcular la densidad del líquido.

$$d_L = \frac{W_A - W_P}{W_{H20} - W_P} x D_{H2O}$$

Donde:

W_A : masa del picnómetro lleno con el aceite (gr)

W_{H2O} : masa del picnómetro lleno con el agua (gr)

W_P : masa del picnómetro vacío (gr)

D_{H2O} : Densidad del agua a 28 °C (0,99631 gr/ml)

Viscosidad (método del viscosímetro de Ostwald)

Se utilizó el viscosímetro de Ostwald para obtener la viscosidad relativa de nuestro aceite; se dividió el aceite en 3 submuestras y se registró la temperatura ambiente del día, que fue de 30°C, luego se llenó el viscosímetro con agua y se calculó el tiempo que el agua demora en recorrer del punto M_1 al punto M_2, como se nota en la figura 5.

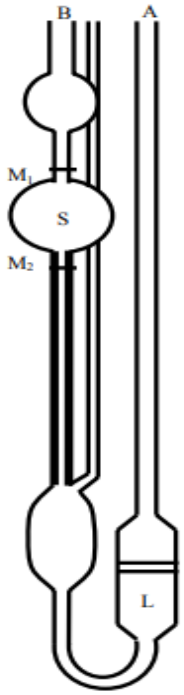


Figura 5. Viscosímetro de Ostwald

Fuente: Practica N°4, medida de viscosidades y densidades[65].

Se registró el tiempo y se repitió 3 veces por cada submuestra, se repitió el mismo procedimiento con la muestra de aceite (anexo fotográfico N° 6), una vez se obtuvo los datos necesarios y con la densidad calculada anteriormente, se utilizó la siguiente fórmula para calcular la viscosidad del aceite.

$$\eta_{aceite} = \frac{\eta_{H2O}\ x\ \rho_{aceite}\ x\ T_{aceite}}{\rho_{H2O}\ x\ T_{H20}}$$

Donde:

n_{aceite} : Viscosidad del aceite (milistokes)

n_{H2O} : Viscosidad del agua al 30 °C (0,800 milistokes)

P_{aceite} : Densidad del aceite (gr/ml)

P_{H2O} : Densidad del agua a 30° C (0,99571 gr/ml)

T_{aceite} : Tiempo que tarda en recorrer el aceite del punto M_1 al punto M_2 (segundos)

T_{H2O} : Tiempo que tarda en recorrer el agua del punto M_1 al punto M_2 (segundos)

Grado de acidez e índice de acidez (Método A.O.C.S Ca 5a – 40, 2003)

En un matraz Erlenmeyer de 125 ml se colocó 50 ml de mezcla (alcohol etílico de 96° y éter di etílico en relación 1:1) previamente neutralizado con solución de hidróxido de potasio en presencia de fenolftaleína al 1% como indicador. En otro matraz se pesó 10 gr del aceite pre tratado y se le añadió el disolvente preparado anteriormente, se agitó y se calentó hasta disolverse totalmente el aceite, se dejó enfriar y se le añadió entre 3 a 5 gotas de fenolftaleína al 1%, se procedió a titular con hidróxido de potasio al 0,1 N y se agitó constantemente. Se dio por terminada la titulación cuando la mezcla adquirió un color rosa que perduró varios segundos (Anexo fotográfico N° 7).

Se anotó el gasto de hidróxido de potasio utilizado para la titulación y se calculó con las siguientes fórmulas.

$$Grado\ de\ acidez\ (\%\ de\ acido\ oléico) = \frac{V_{KOH}.28{,}2.N}{P_{ACEITE}}$$

$$Indice\ de\ acidez\ (\frac{mg\ \ KOH}{g}) = \frac{56{,}1\ g/mol\ .V_{KOH}.N}{P_{ACEITE}}$$

Donde:

V_{KOH} : Volumen KOH gastado hasta la coloración (ml)

N : Normalidad de la solución KOH (0,1 N)

P_{aceite} : peso del aceite utilizado (gr)

Índice de saponificación (Método A.O.C.S. Cd 3-25, 2003).

En un matraz balón de 250 ml se pesó exactamente 2 gr del aceite pre tratado, se añadió 25 ml de solución etanólica de KOH 0,5 N y se agitó para lograr la completa disolución del aceite, se conectó el refrigerante por reflujo al matraz y se llevó a ebullición (anexo fotográfico N° 8), con agitación por rotación de vez en cuando y se mantuvo por 1 hora, luego se retiró y se añadió 5 gotas de fenolftaleína y se tituló aún caliente con HCl 0,5 N (anexo fotográfico N°9), se anotó el gasto del HCl y se procedió a realizar el mismo ensayo en blanco (sin añadir la muestra). Se realizó el cálculo con la siguiente fórmula:

$$Índice\ de\ saponificación = \frac{56{,}1 g/mol\ xNx\ (V - V')}{P_{ACEITE}}$$

Donde:

N : Normalidad del ácido clorhídrico

V : Volumen utilizado del ácido clorhídrico en el ensayo en blanco (ml)

V´ : Volumen utilizado de ácido clorhídrico en el ensayo de la muestra (ml)

M : peso en gramos de la muestra.

- **Transesterificación del aceite doméstico residual**

Cantidad de catalizador a utilizar

Varty et al.[29] mencionan que, “para para producir biodiesel a partir del aceite doméstico residual se debe agregar 200 ml de metanol por cada litro de aceite y “X” gramos de NaOH, donde X= valor del índice de acidez calculado+ 3,5 gramos” (p3).

Se determinó la cantidad de NaOH a utilizar para neutralizar 100 ml de aceite en cada tratamiento, de la siguiente manera:

$$(IA + 3{,}5)\ gr\ NaOH \rightarrow\ 1000\ ml\ Aceite$$
$$"Z"\ \rightarrow 100\ ml\ Aceite$$

$$Z = \frac{(IA + 3{,}5)\ gr\ NaOH}{10}$$

Donde:

Z: Gramos de NaOH.

Desarrollando para nuestros tratamientos:

Z= 0,06732+0,35 gr NaOH

Z=0,4173 gr NaOH

Por lo tanto, para neutralizar 100 ml de nuestro aceite doméstico residual, se necesitó 0,4173 gr de NaOH.

Preparación del metóxido de sodio

En una fiola totalmente seca de 100 ml se colocó la cantidad de NaOH, calculada previamente, evitando el contacto con la humedad natural. Luego se añadió el volumen determinado de metanol necesario por cada tratamiento, se utilizó un agitador magnético para lograr la completa disolución del hidróxido de sodio, una vez formado el metóxido, se alivió la presión abriendo un poco la tapa de la fiola. Luego se tapó totalmente la fiola para evitar la humedad ambiental y la evaporación del metanol.

Proceso de producción

Se utilizó el método de Varty et al.[29], adaptado a las necesidades de nuestro desarrollo experimental, para ello se realizó el experimento utilizando un sistema de reflujo para evitar la evaporación del metanol y un agitador magnético para agitación constante (anexo fotográfico N° 10). En un recipiente se colocó 100 ml del aceite doméstico residual pre tratado, se vertió el metóxido correspondiente a cada tratamiento, se agitó constantemente y se mantuvo calentando a la temperatura del tratamiento por 2 horas, culminando las 2 horas se dejó enfriar a temperatura ambiente y se vertió la mezcla en un embudo de decantación,

luego se dejó asentar hasta el día siguiente para notar la separación respectiva de biodiesel y glicerina.

Al día siguiente se observó la capa de glicerina en el fondo del embudo de decantación (es más densa y de color oscuro) y el biodiesel en la parte superior (color claro), se abrió la llave para quitar la glicerina (anexo fotográfico N°11).

Posteriormente se procedió con el lavado del biodiesel. Varty et al.[29] mencionan que, “el biodiesel tendrá pequeñas cantidades del catalizador sobrante, glicerina y metanol solubles en agua” (p4).

Primer lavado: En la pera de decantación se añadió agua destilada al 40% del volumen de biodiesel obtenido (biodiesel crudo), se agitó hasta que se notó que no hay liberación de jabón, se dejó reposar durante 1 día. Al día siguiente se observó la separación con una fase acuosa en la parte inferior de la pera de decantación con impurezas (anexo fotográfico N° 13), mostrando un color blanco lechoso, se abrió la llave de la pera de decantación para quitar la fase acuosa, se midió el pH, utilizando papel indicador de pH (entre 7 y 12) y se repitió el lavado hasta que se obtuvo un pH alrededor de 7. Se neutralizo el residuo con vinagre antes de tirarlo por el desagüe. Se realizaron 3 lavados para llegar al pH alrededor de 7, el tiempo de espera para el segundo y tercer lavado fue de 2 horas.

Una vez el biodiesel estuvo libre de impurezas y con el pH alrededor de 7, se procedió a realizar su secado, para eso se calentó el biodiesel hasta notar evaporación y el secado total del agua, repitiendo el mismo procedimiento para todos los tratamientos.

- **Rendimiento de producción**

Se calculó el porcentaje de rendimiento de producción por cada tratamiento con la siguiente formula.

$$\frac{volumen\ de\ biodiesel\ obtenido}{\text{volumen del aceite}}\ x\ 100$$

- **Pruebas de calidad del biodiesel**

Para poder determinar la calidad del biodiesel obtenido, se envió los tratamientos a laboratorio donde se realizaron 4 pruebas.

Pruebas	Valores	Método
Densidad	0,875-0,9 g/ml	Método ASTM D1298
Viscosidad Cinemática a 40°C	3,5-6,0 Cst	Método ASTM D445
Punto de inflamación	Mínimo 130 °C	Método ASTM D93
Fame %vol.	Reportar	Método ASTM D7371

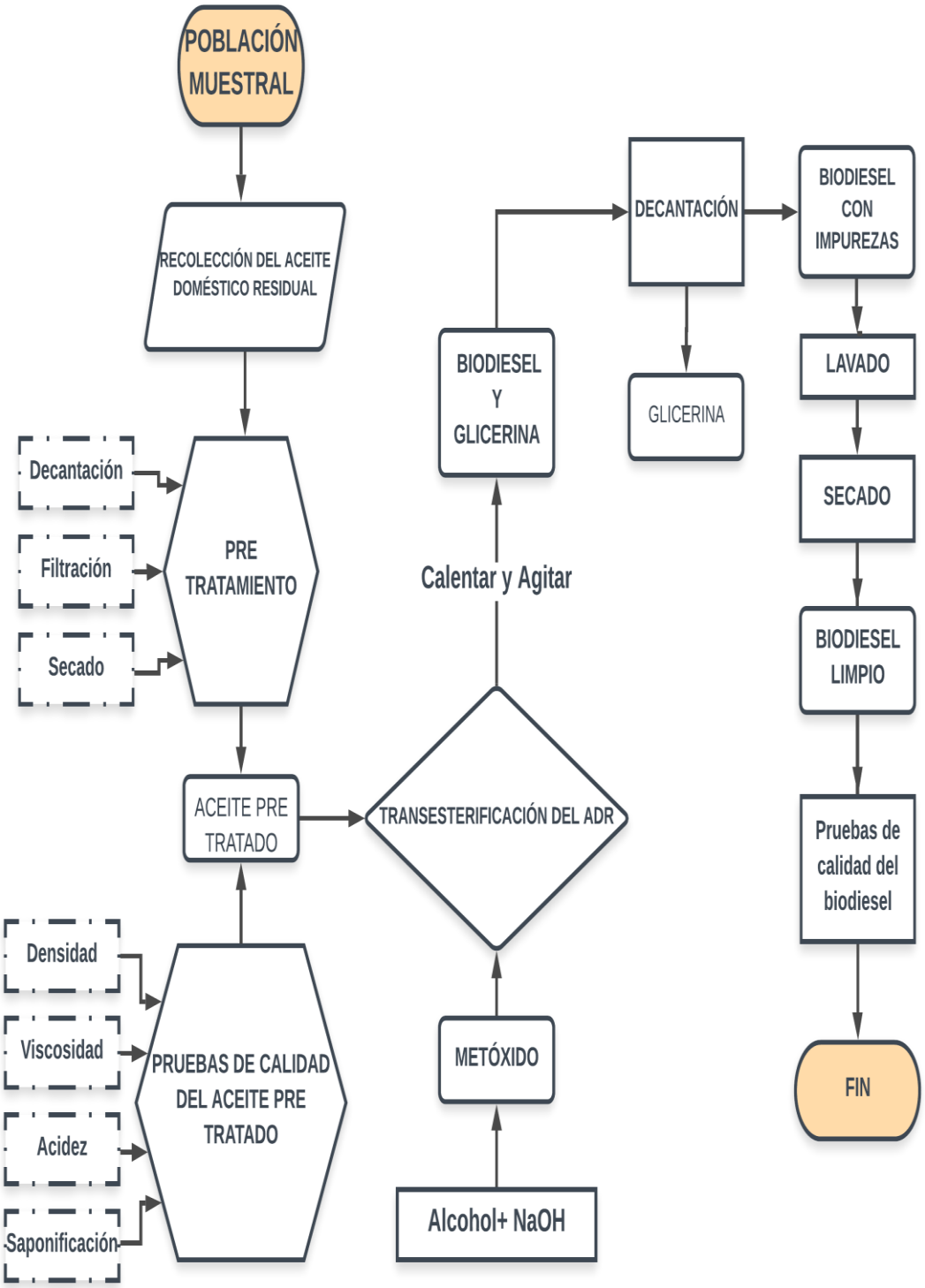


Figura 6. Flujograma del desarrollo del proceso de producción del biodiesel.

Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Técnicas de recolección de datos

Análisis documental

Se utilizó el material disponible con la información sobre el tema para sustentar el trabajo y corroborar los resultados al final del proyecto.

Desarrollo experimental

Se realizó en laboratorio los procedimientos necesarios para la obtención de los datos experimentales.

3.3.3. Instrumentos de recolección de datos

Ficha de registro de datos bibliográficos

La información utilizada en el proyecto de investigación con todos los títulos, autores correspondientes y de donde se encontró la información, se guardó en una base de datos digital.

Ficha de registro de datos experimentales

Los datos utilizados como el peso, el volumen de muestra y otros, al igual que los resultados obtenidos durante el desarrollo experimental se almacenaron en una base de datos digital (anexo N°2) y los resultados se presentan en el anexo N° 3.

3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos experimentales obtenidos se utilizó el software Info Stat para su procesamiento y análisis. Se realizó el análisis de varianza y la prueba de Tukey para evidenciar la significancia y determinar el tratamiento donde se obtendrá el mayor rendimiento.

3.5. ASPECTOS ÉTICOS

Se tuvo en consideración el apoyo voluntario y el consentimiento de las familias donde se realizará la recogida de muestra (ADR).

Al mismo tiempo se garantizó la confidencialidad de los participantes, la honestidad al momento de obtener los datos y al reportar los resultados, siendo esta verídica y responsable, sin ningún tipo de alteración por parte del investigador.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Volúmenes generados de aceite doméstico residual en los hogares de la ciudad de Iquitos.

Utilizando el volumen de aceite generado de la muestra obtenida, que fue de 235,1 L/ADR/mes, se realizó una estimación global del volumen que se generaría en toda la ciudad en el periodo de un año, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9:
Estimación anual de la generación de aceite doméstico residual en la ciudad de Iquitos.

Distrito	Cantidad de viviendas censo 2017	Promedio muestral del ADR generado/casa (litros)			Total, anual
		Semanal	mensual	Anual	
San Juan Bautista	36 592	0,16	0,65	7,80	**285 417,60**
Iquitos	31 967	0,13	0,53	6,36	**203 310,12**
Belén	15 664	0,17	0,67	8,04	**125 938,56**
Punchana	17 834	0,16	0,63	7,56	**134 825,04**
Total	102 057	0,62	2,48	29,76	**749 491,32**
Promedio		0,16	0,62	7,44	

Nota. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 9, observamos que utilizando el promedio mensual de aceite doméstico residual recolectado de las 384 casas (unidades muéstrales), se puede obtener el volumen anual promedio generado por casa en cada distrito. Extrapolando estos promedios al total de viviendas registradas en el censo 2017 realizado por el INEI y tomándolos como valor actual, en la ciudad de Iquitos se podría llegar a desechar 749 491,32 L de aceite doméstico residual a más al año.

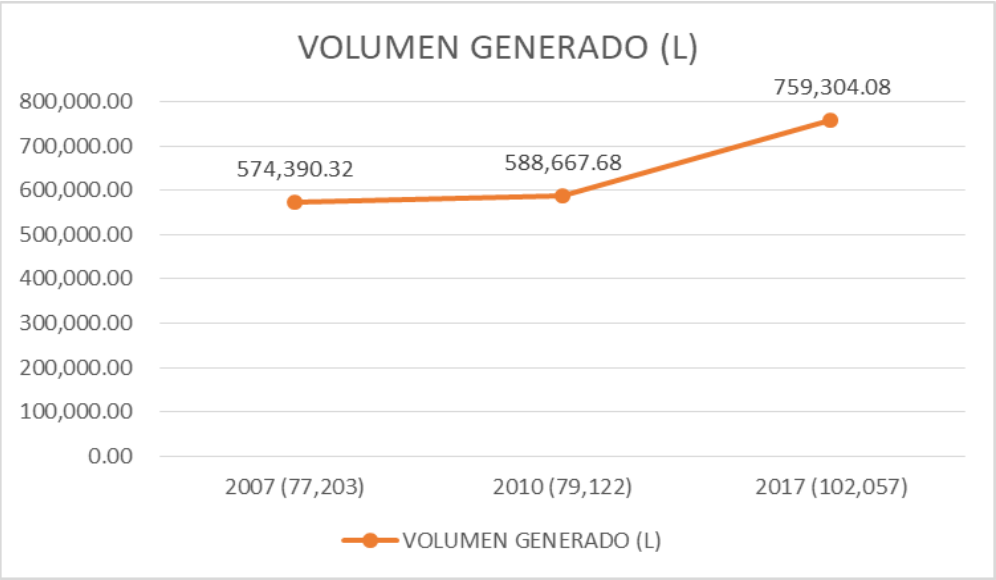


Gráfico 1. Estimado anual de aceite doméstico residual generado.

Fuente: elaboración propia.

En el Gráfico 1, utilizando el promedio anual estimado por vivienda de la Tabla 9, se calculó el volumen de aceite doméstico residual generado en los años 2007 y 2010. En el gráfico se puede observar que hay una relación directa entre el número de viviendas y el volumen de aceite doméstico residual generado: mientras más viviendas más aceite doméstico residual se genera, sin embargo, el volumen generado es afectado por la dieta de las personas y el adecuado uso del aceite en los hogares.

4.2. Rendimiento de biodiesel obtenido.

El rendimiento de biodiesel obtenido en cada tratamiento se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10:
Rendimiento de biodiesel promedio obtenido en laboratorio.

Tratamiento	Rendimiento promedio obtenido (%)
1	81,3
2	95,2
3	91,4
4	87,1
5	94,6
6	95,2
7	80,3
8	84,7
9	86,5
Promedio	88,5

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10, se puede observar el rendimiento de biodiesel obtenido por cada tratamiento; donde los tratamientos con mayor rendimiento fueron los tratamientos dos y seis, con 95,2% de biodiesel y el menor fue el tratamiento uno con 81,3% de biodiesel.

4.3. Temperatura óptima necesaria para mayor rendimiento en la producción de biodiesel.

Tabla 11:
Análisis de varianza ANOVA para el factor temperatura.

FV	GL	SC	CM	F	P-VALOR
Temperatura	2	444,81	222,40	9,51	0,005
Error	33	771,36	23,37		
Total	35	1216,17			

Cv: 5,46%

Nota. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 11, según el análisis de varianza realizado para el factor temperatura aplicado al proceso de producción de biodiesel mediante el método de transesterificación, indica que si hay significancia entre la temperatura a la que fue sometida el proceso de producción y el

rendimiento del biodiesel obtenido como resultado. Este rendimiento se puede observar en la Gráfico 2.

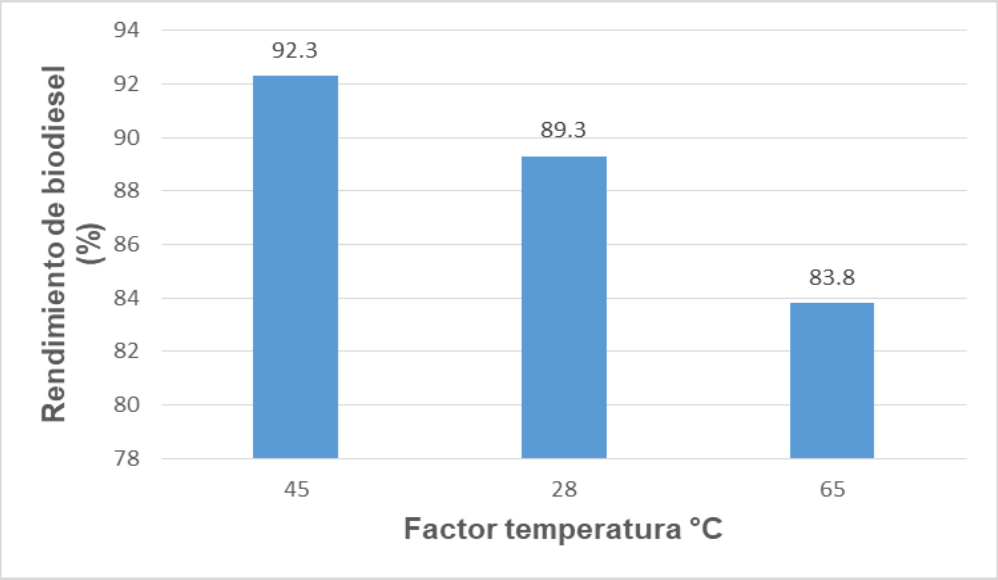


Gráfico 2. Influencia de la temperatura en el rendimiento del biodiesel.

Fuente: elaboración propia.

En el Gráfico 2, se puede apreciar el rendimiento obtenido de acuerdo a cada factor de temperatura aplicado al proceso de transesterificación y las diferencias entre cada uno de los rendimientos, notándose que el mejor rendimiento se obtiene a una temperatura de 45°C y que el rendimiento es mucho menor a la temperatura de 65 °C.

Tabla 12:
Prueba de Tukey para el factor temperatura.

Numero de orden	Factor temperatura	Valor de la temperatura (°C)	Rendimiento promedio (%)	Significancia	
1	FT_2	45	92,3	A	
2	FT_1	28	89,3	A	
3	FT_3	65	83,8		B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P > 0,05). **Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 12, se realizó la prueba de Tukey para el factor temperatura aplicado al proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, donde se puede notar que estadística y experimentalmente en promedio de 3 temperaturas y 4 repeticiones hay diferencias significativas entre las temperaturas evaluadas, indicando una mayor significancia a una temperatura de 45 °C con un rendimiento de 92,3%, el cual es estadísticamente igual en efectos al comparar con la temperatura de 28 °C , con un rendimiento de 89,3%; por otro lado se encontró diferencia significativa al compararse con la temperatura de 65 °C, que produjo un rendimiento del 83,8%, siendo esta temperatura la de menor reacción de conversión.

4.4. Cantidad de metanol optimo necesario para mayor rendimiento en la producción de biodiesel.

Tabla 13:
Análisis de varianza ANOVA para el factor metanol.

FV	GL	SC	CM	F	P-VALOR
Metanol	2	444,81	222,40	9,51	<0,0001
Error	33	771,36	23,37		
Total	35	1216,17			

Cv: 5,02%

Nota. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 13, según el análisis de varianza realizado para el factor volumen de metanol aplicado al proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, se puede notar que hay significancia entre el volumen de metanol utilizado en el proceso de producción y el rendimiento del biodiesel obtenido como resultado. Este rendimiento se puede observar en la Gráfico 3.

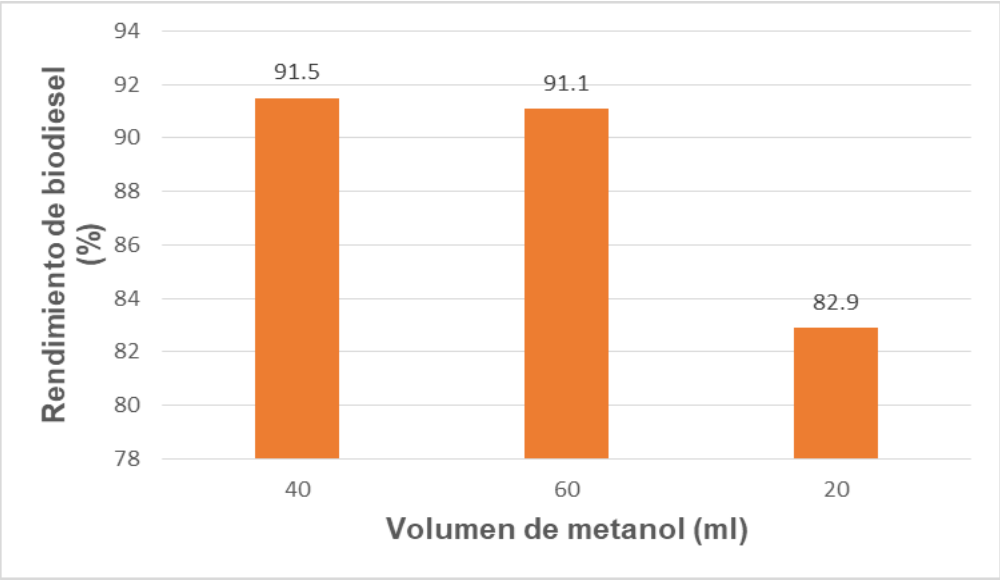


Gráfico 3. Influencia del metanol en el rendimiento del biodiesel.

Fuente: elaboración propia.

En el Gráfico 3, se puede observar el rendimiento obtenido de acuerdo a cada factor de volumen de metanol aplicado al proceso de transesterificación y apreciar las diferencias entre cada uno de los rendimientos, notándose que se obtuvo mayor rendimiento al utilizar 40 ml de metanol y que el rendimiento es mucho menor utilizando 20 ml de metanol.

Tabla 14:
Prueba de Tukey para el factor metanol.

Numero de orden	Factor metanol	Volumen de metanol (ml)	Rendimiento promedio (%)	Significancia	
1	FM_2	40	91,5	A	
2	FM_3	60	91,1	A	
3	FM_1	20	82,9		B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P > 0,05) **Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 14, realizando la prueba de Tukey para el factor volumen de metanol empleado en el proceso de transesterificación para la

obtención de biodiesel, se puede apreciar que en promedio de 3 volúmenes de metanol y 4 repeticiones hay diferencias significativas entre las cantidades de metanol aplicado, siendo el mejor al utilizar 40 ml de metanol, obteniéndose un rendimiento del 91,5%, el cual al comparar con las cantidad de 60 ml de metanol no presenta diferencias significativas, siendo su rendimiento de 91,1%; sin embargo, si existe diferencias significativas al compararse con la cantidad 20 ml de metanol, que produjo un rendimiento del 82,9%, siendo esta la reacción de menor conversión.

4.5. Tratamiento óptimo para la obtención de mayor rendimiento de biodiesel.

Tabla 15:
Análisis de varianza ANOVA para la interacción de factores.

FV	GL	SC	CM	F	P-VALOR
Temperatura	2	444,81	222,40	53,75	<0,0001
Metanol	2	563,97	281,99	68,15	<0,0001
T*M	4	95,67	23,92	5,78	0,0017
Error	27	111,72	4,14		
Total	35	1216,17			

Cv: 2,30%

Nota. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 15, de acuerdo al análisis de varianza realizado existe efectos de interacción entre la temperatura y el volumen de metanol aplicado al proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel, es decir que la media del rendimiento depende de qué nivel de temperatura se aplica a la reacción y cuanto de metanol se utiliza en el proceso de producción. Este rendimiento se puede observar en la Gráfico 4.

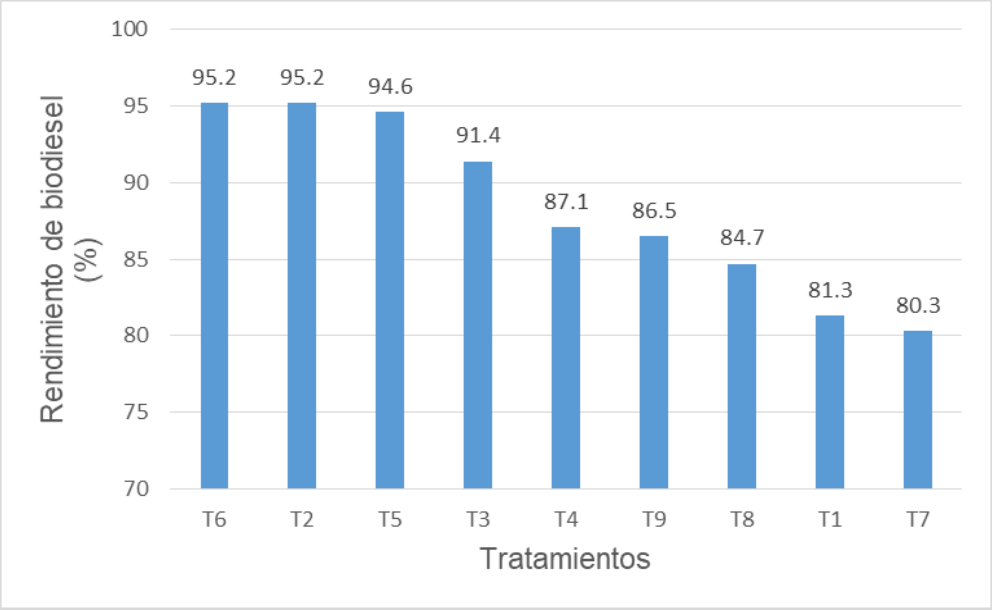


Gráfico 4. Rendimiento obtenido por tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

En el Gráfico 4, se puede observar el rendimiento obtenido de acuerdo a cada tratamiento utilizado en el proceso de transesterificación y apreciar las diferencias entre cada uno de los rendimientos, notándose que los tratamientos número 6 y 2 obtuvieron mayores rendimientos, mientras que el de menor rendimiento fue el tratamiento número 7.

Tabla 16:
Prueba de Tukey para los tratamientos.

Numero de orden	Tratamiento	Combinación	Rendimiento promedio (%)	Significancia			
1	T_6	28 °C * 40 ml	95,2	A			
2	T_2	45 °C * 60 ml	95,2	A			
3	T_5	45 °C * 40 ml	94,6	A			
4	T_3	28 °C * 60 ml	91,4	A	B		
5	T_4	45 °C * 20 ml	87,1		B	C	
6	T_9	65 °C * 60 ml	86,5			C	
7	T_8	65 °C * 40 ml	84,7			C	D
8	T_1	28 °C * 20 ml	81,3				D
9	T_7	65 °C * 20 ml	80,3				D

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P > 0.05) **Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 16, se puede observar la prueba de Tukey que se desarrolló para las medias del rendimiento de biodiesel obtenido de la interacción del factor temperatura con el factor metanol (combinaciones) en el proceso de transesterificación, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos, de los cuales la combinación que tuvo un mayor rendimiento fueron las del tratamiento seis y dos, con un rendimiento promedio de 95,2% cada una, los cuales no son significativamente diferentes a los tratamientos cinco y tres, que obtuvieron un rendimiento de 94,6% y 91,4% respectivamente, pero si son significativamente diferentes con el resto de los tratamientos; de igual manera los tratamientos tres y cuatro no son significativamente diferentes entre ellos, con un rendimiento de 91,4% y 87,1%, pero si presentan diferencias significativas con el resto de tratamientos que obtuvieron menores rendimientos a comparación de los anteriores. El tratamiento que obtuvo el menor rendimiento y que presenta la mayor diferencia significativa con el resto de los tratamientos a excepción de los tratamientos ocho y uno, es el tratamiento siete; que tuvo un rendimiento de 80,3%.

4.6. Pruebas de calidad del biodiesel obtenido

Al biodiesel obtenido como resultado del proceso de transesterificación del aceite doméstico residual se envió a un laboratorio de calidad y determinar si el biodiesel obtenido se encuentra dentro de los parámetros necesarios de la normativa peruana y extranjera, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 16.

Tabla 17:
Resultados de la prueba de calidad del biodiesel obtenido.

Tratamiento	Densidad a 15.6 °C (Kg/lt)	Viscosidad cinemática a 40 C°, cSt ($mm^2/2$)	Fame %vol	Punto de inflamación (°C)
T_1	0.8762	4.705	90.97	118
T_2	0.8762	4.709	90.95	118
T_3	0.8762	4.711	90.85	118
T_4	0.8800	4.708	90.45	119
T_5	0.8762	4.706	90.12	118
T_6	0.8762	4.710	90.21	118
T_7	0.8800	4.715	90.35	119
T_8	0.8762	4.704	90.48	118
T_9	0.8800	4.707	90.39	119

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17, se puede observar los resultados de las 4 pruebas que se realizaron a cada tratamiento, notándose que la mayoría de resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la normativa peruana y extranjera, las cuales fueron resumidas en la Tabla 5, a excepción del punto de inflamación que requiere un punto de inflamación minino de 130 °C, ya que al obtener un punto de inflamación por debajo existe mucho riesgo con el peligro de incendio y explosión al entrar en contacto con una fuente de ignición.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1. Del volumen de aceite doméstico residual generado.

El aceite doméstico residual (ADR) que se recolecto netamente de un total de 384 casas familiares y dio un volumen general de 235,1 L/ADR/mes, dando un promedio de 0,62 L/ADR/mes por cada casa en la ciudad, lo que vendría a ser un total de 7,44 Litros/casa y un total anual de 749 491,32, siendo esta suma relativamente alta a lo que mencionan **Gonzales *et al.*[3],** que indica que el volumen de aceite usado generado en la provincia de Bizkaia es de 2-4 L/hab. al año, generando un volumen total de 2 313 000 a 4 626 00 L/año, que a comparación de la extrapolación obtenida para la ciudad es mucho menor, debido a que la ciudad de Iquitos cuenta con una menor población; sin embargo este resultado representa un serio problema con respecto al residuo de aceite doméstico.

Por otro lado, la extrapolación obtenida solo muestra lo que generaría una casa de tipo familiar, sin embargo, en la ciudad existen muchas fuentes de generación de aceite doméstico residual como lo son las pollerías. Para ello, **Mollenido[9]** utilizando pollerías de la ciudad de Juliaca como muestra de estudio, indica que diariamente cada establecimiento genera en promedio 9,72 L/AVU y **Márquez[11]** considerando como población de estudios pollerías de la ciudad de cañete, indica que una pollería genera diariamente 7,59 L/AVU; asumiendo que en la ciudad de Iquitos se genera una cantidad

promedio de aceite doméstico residual entre los volúmenes obtenidos por Mollenido y Márquez, esto incrementaría sustancialmente el volumen de aceite doméstico residual anual generado en la ciudad de Iquitos, cuyo impacto al no darle una correcta disposición final es mucho mayor.

5.2. Del grado de acidez del aceite doméstico residual de la ciudad de Iquitos.

Mota[7] indica que valorar la acidez del aceite a utilizar es la parte más importante del proceso y deberá ser los más exacta posible, pues de esa manera se determinará la cantidad de catalizador a utilizar.

Castillo[10], indica que si un aceite usado tiene un índice de acidez menor que el 1% se debe agregar más catalizador a la reacción; sin embargo, si el índice de acidez es mayor que el 1% se debe realizar una esterificación acida para reducir este nivel. Por otro lado, el **Meat and Poultry Inspection Manual (USDA/Fsis. 1991) citado por Castillo[10]**, indica que un aceite usado con un contenido de ácidos grasos libres mayor del 2% es indicador de que el aceite debe ser desechado y no utilizado para consumo humano, siendo considerado también como indicador para determinar el máximo de acidez que debe tener un aceite para poder ser transesterificado.

En el caso de nuestra muestra, se evitó realizar el proceso de neutralización del aceite, ahorrándonos tiempo en el pretratamiento, ya que el nivel de ácidos grasos libres fue menor al 2%, indicando que no

presenta un alto contenido de ácidos grasos libres. De esta forma también se determinó la cantidad de NaOH a utilizar.

5.3. De la temperatura óptima para la producción de biodiesel.

De los resultados obtenidos en cuanto a la temperatura optima necesaria para obtener mayor volumen de producción de biodiesel, se puede apreciar en la Tabla 11 que no existe significancia entre las temperaturas de 28°C y 45°C, pero si existe diferencias significativas cuando se utilizó la temperatura de 65°C, que fue la que dio el menor rendimiento (83,8%) y se obtuvo el mayor rendimiento (92,3%) a una temperatura de reacción de 45°C. **Sarracent *et al.*[4]** Indicaron que a una temperatura de 50°C se obtienen mayores resultados y que el bajo rendimiento de su producción (81% y 85%) se debe a la dificultad que incurre usar etanol en lugar de metanol en el proceso de transesterificación, sin embargo mencionan que se puede obtener rendimientos superiores al 80% en la conversión, con cualquier temperatura por encima de la ambiental y menor que la de ebullición del alcohol.

Saavedra[13] encontró que en la producción de biodiesel a base de aceite de palma virgen existe diferencia significativa entre las temperaturas de 45°C y 65°C, además de que se obtiene mayores resultados a una temperatura de 65°C (86,1%) y la menor a una temperatura de 45°C (83,9%), el cual difiere con los resultados encontrados en el trabajo desarrollado, sin embargo, esto se puede deber a factores como la materia prima utilizada, o el sistema aplicado para la transesterificación. Por otro lado, **Castillo[10]** menciona que se

obtienen menores resultados al utilizar una temperatura de 60°C, que está cerca del punto de ebullición del metanol y que presenta diferencias significativas con tratamientos realizados a 40°C, 30°C y temperatura ambiente (25°C), cuyos rendimientos oscilan entre 84% a 85%, sin embargo, considera que a estas temperaturas posiblemente no se alcanzó una transesterificación completa.

Por lo que cabe recalcar que la temperatura empleada en el proceso de transesterificación es un factor determinante para la obtención de biodiesel, de donde el mayor rendimiento se obtiene al aplicar temperaturas menores al punto de ebullición del alcohol y por encima de la temperatura ambiente.

5.4. Del volumen de metanol óptimo para la producción de biodiesel.

De los resultados obtenidos sobre el volumen de metanol óptimo para el mayor rendimiento en la producción de biodiesel, se puede apreciar en la Tabla 13 que estadística y experimentalmente existe diferencias significativas entre el volumen de metanol aplicado a la reacción, de los cuales el mayor rendimiento (91,5%), que se obtuvo al aplicar un volumen de 40 ml de metanol, el cual no presenta diferencia significativa con el rendimiento de 91,1% obtenido al aplicar un volumen de 60 ml de metanol, pero si presenta diferencia significativa con el volumen de 20 ml de metanol que obtuvo el menor rendimiento (82,9%). **Mollenido**[9] menciona que existe una estrecha relación entre el aceite y la cantidad de metanol a usar, considerando al metanol como la variable que afectaría el rendimiento de biodiesel, de los cuales sus mayores rendimientos lo obtuvieron al utilizar el 25% y 30% de metanol

en relación al volumen de aceite a utilizar. **Márquez** [11] menciona que para obtener un rendimiento del 100% es necesario utilizar 0,2 L de metanol o etanol en presencia del catalizador, eso quiere decir que el volumen del metanol a utilizar debe ser un 20% del volumen de aceite a transesterificar.

De igual manera, **Ojiego *et al.*** [6] menciona que los 4 litros de biodiesel se obtuvieron a base de 4 litros de aceite vegetal usado y 800 ml de metóxido de sodio, por lo que coincide en que para producir un rendimiento de 100% de biodiesel, la relación del volumen de metanol con respecto al volumen de aceite vegetal usado, debe ser de 20%,

En la transesterificación de aceite de palma virgen, **Saavedra**[13] indica que sus mayores rendimientos los obtuvo al aplicar 60 ml y 20 ml de metanol, 87,8% y 86,06% respectivamente, y que las diferencias significativas al aplicar 50 ml, 40 ml y 30 ml de metanol eran mínimas.

De acuerdo a nuestro resultado podemos observar que, para obtener un mayor rendimiento, la relación aceite-metanol debe ser superior al 20%, difiriendo con algunos de los autores.

5.5. De la interacción de factores.

Como se puede observar en la Tabla 16, el rendimiento de cada uno de los 9 tratamientos (combinación de factor temperatura y volumen de metanol) presenta diferencias significativas, de las cuales existen las combinaciones que presentan un mayor rendimiento (entre 91% - 95.2%) son las combinaciones de los tratamientos seis, dos, cinco y tres, de donde se nota que los factores que predominan son las

temperaturas de 28°C y 45°C, mientras que en metanol predominan el volumen de 40 ml y 60 ml; mientras que las combinaciones con menores rendimientos y con diferencias significativas, con respecto a los anteriores, tienen entre sus factores comunes las temperaturas de 65°C y un volumen de metanol de 20 ml.

Sarracent *et al.*[4] utilizando factores como temperatura (35°C y 50°C) y concentración de etanol (85% y 90%), indica que con temperaturas superiores a la temperatura ambiente e inferiores al punto de ebullición del alcohol y utilizando alcoholes de mayor concentración el aumento en el rendimiento de la reacción es mucho mayor.

En cambio, **Mollenido[9]** indica que se obtienen mejores resultados utilizando combinaciones de 20%, 25% y 30% de metanol con temperaturas entre 50°C y 60°C, mencionando que se podría mejorar este rendimiento si se realiza el proceso a mayor escala y en una planta especializada.

De las pruebas de laboratorio, en la interacción de los factores podemos apreciar que temperaturas por cerca del punto de ebullición del alcohol afectan negativamente el rendimiento del biodiesel, pero esto debido a que no se controló los factores en su totalidad como por ejemplo el sistema de reflujo para evitar la ebullición del alcohol y que el volumen de metanol afecta la conversión de los triglicéridos en esteres metílicos. En otras palabras, de la relación de los factores a utilizar y de su interacción dependerá que la reacción se completa.

5.6. Del análisis de la calidad del biodiesel

al biodiesel obtenido del proceso de transesterificación de aceites domésticos residuales, se realizó 4 pruebas de calidad cuyos resultados se observan en la Tabla 16, de los cuales la comparar con la **NTP 321.125,** la **Norma Europea 14214** y la **Norma ASTM D6751**, se observa que los resultados de nuestros ensayos de calidad de densidad y viscosidad están dentro de los rangos establecidos por cada una de ellas, a excepción del punto de inflamación, que en la Norma técnica peruana 321.125 y en la norma ASTDM D6751 debe ser como mínimo 130°C, pero en nuestro ensayo de calidad dio un resultado entre 118°C y 119°C; sin embargo la Norma europea menciona un mínimo de punto de inflamación de 120°C, lo que se acerca mucho más a nuestro resultado obtenido.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- El volumen de aceite doméstico residual (ADR) generado en la ciudad de Iquitos, sugiere ser una gran fuente de materia prima para la producción de biodiesel a una mayor escala, siendo una alternativa para el aprovechamiento de un residuo altamente peligroso.
- La correcta gestión y el desarrollo de un plan de recolección de los aceites domésticos residuales garantizaría la reducción de la problemática que genera al medio ambiente, su adecuada disposición final y transformación permitiría la generación de un combustible alternativo de menor afectación para el medio ambiente.
- El tratamiento de los aceites domésticos residuales para su aprovechamiento es una etapa de suma importancia, cuyos costos en comparación a los beneficios para la población en el plano económico, sanitario y ambiental, son aceptables y viables.
- El aceite doméstico residual obtenido de la ciudad de Iquitos, se considera óptimo para su uso como materia prima para la producción de biodiesel por su acidez menor al 2%.
- Para la cantidad de catalizador a utilizar y neutralizar la mayor cantidad de ácidos grasos libres, es necesario determinar, con la mayor precisión posible, la acidez del aceite; de esa forma se evita el contenido de este en el biocombustible y una mejor calidad.
- la temperatura óptima a la que se debe someter el proceso de transesterificación para obtener un mayor rendimiento en la obtención de biodiesel utilizando aceite doméstico residual como materia prima es de

45°C, mientras que el volumen de metanol optimo oscila entre los 40 ml y 60 ml.

- El rendimiento más alto en la producción de biodiesel fue de 95,2%, correspondiente al tratamiento 6, que fue evaluado a una temperatura de 28°C y un volumen de metanol de 40 ml, y el tratamiento 2, que fue evaluado a una temperatura de 45°C y un volumen de metano de 60 ml; sin embargo, se considera que el tratamiento optimo correspondería al tratamiento 6, por la temperatura de evaluación a la que se sometió.
- La glicerina, subproducto originado de la producción del biodiesel es un residuo que con el debido tratamiento llega a alcanzar un mayor grado de pureza y puede ser utilizado en distintas industrias.
- Las pruebas de calidad realizadas al biodiesel determinaron que el biodiesel producido está dentro de los parámetros nacionales e internacionales establecidos para el biodiesel, lo cual comprendería un sustento más de la viabilidad del proyecto para la ciudad. El punto de inflamación obtenido se podría mejorar al mezclar el producto obtenido proporcionalmente con diésel.
- Los resultados del aprovechamiento de los aceites domésticos residuales para la producción de biodiesel, es una alternativa viable técnica, ecológica y socialmente; y cumplen con una de las finalidades del proyecto, que es la de brindar y comprobar una alternativa de aprovechamiento para este residuo en la ciudad.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- los materiales necesarios para las pruebas de calidez del aceite y el proceso de transesterificación deben ser solicitados con tiempo, debido a que su venta y traslado es de difícil acceso.
- Se debe trabajar en un ambiente que cuente con todas las facilidades necesarias para el desarrollo de este tipo de proyecto, que permitan desarrollarlo de la manera más precisa, un ambiente debidamente controlado.
- Se debe considerar el tipo de aceite, la marca y la cantidad de usos como factores que pueden afectar la calidad del aceite y su índice de acidez; por lo que es recomendable desarrollar estudios de caracterización teniendo en cuenta estos factores.
- El pretratamiento a los aceites domésticos residuales debe realizarse con mucho cuidado, de esa forma se obtiene un aceite libre de contaminación y se evita las dificultades al momento de realizar las pruebas de calidad y el proceso de transesterificación.
- El secado del aceite doméstico residual, se debe llevar a cabo con mucho cuidado y con constante observación, ya que el aceite al someterse a una fuente de calor tiende a expandirse y a derramarse fuera del contenedor; Por otro lado, debe ser secado lo mejor posible, ya que el agua en el aceite favorecería a la formación de jabones y obstaculizaría la separación del biodiesel y la glicerina, formando una tercera capa.

- Las pruebas de calidad que se deben realizar al aceite doméstico residual, deben ser las más precisas posibles, en especial la prueba de acidez, ya que de esta prueba depende la cantidad de catalizador a utilizar.
- A los residuos que se obtienen luego de las pruebas de calidad, se les debe agregar ácido acético o vinagre previa eliminación por el alcantarillado.
- se debe ser meticuloso al momento de preparar el metóxido a utilizar, ya que el hidróxido de sodio expuesto absorbe humedad ambiental y el metanol tiende a volatizarse, por lo que es necesario no dejarlos expuestos al ambiente luego de su preparación y evitar la pérdida de insumos.
- Durante toda la etapa de trabajo en laboratorio, se debe ser cuidadoso al manipular los reactivos y residuos, ya que tanto el hidróxido de sodio, el metanol y la glicerina son muy irritantes. Se debe evitar el contacto con la piel, ojos y mucosas, y en caso del metanol se debe evitar su inhalación.
- Para el proceso de transesterificación, es necesario que el sistema de reflujo este completamente sellado al igual que todos sus componentes, de esta manera se evitara la ebullición del metanol y su perdida.
- usar un agitador magnético con revoluciones constantes, garantiza una mayor homogenización de la mezcla.
- El lavado del biodiesel obtenido debe ser realizado con agua destilada, debido a que el agua de grifo o de otras procedencias contienen otros elementos como por ejemplo sales de sodio y potasio que pueden producir jabones, ya que en el biodiesel sin lavar aún existen pequeñas cantidades de ácidos grasos y restos de reactivos que no reaccionaron. Se

recomienda que en el primer lavado se utilice entre 3 a 5 gotas de ácido acético.

- La glicerina que se obtiene como un subproducto del proceso de transesterificación de los aceites domésticos residuales debe ser aprovechada y considerada un producto que con los tratamientos adecuados puede ser utilizados en distintas industrias.
- La temperatura para el secado del biodiesel no debe ser tan elevada, debe considerarse un rango entre 40 a 50°C con constante agitación, ya que a temperaturas elevadas se forman burbujas que al reventarse pueden ocasionar quemaduras.
- Si no se cuenta con los materiales necesarios para realizar las pruebas de calidad del biodiesel, es recomendable enviar las muestras debidamente almacenadas y acondicionadas a laboratorios que si las tengan.
- Realizar la cuantificación de los esteres metílicos obtenidos en el proceso de transesterificación, para poder obtener información sobre la pureza del biodiesel producido.
- Se debe desarrollar estudios utilizando distintos tipos de catalizadores y alcoholes para determinar cuál sería una mejor opción para obtener mejores rendimientos y un mayor grado de pureza del biodiesel.
- Implementar una planta piloto para la producción de biodiesel en la faculta de Agronomía, Escuela de Ingeniería Ambiental sería un avance tecnológico que brindaría la oportunidad de desarrollo de trabajos de investigación sobre esta temática.

CAPITULO VIII

FUENTES DE INFORMACIÓN

1) **Dirección General de Residuos Sólidos-MINAM (2019).** Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal, **Meta** 3: Implementación de un sistema integrado de residuos sólidos municipales. Perú. (Consultado el 8/03/2020). Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/metas/Presentacion_Residuos_B.pdf

2) **Ministerio del Ambiente (1 mayo del 2018).** En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables. Perú. (Consultado el 8/03/2020). Recuperado de https://sinia.minam.gob.pe/novedades/peru-solo-se-recicla-19-total-residuos-solidos-reaprovechables

3) **Gonzales, I., y Gonzales, J. (2013).** "Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de Saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras". Bilbao, Bizkaia, España. (Consultado 18/05/2019). Recuperado de http://residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf

4) **Sarracent, A., y Gandón., J. (2016).** "Estudio de la transformación del Aceite de Soya usado en ésteres etílicos de ácidos grasos". Tecnología Química, XXXVI (3) ,417-438. (Consultado el 18/05/2019). Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4455/445546669009

5) **Gonzáles, G. (2015).** “Valorización energética de aceites vegetales desechados para la producción catalítica heterogénea de biodiesel” (tesis pregrado). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile, Chile. (Consultado el 18/05/2019). Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133214/Valorizacion-energetica-de-aceites-vegetales-desechados-para-la-produccion-cata....pdf?sequence=1&isAllowed=y

6) **Ojiego, B., Onyia, O., & Abdulraman, f. (January-March, 2014)**. “Production of biodiesel from used vegetable oil”. Global Journal of biology, agriculture & health sciences, 3(1), 274-277. (Consultado el 18/05/2019). Recuperado de https://www.longdom.org/articles/production-of-biodiesel-from-used-vegetable-oil.pdf

7) **Mota, D. (2007).** “Evaluación del método base-base con etanol para la obtención de biodiesel a partir de aceite oxidado de piñón (*Jatropha curcas l.*) a nivel laboratorio (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. San Carlos, Guatemala. (Consultado el 18/05/2019). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1041_Q.pdf

8) **Muchotrigo, A. (23 de mayo del 2018).** “Ventajas ambientales del uso de biodiesel Como alternativa de combustible”. Gaceta Molinera. (Consultado el 18/05/2019). Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/Gaceta/edicion2018/notas/nota090.htm

9) **Mollenido, P. (2017).**" Reaprovechamiento de aceites usados en pollerías para la producción de biodiesel" (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Biología. Juliaca, Perú. (Consultado el 20/05/219). Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6650/Mollenido_Mamani_Percy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

10) **Castillo, B. (2017).** "Aprovechamiento de los desechos de aceites vegetales generados por el comedor universitario de la U.N.T. para la producción de biodiesel" (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química. Trujillo, Perú. (Consultado el 20/05/219). Recuperado de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8955/CastilloVergara_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y

11) **Márquez, L. (2013).** "Diseño de un sistema para la gestión de aceites vegetales usados en cañete para producir biodiesel" (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. (Consultado el 20/05/219). Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2015/ING-L_003.pdf?sequence=1&isAllowed=y

12) **Perú21 (30 de agosto de 2018)**. "Proyecto Municipal de San Borja convierte aceite casero usado en biodiesel". (Consultado el 20/05/2019). Recuperado de https://peru21.pe/lima/san-borja-proyecto-municipal-convierte-aceite-casero-usado-biodiesel-nndc-424631-noticia/?ref=p21r

13) **Saavedra, J. (2009).** “Transesterificación de los ácidos grasos de (*Elaeis guineensis jacq*) "aceite de palma" con metanol para la obtención de biodiesel” (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. (Consultado el 20/05/219). Recuperado de http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/690/T.FRS-66.pdf?sequence=1&isAllowed=y

14) **Leyva, M., y Torres V. (2016).** “Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana-Iquitos” (tesis de pregrado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química. Iquitos, Perú. (Consultado el 20/05/2019). Recuperado de http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3300/TESIS%20OBTENCION%20DE%20JABON%20LIQUIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

15) **Intendencia Económica (2014).** “Condiciones de Competencia en la Producción y Distribución de Aceites y Mantecas”. El Salvador. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de http://www.sc.gob.sv/uploads/est_19_inf.pdf

16) **Ficha técnica aprobada sobre Aceites vegetales comestibles (s.f.).** (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://zonasegura.seace.gob.pe/documentos/documentos/FichaSubInv/253237547rad888E5.pdf

17) **Barriga A. (2007).** Producción y uso de aceites vegetales y Biodiesel en Ecuador, Perspectiva Tecnológicas. Accedido el 18.06.2011 desde: http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/biodiesel.pdf

18) **Arias, A. C. (2012).** "Obtención de Biodiesel a partir de aceites comestibles vegetales usados (AVUs), como alternativa para el reciclaje de material de desecho altamente contaminante para el medio ambiente" (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato, Ecuador. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1918/1/BQ%2029.pdf

19) **Sanz, A. (s.f.).** "Tecnología de grasas, aceites y ceras". Química Orgánica Industrial. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php

20) **Murcia, B., Chaves, L., Rodríguez, W., Andredy, M., y Alvarado, E. (2013).** "Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina". Revista Colombiana de Biotecnología, XV (1) ,61-70. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=776/77628609007

21) **Ministerio para la Transición Ecológica (s.f.).** "Aceites de cocina usados". España. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/

22) **Preciado, A. (2017).** “Evaluación del Aceite Reciclado de Cocina para su Reutilización” (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Facultad Ciencias Naturales. Guayaquil, Ecuador. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/30240/1/TESIS%20%20ANA%20GABRIELA%20PRECIADO.pdf

23) **Castro, J., y Piracoca, L. (2014).** “Estudio de prefactibilidad técnico económica para la instalación de una planta procesadora de aceite usado de cocina obtenido de las localidades de Usaquén y chapinero en Bogotá” (tesis de pregrado). Universidad de Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bogotá, Colombia. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2762/Castrojorge2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

24) **Horrach, J. (19 de setiembre del 2018).** “Residuos de aceite para cocinar y su impacto ambiental. Residuo”. (Consultado el 30/07/2019). Recuperado de https://iresiduo.com/blogs/juan-mateo-horrach/residuos-aceite-cocinar-y-impacto-ambiental

25) **Fundación AQUAE (26 de mayo del 2015).** “Por qué verter un litro de aceite usado contamina 1.000 litros de agua potable”. IAGUA. (Consultado el 07/08/2019). Recuperado de https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/15/05/26/que-verter-litro-aceite-usado-contamina-1000-litros-agua-potable

26) **INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (s.f.).** “Gestión Ambiental de aceites de fritura usados”. (Consultado el

07/08/2019). Recuperado de https://www.inti.gob.ar/pdf/publicaciones/Gestion_Ambiental_de_Aceites_y_frituras_usados.pdf

27) **Gámez, A. (2009).** “Gestión del aceite de cocina usado en el valle de Aburrá” (tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Ambiental. Antioquia, Colombia. (Consultado el 10/08/2019). Recuperado de https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/1920/1/GamezAlejandra_2011_GestionAceiteCocina.pdf

28) **Pineda, C. & Guerrero, J. (2011). “**Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restaurantes y comidas rápidas de Pereira”. Scientia et technica, 1(47), 264-269. (Consultado el 10/08/2019). Recuperado de http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/581/281

29) **Varty A. & Lishawa S. (s.f.).** “Haciendo biodiesel de aceite vegetal usado”. Universidad Loyola de Chicago. Traducido por Manuel Antonio Fernández. Educación Ambiental del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España. (consultado el 30/08/2019). recuperado de https://greenteacher.com/article%20files/haciendobiodiesel.pdf

30) **Portal PETROPERU (s.f.).** “Biodiesel”. (Consultado el 15/08/2019). Recuperado de https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/biodiesel/

31) **Moreira, E. (enero-junio del 2012).** “Principales características de las materias primas utilizadas en la producción de biodiesel: La influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos”. INGENIUM, 13(25), 53-61. (Consultado el 10/08/2019). Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5038487.pdf.

32) **Parawira, W. (18 July of 2010).** “Biodiesel production from *jatropha curcas*: A review”. Scientific Research and Essays, 5(14), 1796-1808. (Consultado el 11/08/2019). Recuperado de http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380634226_Parawira.pdf

"Transesterification (alternatively alcoholysis) is the reaction of a fat or oil (trigylceride) with an alcohol to form fatty acid alkyl esters (valuable intermediates in oleo chemistry), methyl and ethyl esters (which are excellent substitutes for biodiesel) and glycerol". Traducción propia

33) **Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005).** “Synthesis of biodiesel via acid catalysis”. Industrial & engineering chemistry research, 44(14), 5353-5363. (Consultado el 11/08/2019). Recuperado de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Synthesis+of+Biodiesel+via+Acid+Catalysis&author=Lotero+E&author=Liu+Y&author=L%C3%B3pez+D&publication_year=20052005&journal=Revista+Engineering+Chem.+Res&pages=5353-5363

34) **Linarte y Rivera (1976).** “Desplazamiento del equilibrio de esterificación en sistemas catalíticos heterogéneos. En: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. Pág. 54-61.

35) **Benjumea P., Agudelo, J., Zapata, P., & Mendoza, R. (2003).** “Biodiesel: Una revisión del proceso de obtención mediante la transesterificación de aceites vegetales”. Energética, (29), 9-18. (Consultado el 11/08/2019). Recuperado de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7583/1/AgudeloJohn_2003_Biodiesel.pdf

36) **Khalil, C. (2006)**. “As Tecnologias de Produção de Biodiesel”. Coletânea de artigos—O futuro da indústria: Biodiesel. 2533 Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brazil

37) **Miranda, T., Pinto, R., De Lima, D., Viegas, C., Da Costa, S. & Azevedo, S. (2015).** “Microalgae Lipid and Biodiesel Production: A Brazilian Challenge”. American Journal of Plant Sciences, 6, 2522-2533. (Consultado el 13/08/2019). Recuperado de https://www.scirp.org/pdf/AJPS_2015093016215316.pdf

"The alkaline transesterification is the route most used industrially in oil matrices for economic reasons. However, it is recognized that basic catalysis has operational problems when the vegetable oil has a high content of free fatty acids, which, during the reaction, produce emulsions that hinder the separation of the glycerine esters at the end of the reaction". Traducción propia.

38) **Linko, et al. (1994).** Lipase-Catalyzed Transesterification of Rapeseed Oil and 2-ethyl-1-hexanol. En: JAOCS. Vol 71. N° 12. p 1411-1414.

39) **Nelson, et al. (1996).** Lipase-Catalyzed Production Biodiesel. En: J. Am. Oil Chem. Soc. Vol. 73, N°8. p 1191-1195.

40) **Nimcevic, et al.** (2000). Preparation of rapeseed oil esters of lower aliphatic alcohols. En: J. Am. Oil Chem. Soc. Vol N°3. p 275-280.

41) **Barbosa, C., Ramírez, L. y Morales, N. (s.f.).** "Obtención de Biodiesel (etil-éster) Mediante Catálisis Básica a Nivel Planta Piloto Derivado de Aceites Usados de la Industria Alimenticia". (Consultado el 22/08/2019). Recuperado de http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/rt/printerFriendly/1293/2038

42) **López, L., Bocanegra J., y Malagón, D. (enero-junio 2015)**. "Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado". Ing. Univ., 19(1), 155-172. (Consultado el 22/08/2019). Recuperado de https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/5461/10288

43) **Cedrón, J., Moncada, A., Mendoza, P. (2014).** "Análisis de biodiesel preparado a partir de residuos de aceite doméstico, mediante RMN". Revista de la Sociedad Química del Perú, 80(1), 3-8. (Consultado el 22/08/2019). Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000100002&lng=es&tlng=es

44) **Specification for biodiesel (B100) - ASTM D6751-07a (March 2007).** (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://www.ag.ndsu.edu/agmachinery/documents/pdf/biodiesel%20specifications%203-2007.pdf/at_download/file

45) **Ministerio de Agricultura y Riego (2018).** "Proyecto PNIA087_PI: Optimización de la producción de Biodiesel a partir de las semillas de piñón blanco (*Jatropha curcas L*.)" en la Región San Martin. San Martin, Perú. Primera edición. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/845/1/Echevarria-Manual_producci%C3%B3n_biodiesel-2018.pdf

46) **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2007).** **"**preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles". San José, Costa Rica. (Consultado el 23/08/2019). Págs. 8-9. Recuperado de http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Biocombustibles-IICA.pdf

47) **Blog de Biología (s.f.).** "Glicéridos". (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://www.blogdebiologia.com/gliceridos.html

48) **Gob.mx (25 de agosto del 2017).** "Plantas oleaginosas, energía comestible e industrial". Tecnoagro. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://tecnoagro.com.mx/noticias-del-agro/plantas-oleaginosas-energia-comestible-e-industrial

49) **TP-Laboratorio Químico (s.f.).** "¿qué es la cromatografía?". (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de

https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-cromatografia.html

50) **Pérez, J. y Merino, M. (2010).** “Definición de triglicéridos”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://definicion.de/trigliceridos/

51) **Solís, J. (s.f.).** “Desechos líquidos”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://www.academia.edu › Desechos Líquidos.

52) **Los biorresiduos (2011).** “Ecoticias”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de http://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/59145/

53) **Biodegradables (s.f.).** “Ecoinventos, Green technology”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de https://ecoinventos.com/biodegradables/

54) **Lafuente, G. (2017).** “Glicerol: síntesis y aplicaciones” (trabajo de fin de master). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Ciencias. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf

55) **Química explicada (2010).** “Saponificación – Reacción química del jabón”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de http://quimicaorganicaexplicada.com/saponificacion-reaccion-quimica-del-jabon/

56) **Malvern Panalytical (s.f.).** “Viscosidad”. (consultado el 23/08/2019). Recuperado de

https://www.malvernpanalytical.com/es/products/measurement-type/viscosity

57) **Facultad de Química Farmacéutica (s.f.).** “Grasas y aceites comestibles”. (Consultado el 23/08/2019). Recuperado de http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/acidez.html

58) **Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles (08 de agosto del 2003)**. Lima, Perú. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/7D1DFFFFF299268C052575C300523823/$FILE/Ley_28054_Promoci%C3%B3n_Mercado_Biocombustibles.pdf

59) **Construmática (s.f.).** “Transesterificación”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.construmatica.com/construpedia/Transesterificaci%C3%B3n

60) **EcuRed (s.f.).** “Catalizador”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.ecured.cu/Catalizador

61) **Agritotal (s.f.).** “Biocombustibles: ¿qué es el biodiesel?”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.agritotal.com/nota/que-es-el-biodiesel/

62) **MicroCare Electronics (s.f.).** “¿Qué es el punto de inflamación y por qué es importante?”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://electronics.microcare.com/es/resources/faqs/que-es-el-punto-de-inflamacion-y-por-que-es-importante/

63) **Antipodas.net (2019).** “Coordenadas de Iquitos (Perú)”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.antipodas.net/coordenadaspais/peru/iquitos.php

64) **Distribución de la Población (2017).** (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf

65) **Practica N°4 (s.f.).** “Medida de viscosidades y densidades”. (Consultado el 25/08/2019). Recuperado de https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/basesFQ/Pract/cuatroycinco.pdf

ANEXO

ANEXO N°1: ESTADÍSTICA COMPLEMENTARIA

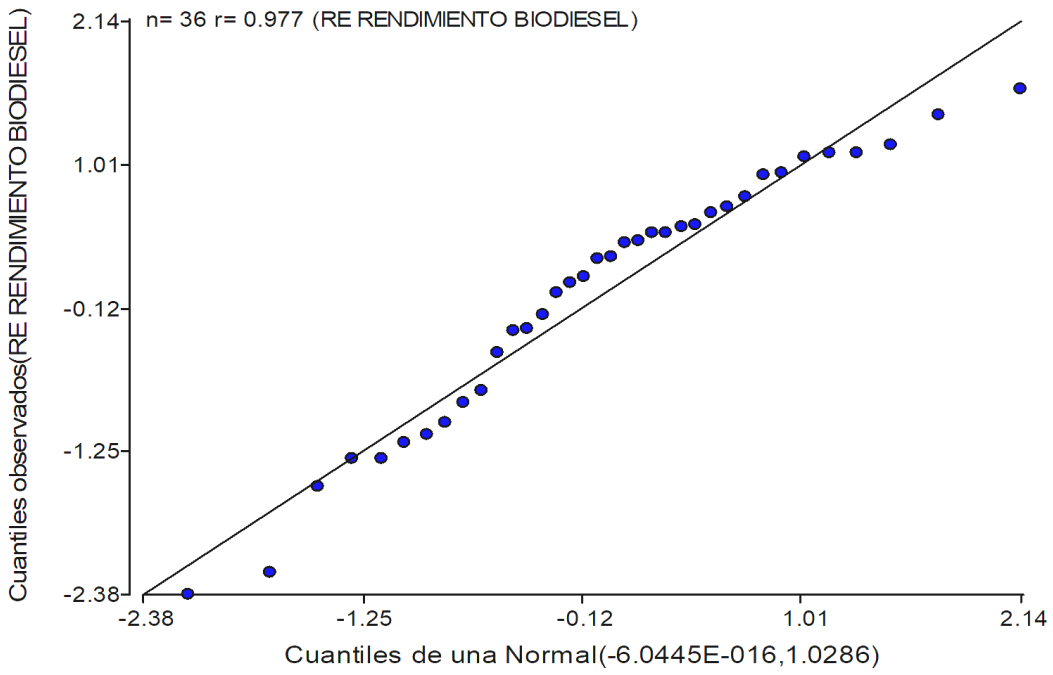


Gráfico 5. Normalidad del rendimiento bajo influencia del factor temperatura.

Fuente: elaboración propia.

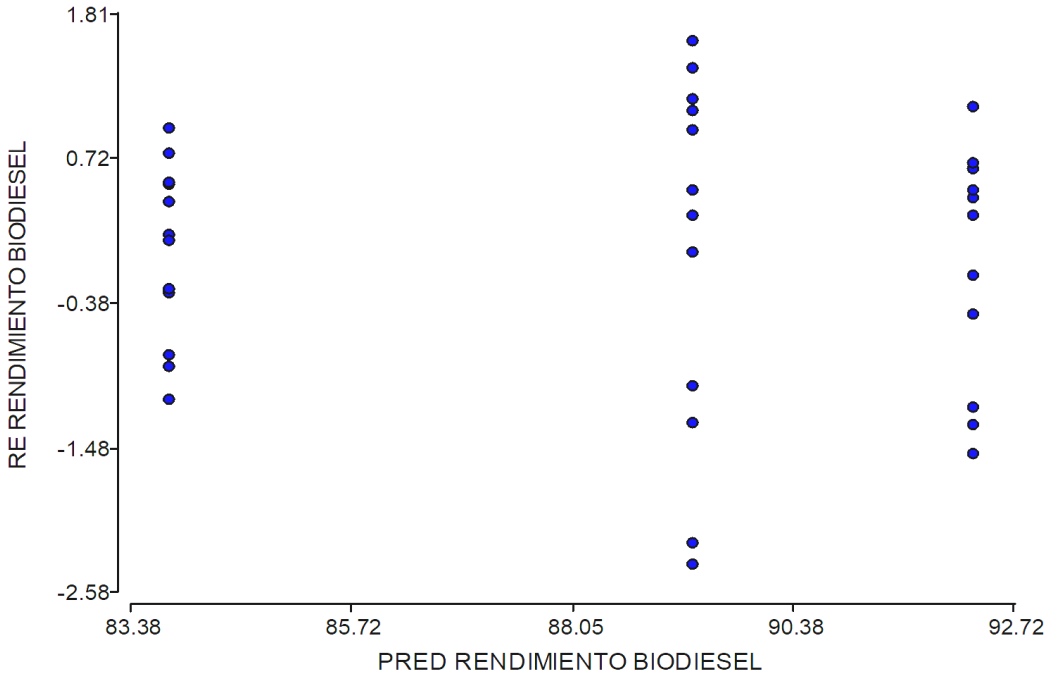


Gráfico 6. Dispersión del rendimiento bajo influencia del factor temperatura.

Fuente: elaboración propia.

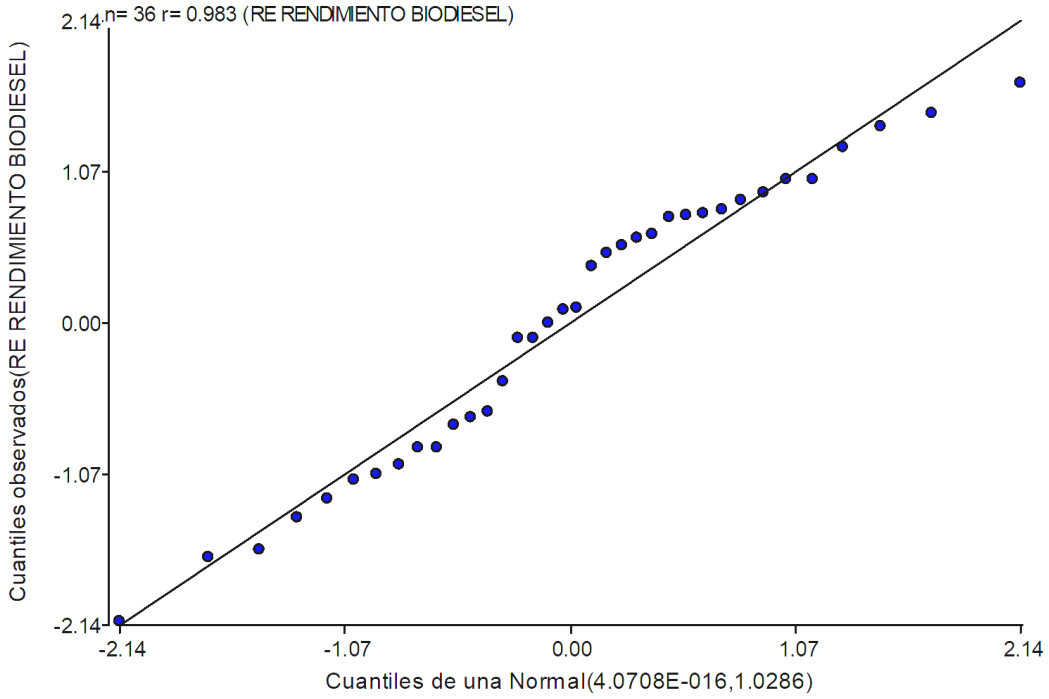


Gráfico 7. Normalidad del rendimiento bajo influencia del factor metanol.

Fuente: elaboración propia.

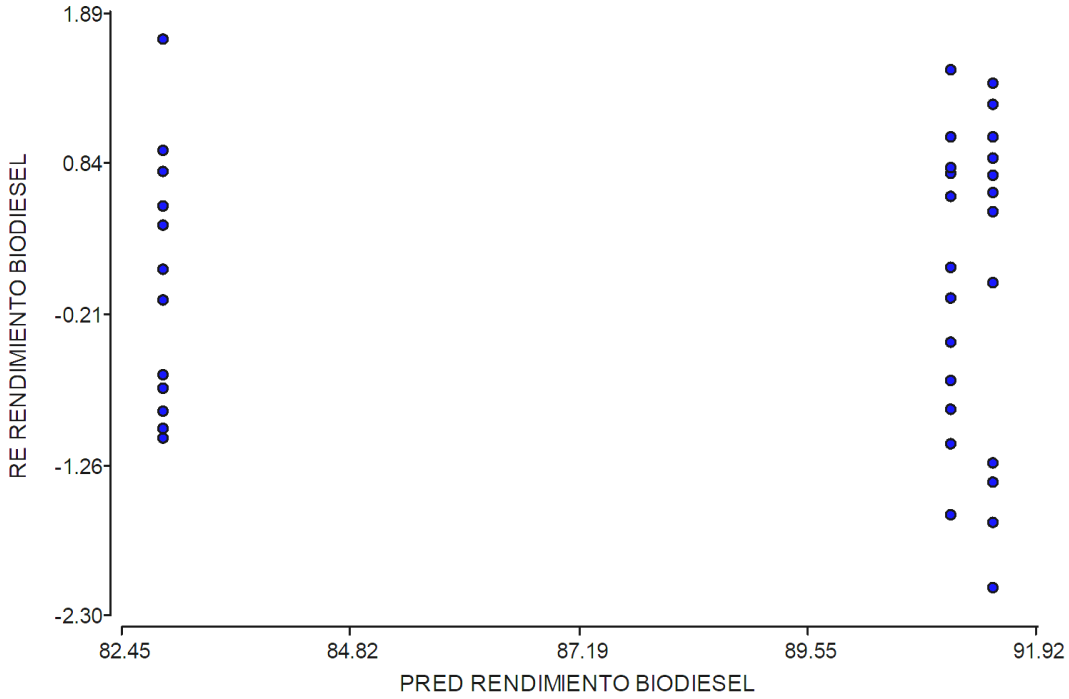


Gráfico 8. Dispersión del rendimiento bajo influencia del factor metanol.

Fuente: elaboración propia.

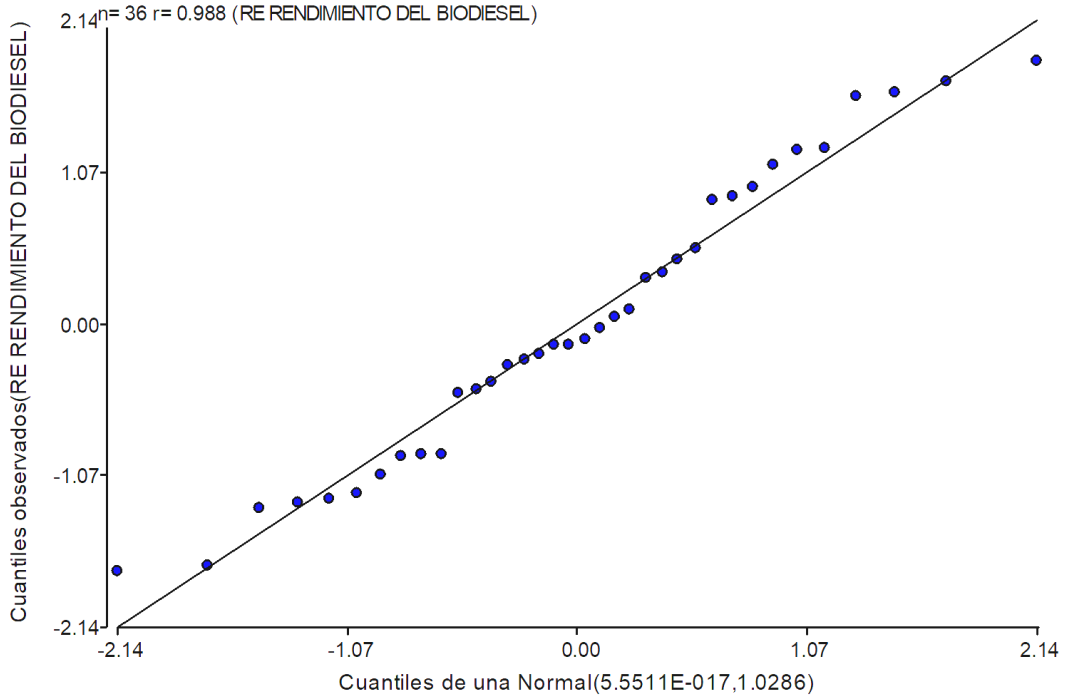


Gráfico 9. Normalidad del rendimiento de la interacción de factores.

Fuente: elaboración propia.

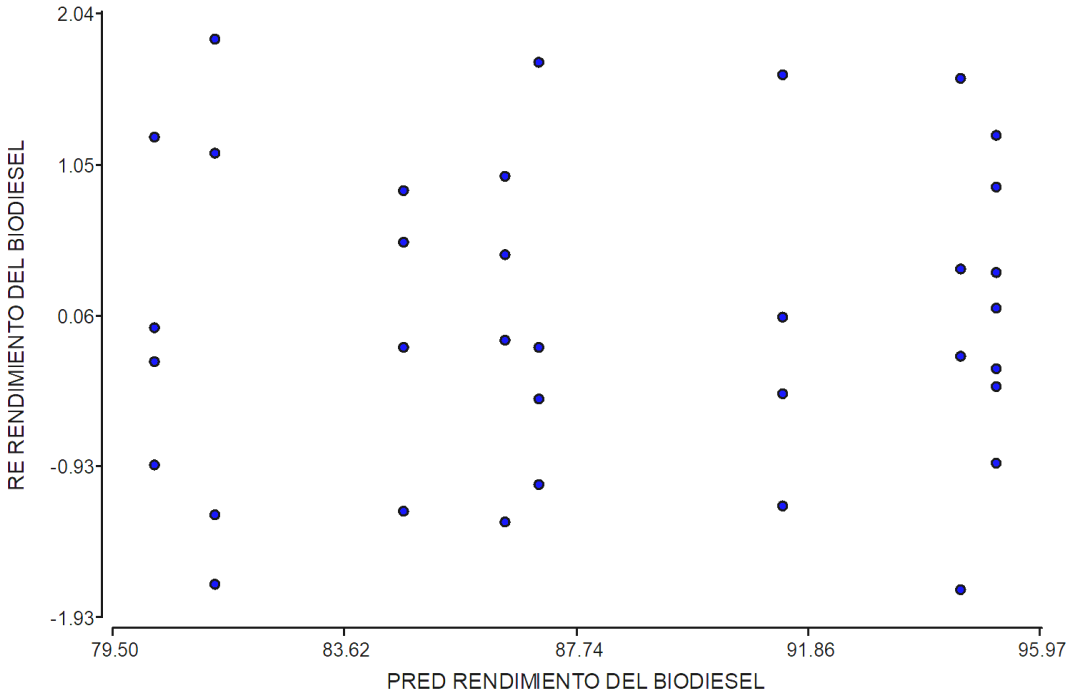


Gráfico 10. Dispersión del rendimiento de la interacción de factores.

Fuente: elaboración propia.

ANEXO N°2: INSTRUMENTO DE RECOLECIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES.

PRUEBAS DE CALIDAD DEL ACEITE									
	DENSIDAD (gr/ml)	REPETICION	PESO DEL PICNOMETRO (gr)	PESO DEL PICNOMETRO + AGUA (gr)		PESO DEL PICNOMETRO + ACEITE (gr)	DENSIDAD DEL AGUA A T° AMBIENTE (28° C)- gr/ml	DENSIDAD DEL ACEITE (gr/ml)	
		R_1							
		R_2							
		R_1							
	VISCOSIDAD (milistokes) A T° AMBIENTE (30°C)	SUB MUESTRA	REPETICIONES	η_{H2O} milistokes	ρ_{H2O} (gr/ml)	ρ_{aceite} (gr/ml)	VELOCIDAD DE RECORRIDO DEL AGUA (s)	VELOCIDAD DE RECORRIDO DEL ACEITE (s)	VISCOSIDAD (milistokes)
		SM_1	R_1						
			R_2						
			R_3						
			Promedio						
		SM_2	R_1						
			R_2						
			R_3						
			Promedio						
		SM_3	R_1						
			R_2						
			R_3						
			Promedio						
	GRADO DE ACIDEZ E INDICE DE ACIDEZ	REPETICION	PESO ACEITE (gr)	VOLUMEN KOH INICIAL (ml)		VOLUMEN KOH FINAL (ml)	VOLUMEN KOH GASTADO (ml)	ACIDOS GRADOS LIBRES (% DE ACIDO OLEICO)	INDICE DE ACIDEZ (mg KOH/gr)
		R_1							
		R_2							
		R_1							
	INDICE DE SAPONIFICACION	MUESTRA	TITULACION EN BLANCO - HCL GASTADO (ml)	TITULACION EN MUESTRA - HCL GASTADO (ml)		NORMALIDAD DEL HCL	PESO DE LA MUESTRA (gr)	INDICE DE SAPONIFICACION (mg KOH/gr)	
		R_1							
		R_2							
		R_1							

Figura 7. Ficha de recolección de datos experimentales

Fuente: elaboración propia.

ANEXO N°3: VOLUMEN DE ACEITE DOMESTICO RESIDUAL GENERADO POR DISTRITO.

Tabla 18:
Volumen de aceite doméstico residual recolectado por distrito.

Distrito	Población muestral	Promedio mensual (L)	Total mensual (L)
San Juan Bautista	138	0,65	**89,7**
Iquitos	119	0,53	**63,07**
Belén	58	0,67	**38,86**
Punchana	69	0,63	**43,47**
Total	384	2,48	**235,1**

Nota. Fuente: elaboración propia.

ANEXO N°4: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CALIDAD DEL ACEITE DOMÉSTICOS RESIDUAL.

Tabla 19
Densidad del Aceite Doméstico Residual (ADR)

Repetición	Densidad (gr/ml)
1	0,91629
2	0,91629
3	0,91228
Promedio	0,91561 ± 0,0012

Fuente: elaboración propia

Tabla 20
Viscosidad del Aceite Doméstico Residual (ADR)

Submuestra	Viscosidad (milistokes)
1	22,97
2	22,12
3	22,84
Promedio	22,64 ± 0,46

Fuente: elaboración propia

Tabla 21
Índice y grado de acidez del Aceite Doméstico Residual (ADR)

Repetición	Índice de acidez (Mg KOH/gr de aceite)	Grado de acidez (% de ácido oleico)
1	0,6171	0,3102
2	0,7854	0,3948
3	0,6171	0,3102
Promedio	0,6732 ± 0,097	0,3384 ± 0,049

Fuente: elaboración propia

Tabla 22
Índice de saponificación del Aceite Doméstico Residual (ADR)

Repetición	Índice de saponificación (mg KOH/gr)
1	298,7
2	287,5
3	328,1
Promedio	304,8 ± 20,95

Fuente: elaboración propia.

ANEXO N°5: FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Anexo fotográfico 1. Galonera para recolección del aceite doméstico residual.

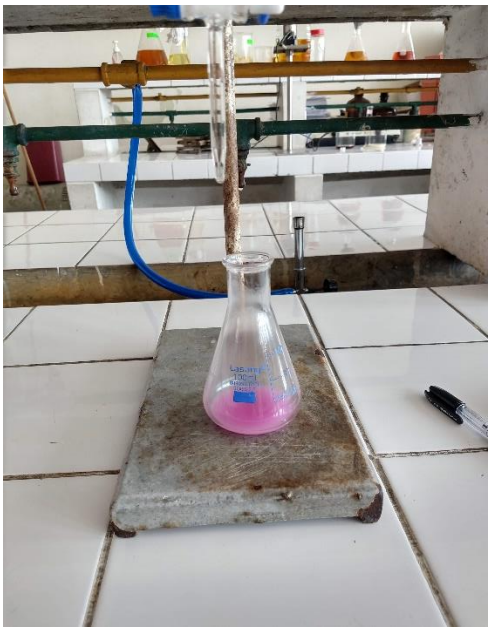
Anexo fotográfico 2. Decantación del aceite residual.

Anexo fotográfico 3. Filtrado del aceite doméstico residual.

Anexo fotográfico 4. Secado del aceite doméstico residual.

Anexo fotográfico 5. Cálculo de densidad mediante el método del picnómetro.

Anexo fotográfico 6. Cálculo de la viscosidad mediante el método del viscosímetro de Ostwald.



Anexo fotográfico 7. Titulación ácido base, necesaria para la determinación del grado e índice de acidez del aceite.

Anexo fotográfico 8. Sistema de reflujo para cálculo del índice de saponificación del aceite doméstico residual.

Anexo fotográfico 9. Titulación con HCl, necesario para determinar el índice de saponificación del aceite doméstico residual.

Anexo fotográfico 10. Sistema de reflujo utilizado para el proceso de transesterificación.

Anexo fotográfico 11. Separación de biodiesel y glicerina en una pera de decantación.

Anexo fotográfico 12. Error en la producción de biodiesel, formación de capa jabonosa.

Anexo fotográfico 13. Separación de capas luego del primer lavado del biodiesel.

Anexo fotográfico 14. Separación de capas luego del tercer lavado del biodiesel.

Anexo fotográfico 15. Biodiesel obtenido luego del lavado y secado.

Anexo fotográfico 16. Glicerol, subproducto obtenido de la producción de biodiesel

Anexo fotográfico 17. Muestras de biodiesel obtenido de cada tratamiento evaluado, para la realización de su análisis de calidad.

ANEXO N°6: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DEL BIODIESEL.

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

PETROPERU

INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO: BIODIESEL

REPORTE Nº: RFIQ-LAB-000896-2019

REFINERÍA	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA	FECHA DE REPORTE
REFINERÍA IQUITOS	**02/11/2019**	**06/11/2019**
PRODUCTO **BIODIESEL**	MUESTRA Nº **9 CORRIDAS**	TESISTA **WAGNER DEL ÁGUILA OJANAMA**
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA **TESISTA**	VOLUMEN CERTIFICADO **500 ML**	LABORATORIO **PETROPERU - REFINERÍA IQUITOS**

Muestra	Gravedad API a 15,6 °C	Densidad a 60 °F	Densidad a 15.6 °C	Viscosidad Cinemática a 40 °C, cSt	Fame % Vol.	Punto de Inflamáción, °C
	Método ASTM D1298	Método ASTM D1298	Método ASTM D1298	Método ASTM D445	Método ASTM D7371	Método ASTM D93
Corrida 1	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.705 mm2/s	90.97	118
Corrida 2	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.709 mm2/s	90.95	118
Corrida 3	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.711 mm2/s	90.85	118
Corrida 4	29.3	54.88 lb/pie3	0.8800 kg/lt	4.708 mm2/s	90.45	119
Corrida 5	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.706 mm2/s	90.12	118
Corrida 6	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.710 mm2/s	90.21	118
Corrida 7	29.3	54.88 lb/pie3	0.8800 kg/lt	4.715 mm2/s	90.35	119
Corrida 8	30.0	54.65 lb/pie3	0.8762 kg/lt	4.704 mm2/s	90.48	118
Corrida 9	29.3	54.88 lb/pie3	0.8800 kg/lt	4.707 mm2/s	90.39	119

OBSERVACIONES

1. Los resultados emitidos en el Informe de Ensayo sólo son validos para la muestra analizada.
2. La muestra ha sido tomada por la Tesista
3. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización de PETROPERÚ.

ELABORADO POR: **APROBADO POR:**

Copia: Original firmado por:
BILLY DÁVILA SALAS
Ficha N° 56255

50 años

Sub Gerencia Refinación Selva
Av. La Marina 465 - Iquitos
Central telefónica: (511) 614-5000
Portal empresarial: www.petroperu.com.pe

Fuente: Laboratorio PETROPERU-Refinería Iquitos.