

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL JABÓN
LÍQUIDO PRODUCIDOS A PARTIR DE ACEITE
VEGETAL USADO Y ACEITE DE OLIVA,
MOQUEGUA, 2024**

TESIS

PRESENTADA POR:

ROSALIA CALIZAYA CHIPANA

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN EN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**Escuela de Posgrado**

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

**GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL JABÓN LÍQUIDO
PRODUCIDOS A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO
Y ACEITE DE OLIVA, MOQUEGUA, 2024**


Tesis sustentada y aprobada el 23 de mayo del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :



Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO :



Dr. Mario Ruiz Choque

MIEMBRO :



Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

ASESOR :



Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila, en mi condición de asesor acreditado mediante Resolución de la Escuela de Posgrado N° 14211-2024-ESPG/UNJBG, del 12 de julio del 2024, del trabajo de tesis titulado: "GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL JABÓN LÍQUIDO PRODUCIDOS A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO Y ACEITE DE OLIVA, MOQUEGUA 2024", presentado por la Ing. Rosalia Calizaya Chipana, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magister Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Hago constar que dicho trabajo ha cumplido con lo establecido en el reglamento sobre originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual. De acuerdo con la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, se verificó que el porcentaje de similitud es de 9 %, encontrándose dentro del rango permitido.

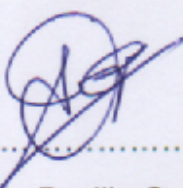
Por lo tanto, CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud de la interesada, para los fines que correspondan en el proceso de obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magister Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 30 de abril del 2025

FIRMA DEL ASESOR

Nombres y apellidos


.....
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila
DNI N° 00419682



FIRMA DEL TESISISTA

Nombres y apellidos


.....
Ing. Rosalia Calizaya Chipana
DNI N° 44449546



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis especialmente a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en la construcción de mi carrera profesional. Ellos me inculcaron valores de responsabilidad y el deseo constante de superación, siendo un espejo en el que me reflejo diariamente debido a sus virtudes infinitas y su corazón generoso, que admiro cada día más. Agradezco a Dios, por haberme dado los mejores padres.

También quiero expresar mi gratitud a mis hermanas Mariela y Carmen Luisa, quienes me han brindado el amor y la calidez de una familia que amo profundamente.

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar expresando mi gratitud a Dios, quien ha estado a mi lado en cada paso que he dado, brindándome cuidado y la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Agradezco profundamente a mis padres, quienes, a lo largo de mi vida, han sido mi principal apoyo y motivación en mi formación académica. Siempre creyeron en mí y nunca dudaron de mis capacidades.

Quiero extender mi más sincero agradecimiento al Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila, mi asesor de tesis, quien representa un ejemplo de conocimiento y dedicación. Su valiosa colaboración y tiempo fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

De igual manera, quiero agradecer a la Mg. Dhapne Castro Arata, directora del Cite Agroindustrial Moquegua, por su excelente disposición y apoyo incondicional en la ejecución de mi tesis en el laboratorio de dicha institución.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a los ingenieros María Elena Peñaloza Ortiz, Geraldine Morán Flores y Piter Larico Mamani, Srta. Rosalia Bertha Vilca Pari, Sr. Jorge Moreno Quispe, quienes me brindaron su apoyo a lo largo de la ejecución de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. Problema principal	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación e importancia de la investigación	5
1.3.1. Justificación de la investigación	5
1.3.2. Importancia del estudio	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis general.....	7
1.5.2. Hipótesis específicas	7
1.6. Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes del estudio	9
2.2. Base legal	12
2.3. Base teórica	14
2.3.1. Definiciones y términos	15
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	23
3.1. Tipo y diseño de la investigación	23

3.1.2.	Tipo de estudio	23
3.1.3.	Diseño de la investigación.....	23
3.2.	Nivel de la investigación.....	24
3.3.	Lugar de estudio y ejecución.....	24
3.4.	Equipos y materiales	24
3.4.1.	Equipos.....	24
3.4.2.	Reactivos e insumos.....	25
3.4.3.	Materiales	25
3.5.	Población de estudio	26
3.6.	Muestra de estudio	26
3.7.	Muestreo.....	26
3.8.	Variables e indicadores	27
3.8.1.	Variable independiente.....	27
3.8.2.	Variable dependiente.....	28
3.9.	Metodología experimental.....	29
3.9.1.	Obtención del aceite purificado	29
3.9.2.	Generación del jabón líquido.....	30
3.9.3.	Análisis fisicoquímicos en el aceite.....	34
3.9.4.	Análisis fisicoquímicos en el jabón líquido	36
3.10.	Análisis de resultados.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		40
4.1.	Determinación de las propiedades fisicoquímicas en el aceite vegetal usado y aceite purificado.....	40
4.2.	Efecto de las diferentes proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en el jabón líquido.....	47
4.3.	Correlación entre el valor del índice de peróxido en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido.....	66
4.4.	Evaluación de la calidad del jabón líquido producido a partir de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen	67
CAPÍTULO V: DISCUSIONES		70

CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición química de ácidos grasos en el aceite de oliva extra virgen	16
Tabla 2	Composición química de ácidos grasos en el aceite vegetal usado.....	17
Tabla 3	Características físicoquímicas en el aceite vegetal usado.....	19
Tabla 4	Requisitos de la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978 (revisada el 2017). Jabones y detergentes. Jabón de tocador. Requisitos.....	21
Tabla 5	Factores de estudio que intervienen en la evaluación de la calidad del jabón líquido	23
Tabla 6	Metodología para la purificación de aceite vegetal usado	30
Tabla 7	Componentes para la generación de pasta de jabón por cada tratamiento	31
Tabla 8	Componentes para la dilución de la pasta de jabón por cada tratamiento	31
Tabla 9	Resultados de la caracterización físicoquímica respecto al índice de acidez	40
Tabla 10	Resultados de la prueba de Mann-Whitney para el índice de acidez	42
Tabla 11	Resultados de la caracterización físicoquímica respecto al índice de peróxido.....	43
Tabla 12	Resultados de la prueba de t Student pareada para el índice de peróxido	44
Tabla 13	Resultados de la caracterización físicoquímica respecto a la humedad y materia volátil.....	45
Tabla 14	Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la humedad y materia volátil	47
Tabla 15	Resultados de las propiedades físicoquímica del jabón líquido para los diferentes tratamientos.....	48
Tabla 16	Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la materia insoluble en alcohol.....	50
Tabla 17	Distribución de la materia insoluble en alcohol en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell.....	51

Tabla 18	Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la alcalinidad	54
Tabla 19	Distribución de la alcalinidad en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell.....	55
Tabla 20	Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la humedad y materia volátil	57
Tabla 21	Distribución de la humedad y materia volátil en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la prueba de Games-Howell.....	58
Tabla 22	Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para pH.....	60
Tabla 23	Distribución de pH en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell	61
Tabla 24	Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para el nivel de espuma	64
Tabla 25	Distribución del nivel de espuma en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la prueba de Games-Howell	64
Tabla 26	Resultados del índice de peróxido presente en la mezcla de aceites y la alcalinidad en el jabón líquido resultante.....	66
Tabla 27	Evaluación de la materia insoluble en alcohol en diferentes tratamientos de jabón líquido en comparación con el rango aceptable de la NTP N° 319.073:1978. Requisitos.....	67
Tabla 28	Evaluación de la alcalinidad en diferentes tratamientos de jabón líquido en comparación con el rango aceptable de la NTP N° 319.073:1978. Jabones y detergentes. Requisitos	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de flujo para la elaboración de jabón líquido.....	33
Figura 2	Gráfico de normalidad para el índice de acidez del aceite vegetal usado y el aceite purificado.....	41
Figura 3	Gráfico de normalidad para el índice de peróxido del aceite vegetal usado y el aceite purificado.....	43
Figura 4	Gráfico de normalidad para la humedad y materia volátil del aceite vegetal usado y el aceite purificado.....	46
Figura 5	Gráfico de normalidad para materia insoluble en alcohol en los diferentes tratamientos.....	49
Figura 6	Gráfico de cajas para la materia insoluble en alcohol en los diferentes tratamientos.....	52
Figura 7	Gráfico de normalidad para la alcalinidad en los diferentes tratamientos.....	53
Figura 8	Gráfico de cajas para la alcalinidad en los diferentes tratamientos.....	56
Figura 9	Gráfico de Normalidad para la humedad y materia volátil en los diferentes tratamientos.....	57
Figura 10	Gráfico de cajas para la humedad y materia volátil en los diferentes tratamientos.....	59
Figura 11	Gráfico de normalidad para el pH en los diferentes tratamientos.....	60
Figura 12	Gráfico de cajas para el pH en los diferentes tratamientos.....	62
Figura 13	Gráfico de Normalidad para el nivel de espuma en los diferentes tratamientos.....	63
Figura 14	Gráfico de cajas para el nivel de espuma en los diferentes tratamientos.....	65
Figura 15	Recolección de muestras de aceite vegetal usado.....	80
Figura 16	Muestra de aceite de oliva extra virgen.....	80
Figura 17	Purificación del aceite vegetal usado.....	81
Figura 18	Decantación del aceite purificado.....	81
Figura 19	Saponificación de la mezcla de aceites.....	82
Figura 20	Pesaje de aceite.....	82

Figura 21	Enfriamiento de muestras de aceite.....	83
Figura 22	Evaporación de humedad en muestras de aceite	83
Figura 23	Medición de pH en los diferentes tratamientos de pasta jabón.....	84
Figura 24	Preparación de muestras para el ensayo de alcalinidad en jabón.....	84
Figura 25	Análisis de materia insoluble en alcohol en jabones	85
Figura 26	Matraces Erlenmeyer con aceite para la determinación del índice de peróxido	85
Figura 27	Titulación del aceite con hidróxido de sodio	86
Figura 28	Determinación del nivel de espuma en el jabón líquido.....	86

RESUMEN

La investigación se centró en la producción de jabón líquido a partir de aceite vegetal usado purificado, mediante una solución de cloruro de sodio al 5,0 % (m/v) y peróxido de hidrógeno al 5,0 % (v/v), posteriormente mezclado con aceite de oliva extra virgen, para mejorar la calidad del producto final. Se planteó que esta combinación de aceites generaría un jabón de alta calidad, bajo las hipótesis de que el proceso de purificación mejoraría las propiedades fisicoquímicas del aceite usado, que las proporciones de ambos aceites afectarían las características del jabón líquido y que habría una relación entre el índice de peróxido del aceite purificado y la alcalinidad del jabón líquido. Se empleó un diseño completamente aleatorio (DCA) con estructura A x B, utilizando tres réplicas por tratamiento y tres repeticiones, aplicando distintas proporciones de aceite purificado y aceite oliva extra virgen que variaban desde a_0b_0 (98,0 g; 2,0 g), a_0b_1 (98,0 g; 5,7 g), a_0b_2 (98,0 g; 9,5 g), a_1b_0 (94,3 g; 2,0 g), a_1b_1 (94,3 g; 5,7 g), a_1b_2 (94,3 g; 9,5 g), a_2b_0 (90,5 g; 2,0 g), a_2b_1 (90,5 g; 5,7 g) hasta a_2b_2 (90,5 g; 9,5g). Entre los tratamientos, a_0b_2 destacó por sus propiedades superiores, presentando un nivel de espuma de 10,0 cm y un pH cercano a 7,0. La variación en las proporciones de aceites influyó significativamente en las propiedades del jabón líquido, observándose diferencias en materia insoluble en alcohol, alcalinidad, humedad y materia volátil, pH y nivel de espuma. Sin embargo, no se encontró correlación significativa entre el índice de peróxido y la alcalinidad del jabón, lo que sugiere que otros factores químicos podrían estar influyendo en esta última. Los jabones producidos fueron comparados con la Norma Técnica Peruana NTP 319.073:1978, que especifica los requisitos para jabones y detergentes, y los resultados indicaron que, los jabones cumplían con los criterios de alcalinidad, pero no alcanzaban los estándares en materia insoluble en alcohol, humedad y materia volátil. En conclusión, la investigación muestra el potencial del aceite vegetal usado para la producción de jabones más ecológicos; pero, enfatiza la necesidad de optimizar las técnicas de purificación y ajustar las formulaciones para cumplir con los requisitos técnicos que piden la normativa para su comercialización.

ABSTRACT

The research focused on the production of liquid soap from purified used vegetable oil, using a 5,0 % (m/v) sodium chloride and 5,0 % (v/v) hydrogen peroxide solution, and subsequently mixed with extra virgin olive oil, to improve the quality of the final product. It was suggested that this combination of oils would generate a high quality soap, under the hypothesis that the purification process would improve the physicochemical properties of the used oil, that the proportions of both oils would affect the characteristics of the liquid soap, and that there would be a relationship between the peroxide index of the purified oil and the alkalinity of the liquid soap. To evaluate these hypotheses, a completely randomized design (CRD) with an A × B structure was used, using three replicates per treatment and three repetitions, applying different proportions of purified oil and extra virgin olive oil ranging from a0b0 (98,0 g; 2,0 g), a0b1 (98,0 g; 5,7 g), a0b2 (98,0 g; 9,5 g), a1b0 (94,3 g; 2,0 g), a1b1 (94,3 g; 5,7 g), a1b2 (94,3 g; 9,5 g), a2b0 (90,5 g; 2,0 g), a2b1 (90,5 g; 5,7 g) to a2b2 (90,5 g; 9,5 g). Among the treatments, a0b2 stood out for its superior properties, presenting a foam level of 10,0 cm and a pH close to 7,0. The variation in the proportions of oils significantly influenced the properties of the liquid soap, with differences observed in alcohol-insoluble matter, alkalinity, moisture and volatile matter, pH and foam level. However, no significant correlation was found between the peroxide index and the alkalinity of the soap, suggesting that other chemical factors could be influencing the latter. The soaps produced were compared with the Peruvian Technical Standard NTP 319.073:1978, which specifies the requirements for soaps and detergents, and the results indicated that the soaps met the criteria for alkalinity, but did not meet the standards for alcohol-insoluble matter, moisture and volatile matter. In conclusion, the research shows the potential of used vegetable oil for the production of more ecological soaps, but emphasizes the need to optimize purification techniques and adjust the formulations to meet the technical requirements requested by the regulations for their commercialization.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el impacto ambiental de los residuos domésticos ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles que contribuyan a la reducción de la contaminación. Uno de los desechos más comunes en los hogares y establecimientos gastronómicos es el aceite vegetal usado, que, si no se gestiona adecuadamente, puede causar serios problemas ambientales, como la contaminación del agua y del suelo. En este contexto, la reutilización de aceites vegetales usados para la producción de productos de limpieza, como el jabón líquido, representa una opción viable para promover la sostenibilidad y reducir la generación de residuos.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la calidad del jabón líquido generado a partir de una mezcla de aceite vegetal usado, sometido a un proceso de purificación, y aceite de oliva extra virgen. Los objetivos específicos incluyeron (1) determinar cómo el proceso de purificación afecta las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal usado y el aceite purificado; (2) determinar la generación, efecto de diferentes proporciones a partir de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en la generación y calidad del jabón líquido; y (3) examinar si existe una correlación significativa entre el valor de índice de peróxido en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido.

El estudio se llevó a cabo en la región de Moquegua, específicamente en la provincia y distrito de Ilo. Esta área fue seleccionada por su relevancia geográfica, que facilita la obtención de muestras significativas y representativas de aceite vegetal usado y aceite de oliva extra virgen, además de ser una zona donde se identificó un alto consumo de estos aceites en actividades gastronómicas, lo que refuerza la importancia de desarrollar alternativas sostenibles para la gestión de estos residuos.

Para evaluar la calidad del jabón líquido, se realizaron pruebas fisicoquímicas exhaustivas en el Laboratorio de Fisicoquímica del Cite Agroindustrial Moquegua, sito en carretera Costanera Sur km. 7, provincia de Ilo, departamento de Moquegua. Se realizó la medición de parámetros como el índice de acidez, índice de peróxido, contenido de materia insoluble en alcohol, humedad y materia volátil, pH y nivel de espuma. También

se emplearon métodos estadísticos, como la prueba de t de Welch, prueba de t de Student, prueba de Tukey, prueba de Kruskal-Wallis, entre otros para la evaluación de los datos de los tratamientos formulados.

Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa sobre el comportamiento de los aceites purificados y su interacción con otros ingredientes, revelando que las características del jabón pueden optimizarse ajustando las proporciones de aceites y mejorando los procesos de purificación.

Esta investigación contribuye al desarrollo de alternativas ecológicas para el manejo de residuos domésticos, fomentando una economía circular y el uso responsable de recursos. La reutilización del aceite vegetal usado reduce la necesidad de utilizar materias primas vírgenes, disminuye la carga de residuos, y ofrece un enfoque innovador para abordar problemas ambientales, promoviendo un cambio hacia prácticas más sostenibles en la industria de productos de limpieza.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La creciente demanda de aceite vegetal en la industria alimentaria, así como en restaurantes y hogares ha sido destacada por varios autores (Bravo et al., 2023; Cruz y Davis, 2021; Córdova y Escudero, 2022). Sin embargo, su uso indiscriminado está generando problemas ambientales significativos (Campomanes, 2023). Tanto en restaurantes como en hogares, suele haber desconocimiento sobre el tratamiento adecuado de estos residuos, optando por verterlos al alcantarillado o directamente al medio ambiente (Huamachuco, 2021). Esto resulta en la formación de una capa en la superficie de los ecosistemas acuáticos, impidiendo la entrada de luz solar y oxígeno, lo que facilita el desarrollo de microorganismos que pueden tener un impacto adverso en el medio ambiente acuático (Jarquín, Lacayo, López y González, 2020). Del mismo modo, el aceite vegetal usado contribuye a la disminución de la productividad al formar una capa impermeable que destruye la materia orgánica vegetal, afectando así la fertilidad del suelo (Alarcón y Romero, 2021).

En el Perú, los aceites de cocina usados provenientes de establecimientos gastronómicos y hogares, constituyen un importante problema medioambiental (Carreño et al., 2021). Según El Diario Gestión (2020), la Cámara de Comercio de Lima (CCL) señala que en Perú hay alrededor de 220 000 establecimientos especializados en la venta de alimentos y bebidas. Además, de estos locales, solo 65 891 son considerados restaurantes clasificados con categorías que van desde uno hasta cinco tenedores. Cada uno de estos establecimientos produce entre 10 y 15 galones de aceite de cocina usado al mes, lo que implica que en total podrían generar entre 25 000 y 50 000 galones de este residuo diariamente. Aunque una pequeña proporción de estos aceites usados es recolectada por empresas dedicadas al reciclaje, los utilizan como materia prima para la obtención de biocombustibles y jabones (Harte, 2017). En los restaurantes del Cercado de Lima, el destino de este aceite es variado: aproximadamente, el 47,55 % se desecha directamente en la basura común, el 20,98 % se vierte por el lavaplatos, el 11,89 % se

desecha por el alcantarillado o desagüe, el 6,64 % se reutiliza hasta que se consume por completo, el 4,90 % se entrega a personal encargado de recoger los residuos sólidos y el 2,10 % se entrega al personal de cocina (Amorós, 2017).

Por otro lado, en el Perú, se cultivan aproximadamente 43 000 hectáreas de olivos, distribuidas principalmente en Tacna con 35 000 hectáreas (equivalente al 81,4 % del total), seguido por Arequipa con 4 180 hectáreas, Ica con 1 690 hectáreas, La Libertad con 188 hectáreas, Moquegua con 164 hectáreas y Lima con 45 hectáreas. En el año 2020, la producción nacional de aceituna alcanzó las 175 330 toneladas. De esta producción, el 80 % se destina al procesamiento de aceitunas de mesa y el 20 % a la elaboración de aceite de oliva extra virgen (Agraria.pe, 2022). Asimismo, estudios como el mencionado por Orellana (2019) resaltan las propiedades nutritivas, antioxidantes, calmantes y protectoras del sol, del aceite de oliva extra virgen extra virgen y virgen en la elaboración de jabones.

En la actualidad, se está observando un incremento en la demanda de productos naturales y ecológicos. Según Zurita y Nauca (2022), el 86 % de los encuestados mostró interés en comprar jabones ecológicos, mientras que un 7 % lo haría solo si demuestra eficacia similar a las marcas establecidas en el mercado. Otra razón que impulsa esta tendencia es la preocupación por los componentes químicos utilizados por la industria en la fabricación de artículos de higiene personal, los cuales pueden ocasionar daños a la salud a corto y largo plazo, según señalan Mariño y Durand (2021).

Ante este escenario, surge la necesidad de explorar alternativas sostenibles para la producción de jabón líquido. La reutilización de aceites usados de cocina y el empleo de aceite de oliva extra virgen emergen como una opción prometedora en términos de economía circular y gestión ambiental.

Por lo tanto, se propone llevar a cabo una investigación para la evaluar la calidad de jabón líquido elaborado a partir de aceite vegetal usado y aceite de oliva extra virgen como principales materias primas.

1.2. Formulación del problema

La presente investigación considera pertinente formular el siguiente problema:

1.2.1. *Problema principal*

¿Qué calidad tiene el jabón líquido generado a partir de aceite vegetal usado purificado y aceite de oliva extra virgen?

1.2.2. *Problemas específicos*

- A. ¿Cuáles son las diferencias de las propiedades fisicoquímicas entre el aceite vegetal usado y el aceite purificado?
- B. ¿Cuál es el efecto de diferentes proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en la generación y calidad del jabón líquido?
- C. ¿Existe una correlación significativa entre el valor del índice de peróxido en el aceite purificado y la alcalinidad en el jabón líquido?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación se justifica y tiene relevancia por las siguientes razones:

1.3.1. *Justificación de la investigación*

Esta investigación se justifica desde los siguientes puntos de vista:

- **Contribución a la economía circular:** La reutilización del aceite vegetal usado promueve la economía circular y a la vez disminuye la necesidad de utilizar materias primas vírgenes.
- **Promoción de prácticas sostenibles:** Al demostrar la calidad del jabón líquido, esta investigación puede fomentar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria de productos de cuidado personal.
- **Relevancia científico social:** Aborda la gestión de residuos y la contaminación

ambiental, promoviendo soluciones sostenibles para proteger el medio ambiente.

- **Relevancia Académica:** Contribuye al conocimiento en ingeniería química, ofreciendo oportunidades de aprendizaje y desarrollo en economía circular y gestión ambiental.
- **Relevancia legal:** Se alinea con regulaciones ambientales, respaldando el cumplimiento de normativas sobre gestión de residuos y protección ambiental.

1.3.2. Importancia del estudio

El estudio propuesto es importante porque proporcionará información valiosa sobre la calidad del jabón líquido elaborado a partir de aceites usados de cocina y aceite de oliva extra virgen. Los resultados obtenidos podrían tener implicaciones significativas para la industria de productos de cuidado personal, así como para la promoción de prácticas más sostenibles en otros sectores industriales. Además, este estudio podría inspirar futuras investigaciones y contribuir al avance del conocimiento en el campo de las ciencias ambientales.

Cabe destacar, que el aceite de oliva extra virgen es reconocido por sus altos niveles de antioxidantes y ácidos grasos monoinsaturados, ofrece ventajas que podrían mejorar la calidad del jabón líquido.

1.4. Objetivos

Los objetivos de la investigación son las siguientes:

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del jabón líquido generado a partir de aceite vegetal usado purificado y aceite de oliva extra virgen.

1.4.2. Objetivos específicos

- A. Determinar las propiedades fisicoquímicas en el aceite vegetal usado y el

aceite purificado.

- B. Determinar la generación, efecto de diferentes proporciones a partir de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en la generación y calidad del jabón líquido aplicando un diseño experimental
- C. Examinar si existe una correlación significativa entre el valor de índice de peróxido en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido.

1.5. Hipótesis

1.5.1. *Hipótesis general*

El jabón líquido elaborado con una mezcla de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen será de alta calidad.

1.5.2. *Hipótesis específicas*

Hipótesis específica 1. Se espera que las propiedades fisicoquímicas en el aceite purificado sean significativamente menores en comparación con el aceite vegetal usado.

Hipótesis específica 2. Se plantea que variar las proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en la generación del jabón líquido tendrá un impacto significativo en sus propiedades fisicoquímicas.

Hipótesis específica 3. Se plantea que existe una relación directa entre el valor del índice de peróxido presente en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido resultante.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se enfoca en la generación de jabón líquido utilizando aceites usados de cocina sometidos a un proceso de purificación, combinados con aceite de oliva extra virgen extra virgen para mejorar sus propiedades. Es importante destacar que el objetivo no es la caracterización del aceite vegetal usado en sí, sino la creación de un producto final: el jabón líquido. Por lo tanto, el muestreo por conveniencia se elige

como método de recolección de la materia prima, ya que resulta práctico y eficiente, especialmente cuando se enfrenta a limitaciones de recursos. Sin embargo, es crucial recalcar que este enfoque puede introducir sesgos en la muestra, lo que afecta la interpretación de los resultados del estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Con base a la revisión efectuada, se ha detectado los siguientes antecedentes:

2.1.1. A nivel internacional

En Riobamba, Ecuador, Campoverde (2022) llevó a cabo un estudio sobre la producción de jabón líquido utilizando aceite doméstico residual y cáscaras de huevo. El aceite doméstico residual fue sometido a un proceso de filtración para eliminar impurezas, seguido de una purificación con salmuera al 5 % (m/v) para eliminar partículas más pequeñas; finalmente, realizó un blanqueo con una solución de peróxido de hidrógeno al 5 % (v/v). En el proceso de purificación se utilizó 100 mL de aceite y 10 mL de salmuera al 5 % (m/v), mientras que para el blanqueo se usaron 100 mL de aceite purificado y 100 mL de solución de solución de peróxido de hidrógeno al 5 % (v/v). Estas etapas mejoraron las propiedades del aceite, como se evidencia en los resultados de su caracterización que mostraron una reducción del 1,19 % en el índice de saponificación, 33,33 % en el índice de yodo, 85 % en el índice de peróxido y un contenido de ácidos grasos del 0,19 %. Para determinar la pasta de jabón, se utilizó 25 mL de aceite purificado con una solución de 31,13 mL de hidróxido de potasio al 20 % (m/v), temperatura de aceite 70 a 80 °C, agitación 150 a 300 rpm y tiempo de reacción 3 a 4 h. El autor llegó a la conclusión de que la formulación óptima consiste en una mezcla de 41,1 g de pasta de jabón, 0,17 g de benzoato, 0,514 g de betaína, 4,114 g de glicerina, 0,065 g de colorante, 0,824 g de fragancia, 122,42 mL de agua y 0,25 g de micro polvo. Esta formulación fue sometida a análisis físicos teniendo como resultado; color azul, aspecto normal y libre de material extraño, olor característico, 4,54 g/ kg de materia activa valorable, 7,50 pH y límites inferiores con respecto a *aerobios mesófilos*, mientras que *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* y *pseudomona aeruginosa* permanecen ausentes, cumpliendo con la Norma NTE INEN 850.

En Ecuador, Restrepo et. al. (2024) llevaron a cabo un estudio sobre la calidad del aceite usado en establecimientos de comida rápida. Los resultados mostraron que el aceite

no cumplía con los estándares de calidad para consumo humano según las normativas del Instituto Ecuatoriano de Normalización y Certificación (INEN), con una densidad 0,9415 g/mL, índice de acidez de 0,87 mg NaOH/g muestra, índice de saponificación de 201 mg KOH/g muestra. Después de un proceso de purificación, el cual consistió en sedimentación, filtrado, desodorizado a base de carbón activo, clarificado con bentonita sódica y filtrado. El aceite purificado alcanzó niveles aceptables en los parámetros organolépticos para el color fue amarillo claro y brillante, un olor neutro, y otros indicadores como un índice de acidez (% oleico) de 0,15 %, densidad de 0,9851 g/mL, índice de saponificación obtuvo 194,81 mg KOH/g, índice de peróxido fue de 23,07 meq/Kg; índice de Yodo de 123,2 % y el porcentaje de humedad 0,04 %. Sin embargo, el índice de peróxido fue significativamente alto. Por otra parte, los investigadores durante la elaboración de las pastas de jabón base, trabajaron diferentes porcentajes de exceso de hidróxido de potasio (5,7 y 10 %) y observaron una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de saponificación; a temperaturas más altas (70 a 80°C), el tiempo de saponificación era menor (60 a 45 min). También se encontró que el pH se relacionaba directamente con los excesos de hidróxidos de potasio, es decir, a mayor exceso de KOH, mayor era el pH y viceversa. Se concluyó que la pasta de jabón obtenida cumplió con los parámetros de saponificación en cuanto al exceso de hidróxido de potasio al 5 % entre 60 y 70°C de temperatura, un tiempo de saponificación de 60 minutos, después de 48 de reposo para liberar el álcali presente en la pasta de jabón.

En Calceta, Ecuador, Perero y Salazar (2017) llevaron a cabo un estudio con el propósito de determinar los porcentajes ideales de aceite e hidróxido de potasio para alcanzar la alcalinidad óptima en la producción de jabón líquido. Utilizando aceite de fritura como materia prima, se ajustaron a los estándares de la Normativa Técnica Ecuatoriana (INEN 0842). Emplearon un diseño de experimentos ANOVA (DCA) AxB, con tres repeticiones. Los factores analizados fueron los siguientes: A) Porcentaje de hidróxido de potasio (5 %, 6 % y 7 %) y B) Porcentaje de aceite de fritura (25 %, 30 % y 35 %). Se evaluaron las variables alcalinidad libre (AL), materia insoluble en alcohol (MIA), cloruros (C), grasa total (GT), nivel de espuma (NE) y pH. Los resultados indicaron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto para los factores individuales como para su interacción. Los tratamientos más efectivos, según el análisis estadístico realizado

con IBM SPSS, fueron T1 (25 % de aceite con 5 % de hidróxido de potasio), que mostró un valor de GT del 11,17 %; T3 (25 % de aceite y 7 % de hidróxido de potasio), con menor alcalinidad y un nivel de espuma de 67 cm³, y T9 (35 % de aceite con 7 % de hidróxido de potasio), que presentó el menor porcentaje de cloruros (0,19 %). Estos resultados sugieren que los factores estudiados tienen un impacto positivo en las propiedades del jabón líquido. En conclusión, determinaron que los tratamientos T1, T3 y T9 cumplen con la mayoría de los requisitos establecidos por la normativa INEN 842.

2.1.2. A nivel nacional

En Arequipa, el estudio realizado por Ninataype et al. (2020) analizó de manera efectiva la producción de jabón utilizando aceite reciclado que fue purificado mediante un proceso que incluyó sedimentación, filtración, desodorización con carbón activado y clarificación con bentonita sódica activada, ambos procesos a través de adsorción física sólido-líquido. El análisis fisicoquímico del aceite purificado reveló características organolépticas como un color anaranjado, densidad de 0,92 g/mL, humedad del 0,04 %, índice de acidez de 0,11 % de ácido oleico, índice de saponificación de 189,75 mg KOH/g, índice de yodo del 123,07 % e índice de peróxido de 34,20 meq O₂/kg. Además, se compararon seis pastas de jabón, algunas elaboradas con aceite purificado y otras con aceite residual, utilizando diferentes niveles de exceso de KOH (5 %, 7 %, 10 %). Tras evaluar los parámetros de saponificación, se determinó que un exceso de KOH del 5 %, con una temperatura mínima y máxima de 60 a 70°C y con un tiempo de saponificación de 60 minutos en la pasta de jabón base era el más adecuado para obtener una pasta de jabón base con un pH de 8. La formulación del jabón líquido se llevó a cabo mediante pruebas de detergencia en concentraciones del 10 %, 25 % y 40 %. Estas pruebas consistieron en determinar la cantidad de pasta de jabón necesaria para eliminar la suciedad, concluyendo que la formulación del 25 % era la más óptima para la elaboración del jabón líquido, este proceso consistió en preparar soluciones jabonosas en los porcentajes indicados. En el control de calidad del jabón elaborado, se observaron características organolépticas que incluían un aspecto homogéneo, un olor agradable y una buena uniformidad de color. Se obtuvo un nivel de espuma de 3 cm³, una materia insoluble en alcohol del 0,3 %, una alcalinidad del 0,06 % de KOH y una estabilidad similar a la de los jabones líquidos

comerciales a 4 y 40 °C, sin variabilidad a 25 °C. Los resultados del control de calidad y la comparación con jabones líquidos comerciales indican que el jabón líquido elaborado cumple con las normas técnicas peruanas y ecuatorianas (NTP y NTE), demostrando ser un producto de calidad mediante análisis estadísticos.

2.2 Base legal

2.2.1. Constitución política del Perú 1993

Derechos fundamentales de la persona

Artículo 2, inciso 22.- A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Política Ambiental

Artículo 67.- El estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

Conservación de la diversidad biológica y áreas naturales protegidas

Artículo 68.- El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas

Según Urrutia y Melgarejo (2019), este artículo argumenta que es responsabilidad del Estado asegurar la protección, conservación y la promoción de la regulación ambiental. Para lograr esto, se deben establecer estrategias que sean supervisadas por el Estado y cumplidas por todos los miembros de la sociedad. El objetivo principal es crear un ambiente saludable y equilibrado en beneficio de las personas y las futuras generaciones, quienes también tienen el derecho de disfrutar de un entorno en cual puedan crecer y desarrollarse plenamente.

2.2.2. Ley General del Ambiente N° 28611

La Ley General del Ambiente establece que todas las personas tienen el derecho fundamental de vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para su pleno

desarrollo. Además, tienen la responsabilidad de contribuir a una gestión ambiental efectiva y proteger el ambiente y sus componentes. Esta Ley prioriza la protección de la salud de las personas, tanto a nivel individual como colectivo. Asimismo, busca garantizar la conservación de la diversidad biológica, promover el uso sostenible de los recursos naturales y fomentar el desarrollo sostenible en el país (FAO, 2020).

2.2.3. Norma Técnica Peruana (NTP) 900.051:2022 Gestión Ambiental. Manejo de aceites usados- recolección y almacenamiento.

Esta Norma Técnica Peruana establece que la valorización de aceites usados puede contribuir a reducir el uso de combustibles fósiles, ya que el aceite nuevo se convierte en usado por pérdida de propiedades o contaminación. Se mencionan diversos tipos de aceites usados, como los de corte, lubricantes, dieléctricos no contaminados con PCB, etc.,. La norma indica que las personas o empresas responsables de generar estos residuos deben almacenarlos adecuadamente, etiquetarlos como "aceite usado", llevar un registro de las cantidades generadas, contar con un plan de contingencia y garantizar la trazabilidad de su disposición final (INACAL, 2022).

2.2.4. Ley Orgánica de Municipalidades N° 27972

Artículo 40.- Ordenanzas

Las ordenanzas de las municipalidades provinciales y distritales, en la materia de su competencia, son las normas de carácter general de mayor jerarquía en la estructura normativa municipal, por medio de las cuales se aprueba la organización interna, la regulación, administración y supervisión de los servicios públicos y las materias en las que la municipalidad tiene competencia normativa.

Esta Ley ampara la actuación de las municipalidades en su ámbito de competencia y establece que a través de sus ordenanzas se deben regular las materias relacionadas con dicha competencia. A continuación, se mencionan algunas ordenanzas relacionadas a la regulación de la gestión y el manejo de aceites vegetales usados y aceites lubricantes en el Perú.

- La Municipalidad de San Isidro en Lima ha establecido medidas a través de la

Ordenanza N° 566/MSI, para regular la gestión de aceites vegetales y lubricantes usados en el distrito. El objetivo principal es controlar todas las etapas relacionadas con estos aceites, desde su generación hasta su disposición final, así como regular las descargas en el sistema de alcantarillado. Según la ordenanza publicada en El Peruano, todas las personas y entidades que trabajen con aceites usados en el distrito deben cumplir con estas regulaciones para asegurar una correcta disposición final o valorización de estos residuos (El Peruano, 2022).

- La Municipalidad de Comas aprobó, a través de la Ordenanza Municipal N° 475/MC, un plan para el manejo sostenible de aceites industriales y vegetales usados en el distrito. Esta ordenanza establece que tanto los establecimientos gastronómicos como los hogares deben disponer de recipientes identificados y señalizados para almacenar aceites vegetales usados después de un proceso de filtrado. La recolección de estos aceites será responsabilidad de la municipalidad, sus delegados o concesionarios (El Peruano, 2016).
- La Ordenanza N° 115-2021-MDMM en Magdalena del Mar regula el manejo de aceites vegetales usados en el distrito. Establece que los restaurantes y establecimientos gastronómicos deben contar con dispositivos de almacenamiento adecuados para los aceites usados, hechos de material resistente e impermeable con tapa hermética. Además, se requiere que tanto los establecimientos como los hogares entreguen estos dispositivos de almacenamiento de aceites usados a una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS).

2.3 Base teórica

La base teórica de este estudio se basa en principios de química de jabones, economía circular y gestión ambiental. Se podría hacer referencia a investigaciones previas sobre la formulación de jabones, la reutilización de aceites usados y el impacto ambiental de la producción de jabones industriales.

2.3.1. Definiciones y términos

2.3.1.1. Jabón

Los jabones están compuestos por la sal de potasio o sodio de ácidos grasos, también conocidos como carboxilatos de potasio o sodio. Estos ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados, con cadenas de carbono que varían de 10 a 18 átomos. Proceden de la mezcla de triglicéridos presentes en aceites vegetales o grasas animales. Entre los ácidos grasos saturados más comunes se encuentran el laúrico, palmítico, mirístico y esteárico, mientras que los insaturados tienen una cadena de carbono de 18 átomos y uno, dos o tres enlaces dobles, como los ácidos oleicos, linoleicos y linolénicos (Ríos, 2019).

2.3.1.2. Jabón líquido

León (2021, como se citó en Perero y Salazar, 2017), señala que este tipo de jabón ha ganado popularidad debido a su combinación de surfactantes y agentes espumantes. La mayoría de estos productos incluye suaves fragancias y otros aditivos beneficiosos para el cuidado de la piel. Además, son compatibles con distintos tipos de agua y suelen poseer excelente propiedades de limpieza.

2.3.1.3. Aceite

Según Perero y Salazar (2017), los aceites han sido utilizados por los seres humanos desde tiempos ancestrales tanto en la alimentación como en combustibles. Estos productos, de origen vegetal o animal, están compuestos principalmente por triésteres de ácidos grasos y glicerol, conocidos como "triglicéridos". Un aceite puede estar constituido por un solo tipo de triglicérido o por una mezcla de ellos. Si esta mezcla es sólida o tiene una consistencia pastosa a temperatura ambiente (20°C), se denomina "grasa". En cambio, si es líquida a esa temperatura, se clasifica como "aceite".

2.3.1.4. Aceite de Oliva extra virgen

El aceite de oliva extra virgen se obtiene de exprimir el fruto del olivo (*Olea Europea*). Este aceite está compuesto principalmente por ácido oleico, que representa entre el 72 % y el 79 % de su contenido, junto con un 8 % de ácido linoleico. Además,

contiene antioxidantes como la vitamina E (Fasanando y Meza, 2021).

De acuerdo con Perero y Salazar (2017), quienes citan a Elías (2012), las principales características físicas y químicas del aceite de oliva extra virgen se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Composición química de ácidos grasos en el aceite de oliva extra virgen

Ácidos grasos	Composición (%)
Ácido láurico (C12:0)	0
Ácido mirístico (C14:0)	≤ 0,05
Ácido palmítico (C16:0)	7-18
Ácido palmitoleico (C16:1)	0,3-3
Ácido esteárico (C18:0)	0,5-5
Ácido oleico (C18:1)	61-83
Ácido linoleico (C18:2)	2-18
Ácido linolénico (C18:3)	≥ 1,5
Ácido arcaico (C20:0)	≤ 0,5
Ácido gadoleico (C20:1)	0
Ácido behénico (C22:0)	0
Ácido erúcico (C22:1)	0
Ácido lignocérico (C24:0)	0

Nota. La tabla muestra la composición química de los ácidos grasos en el aceite de oliva extra virgen, adaptado (Perero y Salazar, 2017)

2.3.1.5. Aceite vegetal usado (AVU)

Se refiere a cualquier aceite que se haya utilizado en la cocción o fritura de alimentos, de forma continua o intermitente, y que haya experimentado cambios en su composición físico-química y en sus características, lo que lo hace inapropiado para el consumo humano (El Peruano, 2022).

Según Aparicio (2021), el aceite vegetal usado se clasifica según su origen en residuos domiciliarios y comerciales; de acuerdo a su gestión, se considera un residuo de ámbito municipal, y en términos de peligrosidad, se clasifica como un residuo no

peligroso.

De acuerdo con Perero y Salazar (2017), quienes citan a Elías (2012), las principales características físicas y químicas del aceite vegetal usado se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Composición química de ácidos grasos en el aceite vegetal usado

Ácidos grasos	Composición (%)
Ácido mistérico (C14:0)	0,02
Ácido palmítico (C16:0)	10,35
Ácido palmitoleico (C16:1)	0,91
Ácido esteárico (C18:0)	3,35
Ácido oleico (C18:1)	56,35
Ácido linoleico (C18:2)	26,71
Ácido linolénico (C18:3)	1,17
Ácido arcaico (C20:0)	0,5

Nota. La tabla muestra la composición química de los ácidos grasos en el aceite usado, adaptado (Perero y Salazar, 2017)

a) Propiedades Físicoquímicas del AVU. Las condiciones del proceso de fritura y las características de los alimentos procesados influyen en mayor o menor medida en las reacciones químicas mencionadas previamente. Como resultado, las propiedades de los aceites se modifican de manera diversa. Características como el color, la viscosidad, la densidad, el contenido de ácidos grasos libres, el material polar total y los triglicéridos polimerizados tienden a incrementarse conforme aumenta el tiempo de uso del aceite. (Rincón, 2018).

Los parámetros fisicoquímicos siguientes nos proporcionan la orientación y el entendimiento técnico para determinar si el aceite usado es adecuado para ser reutilizado en distintos procesos de economía circular. Asimismo, estos parámetros determinan los tratamientos necesarios que el aceite debe recibir para su recuperación y permiten evaluar si puede ser empleado en la fabricación de jabón.

- **Índice de acidez**

El índice de acidez representa la cantidad inherente de acidez libre presente en las grasas, que corresponde a la suma de los ácidos grasos no esterificados, resultantes de la hidrólisis de ciertos triglicéridos (Alarcón y Romero, 2021).

En su estudio, Ramírez (2018) señala que un parámetro de calidad como el índice de acidez proporciona una medida específica, expresada en miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en 1,0 gramo de aceite o grasa.

- **Índice de peróxido**

Generalmente conocido como rancidez debido a la oxidación del aceite, este proceso ocurre de manera gradual y natural con el paso del tiempo. El índice de peróxido, en esencia, cuantifica el nivel de oxígeno presente en el producto. Factores clave que influyen en este proceso son la temperatura y la duración de la fritura del aceite (Alarcón y Romero, 2021).

Facilita la evaluación del nivel inicial de oxidación de un aceite, ya que con el paso del tiempo, su composición se modifica, dando lugar a modificaciones en sus propiedades sensoriales y otras características, según lo mencionado por Ramírez (2018).

- **Índice de humedad**

El índice de humedad indica la presencia de agua en el aceite, lo que puede desencadenar la hidrólisis de los triglicéridos, dando lugar a ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y/o glicerol. Este proceso se agiliza en el aceite cuando se somete a altas temperaturas y presiones, así como cuando hay un exceso de agua presente (Ramírez, 2018).

Además, el color y la transparencia del aceite son señales de su calidad, ya que están relacionados con el grado de purificación y refinamiento al que ha sido sometido. Un aceite seguro para el consumo humano debe tener un contenido de humedad inferior al 0,5 % y no debe exceder el 1 % de ácidos grasos libres (Alarcón y Romero, 2021).

Tabla 3*Características físicoquímicas en el aceite vegetal usado*

Parámetros	Aceite vegetal usado
Peso específico (20°C) (34°C)	0,9593
Índice de yodo (% m/m)	99,585
Índice de saponificación (mg KOH/g)	185, 6
Índice de refracción (50°C)	1,459
Humedad y materia volátil (%m/m)	0,0899
Punto de fusión (°C)	32
Impurezas insolubles (%m/m)	0,052
Índice de acidez (% m/m ácido oleico)	1,87
K232	0,075
K270	0,076
Color (% T550 nm)	99
Kreis (interfase)	Rojo claro

Nota. La tabla muestra las características físicoquímicas en el aceite usado, adaptado (Perero y Salazar, 2017).

2.3.1.6. Saponificación

La saponificación se refiere al proceso químico mediante el cual se lleva a cabo la hidrólisis de grasas y aceites con la ayuda de una base, con el fin de producir jabón. Tanto los aceites vegetales como las grasas animales, que son triglicéridos, al ser tratados con una base, generan jabón (conocido como sal del ácido graso) y glicerina (Orellana, 2019).

a) Índice de Saponificación. Esencialmente, se trata de la cantidad de miligramos o gramos de hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) necesarios para saponificar un gramo de grasa; es importante destacar que el índice de saponificación es único para cada tipo de grasa. Respecto al cálculo de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite, este se obtiene multiplicando el índice de saponificación por la cantidad de aceite en gramos. En el caso de una mezcla de varios aceites reciclados, se realiza la misma operación para cada uno y luego se suman todos los resultados (Alarcón y Romero, 2021).

2.3.1.7. Calidad del jabón líquido elaborado

Para la presente investigación, la calidad del jabón líquido se define en base a los REQUISITOS DE LA NTP 319.073:1978 (revisada el 2017). JABONES Y DETERGENTES. Jabón de tocador. Asegurando que cumpla con los estándares de las propiedades fisicoquímicas.

Algunas propiedades fisicoquímicas que se estudiarán son:

a) Alcalinidad en los jabones. Goyenola (2007) define a la alcalinidad total como la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos, representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Ya que la alcalinidad de las aguas superficiales se define por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, esta se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

El potencial irritante de los jabones se atribuye a la estructura química, pH, capacidad limpiadora, color, aroma y saponificación, siendo así que Rivera et al., (2004) menciona que el índice de saponificación influye en la cantidad en miligramos de álcali o de hidróxido de potasio, que se necesita para saponificar un gramo de determinado aceite o grasa. Aunque para la fabricación de jabones el hidróxido de potasio puede ser reemplazado por el hidróxido de sodio siendo este más común en la industria jabonera.

Tabla 4

Requisitos de la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978 (revisada el 2017). Jabones y detergentes. Jabón de tocador. Requisitos

Características	Unidad	Líquido			
		Común		Especial	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Ácidos grasos totales	%	10,0	-	20,0	-
Ácidos resínicos	%	No deberían contener			
Humedad y materia volátil a 105°C	%	-	-	-	-
Alcalinidad libre, como NaOH	%	-	0,07	-	0,07
Aditivos	%	-	3,0	-	3,0
Materia grasa no saponificada	%	-	0,1	-	0,1
Material insoluble en agua	%	No deberían contener			
Material insoluble en alcohol	%	-	0,5	-	0,5
Glicerina	%	-	-	-	-
Sacarosa y/o glucosa	%	-	-	-	-
Cloruros como NaCl	%	-	0,2	-	0,2

Nota: La tabla presenta los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana para el jabón líquido, detallando los límites máximos y mínimos permitidos para diversos parámetros fisicoquímicos. Adaptado de la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978.

2.3.1.8. Hidróxido de potasio

Según León (2021), el hidróxido de potasio se disocia por completo en agua, liberando iones de potasio y de hidróxido. Este proceso genera calor, lo que puede desencadenar una reacción intensa cuando se agrega hidróxido de potasio al agua. La sustancia presenta una presión de vapor muy baja y un elevado punto de fusión, según lo descrito por Ereros (2012).

2.3.1.9. Economía circular

Según Lehmann (2020), la economía circular se caracteriza como un modelo económico alternativo al sistema lineal predominante en la actualidad. Este modelo busca alcanzar un equilibrio ecológico con el medio ambiente a través de la producción y

distribución de bienes y servicios que sean sostenibles en aspectos sociales, ambientales y económicos.

2.3.1.10. Impacto ambiental en la producción de jabones

Riaño (2024) señala que la producción de jabones a escala industrial, aunque más eficiente y económica debido a la automatización, genera impactos ambientales significativo como emisiones contaminantes y desechos sólidos que afectan tanto el aire como el agua. En contraste, los jabones artesanales, elaborados con ingredientes naturales y métodos menos intensivos en energía, presentan una opción más sostenible y saludable, con una menor huella de carbono y menor impacto ambiental.

2.3.1.11. Gestión ambiental de aceites usados

Según Bustincio (2019), la gestión inadecuada del aceite usado vegetal en pollerías, salchipaperías y brosterías es deficiente debido al desconocimiento y la falta de opciones de manejo. El 56 % se desecha junto con los residuos sólidos, en alcantarillas o lavaderos, y el 44 % se destina a la alimentación de cerdos, y solo un porcentaje mínimo se recicla.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.2. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo experimental, caracterizado por la manipulación de variables independientes para observar su efecto en una variable dependiente. Este enfoque permitió establecer relaciones de causa y efecto, facilitando la interpretación de cómo las variaciones en las proporciones de los aceites influían en las propiedades del jabón líquido.

3.1.3. Diseño de la investigación

Para el estudio, se empleó un diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con una estructura factorial A x B, utilizando tres réplicas por tratamiento. Esto resultó en un total de 9 tratamientos que se examinaron en el estudio. Cada tratamiento se replicó tres veces, dando lugar a un total de 27 unidades experimentales.

Tabla 5

Factores de estudio que intervienen en la evaluación de la calidad del jabón líquido

Factores de estudio	Simbología	Descripción
Factor A: Peso de aceite vegetal usado (g)	a0	98,0 g de aceite vegetal usado
	a1	94,3 g de aceite vegetal usado
	a2	90,5 g de aceite vegetal usado
Factor B: Peso de aceite de oliva extra virgen (g)	b0	2,0 g de aceite de oliva extra virgen
	b1	5,7 g de aceite de oliva extra virgen
	b2	9,5 g de aceite de oliva extra virgen

Nota. La tabla presenta los factores de estudio y la simbología utilizada para representar cada nivel de estos factores en la evaluación de la calidad del jabón líquido.

Este diseño experimental permitió comparar de manera efectiva la calidad del jabón líquido bajo diferentes combinaciones de aceites, asegurando la validez de los resultados obtenidos en el estudio.

3.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación fue aplicado. Se utilizaron conocimientos teóricos y prácticos existentes en el campo de la formulación de jabones para llevar a cabo experimentos prácticos que permitieron evaluar la generación y calidad del jabón líquido con aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen.

3.3. Lugar de estudio y ejecución

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Físicoquímica del Cite Agroindustrial Moquegua, ubicado en la carretera Costanera Sur km. 7, en la provincia de Ilo, departamento de Moquegua. Situado a una latitud sur de $17^{\circ}68'55''$, longitud oeste de $71^{\circ}33'10''$ y a una altitud de 15 m.s.n.m. En este espacio, se llevaron a cabo los distintos tratamientos y la caracterización físicoquímica de los jabones y aceites.

3.4. Equipos y materiales

3.4.1. Equipos

- Potenciómetro
- Balanza analítica, sensible de 0,1 mg
- Baño termostático
- Agitador magnético
- Laptop core i5.
- Cámara digital.
- Bomba de vacío
- Agitador magnético
- Baño maría
- Estufa
- Bomba de vacío

3.4.2. *Reactivos e insumos*

- Aceite vegetal usado
- Aceite de oliva extra virgen extra virgen
- Cloruro de sodio 5 %
- Peróxido de hidrógeno 5 %
- Ácido acético
- Tiosulfato de sodio 0,1 N
- Hidróxido de sodio 0,1 N
- Fenolftaleína 1 %
- Almidón 1 %
- Yoduro de potasio sol. saturada
- Alcohol etílico, 96° G.L.
- Solución al 1 % de fenolftaleína
- Ácido clorhídrico, 0,1 N
- Hidróxido de sodio 0,1 N
- Lauril eter sulfato de sodio
- Carboximetilcelulosa sódica
- EDTA
- Glicerina

3.4.3. *Materiales*

- Vaso precipitado
- Bagueta de vidrio
- Probeta de 50mL, 100 mL y 250 mL
- Bureta con graduaciones de 0,1 mL
- Matraz Erlenmeyer
- Luna de reloj
- Espátula
- Embudo de decantación
- Kitasato
- Soporte universal

- Aro metálico
- Desecador con material desecante activo
- Capsula de porcelana de 25 mL
- Vaso precipitado de 250 mL
- Matraz de Erlenmeyer de 250 mL

3.5. Población de estudio

La población objetivo estuvo compuesta por dos tipos de aceite: aceite vegetal usado y aceite de oliva extra virgen. Para el aceite vegetal usado, se recolectaron un total de 7 galones de aceite entre 2 viviendas domiciliarias y 3 restaurantes ubicados en la ciudad de Ilo, durante los meses de setiembre, octubre y noviembre del año en curso. Se seleccionaron, de manera aleatoria, tres restaurantes y dos viviendas, garantizando así una representación adecuada de diferentes áreas geográficas y condiciones socioeconómicas. Este enfoque es consistente con investigaciones previas, como las de Huamachuco (2021) y Ninataype et al. (2020).

3.6. Muestra de estudio

La muestra utilizada fue de tipo no probabilística, ya que no siguió un criterio estadístico de generalización y el procedimiento de muestreo no se ajustó específicamente a las necesidades de la investigación. Las muestras recolectadas fueron las siguientes:

- Aceite vegetal usado: Se recolectaron 20 litros en total, con el objetivo de obtener una muestra significativa y representativa de la población de aceite vegetal usado en la región.
- Aceite de oliva extra virgen: Se obtuvieron 1,5 litros de aceite directamente de un productor local.

3.7. Muestreo

Se empleó un método de muestreo no probabilístico por conveniencia, guiado por la disponibilidad de aceites en contextos de uso diverso, como el doméstico y el comercial, seleccionando tres restaurantes y dos viviendas. Este enfoque es consistente

con investigaciones previas, como las de Huamachuco (2021) y Ninataype et al. (2020), que aplicaron criterios similares de muestreo para capturar variabilidad en muestras de aceites. De manera similar, para el aceite de oliva extra virgen se empleó un muestreo por conveniencia, obteniendo una muestra directamente de un productor local, lo que garantiza la autenticidad y representatividad del producto en el contexto regional.

3.8. Variables e indicadores

A continuación se realiza la operacionalización de las variable independiente y dependiente que intervinieron en el estudio.

3.8.1. *Variable independiente*

- Generación del jabón líquido

Operacionalización de la variable independiente

Componente	Definición	Dimensiones	Medida/ Unidad	Tipo de Escala
Aceite vegetal usado	Masa de aceite vegetal usado en la generación de jabón	Unidimensional	Gramos (g)	Escala continua
Aceite de oliva extra virgen	Masa de aceite de oliva extra virgen usados en la generación de jabón	Unidimensional	Gramos (g)	Escala continua

Nota. La tabla presenta la operacionalización de la variable independiente por sus componentes para la generación de jabón líquido.

3.8.2. Variable dependiente

- Variable dependiente 1: Calidad del aceite usado purificado

Operacionalización de la variable dependiente

Propiedades fisicoquímicas	Definición	Dimensiones	Medida/ Unidad	Tipo de Escala
Acidez libre	Porcentaje en masa de ácido oleico en el aceite	Porcentaje (%)	% m/m	Escala continua
Índice de peróxido	Concentración de peróxidos en el aceite	Concentración	Meq O ₂ /Kg aceite	Escala continua
Índice de saponificación	Cantidad de KOH necesaria para saponificar el aceite	Concentración	mg KOH/g aceite	Escala continua
Humedad y materia volátil	Porcentaje de agua y materia volátil en el aceite	Porcentaje (%)	% m/m	Escala continua

Nota. La tabla presenta la operacionalización de la variable dependiente evaluada a través de las propiedades fisicoquímicas del aceite.

En la tabla se muestra la operacionalización de la variable dependiente “calidad de aceite purificado”, para la cual se establecieron cuatro propiedades fisicoquímicas: índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación y, humedad y materia volátil. Asimismo, se definieron las dimensiones, unidades de medida y tipo de escala utilizado en esta investigación.

- Variable dependiente 2: Calidad del jabón líquido

En la siguiente tabla, presenta la operacionalización de la variable dependiente “calidad de jabón líquido”, que incluye el análisis de cuatro propiedades fisicoquímicas para su estudio: materia insoluble en alcohol, humedad y materia volátil, alcalinidad, pH y nivel de espuma.

Operacionalización de la variable calidad del jabón líquido

Propiedad fisicoquímica	Definición	Dimensiones	Medida/ Unidad	Tipo de Escala
Materia insoluble en alcohol	Porcentaje de materia insoluble en alcohol en el jabón líquido	Porcentaje (%)	% (m/m)	Escala continua
Humedad y materia volátil a 105°C	Porcentaje de humedad y materia volátil a 105°C en el jabón líquido	Porcentaje (%)	% (m/m)	Escala continua
Alcalinidad libre, como NaOH	Porcentaje de alcalinidad libre en el jabón líquido, expresada como NaOH	Porcentaje (%)	% (m/m)	Escala continua
pH	Nivel de acidez o alcalinidad del jabón líquido	unidad	Unidad de pH	Escala continua
Nivel de espuma	Volumen de espuma generado al agitar el jabón líquido	Volumen	cm ³	Escala continua

Nota. La tabla presenta la operacionalización de la variable dependiente “calidad del jabón líquido”, evaluada a través de las propiedades fisicoquímicas del jabón.

3.9. Metodología experimental

3.9.1. Obtención del aceite purificado

El proceso de purificación se basó en las investigaciones de Campoverde (2022). Primero, se realizó una filtración por decantación para eliminar sólidos grandes, seguido de una filtración al vacío para retirar partículas finas y mucílago. Luego, se aplicó una solución de salmuera al 5 % (m/v) para purificar el aceite, eliminando impurezas menores, y finalmente se blanqueó con una solución de peróxido de hidrógeno al 5 % (v/v).

Tabla 6*Metodología para la purificación de aceite vegetal usado*

Etapa	Detalle	Experimentación
Purificación de aceite	Volumen de muestra de aceite de cocina usado (ml)	100 ml
	Solución NaCl 5 %	100 ml
	Cantidad de NaCl (g)	5 g
	Cantidad de agua (ml)	100 ml
	Agitación (rpm)	60
	Tiempo (h)	1
	Temperatura de aceite	90 +- 5°C
Blanqueamiento de aceite	Temperatura de solución de NaCl	90 +- 5°C
	Volumen de muestra de aceite de purificado (ml)	100
	Solución H ₂ O ₂ (Peróxido de hidrógeno)	5 % V/V
	Peróxido de hidrógeno grado analítico (ml)	5
	Cantidad de agua (ml)	100
	Agitación (rpm)	80
	Tiempo (min)	30
	Temperatura de aceite	70 +- 5°C

Nota. En la tabla, se muestra el proceso metodológico para la purificación del aceite vegetal usado a partir de Campoverde (2022).

3.9.2. Generación del jabón líquido

Para la generación del jabón líquido, se utilizaron las cantidades en las Tablas 8 y 9, siguiendo los parámetros de saponificación descritos por Campoverde (2022). La saponificación se llevó a cabo entre 60 y 70°C durante 60 minutos.

Tabla 7*Componentes para la generación de pasta de jabón por cada tratamiento*

Tratamiento/ Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	a ₀ b ₀	a ₀ b ₁	a ₀ b ₂	a ₁ b ₀	a ₁ b ₁	a ₁ b ₂	a ₂ b ₀	a ₂ b ₁	a ₂ b ₂
Aceite usado purificado (g)	98,0	98,0	98,0	94,3	94,3	94,3	90,5	90,5	90,5
Aceite de oliva extra virgen (g)	2,0	5,7	9,5	2,0	5,7	9,5	2,0	5,7	9,5
Hidróxido de potasio (g)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Agua (g)	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Total	190,0	193,7	197,5	186,3	190,0	193,8	182,5	186,2	190,0

Nota. La tabla muestra los componentes utilizados en cada tratamiento para la generación de pasta de jabón. Cada tratamiento se diferencia por la cantidad de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen.

Tabla 8*Componentes para la dilución de la pasta de jabón por cada tratamiento*

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	a ₀ b ₀	a ₀ b ₁	a ₀ b ₂	a ₁ b ₀	a ₁ b ₁	a ₁ b ₂	a ₂ b ₀	a ₂ b ₁	a ₂ b ₂
Pasta de jabón (g)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Emulsionante, Lauril éter sulfato de sodio (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Espesante, Carboximetilcelulosa sódica (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Estabilizador de la viscosidad (EDTA) (g)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Glicerina (g)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0
Colorante	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs	Cs
Fragancia (g)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Agua destilada (ml)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nota. La tabla muestra los componentes utilizados en cada tratamiento para la dilución de la pasta de jabón por cada tratamiento.

De acuerdo a la tabla 8, se prepararon diluciones al 50 % para la generación del jabón líquido, incorporando aditivos como colorantes, fragancias, emulsionantes y estabilizantes en las proporciones establecidas.

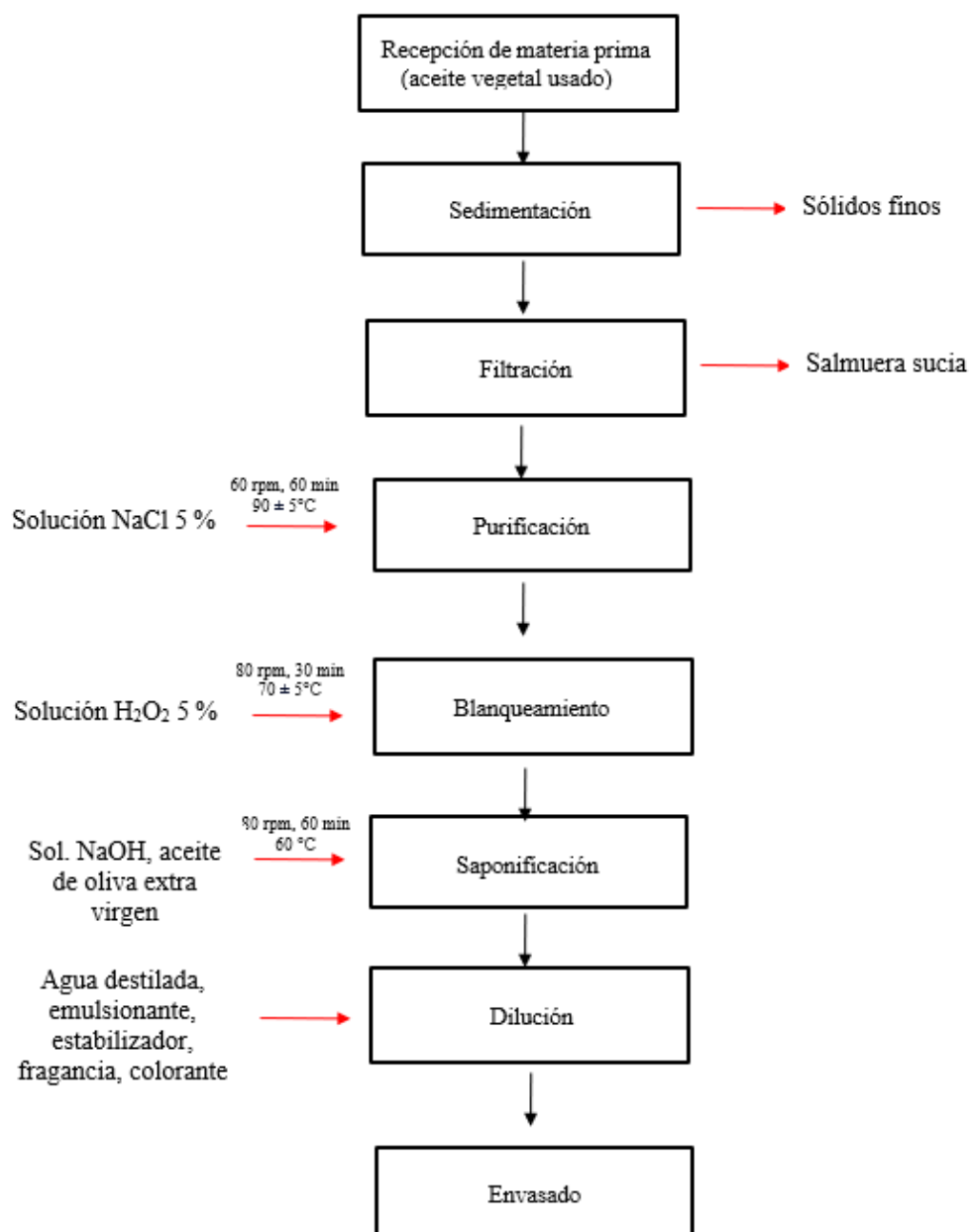
La figura 1 muestra el diagrama de flujo utilizado en la elaboración de jabón, desde la etapa de la recepción, sedimentación, filtración, purificación, blanqueamiento, saponificación y dilución. Asimismo, se incluye los parámetros de control aplicados en algunas etapas.

En la etapa de recepción, el aceite vegetal usado se recibió en envases de plástico de 1 y 4 litros, los cuales fueron mezclados y almacenados en un baldes plástico de 7 litros hasta el termino de esta etapa. Luego, se dejó sedimentar por 48 horas. Posteriormente, el aceite fue filtrado con una bomba de vacío para retirar partículas finas y mucílago. A continuación, se añadió una solución de salmuera al 5 % (m/v) para purificar el aceite y remover impurezas menores; al terminó de este etapa; la mezcla se dejó reposar por 24 horas en peras de decantación. Después, se realizó el blanqueo con una solución de peróxido de hidrógeno al 5 % (v/v).

Una vez purificado el aceite, se realizó la saponificación usando las proporciones de aceites especificadas en la investigación. Antes de la dilución de la pasta de jabón obtenida, se dejó curar durante 7 días. Posteriormente, se realizó la dilución, y en los tratamientos con pH elevado, se ajustó el pH con ácido cítrico al 3%. Finalmente, se añadieron los demás aditivos como espumantes, emulsionante, estabilizante, aroma y color para mejorar sus propiedades físicoquímicos y sensoriales.

Figura 1

Diagrama de flujo para la elaboración de jabón líquido



Nota. En esta figura se muestra la secuencia lógica para la generación del jabón líquido

3.9.3. *Análisis fisicoquímicos en el aceite*

Se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos en el aceite vegetal usado y aceite purificado:

a) Determinación del índice de acidez y de la acidez. Para el análisis, se utilizó como referencia la Norma NC ISO 660:2013 (2009) “Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y la acidez libre”.

Se pesaron 10,0 g de aceite vegetal usado, aceite vegetal usado purificado y aceite de oliva extra virgen. Cada muestra de aceite fue pesada por separado en matraces Erlenmeyer distintos. En otro matraz Erlenmeyer, se calentaron 50,0 mL de etanol al 95,0 % con 0,5 mL de indicador fenolftaleína al 0,1 %, llevándolos a ebullición. Luego de enfriar la muestra, se neutralizó cuidadosamente con solución de hidróxido de sodio 0,1 N, asegurándose de que la temperatura no superara los 70,0 °C.

Luego, se añadió el alcohol desnaturalizado a la muestra de aceite en el primer matraz Erlenmeyer y se agitó bien. La mezcla fue llevada nuevamente a ebullición y se tituló con la solución de hidróxido de sodio.

Para calcular y expresar los resultados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Acidez (\%) = \frac{V \times C \times M}{10 \times m} * 100 \quad (1)$$

Donde:

V	=	Volumen, en mililitros, sol. de hidróxido de sodio
C	=	Concentración exacta, en moles por litro, de la solución estándar de hidróxido de sodio.
M	=	Masa molar, en gramos por mol, del ácido oleico. 282g/mol
m	=	Masa, en gramos, de la porción de ensayo.

b) Determinación del índice de peróxido. Para el análisis, se tomó como referencia la Norma NTP 209.006 1968 (revisada el 2016) “Aceites y grasas comestibles. Método de determinación del índice de peróxido”.

Se pesaron 0,5 g de muestra en una balanza analítica y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con tapa de vidrio esmerilado, registrando el peso exacto. A continuación, se añadieron 30 mL de una solución de ácido acético glacial y cloroformo en proporción 3:2, agitando hasta que la muestra se disolviera por completo. Seguidamente, se agregaron 0,5 mL de solución saturada de yoduro de potasio, agitando durante 1 minuto.

Pasado este tiempo, se añadieron 30 mL de agua destilada y se tituló con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, agitando continuamente hasta que desapareció el color amarillo. Luego, se añadieron 0,5 mL de solución indicadora de almidón y se continuó la titulación con tiosulfato de sodio 0,1 N hasta la desaparición del color azul.

Para la determinación del blanco, se realizó utilizando el mismo procedimiento, pero sin la muestra analizar.

Para calcular y expresar los resultados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Índice de peróxidos (IP)} = \frac{(V-B)*M}{PM} * 100 \quad (2)$$

Donde:

- | | | |
|------|---|--|
| V | = | Volumen de solución de tiosulfato de sodio 0,01 N, en mililitros, consumidos durante la valoración del blanco. |
| B | = | Volumen de solución de tiosulfato de sodio 0,1 N consumidos durante la valoración de la muestra, en mL. |
| M | = | Molaridad de la solución de tiosulfato de sodio. |
| PM | = | Masa, en gramos, de la porción de ensayo. |
| 1000 | = | Factor matemático. |

c) Determinación de humedad y materia volátil. Para el análisis, se tomó como referencia la Norma COVENIN 705:2003 (3^{ra} Revisión) “Aceites y grasas vegetales. Determinación de humedad y materia volátil. Método de estufa de aire”.

Se pesaron 5,0 g de muestra en una cápsula de porcelana previamente secada, enfriada en el desecador y pesada. Posteriormente, se colocaron las muestras en la estufa a una temperatura de 100 °C. Se retiraron de la estufa cada 30 minutos, se enfriaron en el desecador y pesaron hasta alcanzar peso constante. Se considera que se ha alcanzado peso constante cuando las pérdidas no son mayores a 0,05 entre dos pesadas.

Para calcular y expresar los resultados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$HMV = \frac{G_1}{G} * 100 \quad (3)$$

Siendo:

HMV	=	Contenido de humedad y materia volátil, en porcentaje
G ₁	=	Pérdida de peso, en gramos.
G	=	Peso de la muestra, en gramos.

3.9.4. Análisis fisicoquímicos en el jabón líquido

Se caracterizarán las propiedades químicas del jabón líquido de acuerdo a las siguientes normas:

a) Determinación de alcalinidad libre. El análisis se realizó siguiendo la Norma NTE INEN 821:1982 “Agentes tensoactivos. Determinación de alcalinidad libre y total”.

Se pesaron 10,0 g de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL; al cual se añadieron 100 mL de alcohol etílico previamente neutralizado. La disolución se llevó a cabo mediante agitación, manteniendo la mezcla caliente hasta lograr una disolución

completa. A continuación, se añadieron cinco gotas de solución de fenolftaleína al 1,0 % y se tituló con una solución de ácido clorhídrico 0,1 N.

Para calcular y expresar el porcentaje de álcali libre en el jabón, se utilizó la siguiente ecuación:

$$AL = \frac{V * N * 4}{m} \quad (4)$$

Siendo:

AL	=	Alcalinidad libre, expresada como hidróxido de sodio, en porcentaje de masa.
V	=	Volumen de la solución de ácido clorhídrico utilizado en la titulación, en mL.
N	=	Normalidad de la solución de ácido clorhídrico.
m	=	Masa de la muestra, en gramos.

b) Determinación de materia insoluble en alcohol. El análisis se llevó a cabo de acuerdo con la Norma NTE INEN 817:2013 “Agentes surfactantes. Determinación de la materia insoluble en alcohol”.

Se pesaron 5 g de la muestra en un vaso precipitado y, a continuación, se añadieron 200 mL de etanol neutro. El vaso precipitado fue cubierto con una luna de reloj y calentado en un baño de agua hasta que la muestra de jabón se disolviera completamente. Posteriormente, se realizó una filtración en caliente utilizando un papel filtro previamente secado a 100°C y pesado.

El vaso precipitado y el filtro se lavaron tres veces con 25 mL de alcohol etílico caliente en cada ocasión. El lavado se continuó hasta que no se observó ningún residuo, comprobado evaporando una pequeña cantidad del filtrado en una luna de reloj.

El papel filtro con el residuo fue secado durante 3 horas a una temperatura de 105°C.

Para calcular y expresar el porcentaje de materia total insoluble en etanol, se calculó por la fórmula:

$$I = \frac{R \cdot 100}{m} \quad (5)$$

Siendo:

I	=	Porcentaje de materia insoluble en alcohol.
R	=	Es la masa en gramos, del residuo del filtrado.
m	=	Es la masa en gramos, de la porción de ensayo.

c) Determinación de materia insoluble en alcohol. Para el análisis, se tomó como referencia la Norma COVENIN 705:2003 (3^{ra} Revisión) “Aceites y grasas vegetales. Determinación de humedad y materia volátil. Método de estufa de aire”.

Se pesaron 5,0 g de muestra en una cápsula de porcelana previamente secada, enfriada en el desecador y pesada. Posteriormente, se colocaron las muestras en la estufa a una temperatura de 100 °C. Se retiraron de la estufa cada 30 minutos, se enfriaron en el desecador y pesaron hasta alcanzar peso constante. Se considera que se ha alcanzado peso constante cuando las pérdidas no son mayores a 0,05 entre dos pesadas.

Para calcular y expresar los resultados, se utilizó la siguiente ecuación:

$$HMV = \frac{G_1}{G} * 100 \quad (6)$$

Siendo:

HMV	=	Contenido de humedad y materia volátil, en porcentaje
G ₁	=	Pérdida de peso, en gramos.
G	=	Peso de la muestra, en gramos.

3.10. Análisis de resultados

Los datos recolectados fueron analizados utilizando pruebas estadísticas, como la prueba de normalidad de Anderson Darling para verificar la distribución de datos. Para comparar medianas entre dos grupos, se utilizó la prueba de Mann Whitney, mientras que la prueba de t de Student pareada permitió evaluar las diferencias en medias de muestras relacionadas. Adicionalmente, se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para comparaciones entre más de dos grupos cuando los datos no cumplían con la normalidad, y el análisis de varianza ANOVA, junto con la prueba de Tukey y Games Howell, facilitó la identificación de diferencias significativas entre las medias de múltiples grupos. Finalmente, se empleó la prueba de correlación de Pearson para evaluar la relación entre variables continuas. Los cálculos fueron realizados utilizando las herramientas de análisis de datos de Excel y software Minitab.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Determinación de las propiedades fisicoquímicas en el aceite vegetal usado y aceite purificado

En este apartado, se evaluó la hipótesis específica 1, la cual sugiere que las propiedades fisicoquímicas del aceite purificado serán significativamente menores en comparación con las del aceite vegetal usado.

4.1.1. Índice de acidez

La evaluación de este parámetro fisicoquímico se realizó aplicando la prueba de normalidad de Anderson Darling y la prueba de Mann-Whitney. La tabla 9 muestra los índices de acidez del aceite vegetal usado y purificado.

Tabla 9

Resultados de la caracterización fisicoquímica respecto al índice de acidez

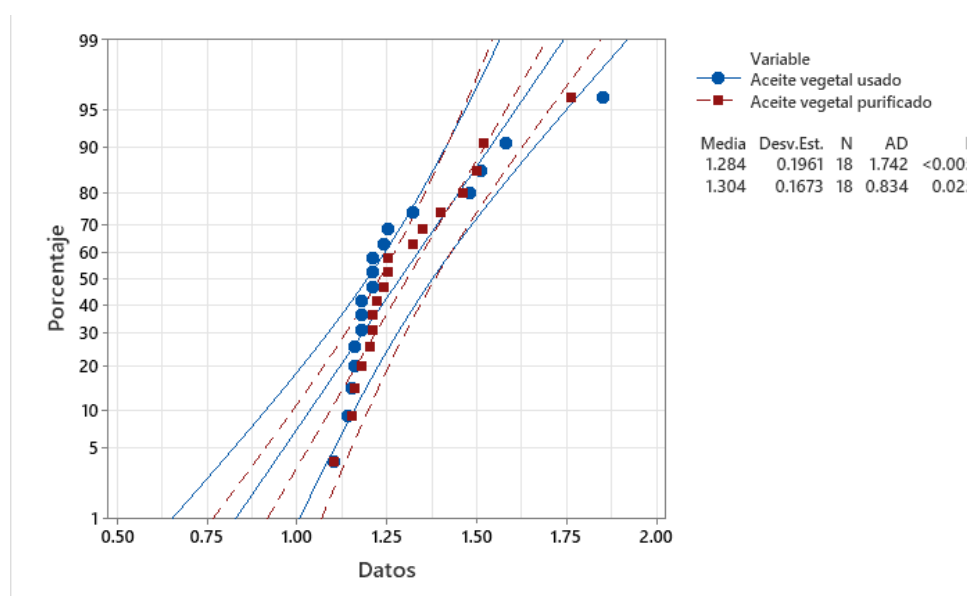
Propiedad físicoquímica	Aceite vegetal usado	Aceite purificado
Índice de acidez (%)	1,10	1,15
	1,18	1,10
	1,25	1,20
	1,15	1,24
	1,51	1,50
	1,85	1,76
	1,48	1,46
	1,16	1,21
	1,21	1,32
	1,21	1,35
	1,18	1,21
	1,21	1,22
	1,32	1,25
	1,58	1,18
	1,21	1,16
	1,18	1,25
1,14	1,52	
1,16	1,40	

Nota. La tabla presenta los resultados de la caracterización fisicoquímica respecto al índice de acidez, tanto para el aceite vegetal usado y el aceite purificado.

Los resultados fueron evaluados mediante la prueba de normalidad de Anderson Darling (figura 2) y la prueba de Mann-Whitney, cuyos valores se encuentran en la tabla 10.

Figura 2

Gráfico de normalidad para el índice de acidez del aceite vegetal usado y el aceite purificado



Nota. En la figura, los puntos representan los datos de cada tipo de aceite, y las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en ambas muestras. Procesado con el software Minitab.

El estadístico de Anderson Darling para el aceite vegetal usado fue de 1,74 con un valor de p menor a 0,005; mientras que para el aceite purificado, el estadístico fue de 0,834 y el valor de p fue de 0,025. Ambas pruebas se realizaron con un nivel de significancia de 0,05. Dado que los valores de p para ambas muestras fueron menores al nivel de significancia, se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Debido a la falta de normalidad, se realizó la prueba de Mann-Whitney (tabla 10), adecuada para comparar medianas entre dos muestras que no se distribuyen normalmente. Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alterna (H_1): Al menos una mediana es diferente.

Tabla 10

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para el índice de acidez

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	303,50	0,359
Ajustado para empates	303,50	0,358

Nota. La tabla presenta los resultados de Mann-Whitney aplicada al índice de acidez, comparando los valores obtenidos entre el aceite vegetal usado y el aceite purificado. Procesado con software Minitab.

El estadístico de Mann-Whitney obtenido fue de 303,50 con un valor p de 0,358. El valor de p es considerablemente mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$), no se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el índice de acidez entre el aceite vegetal usado y el aceite purificado. Por lo tanto, los resultados sugieren que el proceso de purificación no tuvo un impacto significativo en el índice de acidez del aceite.

4.1.2. Índice de peróxido

La tabla 11 presenta los resultados del índice de peróxido para el aceite vegetal usado y purificado. Los resultados fueron evaluados mediante la prueba de normalidad de Anderson Darling (figura 3) y la prueba de t Student para muestras pareadas, cuyos valores se encuentran en la tabla 12.

Tabla 11

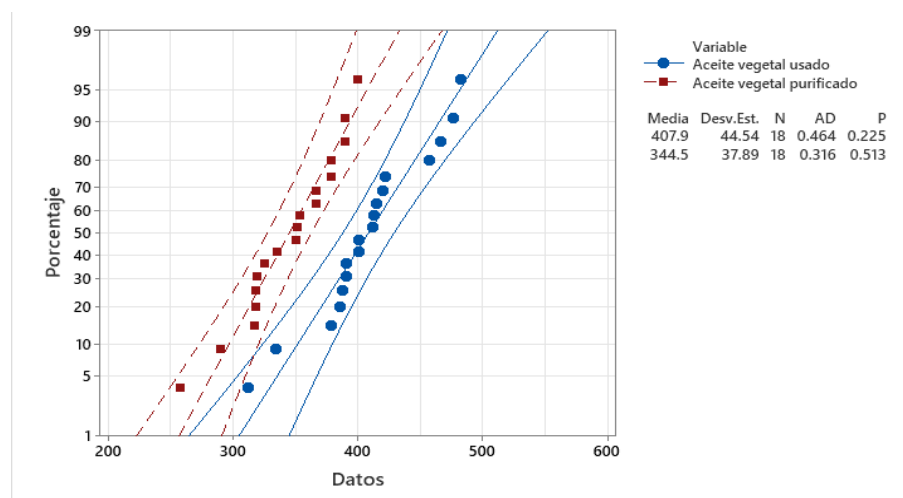
Resultados de la caracterización fisicoquímica respecto al índice de peróxido

Propiedad físicoquímica	Aceite vegetal usado	Aceite purificado
Índice de peróxido (%)	41,51	31,85
	42,01	33,55
	40,00	32,50
	38,53	31,78
	38,74	35,05
	39,08	35,07
	41,27	35,32
	40,08	31,74
	45,69	38,97
	42,14	36,60
	33,39	28,94
	31,15	25,78
	39,05	37,85
	37,85	31,64
	41,14	39,94
	46,64	37,86
	47,61	38,95
	48,25	36,64

Nota. La tabla muestra los resultados del índice de peróxido para el aceite vegetal usado y el aceite purificado, cuyos valores se encuentran expresados en porcentaje.

Figura 3

Gráfico de normalidad para el índice de peróxido del aceite vegetal usado y el aceite purificado



Nota. Los puntos representan los datos de cada tipo de aceite, y las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en ambos tipos de aceite para el índice de peróxido. Procesado con el software Minitab

La prueba de normalidad de Anderson-Darling dio un estadístico de 0,46 para el aceite vegetal usado con un valor de p menor a 0,22; mientras que para el aceite purificado el estadístico fue de 0,316 y el valor de p fue de 0,513. Ambas pruebas se realizaron con un nivel de significancia de 0,05. Dado que los valores de p para ambas muestras fueron mayores al nivel de significancia, se concluye que los datos siguen una distribución normal. Por ello, se aplicó la prueba de t de Student para muestras pareadas (tabla 12), para determinar si existe una diferencia significativa en el índice de peróxido entre ambos aceites. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alterna (H_1): Al menos una mediana es diferente.

Tabla 12

Resultados de la prueba de t Student pareada para el índice de peróxido

Muestra	N	Media	Desv.Est	Error estándar de la media	Valor de T	Valor p
Aceite vegetal usado	18,00	40,78	4,45	1,05	9,69	0,00
Aceite vegetal purificado	18,00	34,45	3,70	0,89		

Nota. La tabla presenta los resultados de la prueba de t Student pareada aplicada al índice de peróxido, comparando los valores obtenidos entre el aceite vegetal usado y el aceite purificado. Procesado con software Minitab.

El valor de t calculado fue 9,69 y el valor de p obtenido fue 0,00; es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del índice de peróxido de los dos tipos de aceite. En consecuencia, el tratamiento de purificación del aceite reduce de manera significativa el índice de peróxido, sugiriendo que el proceso de purificación afecta esta propiedad fisicoquímica.

4.1.3. *Humedad y materia volátil*

La tabla 13 presenta los resultados de humedad y materia volátil para el aceite vegetal usado y purificado. Los resultados fueron evaluados mediante la prueba de normalidad de Anderson Darling (figura. 4) y la prueba de Mann-Whitney, cuyos valores se encuentran en la tabla 14.

Tabla 13

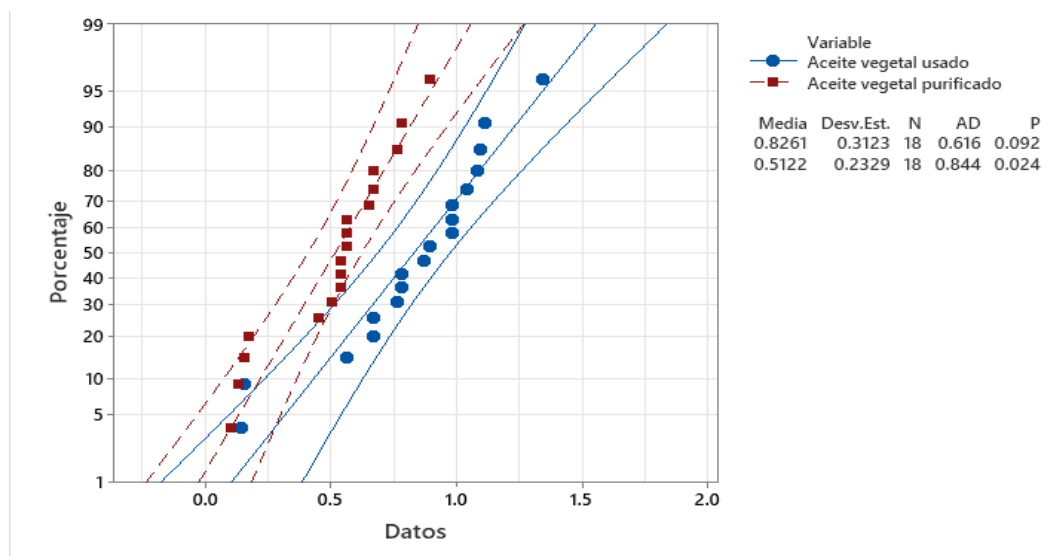
Resultados de la caracterización fisicoquímica respecto a la humedad y materia volátil

Propiedad físicoquímica	Aceite vegetal usado	Aceite purificado
Humedad y materia volátil (%)	0,14	0,10
	0,15	0,15
	1,11	0,54
	0,98	0,45
	0,67	0,13
	0,56	0,89
	1,04	0,50
	0,78	0,67
	1,08	0,56
	1,34	0,76
	0,87	0,65
	0,67	0,56
	0,76	0,54
	0,98	0,17
	1,09	0,54
	0,78	0,56
0,89	0,67	
0,98	0,78	

Nota. La tabla presenta los resultados de la caracterización fisicoquímica respecto a la humedad y materia volátil, tanto para el aceite vegetal usado y el aceite purificado.

Figura 4

Gráfico de normalidad para la humedad y materia volátil del aceite vegetal usado y el aceite purificado



Nota. Los puntos representan los datos de cada tipo de aceite, y las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en ambos tipos de aceite con respecto a la humedad y materia volátil. Procesado con el software Minitab.

La prueba de normalidad de Anderson-Darling indicó un estadístico de 0,61 para el aceite vegetal usado con un valor de p de 0,092; mientras que para el aceite purificado el estadístico fue de 0,84 y el valor de p de 0,024. Ambas pruebas se realizaron con un nivel de significancia de 0,05. Debido a que una muestra no presentó normalidad, se procedió a realizar la prueba de Mann-Whitney (Tabla 14).

Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alterna (H_1): Al menos una mediana es diferente.

Tabla 14

Resultados de la prueba de Mann-Whitney para la humedad y materia volátil

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	441,00	0,001
Ajustado para empates	441,00	0,001

Nota. La tabla presenta los resultados de Mann-Whitney aplicado a la humedad y materia volátil, comparando los valores obtenidos entre el aceite vegetal usado y el aceite purificado. Procesado con software Minitab.

El estadístico de Mann-Whitney obtenido fue de 441,00 con un valor p de 0,001; el cual es considerablemente menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existe una diferencia significativa en la humedad y materia volátil entre ambos aceites. Con base a estos resultados, se puede afirmar que el proceso de purificación afecta significativamente la humedad y materia volátil en el aceite vegetal usado.

4.2. Efecto de las diferentes proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en el jabón líquido

En la tabla 15, se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica del jabón líquido, para los tratamientos T1: a_0b_0 , T2: a_0b_1 , T3: a_0b_1 , T4: a_1b_0 , T5: a_1b_1 , T6: a_1b_2 , T7: a_2b_0 , T8: a_2b_1 y T9: a_2b_2 . El objetivo es probar la hipótesis específica, la cual plantea que variar las proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen en la generación del jabón líquido tendrá un impacto significativo en sus propiedades fisicoquímicas.

Tabla 15

Resultados de las propiedades fisicoquímica del jabón líquido para los diferentes tratamientos

Tratamientos	Materia insoluble en alcohol	Alcalinidad, como NaOH	Humedad y materia volátil a 105°C	pH	Nivel de espuma
	(%)	(Meq. NaOH/Kg jabón)	(%)	-	cm ³
T1: a ₀ b ₀	2,82	0,000	21,37	8,1	10,2
	2,80	0,004	21,40	8,2	10,1
	2,80	0,005	21,39	8,5	10,0
T2: a ₀ b ₁	7,44	0,004	21,14	8,3	15,3
	7,40	0,005	21,09	8,5	15,0
	7,40	0,004	21,10	8,1	16,0
T3: a ₀ b ₂	2,17	0,010	23,91	7,1	10,7
	2,10	0,030	23,89	7,0	11,0
	2,15	0,000	23,93	7,8	10,0
T4: a ₁ b ₀	2,67	0,018	25,47	11,0	10,0
	2,60	0,020	25,44	11,1	10,3
	2,60	0,018	25,40	11,5	10,1
T5: a ₁ b ₁	2,10	0,027	26,80	10,2	10,5
	2,10	0,030	26,81	10,1	10,7
	2,00	0,027	26,76	10,6	10,6
T6: a ₁ b ₂	2,45	0,046	25,10	13,0	11,0
	2,45	0,046	25,20	13,1	11,6
	2,40	0,050	25,18	13,5	10,0
T7: a ₂ b ₀	2,36	0,010	18,31	9,2	10,7
	2,30	0,000	18,21	9,4	1,0
	2,30	0,010	18,20	9,3	1,0
T8: a ₂ b ₁	2,53	0,010	30,34	14,0	8,0
	2,50	0,020	29,64	13,0	9,0
	2,50	0,030	30,30	14,0	8,0
T9: a ₂ b ₂	2,17	0,011	38,70	7,0	7,0
	2,10	0,020	38,34	8,0	8,0
	2,10	0,011	38,74	7,0	7,0

Nota. La tabla presenta los resultados de las propiedades fisicoquímicas del jabón líquido por cada tratamiento evaluado, incluyendo los valores de materia insoluble en alcohol, alcalinidad, humedad y materia volátil, pH y nivel de espuma.

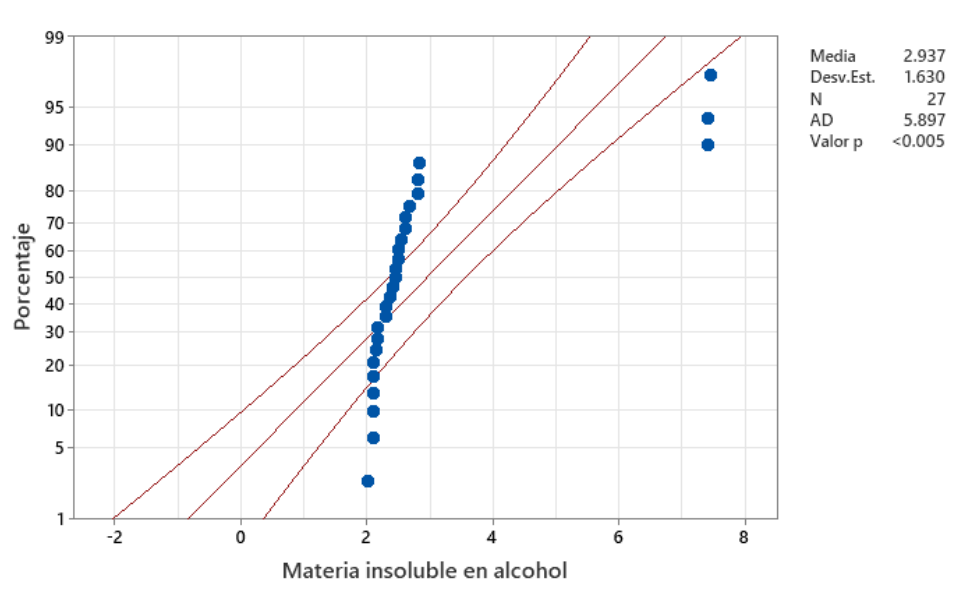
La evaluación de los parámetros fisicoquímicos se realizó de manera independiente aplicando la prueba de normalidad de Anderson Darling, la prueba de Kruskal-Wallis, análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparaciones múltiples de Tukey y la prueba de Games-Howell. Los cálculos fueron realizados utilizando las herramientas de análisis de datos de Excel y software Minitab.

4.2.1. *Materia insoluble en alcohol*

En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling (figura 5) para determinar si las muestras se ajustan a una distribución normal. El estadístico de Anderson-Darling calculado fue de 5,897; mientras que el valor de p fue menor a 0,005. Dado que el valor de p fue menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), el resultado indica que las muestras no presentan una distribución normal.

Figura 5

Gráfico de normalidad para materia insoluble en alcohol en los diferentes tratamientos



Nota. Los puntos representan los datos de cada tratamiento, mientras que las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en los diferentes tratamientos.

Debido a la falta de normalidad en los datos, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, que es adecuada para comparar grupos cuando no se asume una distribución normal, cuyos resultados se muestran en la tabla 16. Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una mediana es diferente

Tabla 16

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la materia insoluble en alcohol

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	8	25,17	0,001
Ajustado para empates	8	25,38	0,001

Nota. La tabla presenta los resultados de Kruskal-Wallis aplicada a la materia insoluble en alcohol, comparando los valores obtenidos en los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con software Minitab.

Los resultados mostraron un estadístico de Kruskal Wallis de 25,38 y un valor de p de 0,001. Dado que el valor de p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de materia insoluble en alcohol entre al menos uno de los tratamientos de jabón. Esto indica que no todos los tipos de jabón contienen la misma cantidad de materia insoluble en alcohol.

Para identificar específicamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Games-Howell, confirmando la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17

Distribución de la materia insoluble en alcohol en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell

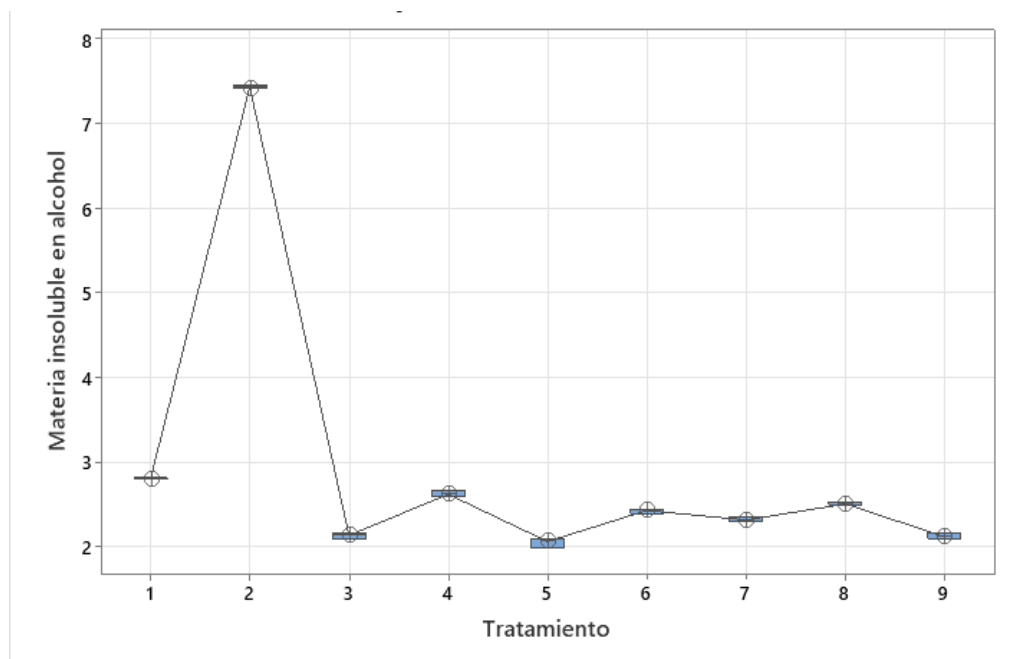
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T2 : a ₀ b ₁	3,0	7,41	A		
T1 : a ₀ b ₀	3,0	2,81	B		
T4 : a ₁ b ₀	3,0	2,62	C		
T8 : a ₂ b ₁	3,0	2,51	C	D	
T6 : a ₁ b ₂	3,0	2,43		D	E
T7 : a ₂ b ₀	3,0	2,32			E
T3 : a ₀ b ₂	3,0	2,14			F
T9 : a ₂ b ₂	3,0	2,12			F
T5 : a ₁ b ₁	3,0	2,06			F

Nota. La tabla presenta la comparación de la materia insoluble en alcohol entre los distintos tratamientos de jabón líquido. Las medias de los tratamientos están agrupadas por letras, aquellos tratamientos que no comparten la misma letra presentan diferencias estadísticamente significativas en sus niveles. Procesado con el software Minitab.

La prueba de Games-Howell muestra que existen seis niveles de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Grupo A, B, C, D, E y F). El T6 tiene la media de materia insoluble en alcohol más alta con un valor de 7,41 perteneciente al grupo A, este grupo es significativamente diferente de todos los demás tratamientos. Por el contrario, el T5 que pertenece al grupo F tiene la media más baja y presenta diferencias significativas con el grupo A, B y C; pero, no con los T3, T9 y T5. Estos no presentan diferencias significativas entre sí.

Figura 6

Gráfico de cajas para la materia insoluble en alcohol en los diferentes tratamientos



Nota. La figura representa un gráfico de cajas que muestra la distribución de la materia insoluble en cada tratamiento de jabón líquido. Facilitando la comparación visual entre tratamientos y resalta las variaciones en la materia insoluble en alcohol. Procesado con el software Minitab.

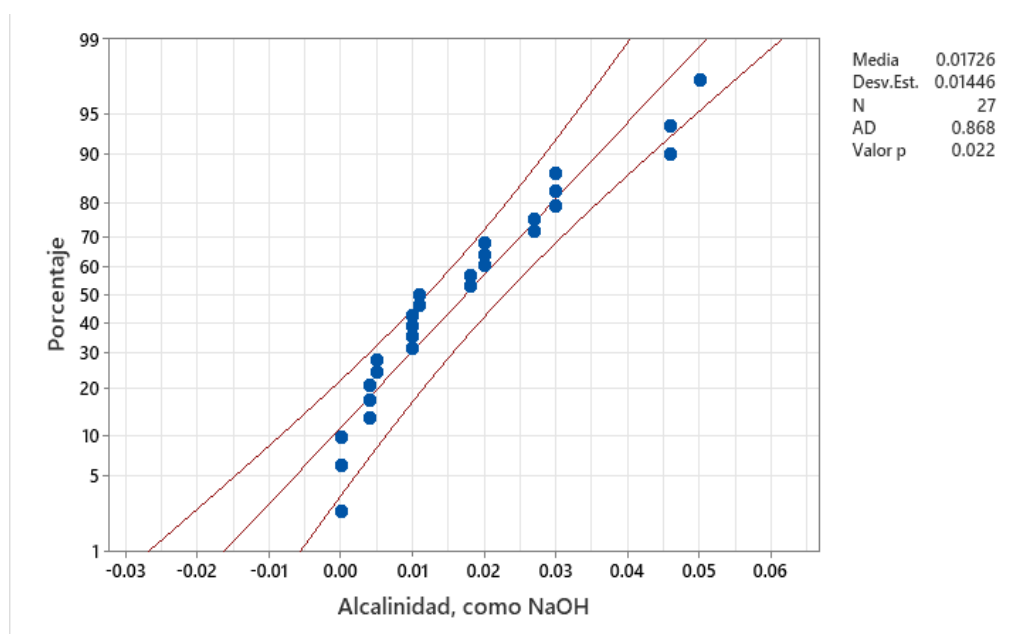
En la figura 6, se observa que el T2 tiene un valor significativamente más alto de materia insoluble en alcohol, con una baja dispersión (la caja es pequeña), lo que indica que los datos están agrupados cerca de la media. Este tratamiento es un valor atípico en comparación con los demás, ya que los otros tratamientos tienen valores mucho menores. Los T1, T3 al T9 muestran valores más bajos. La dispersión es baja en la mayoría, lo cual indica homogeneidad en los datos dentro de cada tratamiento. La gráfica muestra que, excepto por el T2, los tratamientos tienden a tener bajos niveles de materia insoluble en alcohol.

4.2.2. Alcalinidad

Se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling (figura 7) para determinar si las muestras se ajustan a una distribución normal. El estadístico de Anderson Darling calculado fue de 0,868; mientras que el valor de p de 0,022. Dado que el valor de p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), este resultado indica que las muestras no presentan una distribución normal.

Figura 7

Gráfico de normalidad para la alcalinidad en los diferentes tratamientos



Nota. Los puntos representan los datos de cada tratamiento, mientras que las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en los diferentes tratamientos para la alcalinidad. Procesado con el software Minitab.

Debido a la falta de normalidad en los datos, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, adecuada para comparar grupos cuando no se asume una distribución normal. Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 18.

Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una mediana es diferente.

Tabla 18

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la alcalinidad

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	8	19,51	0,012
Ajustado para empates	8	19,70	0,012

Nota. La tabla presenta los resultados de Kruskal-Wallis aplicada a la alcalinidad, comparando los valores obtenidos en los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con software Minitab.

Los resultados mostraron un estadístico de Kruskal Wallis de 19,70 y un valor de p de 0,012. Dado que el valor de p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de alcalinidad entre al menos uno de los tratamientos de jabón.

Para identificar específicamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Games-Howell, confirmando la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19

Distribución de la alcalinidad en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell

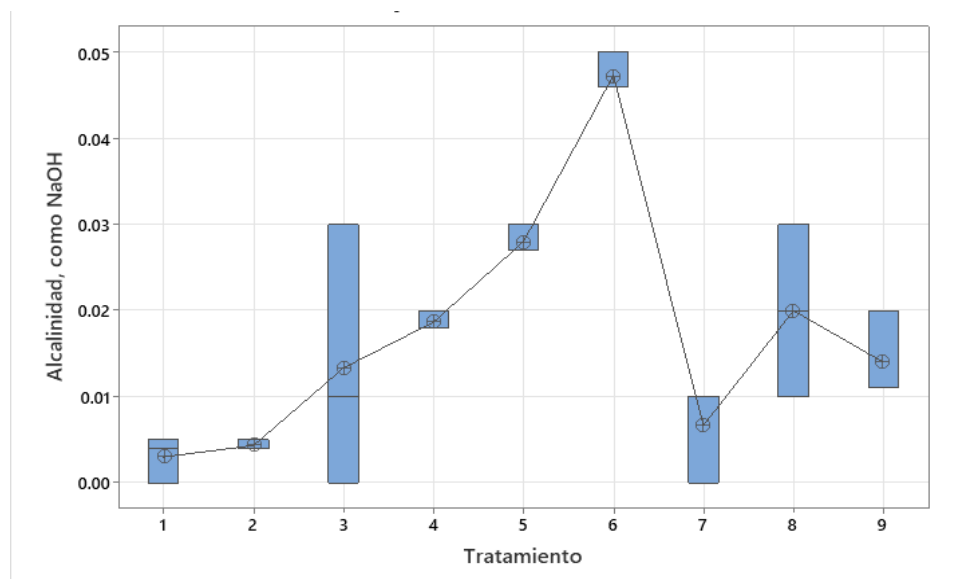
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
T6	3	0,047	A		
T5	3	0,028		B	
T8	3	0,020	A	B	C
T4	3	0,018			C
T9	3	0,014		B	C
T3	3	0,013	A	B	C
T7	3	0,006			C
T2	3	0,004			C
T1	3	0,003			C

Nota. La tabla presenta los resultados de la prueba de Games Howell para la comparación de la alcalinidad entre los distintos tratamientos de jabón líquido. Las medias de los tratamientos están agrupadas por letras, aquellos tratamientos que no comparten la misma letra presentan diferencias estadísticamente significativas en sus niveles. Procesado con el software Minitab.

La prueba de Games-Howell muestra que existen tres niveles de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Grupo A, B y C). El T6 tiene la mayor media de alcalinidad (0,047) y está en el grupo A, indicando que es significativamente diferente de varios tratamientos. El T5 presente en el grupo B es significativamente diferente del T6; mientras que los T4, T7, T2 y T1 se encuentran en el grupo C, con valores de alcalinidad menores y sin diferencias significativas entre ellos. Por su parte, el T8 tiene una media de 0,02 y aparece en los tres grupos (A, B y C), lo que indica que no tiene diferencias significativas con otros tratamientos en todos los niveles de comparación.

Figura 8

Gráfico de cajas para la alcalinidad en los diferentes tratamientos



Nota. La figura representa un gráfico de cajas que muestra la distribución de la alcalinidad en cada tratamiento de jabón líquido. Facilitando la comparación visual entre tratamientos y resalta las variaciones en la alcalinidad. Procesado con el software Minitab.

En la figura 8, se observa que los tratamientos presentan valores de alcalinidad muy variados, como el T3, T7, T8 y T9 mostraron mayor dispersión (cajas más grandes), lo cual indica mayor variabilidad interna en estos tratamientos. Los T6 y T3 presentan valores máximos más altos, mientras que otros tratamientos tienen valores mucho más bajos.

El T6 muestra un valor máximo de alcalinidad de aproximadamente 0,05; con una dispersión relativamente pequeña, lo cual indica consistencia en sus valores cercanos a ese nivel. En T1 y T2, los valores de alcalinidad son bastante bajos, situados alrededor de 0,01 o menos, con poca variabilidad.

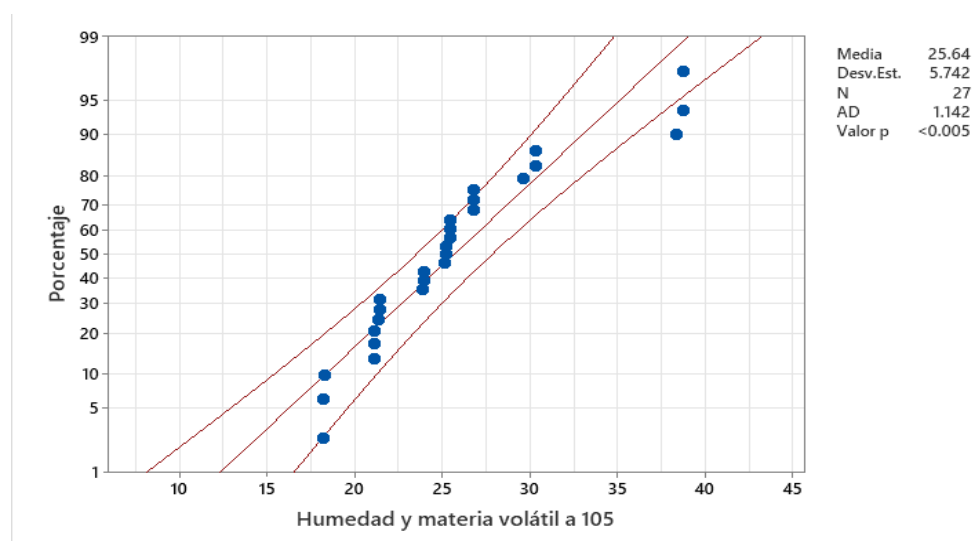
4.2.3. Humedad y materia volátil

En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling (figura 9) para determinar si las muestras se ajustan a una distribución normal. El estadístico de Anderson-Darling calculado fue de 1,142; mientras que el valor de p fue menor a 0,005. Dado que el valor de p fue menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), el resultado indica

que las muestras no presentan una distribución normal.

Figura 9

Gráfico de Normalidad para la humedad y materia volátil en los diferentes tratamientos



Nota. Los puntos representan los datos de cada tratamiento, mientras que las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en los diferentes tratamientos.

Debido a la falta de normalidad en los datos, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, cuyos resultados se encuentran en la tabla 20. Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una mediana es diferente

Tabla 20

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la humedad y materia volátil

GL	Valor H	Valor p
8	25,71	0,001

Nota. La tabla presenta los resultados de Kruskal-Wallis aplicada a la humedad y materia volátil, comparando los valores obtenidos en los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con software Minitab.

Los resultados mostraron un estadístico de Kruskal Wallis de 25,71 y un valor de p de 0,001. Dado que el valor de p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad y materia volátil entre al menos uno de los tratamientos de jabón. Se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Games-Howell, confirmando la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, tal como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21

Distribución de la humedad y materia volátil en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la prueba de Games-Howell

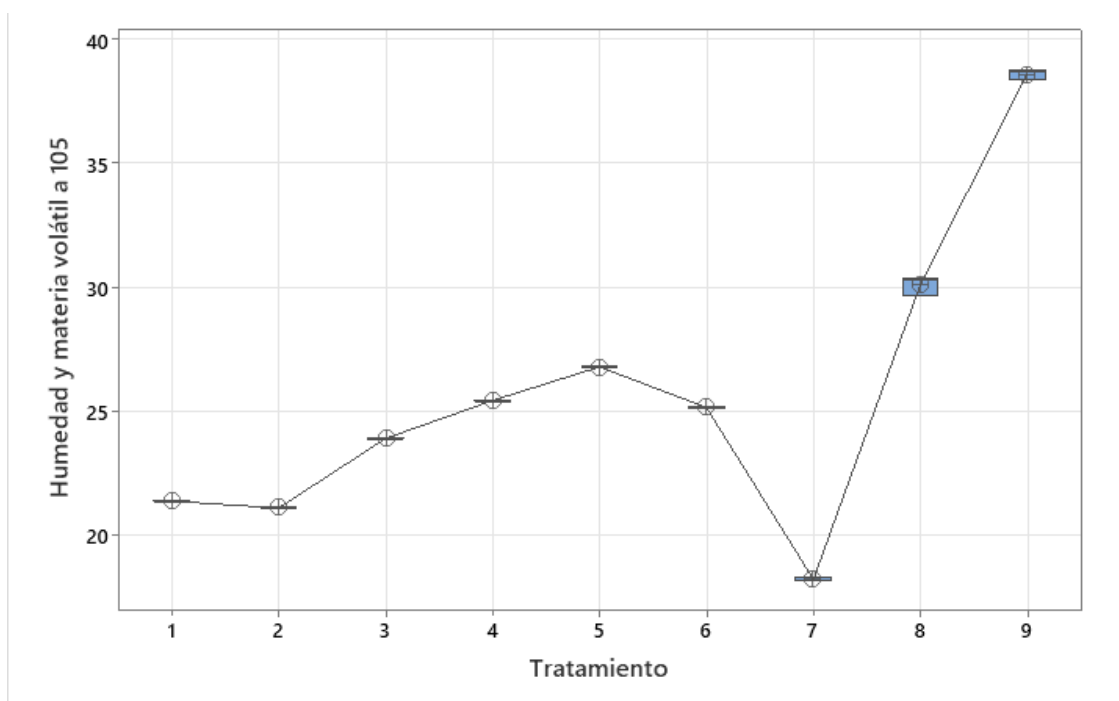
Tratamiento	N	Media	Agrupación
T9	3	38,59	A
T8	3	30,09	B
T5	3	26,79	C
T4	3	25,44	D
T6	3	25,16	E
T3	3	23,91	F
T1	3	21,38	G
T2	3	21,11	H
T7	3	18,24	I

Nota. La tabla presenta los resultados de la prueba de Games Howell para la comparación de la humedad y materia volátil entre los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con el software Minitab.

La prueba de Games-Howell muestra que todos los tratamientos tienen diferencias significativas (grupo A, B, C, D, E, F, G, H y I). El T9 tiene la mayor media de humedad y materia volátil (38,59) y está en el grupo A. Por el contrario, el T7 tiene la menor media con un valor de 18,24 y corresponde al grupo I.

Figura 10

Gráfico de cajas para la humedad y materia volátil en los diferentes tratamientos



Nota. La figura representa un gráfico de cajas que muestra la distribución de la humedad y materia volátil en cada tratamiento de jabón líquido. Procesado con el software Minitab.

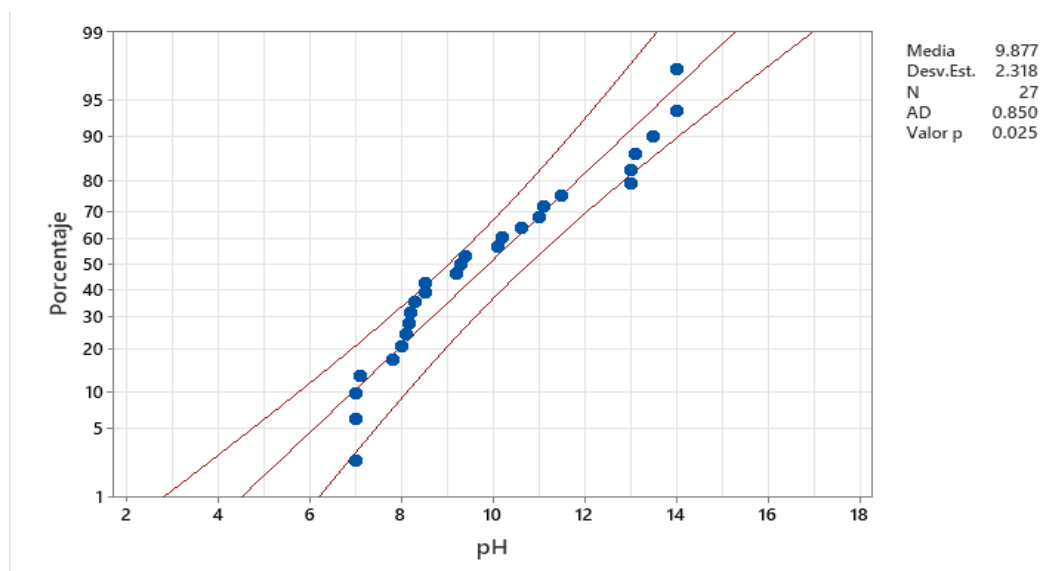
En la figura 10, se observa que todos los tratamientos tienen diferencias significativas. Los T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 presentan valores bajos y con menor dispersión. El T9 muestra un valor máximo de humedad y materia volátil de aproximadamente 38,7 con una dispersión relativamente pequeña, lo cual indica consistencia en sus valores cercanos a ese nivel. El T7 presenta el valor de humedad y materia volátil más bajo, situados alrededor de 18,24 con poca variabilidad.

4.2.4. pH

En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling (Fig. 11) para determinar si las muestras se ajustan a una distribución normal. El estadístico de Anderson Darling calculado fue de 0,85; mientras que el valor de p fue de 0,025. Dado que el valor de p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), este resultado indica que las muestras no presentan una distribución normal.

Figura 11

Gráfico de normalidad para el pH en los diferentes tratamientos



Nota. Los puntos representan los datos de cada tratamiento, mientras que las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en los tratamientos. Procesado con el software Minitab.

Debido a la falta de normalidad en los datos, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, que es adecuada para comparar grupos cuando no se asume una distribución normal, cuyos resultados se muestran en la tabla 22.

Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una mediana es diferente

Tabla 22

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para pH

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	8	24,62	0,002
Ajustado para empates	8	25,41	0,001

Nota. La tabla presenta los resultados de Kruskal-Wallis aplicada al pH, comparando los valores obtenidos en los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con software Minitab.

Los resultados mostraron un estadístico de 25,41 y el valor de p fue de 0,001. Dado que el valor de p es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se concluye que al menos una mediana es diferente, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de pH.

Para identificar específicamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Games-Howell, confirmando la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 23

Distribución de pH en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la Prueba de Games-Howell

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
8	3	13,66	A	
6	3	13,20	A	
4	3	11,20	B	
5	3	10,30	B	
7	3	9,30	C	
2	3	8,32	D	
1	3	8,26	D	
9	3	7,33	C	D
3	3	7,30	D	

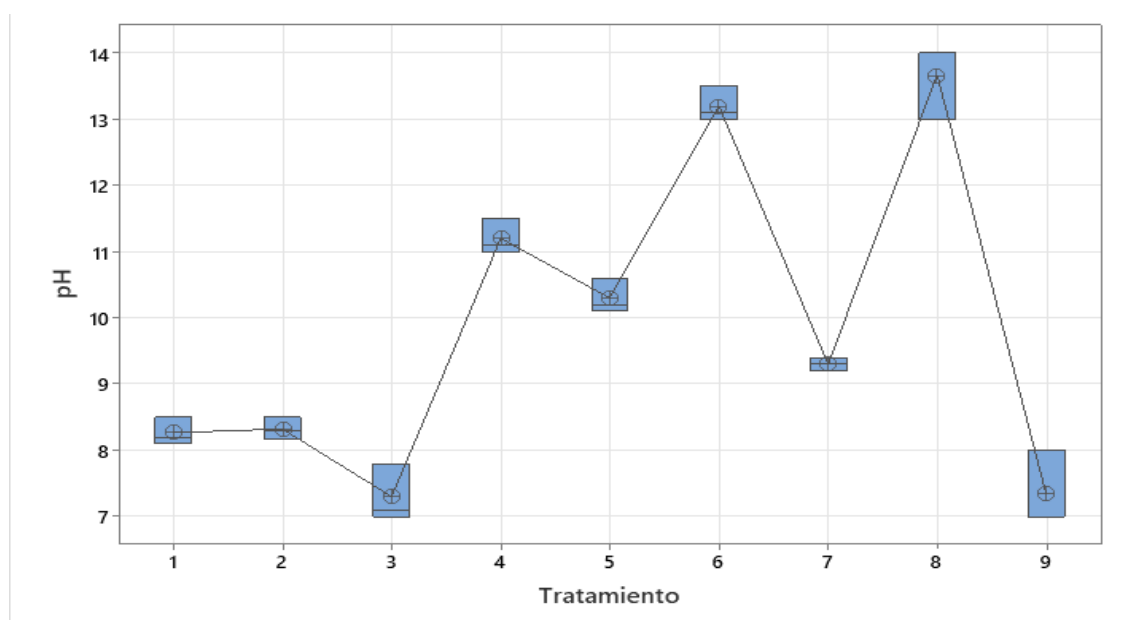
Nota. La tabla presenta los resultados de la prueba de Games Howell para la comparación del pH entre los distintos tratamientos de jabón líquido. Las medias de los tratamientos están agrupadas por letras, aquellos tratamientos que no comparten la misma letra presentan diferencias estadísticamente significativas en sus niveles. Procesado con el software Minitab.

La prueba de Games-Howell muestra que existen cuatro niveles de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Grupo A, B, C y D). Los T8 y T6 tienen las medias de pH más altas y están en el grupo A. Esto significa que no tienen diferencias significativas entre ellos, pero sí con los tratamientos de los grupos inferiores. Por el contrario, los T2, T1 y T3 pertenecen principalmente al grupo D, lo que muestra que tienen los pH más bajos y no presentan diferencias significativas entre sí. Los T4 y

T5 están en el grupo B, lo cual indica que estos valores de pH son significativamente menores que los de los T8 y T6, pero mayores que los de otros tratamientos. Los T7 y T9 forman parte de los grupos C y D, respectivamente, lo que indica que tienen valores de pH intermedios y están separados estadísticamente de los tratamientos en otros grupos.

Figura 12

Gráfico de cajas para el pH en los diferentes tratamientos



Nota. La figura representa un gráfico de cajas que muestra la distribución del pH en cada tratamiento de jabón líquido. Facilitando la comparación visual entre tratamientos y resalta las variaciones del pH. Procesado con el software Minitab.

En la figura 12, se observa que los T6 y T8 tienen las medias de pH más altas, además muestran mayor dispersión (cajas más grandes), lo cual indica mayor variabilidad interna en estos tratamientos. Los T3 y T9 presentan las medias de pH más bajo. Estos resultados refuerzan la conclusión de que la composición y el proceso de fabricación influyen significativamente en el pH de los jabones, lo que podría requerir ajustes en la formulación para lograr niveles de pH más uniformes y deseables.

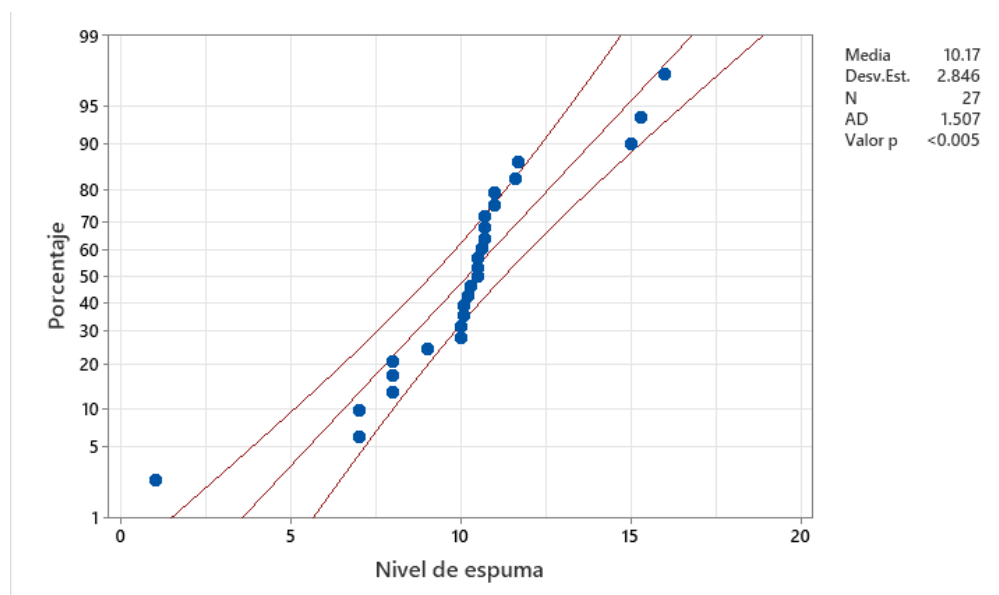
4.2.5. Nivel de espuma

En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling (Fiura 13) para determinar si las muestras se ajustan a una distribución normal. El estadístico de

Anderson Darling calculado fue de 1,507; mientras que el valor de p fue menor a 0,005. Debido a que el valor de p es menor al nivel de significancia (0,005), este resultado indica que los tratamientos no presentan una distribución normal, sugiriendo variaciones en el nivel de espuma en los distintos tipos de jabón.

Figura 13

Gráfico de Normalidad para el nivel de espuma en los diferentes tratamientos



Nota. Los puntos representan los datos de cada tratamiento, mientras que las líneas ajustadas indican la distribución teórica esperada. Este análisis permite observar las desviaciones de la normalidad en los diferentes tratamientos.

Debido a la falta de normalidad en los datos, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, que es adecuada para comparar grupos cuando no se asume una distribución normal. Los resultados de dicha prueba se encuentran en la tabla 24.

Las hipótesis planteadas para esta prueba fueron las siguientes:

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medianas son iguales.
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una mediana es diferente

Tabla 24

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para el nivel de espuma

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	8	20,19	0,010
Ajustado para empates	8	20,29	0,009

Nota. La tabla presenta los resultados de Kruskal-Wallis aplicada al nivel de espuma, comparando los valores obtenidos en los distintos tratamientos de jabón líquido. Procesado con software Minitab.

Los resultados mostraron un estadístico de 20,29 y el valor de p fue de 0,009. Dado que el valor de p es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), se concluye que al menos una mediana es diferente, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de espuma entre al menos uno de los tratamientos. Para identificar específicamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Games-Howell, confirmando la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, tal como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25

Distribución del nivel de espuma en diferentes tratamientos de jabón líquido mediante la prueba de Games-Howell

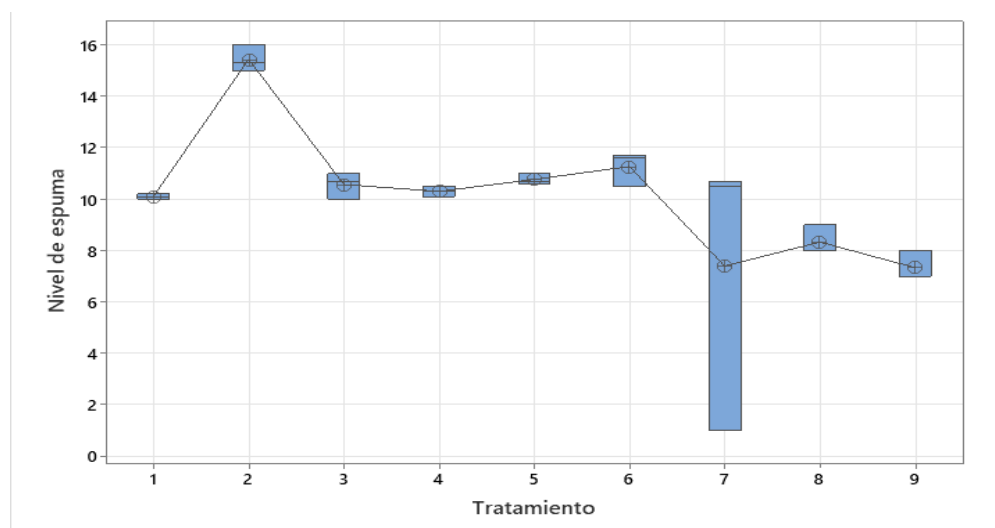
Tratamiento	N	Media	Agrupación			
2	3	15,43	A			
6	3	11,26		B		
5	3	10,76		B		
3	3	10,56		B		
4	3	10,30		B	C	
1	3	10,10		B	C	
8	3	8,33			C	D
7	3	7,40	A	B	C	D
9	3	7,33				D

Nota. La tabla presenta los resultados de la prueba de Games Howell para la comparación del nivel de espuma entre los distintos tratamientos de jabón líquido. Las medias de los tratamientos están agrupadas por letras, aquellos tratamientos que no comparten la misma letra presentan diferencias estadísticamente significativas en sus niveles. Procesado con el software Minitab.

La prueba de Games-Howell muestra que existen cuatro niveles de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Grupo A, B, C y D). El T2 tiene la media de nivel de espuma más alta (15,43) y está en el grupo A, indicando que es significativamente diferente de la mayoría de los otros tratamientos. Los T7 y T9 están en los grupos C y D. Estos son los tratamientos con los valores de nivel de espuma más bajos en la tabla. Los T6, T5, T3, T4 y T1 están en el grupo B. No presentan diferencias significativas entre ellos, pero son estadísticamente diferentes de los tratamientos con nivel de espuma más bajo.

Figura 14

Gráfico de cajas para el nivel de espuma en los diferentes tratamientos



Nota. La figura representa un gráfico de cajas que muestra la distribución del nivel de espuma en cada tratamiento de jabón líquido. Facilitando la comparación visual entre tratamientos y resalta las variaciones en el nivel de espuma. Procesado con el software Minitab.

En la figura 14, se observa que el T2 destaca como el más alto, mientras que los T7 y T9 son los que menos nivel de espuma tienen. Los T6, T5, T3, T4 y T1 tienen niveles de espuma intermedios, pero significativamente menores que el T2.

Estos resultados pueden ayudar a seleccionar el tratamiento adecuado según el nivel de espuma deseado en el jabón líquido. Esto sugiere que la combinación de factores evaluados tienen un impacto significativo en la capacidad de los jabones para generar espuma, evidenciando que ciertos tratamientos potencian esta propiedad mientras que otros la limitan.

4.3. Correlación entre el valor del índice de peróxido en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido

En este apartado, se evaluó la hipótesis específica, que plantea la existencia de una relación directa entre el valor del índice de peróxido presente en el aceite purificado y la alcalinidad en el jabón líquido resultante.

La evaluación se llevó a cabo aplicando la prueba de correlación de Pearson. En la tabla 27, se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica con respecto al índice de peróxido presente en el aceite y la alcalinidad en el jabón líquido.

Tabla 26

Resultados del índice de peróxido presente en la mezcla de aceites y la alcalinidad en el jabón líquido resultante

Tratamiento	Aceite purificado/Aceite de oliva extra virgen	Jabón líquido
	Índice de peróxido (meq. O ₂ /Kg de aceite)	Alcalinidad, como NaOH (meq. NaOH/Kg jabón)
T1: a ₀ b ₀	22,66	0,004
T2: a ₀ b ₁	24,51	0,004
T3: a ₀ b ₂	13,80	0,000
T4: a ₁ b ₀	22,03	0,018
T5: a ₁ b ₁	21,54	0,027
T6: a ₁ b ₂	19,58	0,046
T7: a ₂ b ₀	23,10	0,000
T8: a ₂ b ₁	20,12	0,000
T9: a ₂ b ₂	17,36	0,011

Nota. En la tabla, se presenta los resultados del índice de peróxido en la mezcla de aceites, así como los resultados de alcalinidad en el jabón líquido obtenido de la mezcla de aceites de cada tratamiento.

La correlación de Pearson calculada entre el índice de peróxido en el aceite usado y la alcalinidad en el jabón líquido fue de 0,002. La relación entre ambas variables es prácticamente nula; por lo cual, no existe una correlación significativa entre estos parámetros fisicoquímicos.

4.4. Evaluación de la calidad del jabón líquido producido a partir de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen

El objeto de este punto está determinando para evaluar la calidad del jabón líquido, determinando cómo las diferentes proporciones de estos aceites afectan sus propiedades fisicoquímicas, en comparación con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978 (Revisada 2017).

Tabla 27

Evaluación de la materia insoluble en alcohol en diferentes tratamientos de jabón líquido en comparación con el rango aceptable de la NTP N° 319.073:1978. Requisitos

Tratamientos	Materia insoluble	Rango aceptable, según NTP		Se encuentra dentro del rango aceptable
	en alcohol (%)	N° 319.073:1978		
		Mínimo (%)	Máximo (%)	
T1: a ₀ b ₀	2,82	-	0,5	No
	2,80	-	0,5	No
	2,80	-	0,5	No
T2: a ₀ b ₁	7,44	-	0,5	No
	7,40	-	0,5	No
	7,40	-	0,5	No
T3: a ₀ b ₂	2,17	-	0,5	No
	2,10	-	0,5	No
	2,15	-	0,5	No
T4: a ₁ b ₀	2,67	-	0,5	No
	2,60	-	0,5	No
	2,60	-	0,5	No
T5: a ₁ b ₁	2,10	-	0,5	No
	2,10	-	0,5	No
	2,00	-	0,5	No
T6: a ₁ b ₂	2,45	-	0,5	No
	2,45	-	0,5	No
	2,40	-	0,5	No
T7: a ₂ b ₀	2,36	-	0,5	No
	2,30	-	0,5	No
	2,30	-	0,5	No
T8: a ₂ b ₁	2,53	-	0,5	No
	2,50	-	0,5	No
	2,50	-	0,5	No
T9: a ₂ b ₂	2,17	-	0,5	No
	2,10	-	0,5	No
	2,10	-	0,5	No

Nota. La tabla presenta los resultados de la materia insoluble en alcohol para los diferentes tratamientos de jabón líquido, comparados con el rango aceptable según la NTP N° 319.073:1978.

En la tabla 28, se observa que ninguno de los tratamientos cumplió con el estándar establecido. En particular, el tratamiento a₀b₁ muestra los valores más altos de materia insoluble en alcohol, lo que indica que esta combinación específica de aceites no es adecuada para cumplir con la normativa.

Tabla 28

Evaluación de la alcalinidad en diferentes tratamientos de jabón líquido en comparación con el rango aceptable de la NTP N° 319.073:1978. Jabones y detergentes. Requisitos

Tratamientos	Alcalinidad	Rango aceptable, según NTP N° 319.073:1978.		Se encuentra dentro del rango aceptable
	(Meq. NaOH/Kg jabón)	Mínimo (%)	Máximo (%)	
T1: a ₀ b ₀	0,000	-	0,07	Sí
	0,004	-	0,07	Sí
	0,005	-	0,07	Sí
T2: a ₀ b ₁	0,004	-	0,07	Sí
	0,005	-	0,07	Sí
	0,004	-	0,07	Sí
T3: a ₀ b ₂	0,010	-	0,07	Sí
	0,030	-	0,07	Sí
	0,000	-	0,07	Sí
T4: a ₁ b ₀	0,018	-	0,07	Sí
	0,020	-	0,07	Sí
	0,018	-	0,07	Sí
T5: a ₁ b ₁	0,027	-	0,07	Sí
	0,030	-	0,07	Sí
	0,027	-	0,07	Sí
T6: a ₁ b ₂	0,046	-	0,07	Sí
	0,046	-	0,07	Sí
	0,050	-	0,07	Sí
T7: a ₂ b ₀	0,010	-	0,07	Sí
	0,000	-	0,07	Sí
	0,010	-	0,07	Sí
T8: a ₂ b ₁	0,010	-	0,07	Sí
	0,020	-	0,07	Sí
	0,030	-	0,07	Sí
T9: a ₂ b ₂	0,011	-	0,07	Sí
	0,020	-	0,07	Sí
	0,011	-	0,07	Sí

Nota: La tabla presenta los resultado de la alcalinidad para los diferentes tratamientos de jabón líquido, comparados con el rango aceptable según la NTP N° 319.073:1978.

En la tabla 29, se observa que todos los tratamientos evaluados cumplieron con el estándar establecido, ya que todas las muestras presentaron valores de materia insoluble en alcohol inferiores al límite máximo de 0,07 %.

CAPÍTULO V

DISCUSIONES

En esta investigación, se plantearon varias hipótesis para evaluar el impacto del proceso de purificación del aceite vegetal usado y la variación en las proporciones de aceite purificado y aceite de oliva extra virgen en las propiedades fisicoquímicas del jabón líquido producido. Los resultados obtenidos mediante distintas pruebas estadísticas, como la prueba de normalidad de Anderson Darling, Mann Whitney, Kruskal-Wallis, t de Student, análisis de varianza (ANOVA), análisis de comparaciones múltiples de Tukey y la prueba de Games-Howell, y la prueba de correlación de Pearson permitieron identificar diferencias significativas y analizar las implicaciones de estas variaciones en la calidad del jabón.

5.1. Efecto del proceso de purificación del aceite vegetal usado

La hipótesis específica 1 sugirió que las propiedades fisicoquímicas del aceite purificado serían significativamente menores en comparación con el aceite vegetal usado. Sin embargo, los resultados demostraron que el impacto del proceso de purificación varía según el parámetro evaluado:

- Índice de peróxido: La reducción significativa en este parámetro fisicoquímico sugiere que el proceso de purificación elimina efectivamente los compuestos oxidativos presentes en el aceite vegetal usado. Inicialmente, el aceite usado presentó un índice de peróxido de 40,78 meq O₂/kg, el cual disminuyó a 34,45 meq O₂/kg tras la purificación, con una reducción del 15,52 %. Esta baja en los peróxidos sugiere que el proceso de purificación empleado ayuda a eliminar agentes oxidativos que aceleran el deterioro del aceite, contribuyendo así a una mayor estabilidad oxidativa y una mejor calidad. Los resultados se alinean parcialmente con los obtenidos por Campoverde (2022), quien reportó una reducción del 85,0 % en el índice de peróxido (de 8,37 a 1,25 meq O₂/kg). Sin embargo, esta diferencia significativa en el porcentaje de reducción podría atribuirse al hecho de que el aceite usado en la investigación de Campoverde

partía de un índice de peróxido considerablemente más bajo que el utilizado en la presente investigación. Esto sugiere que la efectividad de la purificación puede depender en parte de los niveles iniciales de peróxidos presentes en el aceite. Asimismo, los resultados son comparables con los de Restrepo et al. (2024), quienes, tras un proceso que incluyó sedimentación, filtración, desodorización con carbón activo y clarificación con bentonita sódica, lograron reducir el índice de peróxido a 23,07 meq O₂/kg. En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que la purificación mejora la estabilidad oxidativa del aceite, aunque la magnitud de la reducción puede variar en función de las condiciones iniciales del aceite y el método de purificación empleado.

- Humedad y materia volátil: La disminución significativa de humedad y materia volátil entre el aceite vegetal usado fue (0,88 %) y el aceite purificado (0,55 %) sugiere que el proceso de purificación contribuye no solo a la reducción de compuestos oxidativos, sino también a la eliminación de agua y otras sustancias volátiles que pueden comprometer la calidad del aceite. Estos resultados se alinean con los obtenidos por Restrepo et al. (2024) y Ninataype (2020), quienes mediante un proceso de sedimentación, filtración, desodorización con carbón activo y clarificación con bentonita sódica, lograron reducir el contenido de humedad y volátiles a un nivel muy bajo de 0,04 %. En contraste, el estudio de Perero y Salazar (2017), que caracterizó el aceite vegetal usado sin purificación, reportó un valor de humedad y volátiles de 0,88 % coincidiendo con el valor reportado en esta investigación para el aceite sin tratamiento. Al comparar estos datos, es evidente que los métodos de purificación juegan un papel importante en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del aceite.
- Índice de acidez: A diferencia de los otros parámetros, el proceso de purificación no tuvo un efecto significativo en el índice de acidez, que se mantuvo prácticamente constante, de 1,21 % en el aceite vegetal usado a 1,24 % en el aceite purificado. Esto sugiere que los ácidos grasos libres presentes en el aceite no fueron eliminados durante el tratamiento de purificación. En

contraste, el estudio de Restrepo et al. (2024), que empleó un proceso de purificación con etapas de sedimentación, filtrado, desodorización con carbón activo y clarificación con bentonita sódica, logró una reducción más notable del índice de acidez, disminuyendo de 0,87 % a 0,15 %. Esto indica que el uso de absorbentes específicos y un proceso más exhaustivo pueden ser efectivos para reducir la acidez del aceite, optimizando aún más su calidad para diversas aplicaciones.

5.2 Impacto de la variación en las proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen

La hipótesis específica 2 planteó que variar las proporciones de aceite usado purificado y aceite de oliva extra virgen afectaría significativamente las propiedades fisicoquímicas del jabón líquido. Los resultados confirmaron esta hipótesis, mostrando diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las propiedades estudiadas:

- **Materia insoluble en alcohol:** La prueba de Games-Howell ha demostrado la existencia de seis niveles de diferencias entre las medias de los tratamientos analizados, corresponden a los grupos A,B,C,D, E y F. En el grupo A el T 6 presentó la media más alta, con un valor de 7,41. Este grupo se considera significativamente diferente de todos los demás tratamientos, lo que indica que su composición provoca mayor formación de materia insoluble en alcohol. Por el contrario, el T5, perteneciente al grupo F, presenta la media más baja, este grupo no muestra diferencias significativas en comparación con los T3 y T9, lo que sugiere que el T5 es más eficaz en la reducción de materia insoluble en alcohol. Es importante señalar que los T3, T9 y T5 obtuvieron los mejores resultados en relación con la materia insoluble, ya que contienen una mayor proporción de aceite de oliva extra virgen en su formulación, lo que parece tener efecto positivo en la disminución de la materia insoluble en alcohol. Sin embargo, es fundamental destacar que todas las medias obtenidas para la materia insoluble superan los límites permisibles establecidos para jabones líquidos. Esto indica que, aunque algunos tratamientos muestran mejoras, no

cumplen con las normativas vigentes para la calidad del producto final.

- Alcalinidad: La prueba de Games Howell ha revelado la existencia de tres niveles de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos analizados, que corresponden a los grupos A, B y C. El grupo A (T6) presenta la media más alta de alcalinidad, con un valor de 0,047, además es significativamente diferente de los demás. En contraste, los T1, T2, T4 y T7 se agrupan el grupo C, donde sus valores de alcalinidad son menores y no muestran diferencias significativas entre sí. Es importante señalar que, para este parámetro físicoquímico, todos los tratamientos se encuentran por debajo del valor requerido por la norma.
- Humedad y materia volátil: La prueba de Games-Howell ha revelado que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos analizados. El T9, perteneciente al grupo A, presenta la mayor media de humedad y materia volátil, con un valor de 38,7 %. En contraste, el T7 tiene el valor más bajo para estos parámetros alrededor de 18,24 %. El elevado contenido de humedad provoca la pérdida de textura y densidad, puede estar influenciado por la interacción con la materia insoluble en alcohol, ya que, según los resultados, todas las medias para la materia insoluble también superan los límites permisibles. Dicha materia no se integra adecuadamente en la fase líquida, lo que compromete la estabilidad del producto, haciendo que se separe o se licúe más fácilmente. Otro factor clave podría ser la proporción de agua en la formulación inicial. Es probable que ambos elementos, la materia insoluble y el contenido de agua, contribuyan al incremento de la humedad y materia volátil en los tratamientos, lo que afecta la calidad del jabón
- pH: La La prueba de Games-Howell ha identificado cuatro niveles de diferencias significativas entre las medias de pH de los tratamientos, correspondientes a los grupos A, B, C y D. Los T8 (13,66) y T6 (13,20) presentan las medias de pH más altas y se agrupan en el grupo A. En contraste, los T2 (8,26), T1 (7,33) y T3 (7,30) pertenecen al grupo D y muestran los valores de pH más bajos, sin diferencias significativas entre ellos, lo que los

hace más adecuados para jabones líquidos. Estos resultados sugieren que algunos tratamientos podrían necesitar ajustes en la cantidad de potasa utilizada durante el proceso de saponificación para optimizar los niveles de pH.

- Nivel de espuma: La prueba de Games-Howell ha identificado cuatro niveles de diferencias significativas entre las medias de nivel de espuma de los tratamientos, clasificados en los grupos A, B, C y D. El T2 presenta el nivel de espuma más alto, con una media de 15,43; y pertenece al grupo A, lo que indica que es significativamente diferente de la mayoría de los demás tratamientos. Por otro lado, los T7 y T9, que se agrupan en los grupos C y D, muestran los niveles de espuma más bajos. A pesar de estas diferencias, todos los jabones evaluados alcanzan un buen nivel de espuma, lo que sugiere que, en general, las formulaciones son efectivas en este aspecto.

5.3. Relación entre el índice de peróxido y la alcalinidad

La hipótesis específica 3 planteó una relación directa entre el índice de peróxido del aceite usado y la alcalinidad del jabón líquido. La correlación de Pearson calculada fue de 0,002, lo que indica una correlación positiva muy débil, sugiere que el índice de peróxido no influye directamente en la alcalinidad del producto final. Aunque se esperaba que aceites más oxidados generaran jabones más alcalinos, esta hipótesis no fue respaldada.

5.4. Evaluación de la calidad del jabón líquido según normativa

Al comparar las propiedades del jabón líquido producido con la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978 (Revisada 2017), se encontró que los jabones no cumplen con el estándar de materia insoluble en alcohol. Sin embargo, el parámetro de alcalinidad sí se encuentra dentro del rango aceptable. Las formulaciones con mayor contenido de aceite de oliva extra virgen, como el T2, se aproximaron más a los estándares de calidad, destacando la importancia de equilibrar las proporciones de aceites en la formulación para optimizar el producto final.

CONCLUSIONES

1. El proceso de purificación del aceite vegetal usado tiene un impacto diferenciado en las propiedades fisicoquímicas. Se encontraron reducciones significativas en el índice de peróxido, humedad y materia volátil. Sin embargo, el índice de acidez no presentó diferencias significativas tras el tratamiento de purificación.
2. Las diferentes proporciones de aceite purificado y aceite de oliva extra virgen tuvieron un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas del jabón líquido. Se confirmaron diferencias relevantes en parámetros como la materia insoluble en alcohol, alcalinidad, humedad, materia volátil, pH y nivel de espuma. El T3 se destacó como el mejor entre los evaluados.
3. No se encontró correlación significativa entre el índice de peróxido del aceite usado y la alcalinidad del jabón líquido. La oxidación del aceite no tiene un impacto directo en la alcalinidad del producto final.
4. Los jabones líquidos producidos a partir de aceites reciclados no cumplen completamente con la Norma Técnica Peruana N° 319.073:1978 (Revisada 2017) en cuanto a materia insoluble en alcohol. Sin embargo, el parámetro de alcalinidad sí se encuentra dentro de los límites aceptables. Las formulaciones con mayor contenido de aceite de oliva extra virgen se acercaron más a los estándares de calidad.
5. La producción de jabón líquido a partir de aceite vegetal usado purificado es una opción viable y ecológica que puede contribuir a la reducción de residuos de aceite y la mitigación de la contaminación ambiental. Ajustar las formulaciones puede optimizar la calidad del producto final, permitiendo cumplir con los estándares técnicos y mejorar la aceptación del producto en el mercado.

RECOMENDACIONES

1. A la institución en la cual se llevó a cabo esta investigación, se les recomienda seguir con esta línea de investigación, con el objeto de optimizar el proceso de purificación del aceite vegetal usado y reducir aún más los parámetros fisicoquímicos evaluados. Además, se podrían explorar métodos de purificación adicionales o complementarios para obtener un aceite más homogéneo y limpio.
2. Para los futuros tesisistas que deseen mejorar el pH, se sugiere ajustar la cantidad de potasa utilizada en el proceso de saponificación. Además, se debería considerar la inclusión de agentes espumantes o surfactantes específicos que mejoren la capacidad de formación de espuma, especialmente en las formulaciones con mayor proporción de aceite vegetal purificado.
3. Continuar investigando la proporción óptima de aceite de oliva extra virgen en la mezcla para mejorar propiedades clave como la textura, la capacidad de formación de espuma y el pH. Tratamientos como el T3, que presentó mejores resultados en estos aspectos, pueden servir como base para futuras formulaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorós, G. (2017). Razones de los Administradores de Restaurantes Menú en el Cercado de Lima, para no Reciclar Aceite Vegetal Usado.
- Agraria.pe. (2022). *Existen alrededor de 43.000 hectáreas de olivo en Perú*. 632, 46–47. <https://agraria.pe/noticias/existen-alrededor-de-43-000-hectareas-de-olivo-en-peru-30081#>
- Alarcón, M. y Romero, R. (2021). *Estudio y diseño de un sistema de recolección de aceite vegetal usado para el sector comercial y residencial del Norte de la ciudad de Guayaquil*.
- Bravo, A. del P., Casamachín, E. y Ordoñez, J. (2023). *Diseño de un plan de negocio para la producción y comercialización de un jabón con ingredientes naturales, basado en la reutilización del aceite de cocina usado en la ciudad de Santiago de Cali*.
- Campomanes, D. (2023). *Caracterización de aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel en la ciudad de Barranca*.
- Campoverde, A. (2022). *Elaboración de jabón a partir de aceite doméstico y cáscara de huevo*.
- Carreño, E., Contreras, D., Damián, E. y Díaz, C. (2021). *Estudio de prefactibilidad para la obtención de jabón en barra a base de aceite reciclado de cocina*.
- Córdova, Y. y Escudero, A. (2022). *Elaboración de jabones líquidos antibacteriales con aceite vegetal usado, sábila (Aloe vera) y cáscara de naranja (Citrus aurantium), Lima 2022*.
- Cruz, A. y Davis, A. (2021). *Diseño de un sistema de recolección de aceite vegetal usado para la elaboración de jabón artesanal, en el distrito de Piura*.
- El Peruano. (2021). *Normas Legales. Ordenanza N°415-2021-MDMM, Ordenanza que regula el manejo de aceites vegetales usados en el distrito de Magdalena del Mar*

(pág 172–175).

El Peruano. (2016). *Normas Legales*. Ordenanza Municipal N° 475/MC, Ordenanza que aprueba el manejo ambiental sostenible de aceites y lubricantes industriales usados y aceites vegetales usados, en el distrito de Comas, 126–132.

FAO. (2020). Base de datos FAOLEX. *Decreto N° 1211 - Aprueba La Implementación de La Estrategia Nacional Ecuador Crece Sin Desnutrición*, 02, 25–27.

Fasanando, J. y Meza, H. (2021). *Elaboración de jabon en barra, con la reutilización y aprovechamiento de aceite vegetal usado, tarapoto, 2021*.

Huamachuco, M. (2021). *Evaluación de la calidad de los jabones ecológicos producidos a partir de la reutilización de aceite vegetal de cocina proveniente de restaurantes de comida rápida, Arequipa - 2021*.

INACAL. (2022). Inacal aprobó norma técnica para promover un manejo ambiental adecuado de los aceites usados en el Perú. *Plataforma Digital Única Del Estado Peruano*, 27–30. <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/647329-inacal-aprobo-norma-tecnica-para-promover-un-manejo-ambiental-adecuado-de-los-aceites-usados-en-el-peru>.

Lehmann, L. (2020). *Economía circular, el cambio cultural: El modelo sostenible para la reactivación (2.ª ed.)*. Prosa Editores.

Mariño, G. y Durand, H. (2021). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de jabones naturales desinfectantes hechos a base de yacón, cebolla y aceite vegetal usado (AVU) con motivos peruanos a nivel nacional*.

Ninataype, C., Rayo, M. y Rondón, R. (2020). *Elaboración de jabón para uso industrial a partir del aceite reciclado en el pueblo tradicional de Carmen Alto del distrito de Cayma , Arequipa 2020*. 2215, 4436–4466.

Orellana, K. (2019). *Comparación de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de*

un jabón cosmético elaborado a partir de base de aceite de coco y aceite de oliva extra virgen a escala de laboratorio.

Perero, L. y Salazar, M. (2017). *Porcentajes de aceite de fritura e hidróxido de potasio en la saponificación de grasas para la obtención de jabón líquido.*

Ramírez, T. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles.*

Restrepo, A., Cruel, J., Mosquera, G. y Canchingre, M. (2024). *Elaboración de un jabón industrial a partir de aceite de cocina usado: Caso Esmeraldas-Ecuador. 10, 86–112.*

Ríos, L. (2019). La química orgánica aplicada a nuestro diario vivir. En línea. JSTOR. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/j.ctv18dvts8>.

Urrutia, J. I. y Melgarejo, R. M. (2019). *Propuesta de instrumento municipal para minimizar el uso indiscriminado de bolsas de plástico por los establecimientos comerciales, en la provincia del Santa (Vol. 1) [Universidad Nacional del Santa].* <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Zurita, J. y Nauca, E. (2022). *Jabón ecológico, una alternativa de negocio del aceite usado de restaurantes.* 1–18

ANEXOS

EVIDENCIAS DE INVESTIGACIÓN DE LA GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL JABÓN LÍQUIDO PRODUCIDOS A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO PURIFICADO Y ACEITE DE OLIVA

Figura 15

Recolección de muestras de aceite vegetal usado



Nota: En la figura, se muestra la recolección de muestras de aceite vegetal usado generado por un restaurante.

Figura 16

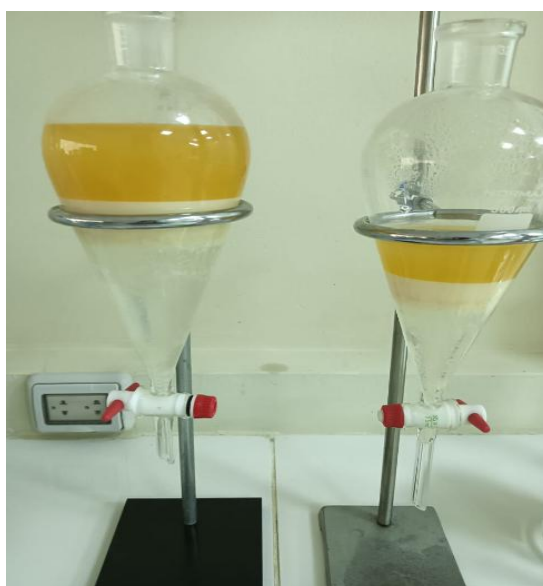
Muestra de aceite de oliva extra virgen



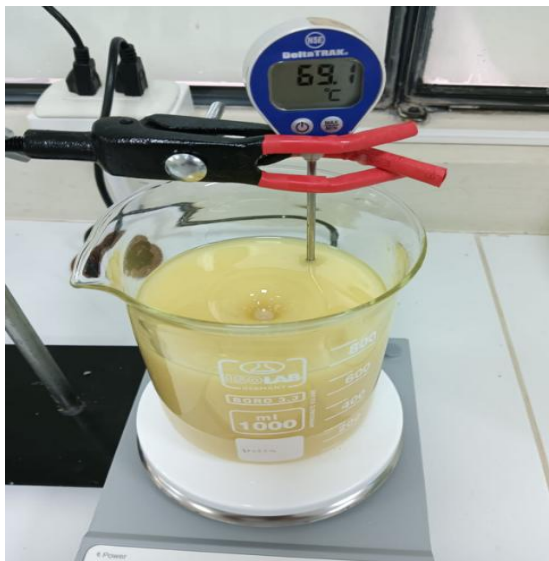
Nota. En la figura, se aprecia el aceite de oliva extra utilizado en la investigación.

Figura 17*Purificación del aceite vegetal usado*

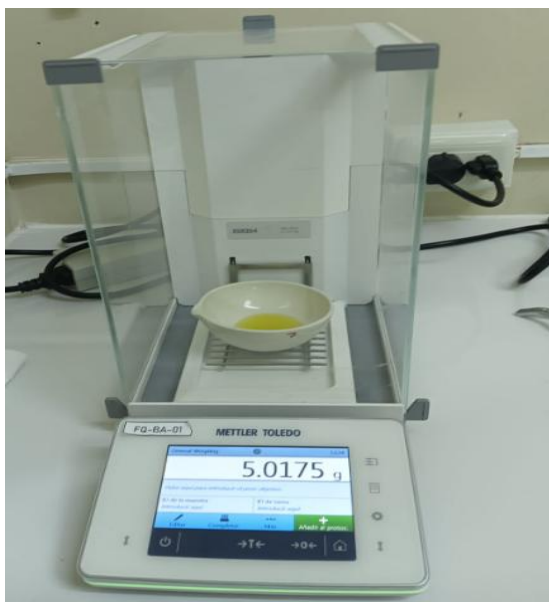
Nota. En la figura, se muestra la purificación del aceite vegetal usado utilizando salmuera a 5 % a temperatura y agitación constante.

Figura 18*Decantación del aceite purificado*

Nota. En la figura, se observan peras de decantación, donde se aprecia la separación entre la salmuera y aceite purificado.

Figura 19*Saponificación de la mezcla de aceites*

Nota: En la figura, se muestra la saponificación del aceite purificado con porciones de aceite oliva extravirgen a temperatura y agitación constante.

Figura 20*Pesaje de aceite*

Nota. En la figura, se observa el pesaje de aceite utilizando una balanza analítica para determinar su contenido de humedad.

Figura 21*Enfriamiento de muestras de aceite*

Nota: En la figura, se observan muestras de aceites en el desecador, donde se aclimataron a temperatura ambiente antes de ser pesadas para la determinación de humedad.

Figura 22*Evaporación de humedad en muestras de aceite*

Nota. En la figura, se observan muestras de aceite en cápsulas de porcelana dentro de la estufa, donde fueron procesadas para la determinación de humedad.

Figura 23

Medición de pH en los diferentes tratamientos de pasta jabón



Nota. En la figura, se muestran la medición de pH en los diferentes tratamientos de pasta de jabón. Esta medición se realizó tiras de colores de pH.

Figura 24

Preparación de muestras para el ensayo de alcalinidad en jabón



Nota. En la figura, se observan matraces de Erlenmeyer conteniendo jabón líquido de los diferentes tratamientos procesados, los cuales fueron analizados para determinar su alcalinidad.

Figura 25

Análisis de materia insoluble en alcohol en jabones



Nota. En la figura, se muestran sistemas de filtración simple que utilizan papel filtro lento, procedimiento que se realizó para el análisis de materia insoluble en alcohol.

Figura 26

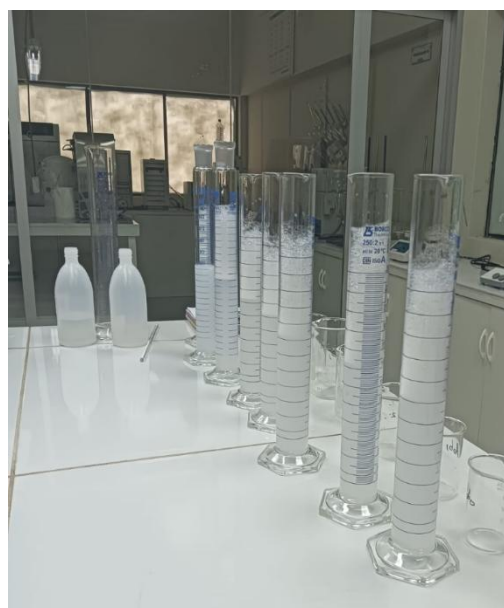
Matraces Erlenmeyer con aceite para la determinación del índice de peróxido



Nota. En la figura, se observan matraces de Erlenmeyer que contienen diferentes mezclas de aceites, utilizados para la determinación del índice de peróxido.

Figura 27*Titulación del aceite con hidróxido de sodio*

Nota. En la figura, se muestran matreces después de la titulación del aceite con hidróxido de sodio, realizado para determinar del índice de peróxido.

Figura 28*Determinación del nivel de espuma en el jabón líquido*

Nota. En la figura, se aprecian probetas de vidrio, donde se observa el nivel de espuma generado en los diversos tratamiento de jabón líquido.