

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**



Uso de aceite vegetal y cebo animal reciclado como materia prima para fabricar jabón artesanal y proteger el medio ambiente

Por:

**Juana María Violante Hernández**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**

Uso de aceite vegetal y cebo animal reciclado como materia prima para fabricar jabón artesanal y proteger el medio ambiente

Por:

**Juana María Violante Hernández**

**TESIS**

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Cynthia Dinorah Ruedas Alba  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Moreno Reséndez  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Uriel González Salas  
**Vocal suplente externo**

  
\_\_\_\_\_  
MC. Rafael Ávila Cisneros  
**Coordinador de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**

Uso de aceite vegetal y cebo animal reciclado como materia prima para fabricar jabón artesanal y proteger el medio ambiente

Por:

**Juana María Violante Hernández**

**TESIS**

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Aprobado por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández  
**Asesor Principal**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Cynthia Dinorah Ruedas Alba  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Moreno Reséndez  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Uriel González Salas  
**Coasesor externo**

  
\_\_\_\_\_  
MC. Rafael Ávila Cisneros  
**Coordinador de la División de Carreras Agronómicas**



Torreón, Coahuila, México  
Junio 2025

## **Agradecimiento.**

Agradezco profundamente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haber aceptado que formara parte de ella, además de formarme como una profesional en Procesos ambientales. De igual manera agradezco a mis docentes por brindarme sus conocimientos y apoyo para seguir adelante.

Agradezco también a mi Asesor de Tesis el Dr. Eduardo Arón Flores Hernández por aceptarme en este proyecto, guiarme y apoyarme en la innovación de este, sin su apoyo no lo hubiera logrado.

Por último, pero no menos importante, agradezco a las laboratoristas del Departamento de Suelos Norma Lydia, Rocío y Carolina por ayudarme durante los procesos de fabricación de jabón y las pruebas experimentales para determinar la calidad de los productos.

**Dedicatoria.**

Dedico este trabajo con mucho amor a mis padres Carlos Violante González y Rubí Hernández por haberme forjado como la mujer que soy ahora. Cada uno de mis logros y sueños cumplidos han sido gracias a ellos y por su apoyo incondicional.

Dedico ésta tesis a mis abuelos, quienes me inspiraron desde pequeña y me dieron amor incondicional hasta el último día de sus vidas, sin ellos no hubiera podido seguir adelante.

Por último, pero no menos importante dedico esta tesis al Dr. Arón, que no solo fue mi mentor para llevar lejos este proyecto, sino que también se convirtió en un gran amigo que confió en mi cuando nadie más lo hizo y me apoyó de una manera incondicional.

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
ÍNDICE.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Antecedentes del consumo de aceite vegetal.....	4
2.2 Normativa para evitar contaminación ambiental por Aceite Vegetal Residual.....	7
2.2.1 La norma NADF-012-AMBT-2015.....	8
2.2.2 La norma NOM-052-SEMARNAT-2005.....	8
2.2.3 La norma NMX-AA-005-SCFI-2013.....	9
2.2.4 La norma NOM-068-ECOL-1994.....	9
2.2.5 La norma NOM-161-SEMARNAT-2011.....	10
2.2.6. La norma NMX-Q-003-NYCE-2018.....	11
2.3 Importancia del reciclaje.....	11
2.4 Economía circular.....	13
2.5 Tipos de contaminación por Aceite Vegetal Residual.....	15
2.5.1 Contaminación de agua por Aceite Vegetal Residual.....	15
2.5.2 Contaminación de suelo por Aceite Vegetal Residual.....	16
2.5.3 Compuestos tóxicos por Aceite Vegetal Residual.....	16
2.6 Alternativas para evitar contaminación ambiental.....	17
2.6.1 Jabón con Aceite Vegetal Residual.....	17
2.6.2 Biodiesel con Aceite Vegetal Residual.....	20
2.6.3 Bioplásticos con Aceite Vegetal Residual.....	21

2.6.4 Alimentación animal .....	22
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS. ....</b>	<b>23</b>
3.1 Localización del experimento .....	23
3.2 Tratamientos evaluados.....	23
3.3 Tipos de Saponificación aplicados .....	24
3.4 Variables de calidad analizadas en el jabón .....	25
3.4.1 Prueba de humedad y sólidos en el jabón.....	25
3.4.2 Resistencia a la penetración. ....	28
3.4.3 Solubilidad.....	29
3.4.4 pH.....	31
3.4.5 Espuma.....	33
3.4.6 Óxidos (Na <sub>2</sub> O).....	39
3.4.7 Cloruros.....	41
3.4.8 Determinación de Ácidos Grasos Totales.....	43
3.5 Diseño experimental .....	44
3.5.1 Distribución de los tratamientos de estudio.....	45
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
4.1 Prueba de humedad y sólidos.....	46
4.2 Dureza. ....	47
4.3 Solubilidad. ....	48
4.4 pH.....	49
4.5 Volumen de espuma .....	50
4.5.1 Óxidos.....	52
4.5.2 Cloruros.....	53
4.5.3 Ácidos Grasos.....	54
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>6 REFERENCIAS .....</b>	<b>57</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Límites máximos permisibles de contaminantes en agua .....	10
<b>Cuadro 2</b> Valores recomendados en jabones artesanales .....	11
<b>Cuadro 3</b> Identificación de tratamientos utilizados en el diseño experimental. .	44
<b>Cuadro 4</b> Distribución de tratamientos al azar.....	45
<b>Cuadro 5</b> Resultados de solubilidad.....	49
<b>Cuadro 6</b> Parámetros del agua potable.....	50

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Gráfico comparativo de los promedios (Tukey $p \leq 0.05$ ), de la variable de sólidos y humedad, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales. ....	47
<b>Figura 2</b> Gráfico comparativo de los promedios (Tukey $p \leq 0.05$ ), de la variable de dureza, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales.....	48
<b>Figura 3</b> Gráfico comparativo de los tratamientos (Tukey $p \leq 0.05$ ), de la variable de pH, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales .....	50
<b>Figura 4</b> Gráfico comparativo de los promedios (Tukey $p \leq 0.05$ ), de la variable de espuma en agua potable, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales. ....	51
<b>Figura 5</b> Gráfico comparativo de los promedios (Tukey $p \leq 0.05$ ), de la variable de espuma en agua destilada, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites .....	51
<b>Figura 6</b> Gráfico comparativo de los promedios (Tukey $p \leq 0.05$ ), variable de óxidos para seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales. ....	53
<b>Figura 7</b> Determinación de cloruros .....	54
<b>Figura 8</b> Ácidos Grasos Obtenidos en el Jabón .....	54

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Proceso de Saponificación. Imagen por Adriana González, 2024 .....	18
<b>Ilustración 2</b> Locación donde se realizó el experimento. ....	23
<b>Ilustración 3</b> Hot Process (en caliente) .....	24
<b>Ilustración 4</b> Cold process (en frio).....	25
<b>Ilustración 5</b> Prueba de Humedad y sólidos .....	27
<b>Ilustración 6</b> Equipo utilizado para la prueba de dureza. ....	29
<b>Ilustración 7</b> Prueba de solubilidad .....	30
<b>Ilustración 8</b> Escala de pH .....	31
<b>Ilustración 9</b> Potenciómetro y soluciones de Buffer para medir pH.....	33
<b>Ilustración 10</b> Agitación para la prueba de espuma.....	34
<b>Ilustración 11</b> Diluciones prueba de espuma.....	35
<b>Ilustración 12</b> Material para determinación de Ca y Mg.....	36
<b>Ilustración 13</b> Material para determinación de Cloruros en prueba de espuma. .....	38
<b>Ilustración 14</b> Material para determinación de Óxidos.....	40
<b>Ilustración 15</b> Material para determinación de cloruros .....	42
<b>Ilustración 16</b> Diluciones para determinar cloruros.....	43
<b>Ilustración 17</b> Resultados de prueba de espuma .....	52

## RESUMEN

En este proyecto se planteó una solución a la contaminación de suelo y agua ocasionada por Aceites Vegetales Residuales (AVR), desechados inadecuadamente por negocios de comida. Se propuso la fabricación de un jabón artesanal mediante la reacción de saponificación, en la cual, se necesitan los ácidos grasos contenidos en aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados.

El estudio se realizó durante septiembre a octubre de 2024, en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Para esta investigación se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos (formulaciones) se diseñaron combinando diferentes dosis de AVR. Cuatro formulas se fabricaron por proceso en caliente (Hot Process) y dos fórmulas por proceso en frío (Cold Process). Los jabones resultantes se sometieron a pruebas fisicoquímicas de calidad. De acuerdo con la norma "NMX-Q-003-NYCE-2018: estándar de calidad para jabones de tocador", la humedad del jabón no debe ser mayor a 22 %, los resultados mostraron que ningún jabón sobrepasó el límite, sin embargo, el Tratamiento 5 tuvo la humedad más baja con un 14.04 %. Se analizaron otros parámetros como: solubilidad, espuma, pH, cloruros, óxidos y ácidos grasos, mostrando los resultados que las diferentes fórmulas producen jabones con buenas propiedades para su uso cotidiano, a excepción del Tratamiento 5, con el cual fue difícil crear la pasta moldeable de jabón, produciendo piezas muy inconsistentes. Este comportamiento puede ser atribuido a la disminución en la presencia de ácidos grasos en el aceite, al reutilizarse múltiples ocasiones para la cocción de alimentos.

**Palabras Clave:** Saponificación, Ácidos grasos, Reciclaje de grasas, Contaminación por aceite, Jabón

## **ABSTRACT**

This project proposed a solution to soil and water contamination caused by waste vegetable oils (WVO) that are improperly disposed of by food businesses. The proposal was to manufacture handmade soap through saponification, a process that requires fatty acids contained in vegetable oils or animal fats, whether new or used.

The study was conducted from September to October 2024 at the Soil Laboratory of the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Laguna Unit. A completely randomized experimental design was used for this research, with six treatments and three replicates. The treatments (formulations) were designed by combining different doses of AVR. Four formulas were manufactured using the hot process and two formulas using the cold process. The resulting soaps underwent physicochemical quality tests. According to the standard "NMX-Q-003-NYCE-2018: quality standard for toilet soaps," the moisture content of the soap should not exceed 22%. The results showed that no soap exceeded the limit; however, Treatment 5 had the lowest moisture content at 14.04%. Other parameters were analyzed, such as solubility, foam, pH, chlorides, oxides, and fatty acids. The results showed that the different formulas produce soaps with good properties for everyday use, with the exception of Treatment 5, with which it was difficult to create a moldable soap paste, producing very inconsistent pieces. This behavior can be attributed to the decrease in the presence of fatty acids in the oil, as it was reused multiple times for cooking food.

**Keywords:** Saponification, Fatty acids, Fat recycling, Oil contamination, Soap

## 1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente una de las mayores problemáticas ambientales es la contaminación de agua y suelo debido a la inadecuada disposición final de Aceites Vegetales Residuales, en donde es importante saber cuáles son las actividades que generan más residuo de aceite vegetal y porqué.

La comida frita es una técnica culinaria muy antigua, las primeras recetas datan de la cultura egipcia, y aunque no existe fecha exacta de su creación, este tipo de alimento es referido en textos bíblicos, donde menciona que el tipo de fritura varía según el alimento, tipo de grasa y técnica de preparación, sin embargo, en la actualidad, el sistema alimentario ha presentado procesos de transformación y modificación a nivel mundial, con el objetivo de erradicar el hambre del mundo, debido a esto se industrializó el sistema de producción, distribución y consumo de comida, provocando grandes cambios, en su mayoría negativos para la sociedad, debido al exacerbado consumo de productos catalogados como ultra procesados (Díaz y Glaves, 2020).

Debido a lo anterior, la cantidad de aceite de cocina vegetal ha incrementado notablemente su uso por la industria alimentaria, restaurantes y hogares (Iglesias *et al.* 2012). El crecimiento de la industria alimentaria ha llegado a tal grado, que la elaboración, adquisición y consumo de aceites vegetales en el periodo comprendido entre el 2020 – 2022, en América Latina y el Caribe fue en promedio de 27,837 millones de toneladas (MT) y se estima para el año 2032 habrá una producción de 32,955 MT de aceites vegetales producidos en esta misma región. De acuerdo con un informe de la OECD-FAO, proyecta que México producirá 119,000 toneladas de aceites vegetales para el 2030 (Kumar, 2016; OECD/FAO, 2023; Ahmad *et al.* 2024). Se define como grasas y aceites, a los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente (SE, 2013).

La población en general elige los alimentos ultra procesados principalmente por el marketing, el sabor y la rapidez de preparación. El aumento del consumo de alimentos ultra procesados se relaciona con problemas de salud, como el aumento de Índice de Masa Corporal (IMC), adiposidad, enfermedades cardiovasculares, accidentes cardiovasculares e incluso aumento en la mortalidad (Vega, 2023).

Cuando las grasas y aceites de origen animal y/o vegetal (GAR) son desechados, ya sea por el uso previo, caducidad o por presentar cambios en la composición fisicoquímica y características organolépticas; debido a esta problemática se hace necesario su manejo integral como residuo, a fin de evitar su disposición inadecuada. Uno de los principales problemas es la contaminación del agua, debido a la descarga de grasas y aceites residuales a la infraestructura de drenaje (Ordoñez y Vallejo, 2023).

Estos residuos al mezclarse con restos de detergentes y jabones, llegan a generar “piedras de grasa” capaces de obstruir tuberías y colectores que al acumularse provocan derrames e inundaciones, propiciando así, malos olores, proliferación de fauna nociva, condiciones que incrementan el riesgo sanitario y ambiental; causando afectaciones a la movilidad vial y en algunos casos daños al patrimonio de los habitantes. Situación que se traduce en un aumento en los costos de mantenimiento y operación del sistema de alcantarillado y dificulta el tratamiento de las aguas residuales (Saade et al., 2025)

Por otro lado, las GAR, al ser derramados en suelos y cuerpos de agua, pueden ocasionar efectos perjudiciales debido a su baja biodegradabilidad, alterando así las condiciones fisicoquímicas y biológicas de dichos ambientes, lo cual conlleva a la pérdida de productividad, biodiversidad y de servicios eco sistémicos, entre otros (SEDEMA, 2015).

Los negocios de comida generan grandes cantidades de GAR, lo que implica riesgos ambientales significativos si no se gestionan adecuadamente. En este contexto se destaca la importancia de desarrollar soluciones integrales que

permitan el tratamiento adecuado de estas GAR. Esta solución debe contribuir a mitigar el impacto ambiental y ofrecer un beneficio económico para las empresas de alimentos (López, 2022).

Los aceites vegetales residuales de negocios de comida, se utilizan como materia prima para fabricar jabones artesanales de tocador, logrando así producir jabones artesanales de buena calidad y de interés comercial (Viejó *et al.*, 2025).

Por eso este proyecto ofrece una propuesta viable para abordar la problemática de la contaminación ambiental por aceites vegetales residuales. Las GAR representan una oportunidad económica por su potencial de ser reciclados mediante el proceso químico de saponificación, que consiste en transformar grasas en jabón, mediante una reacción con una base alcalina, como la sosa caustica. Se espera que este trabajo no solo contribuya en el área académica de la gestión de residuos, sino que establezca un precedente de cómo generar una economía circular a través del reciclaje de las GAR (López, 2022).

Por otro lado, se pretende incrementar la educación y conciencia ambiental mediante campañas de sensibilización y concientización para fomentar practicas responsables y sostenibles utilizando el reciclaje de materiales, principalmente de GAR (Viejó *et al.*, 2025).

Una de las partes más importantes dentro del proyecto es la aplicación- de lo aprendido, por lo cual se fabricará el jabón artesanal a base de AVR. Una vez terminado proseguimos a realizar pruebas de parámetros fisicoquímicos para así determinar la calidad del jabón. Dentro de estas pruebas tenemos pH, generación de espuma, contenido de sólidos y humedad, contenido de cloruros, contenido de óxidos, solubilidad y determinación de ácidos grasos totales. las cuales se comparan con el estudio realizado por Alejandro (2018), el cual se basa en analizar la calidad de jabones comercializados en México.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes del consumo de aceite vegetal

Es complicado saber con exactitud cuándo se dio origen a la comida rápida, debido a que la preparación de los alimentos con aceites vegetales se encuentra en tres diferentes periodos por la disponibilidad de fabricar aceite vegetal con diferentes tipos de semillas. El primer periodo es la civilización de los antiguos egipcios (3100 - 2650 a. de C.) esto por la variedad de semillas de aceites vegetales en esa época, el segundo nos lleva a la época de los Romanos (753–509 d. de C.) y el último abarca la edad media (Siglo v – Siglo xv), a partir de esto se dice que evoluciono no solo en el mercado, sino de la industrialización de los alimentos (Morton, 1998).

El consumo de alimentos como tradicionalmente se conoce, se ha transformado de una manera acelerada en las últimas décadas, por ejemplo, en 1948 se creó el “*Drive in restaurant*”. Este se refiere a un tipo de establecimiento en el cual puedes ser atendido sin la necesidad de salir de tu automóvil, una de las principales características de este establecimiento es el consumo de comida rápida o chatarra (Lago *et al.*, 2011).

La razón principal para adentrarse en el *Fast food* (comida rápida) es la gran demanda alimenticia, provocada por las jornadas extensas de trabajo. Debido a esta situación se busca ahorrar tiempo y esfuerzo para conseguir alimentos más fáciles. Esto provoca un incremento de residuo de aceites vegetales, que supera los 200 millones de toneladas métricas del año 2022 (Ahmad *et al.*, 2024).

Al momento que se cocina se deben tener en cuenta varios puntos (Acevedo *et al.*, 2019):

- Los aceites nuevos son libres de colesterol, por lo que no hay tanto riesgo de elevar los niveles en la sangre.
- Los ácidos grasos polinsaturados reducen el riesgo de sufrir un infarto y enfermedades cardiovasculares.

- El contenido de Fito esteroides ayuda a disminuir el colesterol en el intestino.
- Aporta sabor en los alimentos.

Por otra parte, debe señalarse que dentro del proceso de cocción o de fritura éste sufre cambios y alteraciones químicas que provocan que transforme en un residuo inútil dentro de los hogares (Pascua *et al.*, 2020).

Usualmente el aceite vegetal se reutiliza más de dos veces para la cocción de alimentos, esto genera elementos cancerígenos y otros compuestos tóxicos para los seres humanos (Pascua *et al.* 2020), como, por ejemplo, la acrilamida que se asocia con la aparición de cáncer. En el año 2002, la Administración Nacional de Alimentos de Suecia anuncio la presencia de acrilamida en alimentos ricos en carbohidratos tratados térmicamente y expuestos a más de 100 °C. Un estudio realizado por Tareke *et al.* (2002) destaca que con alimentos calentados en el laboratorio se descubrió la relación entre la temperatura con la formación de acrilamida. Se determinaron niveles moderados de acrilamida (5-50 µg/kg) en alimentos ricos en proteínas calentados y contenidos más altos (150-4000 µg/kg) en alimentos ricos en carbohidratos, como la papa, la remolacha y también ciertos productos comerciales de papa calentados y el pan crujiente.

Existen instituciones que estudian el consumo de alimentos ultra procesados, cuyos resultados determinan que dicha problemática se encuentra a nivel mundial. Dentro de la *European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition* (EPIC) la cantidad de alimentos procesados representa de un 50 al 90 % en la ingesta calórica alimentaria. Cantidades semejantes se han recibido de otras instituciones, por ejemplo, en la comunidad estadounidense y canadiense la ingesta arroja un 48 y 56 % de calorías ingeridas durante el día se observó también que los alimentos y bebidas ultra procesados han reemplazado a los productos frescos o mínimamente procesados y las comidas preparadas (Díaz y Glaves, 2020).

En México existen 126 millones de personas (INEGI, 2020) que, aproximadamente, consumen 3,000 millones de kilogramos de aceite al año, lo que hace cuestionar si a esa cantidad se le da una adecuada disposición final. Debido a esto se creó la norma NADF-012-AMBT-2015 que habla sobre el manejo de aceites residuales en el territorio de la ciudad de México, cuyo objetivo es llevar un registro o un buen manejo del residuo (Farrés, 2024).

De acuerdo con lo antes mencionado, los gobiernos han tomado acciones para mejorar la salud pública por medio de la regulación de alimentos procesados. Mediante estas regulaciones se ha logrado que la industria alimentaria realice procesos que disminuyan la presencia de grasas dañinas para los humanos (Cabezas *et al.*, 2016).

Por otro lado, también existen consecuencias negativas para el ambiente. Desde la perspectiva ecológica, cuando el aceite es mezclado con agua, genera una película que dificulta la oxigenación, provocando alteraciones en el equilibrio ecológico. Se estima que, 1 L de aceite logra contaminar hasta 40,000 L de agua, lo que también afecta el consumo de 50 personas anualmente, siendo ésta una de las problemáticas más grandes en México debido a que no existe mucha concientización para la sociedad (Pascua *et al.*, 2020).

Una de las acciones más comunes que se hacen a la hora de deshacerse del aceite de cocina es verterlo por los desagües, lo cual trae graves consecuencias, debido a que, al mezclarse el aceite con el agua, restos de comida y detergentes, se van solidificando, lo cual provoca obstrucciones de las tuberías y el alcantarillado (Pascua *et al.*, 2020)

A este desecho solidificado se le llama “Piedras de grasa”, que en ciertas ocasiones sirve como alimento para la fauna que se encuentra dentro del drenaje, lo que genera proliferación de cucarachas, ratas e insectos (Farrés, 2024).

A causa de esta problemática generada por las piedras de grasa se busca concientizar a la sociedad sobre el cuidado del agua, suelo y salud pública, teniendo como resultado este proyecto donde se reutiliza el aceite y se

transforma mediante la saponificación en jabón artesanal. De igual manera se busca evaluar la factibilidad de la elaboración de jabón, para concluir cuales son los beneficios ambientales y la calidad del producto (Alfonso *et al.*, 2020).

En resumen, los modelos de desarrollo generan una problemática ambiental ya que priorizan el crecimiento económico a toda costa. Para ello diferentes dependencias se vieron en la necesidad de hacer normativas para llevar un balance y tener una mejor calidad de vida no solo en el presente, sino también para las generaciones futuras. Debido a esto diferentes dependencias han logrado crear normas para el manejo de AVR (Farrés, 2024).

## **2.2 Normativa para evitar contaminación ambiental por Aceite Vegetal Residual**

La contaminación y la devastación de los recursos naturales son parte de la problemática del siglo XXI, originada a partir de la Primera Revolución Industrial (1760-1840), provocada por las emisiones contaminantes que hasta el día de hoy han incrementado (Salas, 2021).

En el 1970 nace la educación ambiental con el objetivo de formar mejores personas desde sus primeros años de escuela, para que sean capaces de darle la importancia al cuidado de los ecosistemas para la sociedad y las futuras generaciones (Baccá y Mena, 2021).

La problemática de la contaminación es parte de diferentes sectores de la sociedad: urbanismo, educación, salud, ciencia, industria, comercio, minería y agricultura, lo que lleva a buscar posibles soluciones para evitar ese impacto negativo (Salas, 2021).

Sin embargo, el componente ambiental existe en función de un desarrollo sustentable y una planificación razonable con el objetivo principal de proteger la naturaleza ante posibles impactos ambientales, éste debe guiar a las autoridades para la creación de áreas de protección que se basan en la preservación de la naturaleza, aún más, cuando no se tiene la capacidad de recepción necesaria para almacenar los residuos que se generan día con día (Cobos *et al.*, 2021).

En la actualidad se logra comprender que la legislación ambiental es una normativa que lleva un control en las actividades humanas, políticas y de administración para así proteger el ambiente (Cobos *et al.*, 2021).

### **2.2.1 La norma NADF-012-AMBT-2015**

*Que establece las condiciones y especificaciones técnicas para el manejo integral de grasas y aceites de origen animal y/o vegetal residual en el territorio de la ciudad de México.*

La secretaria del Medio Ambiente (SEDEMA) del Gobierno de la Ciudad de México publicó en la Gaceta oficial Capitalina el día 12 de junio, la Norma Ambiental Federal NADF-012-AMB-2015, en ella se establecen las cláusulas y condiciones para tener un buen manejo de grasas y aceites residuales de origen animal y/o vegetal. El objetivo principal de esta norma es administrar el manejo AVR no solo en la ciudadanía, sino también en la industria y los lugares comerciales que se encuentran en la ciudad de México. Es de gran importancia saber que, cuando las fuentes generadoras de aceite residual vierten en el drenaje este residuo se mezcla con comida, suavizantes o jabones de lavandería, lo que provoca obstrucciones, teniendo como consecuencia inundaciones por tuberías colapsadas (SEDEMA, 2015).

A causa de esto emergen olores desagradables y riesgos sanitarios, los cuales no solo representan dificultades sanitarias, sino también económicos debido al mantenimiento del alcantarillado (SEDEMA, 2015).

### **2.2.2 La norma NOM-052-SEMARNAT-2005**

*Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.*

Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas, y biológico-infecciosas, y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario

determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen.

Los avances científicos y tecnológicos y la experiencia internacional sobre la caracterización de los residuos peligrosos han permitido definir como constituyentes tóxicos ambientales, agudos y crónicos a aquellas sustancias químicas que son capaces de producir efectos adversos a la salud o al ambiente.

En esta norma se establece el proceso para determinar por medio de sus características si un residuo es peligroso y explica el proceso detallado para enlistarlos y manejarlos (SEMARNAT, 2005).

### **2.2.3 La norma NMX-AA-005-SCFI-2013**

*Norma Mexicana que establece: Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.*

El método que se aplica en esta norma logra determinar las sustancias del contenido de grasas y aceites en aguas residuales y aguas tratadas. Se logra analizar con hexano de una muestra acidificada. La medición de grasas y aceites logra determinar la contaminación de agua por uso industrial y humano (Diario Oficial de la Federación, 2013).

### **2.2.4 La norma NOM-068-ECOL-1994**

*Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.*

Las aguas residuales de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, son las que provienen de los procesos de extracción por prensado y/o solventes, refinación (desgomado, neutralizado, blanqueado, deodorizado, desencerado y/o invernado), fraccionación, acidulación e hidrogenación. Dentro de esta norma se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales ya que es de carácter

obligatorio para los responsables de la industria generadora de aceites y grasas comestibles.

**Cuadro 1** Límites máximos permisibles de contaminantes en agua

PARÁMETROS	LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Ph	6-9	6-9
Demanda química de oxígeno (mg/L)	290	380
Grasas y aceites (mg/L)	50	80
Sólidos sedimentales (mL/L)	1.0	2.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	130	160

### 2.2.5 La norma NOM-161-SEMARNAT-2011

*Norma Oficial Mexicana, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.*

Esta norma indica que gran parte de los residuos que se generan en los procesos industriales, y actividades comerciales y de servicios, como subproductos no deseados o como productos fuera de especificación, son Residuos de Manejo Especial. Incorporados a tales residuos, se generan residuos derivados del consumo, operación y mantenimiento de las demás áreas que forman parte de las instalaciones industriales, comerciales y de servicios, como oficinas, comedores, sanitarios y mantenimiento, los cuales por sus características se consideran como Residuos Sólidos Urbanos, pero que por sus volúmenes de generación superiores a 10 toneladas por año o su equivalente en otras unidades, se convierten en Residuos de Manejo Especial (SEMARNAT, 2011).

En el anexo normativo “Listado de residuos de manejo especial sujetos a presentar plan de manejo”, en el apartado VII, inciso C, “Productos que al

transcurrir su vida útil requiere de un manejo específico y que sean generados por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas por residuo al año”, se incluye al aceite vegetal usado como residuo de manejo especial (SEMARNAT,2011).

### 2.2.6. La norma NMX-Q-003-NYCE-2018

*Jabón de tocador-especificaciones y métodos de prueba.*

Esta norma mexicana es un estándar de calidad que contiene las especificaciones aplicables a los jabones de tocador que sirve como referente de calidad en determinaciones como:

**Cuadro 2** Valores recomendados en jabones artesanales

Humedad	Máximo 22 %
Ácidos grasos totales	Mínimo 40 %
Álcali libre (como NaOH)	Máximo 0.05 %
Cloruro (como NaCl)	Máximo 1.5 %
Insolubles en alcohol	Máximo 6 %

### 2.3 Importancia del reciclaje.

En la actualidad, México enfrenta dificultades para remediar los problemas ambientales, los cuales dañarían la sustentabilidad en el futuro; dentro de esta problemática se incluye el cambio climático, la contaminación, el deterioro ambiental y la escasez de recursos hídricos. Por ello dentro de la educación es importante tener el conocimiento de un desarrollo sostenible, ya que representa uno de los elementos más importantes para bienestar ambiental y el cuidado de la salud (Anzules y Castro, 2022).

Esto solo será posible si se crea conciencia ambiental, lo que establece un proceso de juicio, lógica y coherencia para la toma de decisiones con el objetivo de lograr un desarrollo sustentable (Campos y Contreras, 2019).

En 1987 nace el concepto “Desarrollo sustentable” en el informe Brundtland que se publicó como trabajo de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el cual tiene tres objetivos:

- Un crecimiento que tenga en cuenta las necesidades del presente
- Un crecimiento en el que no se vea afectado el medio ambiente
- Un crecimiento que no comprometa o afecte las futuras generaciones

Este puede abarcar varios sistemas de sustentabilidad, en los cuales se encuentran:

- Un sistema innovador que sea capaz de arrojar un evas soluciones.
- Un sistema que logre cumplir al pie de la letra la preservación de la naturaleza y el cuidado del medio ambiente.
- Que cuente con una excelente administración.
- Que tenga modelos de finanzas y comercio

Cabe destacar que se ven involucradas otras variables como lo son la economía, agricultura y el desarrollo urbano (Uzcategui, 2023):

- Administración de residuos.

El ciclo de vida de los residuos inicia desde que se generan, se acumulan, se recolectan, se trasladan y llegan al sitio de recolección, es éste punto el más importante ya que estos lugares deben cumplir con las normas para su almacenamiento o disposición final. Dichas dependencias de recolección deben de promover la cultura del reciclado, impulsando así la educación ambiental para obtener mejor calidad de vida.

De igual manera existen otras alternativas para abatir la problemática de la contaminación ambiental, dentro de éstas se encuentran “Las 3R” cuyo objetivo es cuidar el medio ambiente, específicamente para reducir el volumen de

residuos o basura generada. Las 3R ayudan a bajar la producción de basura, ahorrar dinero y ser un consumidor más responsable, así disminuye la huella de carbono. Lo mejor de todo es que son actividades muy fáciles y se obtienen varios beneficios (Chamán, 2019).

Dentro de estas acciones se incluye (Chamán, 2019):

- REDUCIR: su objetivo es disminuir la cantidad de residuos a la hora de consumir ciertos productos, ya que estos van directo a los desperdicios y no se le da un buen manejo
- REUTILIZAR: esto se refiere a darle un segundo uso a las cosas, usarlo la mayor cantidad de veces posible antes de deshacernos de estas. Así se logra reducir el volumen de basura.
- RECICLAR: se basa en someter a los materiales desechados a un proceso para volverlos a utilizar, evitando que se utilicen nuevos materiales y haya más basura.

## **2.4 Economía circular**

En la actualidad, se han identificado los paradigmas económicos gracias a la globalización, alentando así la necesidad de una economía sustentable que contribuya de una manera positiva a la preservación de la naturaleza, evitando la contaminación de ésta (Panceri, 2021).

Durante la economía circular se generan desafíos y oportunidades para implementar un modelo de desarrollo sustentable donde se obtenga igualdad social, una mejor calidad de vida para las futuras generaciones y un equilibrio ambiental a nivel mundial. De esta forma la economía circular surge como la mejor opción para las necesidades del desarrollo económico, cuidado del ambiente y las preocupaciones sociales (Nencheva *et al.*, 2024).

El impacto ambiental negativo de la economía lineal está cada vez más a la vanguardia de los programas mundiales, no sólo entre los encargados de la formulación de políticas y la sociedad civil, sino también en la comunidad empresarial. Más allá del agotamiento de los recursos naturales, los modelos

lineales actuales también están teniendo los dramáticos efectos en el ambiente a través de las emisiones de CO<sub>2</sub> el cambio climático, la pérdida de biodiversidad (Herrera *et al.*, 2023).

Por milenios la economía fue lineal pero la primera revolución industrial trajo innovación y aumento de la productividad que incrementó el impacto en el ambiente. Esta se somete a un proceso de innovación y se puede definir como Economía Circular (EC) y aunque el concepto se dio a conocer desde 1966 por Kenneth Boulding a finales de los años 70 se hizo relevante para reducir los daños y maximizar el aprovechamiento de los productos. Con el propósito de retribuir a las necesidades de los consumidores surgen diferentes alternativas para mejorar el modelo de la Economía Circular (Rodríguez, 2012):

- Los residuos logran transformarse en recurso: El material biodegradable logra reincorporarse a la naturaleza y el material no biodegradable se reutiliza.
- Un segundo uso: los productos que no cuentan con las necesidades principales de los consumidores logran reincorporarse de nuevo.
- Reutilizar: reusar ciertos productos para la fabricación de nuevas cosas.
- Reparación: arreglo de productos dañados.
- Reciclaje: procesar los residuos o tratarlos para convertirlos en algo nuevo.
- Valorización: aprovechar energéticamente los residuos que no pueden reciclarse.
- Economía de funcionalidad: la economía circular propone eliminar la venta de productos en muchos casos para implementar un sistema de alquiler de bienes. Cuando el producto finaliza su función principal regresa a la empresa, que lo desmontará para reutilizar sus piezas válidas.
- Energía procedente de fuentes renovables: en este punto es importante eliminar los combustibles fósiles para elaborar el producto, reutilizar y reciclar.

- La eco-concepción: es un enfoque que tiene como objetivo disminuir el impacto ambiental desde su creación hasta que ya no sea útil.
- Ecología industrial y territorial: es un movimiento que busca reducir el impacto negativo de la industria hacia el medio ambiente.

## **2.5 Tipos de contaminación por Aceite Vegetal Residual**

Se considera contaminación ambiental a la presencia de elementos nocivos para los humanos y los ecosistemas. Lamentablemente 7 millones de personas mueren al año a causa de estos efectos negativos de la contaminación (Farrés, 2024).

El mal manejo de los desechos y la inadecuada disposición final, provoca una serie de consecuencias ambientales en la calidad del agua, suelo y aire, lo que conduce a los problemas en la salud de la sociedad. De igual manera existe una problemática con respecto a los lixiviados ya que afectan y contaminan los mantos acuíferos (González y Villalobos, 2021).

A continuación, se describen los tipos de contaminación por la inadecuada disposición final del aceite:

### **2.5.1 Contaminación de agua por Aceite Vegetal Residual**

En la actualidad, existen una serie de desechos que influyen desfavorablemente el sistema de alcantarillado y tuberías, debido a que la mayoría de las personas vierten aceites y grasas comerciales y estas se almacenan en diferentes sistemas puntos u obras hidráulicas (Collin *et al.*, 2020).

Estos desechos al verterlos por el desagüe forman películas impermeables, afectando la vida acuática. Dicha problemática no solo impacta al ambiente, sino también representa un gasto económico para el gobierno, debido a la inadecuada disposición del aceite provoca que colapsen las tuberías. De igual manera al solidificarse se alimenta la fauna nociva (Barrantes, 2021).

Cuando se vierte erróneamente un litro de aceite de cocina usado, éste puede contaminar en 40000 de litros de agua, generando así graves problemas

ambientales por eso la gran importancia del reciclaje de este residuo (González y González, 2015).

### **2.5.2 Contaminación de suelo por Aceite Vegetal Residual**

La contaminación de suelo nace debido a que el aceite residual tiene un alto porcentaje de compuestos tóxicos los cuales deterioran el humus, contaminan mantos acuíferos, siendo esta una problemática para el consumo humano, animal y agrícola, provocando un daño en la economía debido a que el suelo en esas condiciones no se puede utilizar (Padilla *et al.*, 2022).

Dentro de las causas principales están las actividades antropogénicas, ya que ocurren derrames accidentales de aceite, en donde se ve afectada la fertilidad del suelo, el humus y la materia orgánica. Por eso la importancia de una buena disposición final del aceite e incluso el reciclaje de éste transformándolo en jabón artesanal evitando derrames y contaminación (Medina *et al.*, 2019)

### **2.5.3 Compuestos tóxicos por Aceite Vegetal Residual**

Durante el proceso de las frituras, disminuyen los ácidos grasos debido al hidrolisis, esto provoca que el aceite se vuelva más denso a causa de la polimerización. De igual forma este aceite reusado genera ácidos grasos que agilizan la coagulación en la sangre aumentando el riesgo de sufrir un infarto (Viola *et al.*, 2019).

Para los establecimientos es importante saber de qué están hechos los sartenes comerciales y las freidoras por lo que se hizo una investigación referente al material debido a que se tiene que analizar el calibre de la lámina, la oxidación, así como la resistencia a la temperatura y se concluyó gracias a los resultados que la mayoría son de acero inoxidable y algunos de aluminio por lo que en este caso es conveniente usar de acero inoxidable (Baños *et al.*, 2019)

La mayoría de negocios de comida reutilizan el aceite para freír más porciones de comida, en algunos llegan a reutilizar de 20-30 veces en un lapso de 8 horas asumiendo que el cambio y la limpieza sea semanal. Conforme se utiliza se va añadiendo aceite adicional ya que se gasta en cada comida frita. La mezcla de

aceite nuevo con aceite usado llega a altera la catálisis, esta práctica es recomendada para que se mantengan los ácidos grasos y evitar que se formen compuestos tóxicos (Villasmil *et al.*, 2020)

Debido a este tipo de irresponsabilidades en la salud alimentarias, los cambios físico-químicos y nutricionales que presentan los alimentos son de alta importancia para la salud de los consumidores por las consecuencias que se pueden presentar. El estudio de la calidad alimentaria es una herramienta eficiente que mide seguridad de la comida procesada así garantiza formación de nuevos alimentos que sean benéficos para los humanos (Viola *et al.*, 2019).

Por lo tanto, el buen manejo de las grasas en los restaurantes es de alto valor, así se minimizan los riesgos de absorción de compuestos tóxicos o cancerígenos, ya que al exponer los alimentos a altas temperaturas van modificando sus componentes (Movahed *et al.*, 2019).

## **2.6 Alternativas para evitar contaminación ambiental**

La búsqueda de alternativas que contribuyan a disminuir la contaminación por los aceites usados de cocina a través de la utilización comercial resulta de gran importancia. Tales aceites pueden registrarse a una cadena de producción como materia prima para la fabricación de jabón, abono, lubricante, fabricación de ceras, pinturas y barniz, o como biocombustible para vehículos. Es indispensable analizar las alternativas para reducir el impacto que causa el vertimiento de aceites al ambiente, ya que la mayor parte de la sociedad actual no está dispuesta a disminuir su nivel de consumo (Farrés, 2024).

### **2.6.1 Jabón con Aceite Vegetal Residual**

La fabricación de jabón nace en la época egipcia y hasta el día de hoy es una herramienta de aseo personal lo cual representa una gran importancia. De igual manera la sociedad analiza su procedencia y prefieren los productos amigables para el ambiente, aumentando así su demanda, logrando un impacto positivo en el medio ambiente. Para que la fabricación de jabón se obtenga de una manera

adecuada se filtra el aceite recolectado para la eliminación de impurezas, evaluando así las condiciones del aceite de cocina recolectado para determinar si se obtendrá un buen resultado. (Farrés, 2024).

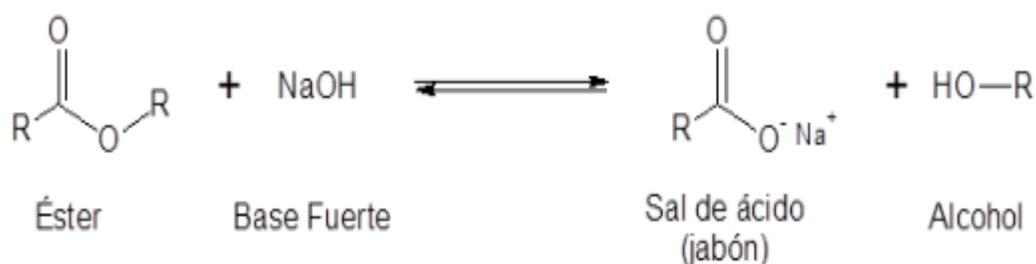
### 2.6.1.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos con componentes esenciales de los jabones, ya que son los que permiten limpiar y emulsionar. Estos ácidos son cadenas largas de carbono e hidrogeno con un grupo carboxilo (COOH) en uno de sus extremos. Dichos ácidos se obtienen de grasas y aceites al reaccionar con una base (Hidróxido de sodio) a través del proceso de saponificación se convierte en sales que forman las bases del jabón (Félix *et al.*, 2017).

El mínimo de ácidos grasos totales en el jabón, también conocido como TFM (Materia Grasa Total), varía según la calidad del jabón y su aplicación. Según la NMX-Q-003-NYCE-2018 los jabones de tocador deben tener un mínimo de 40% de sales de ácidos grasos.

### 2.6.1.3 Saponificación

Muñoz (2020), expone que se trata de una reacción química dentro de la mezcla de grasas y aceites con sosa, previamente se genera la sal del ácido como producto, las bases o alcalinos se transforman en sales de sodio o potasio, estas actúan como poder caustico, logrando la producción de jabón y glicerina.



**Ilustración 1** Proceso de Saponificación. Imagen por Adriana González, 2024

La elaboración de este producto se puede obtener mediante dos diferentes procesos de saponificación: Hot Process y Cold Process los cuales se describen a continuación.

#### **2.6.1.3.1 Hot Process**

El Hot process consiste en la fusión de grasas duras, aceite vegetal residual y sosa caustica, la cual se mezcla con agua destilada para así lograr la saponificación de una manera adecuada. Posteriormente las grasas duras se exponen a altas temperaturas para derretirse, una vez derretidas se vierte la sosa dentro del recipiente y se bate con una espátula durante 60 minutos aproximadamente hasta obtener una mezcla espesa la cual se vaciará a moldes de silicón para el proceso de secado (24 horas). Una vez solidada la mezcla se desmolda y se hacen las pruebas de calidad.

#### **2.6.1.3.2 Cold Process**

El Cold process es una técnica más fácil y rápida a diferencia del hot process debido a que el aceite no se somete a altas temperaturas. Una vez filtrado el aceite, los reactivos listos y los moldes limpios comenzamos con las siguientes instrucciones (Farrés, 2024).

La sosa (NaOH) se mezcla con agua destilada se deja enfriar a temperatura ambiente (25 -30 °C), ya que debido a la reacción que se obtiene, la temperatura aumenta entre los 85 a 90 °C.

- Cuando la sosa haya llegado a temperatura ambiente, se vierte al aceite, para así agitar hasta que se forme la traza (es llamado así cuando la mezcla cambia su forma líquida a una forma más espesa).
- Una vez formada la traza se vacía la mezcla al molde y se deja reposar 24 horas.
- Después de las 24 horas se desmolda y se deja curar aproximadamente 21 días, así se evita alguna reacción alérgica en la piel.

Una parte importante es la evaluación de la calidad del jabón, para determinar si es viable el proceso y si el producto no causa alguna alteración en la piel. Dentro de estos análisis de calidad se obtiene: la capacidad limpiadora, solubilidad, pH, espuma y humedad (Antonić, *et al.*, 2020).

Ambos tipos de elaboración de jabón se considera una alternativa demasiado útil ya que no son costosas, son sustentable y debido a eso se manejan residuos domésticos, de diferentes comunidades o restaurantes. No obstante, hay que analizar la calidad del aceite usado a la hora de trabajar ya que mediante la evaluación se determina la capacidad de saponificación (Farrés, 2024).

### **2.6.2 Biodiesel con Aceite Vegetal Residual**

El descenso de las reservas de petróleo y la problemática ambiental provocada por los combustibles fósiles ha originado la investigación de nuevas fuentes de energía, en las que se encuentra el biodiesel. Se llama biodiesel a un producto en el que existen mono ésteres de ácidos grasos, originados de la transesterificación de triglicéridos y esterificación de ácidos grasos libres con alcohol (Avagyan y Singh, 2019).

La materia prima para la producción de este biocombustible es de gran importancia ya que varía entre países por la ubicación geográfica y los procesos agrícolas (León *et al.*, 2024).

La materia prima juega un papel importante en la producción de biodiesel ya que es utilizada para generar este biocombustible difiere entre países en función de su ubicación geográfica y sus prácticas agrícolas.

De acuerdo con Atabani *et al.* (2012), señalan que más de 350 cultivos para la producción de biodiesel. Sin embargo, la materia prima que se encuentra en primer lugar para la creación de biocombustibles es el aceite vegetal del cuales se catalogan como comestibles y no comestibles. En la variedad de aceite comestible utilizado para la creación de biocombustible se encuentra el aceite de palma (*Elaeis guineensis*), *aceite de canola (Brassica napus)* y aceite de soja

(*Glycine max*). Por otra parte, en los no comestibles se tiene el aceite de semilla de caucho, aceite de girasol usado, aceite de jatropha (planta oleaginosa no comestible que crece en clima semiárido) y aceite de ricino (*Ricinus communis*) (León *et al.*, 2024).

Cabe mencionar que, en algunas ocasiones el residuo del proceso en el aceite usado impide la producción eficiente de biodiesel porque genera compuestos de inhibición, particularmente de ácidos grasos que llevan a la producción de jabón, lo cual llega a afectar el procedimiento y la calidad. Sin embargo, es una de las mejores alternativas para la transformación del residuo del aceite ya que no genera grandes costos, minimiza el impacto negativo en el ambiente y ayuda en el sector agrícola (Acevedo, 2019).

### **2.6.3 Bioplásticos con Aceite Vegetal Residual**

Debido a la problemática de contaminación con residuos plásticos se ha orillado a buscar alternativas de productos que sean más viables para el ambiente, ya que éstos tienen un ciclo de vida muy largo. Los “Bio plásticos” destacan ya que son polímeros que cuentan con enlaces que pueden ser atacados por enzimas disponibles de la naturaleza (Rosenboom, 2022).

Dentro de la fabricación de Bioplásticos se utiliza el aceite usado de cocina como una fuente de carbono. En los resultados se logra apreciar que los microorganismos son viables ya que son capaces de desarrollarse en aguas residuales que se obtienen a la hora de producir aceite de oliva, un ejemplo es el polihidroxialcanoato (PHA) (Farrés, 2024).

En el PHA se obtienen diferentes productos de microorganismos y algas como lo son:

- Ramnolípidos biosurfactantes producidos por *Pseudomonas aeruginosa*  
*Pb 25* producida por la especie *Streotomyces griseus*
- Riboflavina producida por *Ashbya gossypii*
- Lipasa producida por *Bacillus cereus*, *Rhodotorula glutinis*, *Yarrowia lipolytica*

- Lípidos producidos por *Yarrowia lipolytica*
- Carotenos
- Ácido oxálico producido por *Aspergillus*
- Ácido cítrico producido por *Penicillium expansum*
- Bisabolenos (*Sesquiterpenos*)
- Plastificantes
- Poliuretano
- Biolubricantes

Éstas se generan en presencia del aceite de cocina como iniciador metabólico o reaccionando como transesterificación, epoxidación, entre otras (Farrés, 2024).

#### **2.6.4 Alimentación animal**

Los aceites vegetales generan un alto valor energético, por lo cual el marco legal los aprobó como ingrediente importante dentro del alimento para ganado, ya que no solo se aprovecha el residuo, sino también es benéfica para el ganado. Esto representa una alternativa más económica, la cual aumentara la viabilidad de la cadena alimentaria. De igual manera puede haber consecuencias negativas, ya que se pueden desarrollar compuestos cancerígenos o tóxicos si no se analiza a fondo el proceso (Ganesan *et al.*, 2019).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1 Localización del experimento

El siguiente estudio se realizó durante los meses de septiembre a octubre de 2024, en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México. Cuyo lugar tiene las siguientes coordenadas geográficas 25° 33' 19" N 103° 22' 14" O y con una altura de 1120 msnm.



**Ilustración 2** Locación donde se realizó el experimento.

#### 3.2 Tratamientos evaluados

Para realizar este experimento, se seleccionaron seis tipos de formulación de jabón para someterlos a diferentes análisis, y así determinar su calidad. Cada formulación tuvo tres repeticiones.

Las grasas y mantecas para las formulaciones de estos jabones se obtuvieron de diferentes restaurantes y negocios de comida de la Comarca Lagunera, a los cuales fue necesario acudir personalmente para su recolección. Como resultado se pudo observar la diferencia de calidad y saponificación.

### 3.3 Tipos de Saponificación aplicados

Para la reacción de saponificación se utilizaron dos procesos, en caliente (*Hot Process*) y en frío (*Cold process*).

El *Hot Process* se utilizó para cuatro formulaciones de jabón y sus repeticiones, en el cual se usó más de una variedad de grasas para enriquecer la consistencia del jabón y mejorar sus efectos en la piel. Dicho proceso consistió en calentar los diferentes tipos de aceites a una temperatura de entre 150 a 200 °C, para así continuar con la incorporación de la sosa caustica (NaOH), agitar hasta que la consistencia se haga espesa (traza) y vaciar a los moldes para su secado de 24 horas (Márquez *et al.*, 2024).



**Ilustración 3** Hot Process (en caliente)

Por otra parte, el *Cold process* se utilizó para las dos formulaciones de jabón faltantes, las cuales están hechas con aceite de cocina y manteca de cerdo. Este método de saponificación se considera el más común en la fabricación de jabón artesanal, dado que requiere insumos y materiales que están al alcance de cualquier persona. A diferencia del *Hot Process* no es necesario calentar las grasas requeridas, solamente la incorporación de la sosa caustica (NaOH) hasta que se haga la traza y se pueda vaciar a los moldes. Al concluir este

procedimiento, el proceso de curado fue de 3 semanas para así proceder a las pruebas de calidad de los jabones (Farrés, 2024).



**Ilustración 4** Cold process (en frío)

### **3.4 Variables de calidad analizadas en el jabón**

Las siguientes evaluaciones ayudarán a determinar la calidad de los jabones fabricados, se determinará su eficiencia en agua destilada, así como en agua potable de la red de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de igual manera se conocerán porcentajes de los componentes para determinar si son saludables para la piel.

#### **3.4.1 Prueba de humedad y sólidos en el jabón.**

En esta prueba se determinará qué porcentaje de la masa total corresponde a la humedad y que porcentaje corresponde a los sólidos. Esto es muy importante porque si se obtiene un porcentaje de humedad muy bajo, la apariencia del jabón

tendrá grietas y estará reseco. Por otra parte, si el porcentaje de humedad es muy alto, no tendrá la dureza requerida y este perderá su forma demasiado rápido, causando un problema con los consumidores debido a su mala textura.

Para esta prueba se toma una muestra de jabón en escamas, la cual será sometida a  $120^{\circ}$ , por 90 minutos para volatilizar el agua presente en jabón, después se hacen los cálculos con el peso inicial y el peso final.

El material y reactivos para determinar los porcentajes de humedad y sólidos en el jabón

1. Vaso de precipitado
2. Balanza analítica
3. Espátula
4. Estufa
5. Guantes de cuero
6. Agua destilada

El procedimiento para la determinación de humedad y sólidos totales se describe a continuación:

1. Con la espátula o navaja se talla el jabón para lograr obtener las escamas.
2. Pesamos 2 g de jabón y lo introducimos en capsulas de aluminio etiquetando cada muestra para llevar un control.
3. Calentar la estufa a  $120^{\circ}\text{C}$ .
4. Cuando la estufa llega a  $120^{\circ}\text{C}$ , introducimos las capsulas con las muestras de jabón, utilizando guantes y pinzas de crisol por precaución.
5. Se dejan las muestras 90 min dentro de la estufa a  $120^{\circ}\text{C}$ , al cumplir el tiempo se retiran de la estufa y se pesa nuevamente la cápsula con la muestra de jabón.
6. Una vez que se pesan las capsulas se determina el agua evaporada y los sólidos totales de las muestras, con la fórmula establecida.



**Ilustración 5** Prueba de Humedad y sólidos

Fórmula para la determinación de humedad.

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{Peso Agua Evaporada}}{\text{Peso Muestra}} \times 100$$

$$\text{Sólidos} (\%) = \frac{\text{Peso Sólidos}}{\text{Peso Muestra}} \times 100$$

En donde:

Peso Agua Evaporada (g): Peso del agua evaporada durante el calentamiento

Peso Muestra (g): Peso de la muestra jabón en escamas

Peso Sólidos (g): Peso de escamas de jabón después de calentamiento

Humedad (%): Porcentaje de humedad

Sólidos (%): Porcentaje de sólidos

### **3.4.2 Resistencia a la penetración.**

La prueba de resistencia a la penetración está relacionada con la dureza del material, una baja dureza puede indicar que existe gran cantidad de burbujas de aire atrapadas en la mezcla, o bien, que, durante el proceso de mezclado, no se realizó adecuadamente la homogenización de los reactivos, lo que puede provocar una textura granulada, afectando la calidad final del producto. Otra razón para analizar la resistencia a la penetración es el porcentaje de cloruros, ya que, si existe una cantidad muy elevada, ésta afectará la consistencia del jabón. Con ayuda de un penetrómetro (FHT200, Extech Instruments®), se registró la dureza y compactación de los seis tipos de jabón. Se esperan variaciones en los resultados de las durezas debido a las diferentes grasas y aceites utilizadas para realizar las formulaciones.

A continuación, se muestra el procedimiento para esta prueba.

Material.

1. Penetrómetro, marca Extech Instruments, modelo FHT200.

Procedimiento para medir la dureza.

2. Introducir poco a poco el Penetrómetro en cada una de las muestras de jabón.
3. Registrar los datos de cada lectura.



**Ilustración 6** Equipo utilizado para la prueba de dureza.

### 3.4.3 Solubilidad.

Esta prueba de solubilidad permite analizar si los jabones son solubles o insolubles en presencia de agua destilada. Para este análisis se necesita el 1 % de la masa del jabón, por lo tanto, se necesitan 2 g de jabón que será diluido en 200 mL de agua.

El material y reactivos requerido para la prueba de solubilidad es:

1. Matraces Erlenmeyer de 250 mL
2. Balanza analítica
3. Parrilla
4. Imán
5. Espátula o navaja

## 6. Agua destilada

Procedimiento experimental para la determinación de solubilidad en los jabones.

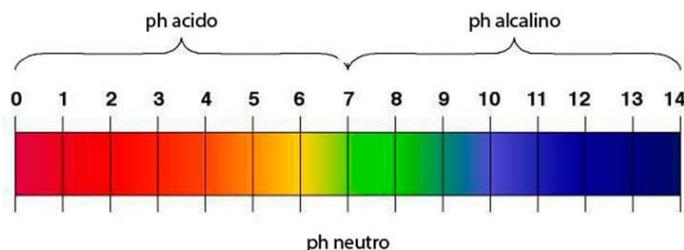
1. Se pesan 2 g de jabón en escamas y se vierte al matraz Erlenmeyer de 250 mL.
2. Se agregan 200 mL de agua destilada al matraz Erlenmeyer, el cual se deja reposar 5 minutos para que la muestra de jabón absorba humedad.
3. Agitar en la parrilla con ayuda de un imán durante 2 minutos.
4. Hacer la determinación visual de solubilidad y clasificar en poco soluble, soluble o muy soluble.



**Ilustración 7** Prueba de solubilidad

### 3.4.4 pH.

El potencial de hidrogeno (pH) es una medida que representa la acidez o alcalinidad de cualquier sustancia. En la vida diaria tenemos contacto con diferentes productos a los que se les puede determinar el pH, como lo son alimentos, bebidas, productos de limpieza, cosméticos, etc. La escala de pH va de 0 a 14, clasificándose de la siguiente manera (Alejandro, 2018):



**Ilustración 8** Escala de pH

#### 3.4.4.1 Importancia del pH en los jabones

Analizar el pH en los jabones es importante ya que este parámetro puede tener un impacto directo en la salud y el bienestar de la piel de los usuarios de este producto. Un jabón con un pH elevado (alcalino) puede perturbar el equilibrio natural de la piel, eliminando sus aceites naturales, lo que lleva a sequedad, irritación y en algunos casos, a condiciones como eczema o dermatitis (Wrozyzna et al., 2022).

Los jabones artesanales, especialmente aquellos creados mediante el proceso de saponificación en frío, tienden a tener un pH alcalino que oscila entre 9 y 10. Aunque esto es más alcalino que el pH natural de la piel, los jabones artesanales están formulados con ingredientes naturales y aceites esenciales que compensan esta diferencia, ayudando a mantener la piel hidratada y saludable, si el pH llega a 11, ya es riesgoso para la piel ya que causara irritación. Wrozyzna, S., Agudo, R., Alonso, G., & Martín, J. (2022). Fabricación de jabón casero. *Ingenia Materiales*, (4), 10-13.

Dentro de la prueba se utilizará 1 % de jabón en escamas diluido con agua destilada implementando el potenciómetro, el cual nos dará la medida exacta de pH.

Material y reactivos.

1. Matraces Erlenmeyer de 250 mL
2. Balanza analítica
3. Espátula
4. Potenciómetro Thermo Scientific, Orion Star A211
5. Vaso de precipitado
6. Agua destilada
7. Solución de buffer pH 7
8. Solución de buffer pH 10

Procedimiento para la medición de pH.

1. Pesar 1 g de escamas de jabón y se agrega al matraz Erlenmeyer de 250 mL
2. Verter 100 mL de agua destilada al matraz y se deja reposar 5 minutos para que la escamas absorban humedad.
3. Posteriormente calibramos el potenciómetro con solución Buffer.
4. Durante 2 minutos se agita el agua destilada con el jabón.
5. Medimos el pH utilizando el potenciómetro y registramos los valores de cada tipo de jabón.



**Ilustración 9** Potenciómetro y soluciones de Buffer para medir pH

### 3.4.5 Espuma.

El propósito de esta prueba es determinar el funcionamiento de jabón fabricado en dos diferentes tipos de agua, agua destilada y agua de la red pública. El agua de la red pública contiene diferentes concentraciones de sales minerales y sales disueltas, sin embargo, el agua destilada no contiene sales, por lo tanto, la dureza del agua, es decir, altas cantidades de sales de calcio y magnesio, afecta la generación de espuma de un jabón porque los minerales del agua reaccionan con los compuestos del jabón, forman un precipitado sólido y reducen su eficacia. Por otro lado, es menor la eficacia de limpieza y deja residuos (Alejandro, 2018).

Materiales y reactivos para la prueba de espuma.

1. Matraces Erlenmeyer de 250 mL.
2. Balanza analítica
3. Espátula
4. Vaso de precipitado
5. Agua destilada
6. Agua potable



**Ilustración 10** Agitación para la prueba de espuma

Procedimiento para la prueba de espuma.

1. Se pesan 2 g de jabón en escamas y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
2. Se agregan 100 mL de agua, destilada o agua potable, según sea el caso.
3. Dejamos reposar minutos para que las muestras absorban humedad.
4. Agitamos durante 2 minutos.
5. Una vez agitado medimos el volumen de la espuma de manera visual.
6. Posteriormente registramos cada valor.

En la figura 11 se aprecia la diferencia entre cada repetición de las muestras de los diferentes tipos de jabón.



Ilustración 11 Diluciones prueba de espuma

#### 3.4.5.1 Parámetros de agua potable: calcio, magnesio y cloruros.

Estas pruebas son importantes para el análisis de espuma. El calcio, el magnesio y los cloruros entre otros parámetros, determinan la eficiencia y el funcionamiento del jabón por su electronegatividad. Estas determinaciones se llevarán a cabo con el agua potable de la red pública.

#### Materiales y reactivos para prueba de Ca y Mg.

1. Bureta de 25 mL.
2. Matraces Erlenmeyer de 125 mL.
3. Pipetas
4. Solución amortiguadora o solución Buffer.
5. Indicador negro de Eriocromo T.
6. Solución EDTA 0.02 N.
7. Solución NaOH 4 H
8. Solución dietilditiocarbamato de sodio al 1 %.
9. Murexida.
10. Agua destilada.



**Ilustración 12** Material para determinación de Ca y Mg

### 3.4.5.2 Procedimiento para determinación de Ca y Mg.

1. En un matraz de 125 mL, colocar 5 mL de la muestra.
2. Después agregamos 5 mL de agua destilada, 1 mL de solución de buffer, una gota de Negro de Eriocromo T.
3. Agitar.
4. Titular con solución de EDTA 0.02 N.
5. Observar el cambio de color de rojo vino a azul.
6. Por último, cuantificar los mL utilizados.

### Fórmula.

$$Ca + Mg \left( \frac{meq}{L} \right) = \frac{mL\ EDN \times N \times 100}{mL\ muestra}$$

### Determinación de $\text{Ca}^{++}$

1. En un matraz de 125 colocar 5 mL de la muestra de agua.
2. Agregar 5 mL de agua destilada, 5 gotas de dietilditiocarbamato de sodio al 1 %, 5 gotas de NaOH 4 N, una pizca de murexida.
3. Agitar.
4. Titular con solución de EDTA 0.02 N.
5. Por último, se observa el cambio de color de rosa a morado brillante y se hacen los cálculos con la siguiente formula.

$$\text{Ca}(\text{meq/L})$$

$$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = X$$

$$\text{meq/lto Mg}^{++} = X - \text{Ca}^{++}$$

### Materiales y reactivos para determinación de cloruros.

1. Matraz Erlenmeyer de 125 mL.
2. Pipetas volumétricas de 5 mL.
3. Bureta de 25 mL.
4. Agua destilada.
5. Nitrato de plata 0.01 N.
6. Cromato de potasio.



**Ilustración 13** Material para determinación de Cloruros en prueba de espuma.

### **3.4.5.3 Procedimiento para determinación de cloruros.**

1. Tomar 5 mL de la muestra de agua potable en un matraz de 125 mL.
2. Agregar 5 mL de agua destilada
3. Agregar tres gotas de cromato de potasio (funcionara como indicador).
4. Titular la muestra de nitrato de plata 0.01 N hasta que pase de un color amarillo a rojo ladrillo.
5. Posteriormente se usa la siguiente fórmula para la determinación de cloruros.

**Donde:**

$V_{AgNO_3}$  = Volumen de Nitrato de Plata gastado en la titulación.

$N_{AgNO_3}$  = Normalidad de Nitrato de plata.

mL muestra = mililitros agua potable.

1000 = factor de conversión.

**3.4.6 Óxidos ( $Na_2O$ ).**

La determinación de óxidos de sodio ( $Na_2O$ ) se lleva a cabo debido a que existe un gran porcentaje de personas que sufren irritación en la piel debido a estos compuestos. La concentración de óxidos influye en el pH del producto final, una baja concentración de óxidos genera un pH bajo, lo cual impedirá el adecuado funcionamiento del jabón. Una concentración elevada de óxidos podría ser indicativo de una reacción deficiente de la sosa y provocar un pH elevado, con consecuencias negativas sobre la piel. Al analizar las muestras se tienen los valores exactos de los óxidos y se verifica si son viables para los consumidores (Alejandro, 2018).

Materiales y reactivos utilizados para determinar  $Na_2O$ .

1. Matraces Erlenmeyer de 250 mL.
2. Pipeta volumétrica de 20 mL.
3. Bureta.
4. Pinzas para bureta.
5. Parrilla de calentamiento.
6. Agua destilada
7. Ácido clorhídrico 0.02 N.
8. Indicador de fenolftaleína 0.5 %



**Ilustración 14** Material para determinación de Óxidos

Procedimiento para determinación de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

1. Pesar 0.5 g de jabón en escamas y agregar al matraz Erlenmeyer.
2. Después se vierte 50 mL de agua destilada al matraz y disuelve sobre la parrilla de calentamiento.
3. Cuando se haya disuelto el jabón se retira de la parrilla y se añade 2 gotas de fenolftaleína.
4. Por último, se titula con HCl 0.020 M hasta vire incoloro y se realizan los cálculos utilizando la siguiente fórmula.

Fórmula para la determinación de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

$$\text{PesoNa}_2\text{O} = V_{\text{HCl}} N_{\text{HCl}} P_{\text{ENa}_2\text{O}}$$

$$Na_2 O (\%) = \frac{Peso Na_2 O}{Peso Muestra} 100$$

Donde:

$V_{HCl}$  en (mL): Volumen de ácido clorhídrico en la titulación.

$N_{HCl}$  en ( $\frac{meq}{mL}$ ): Normalidad de ácido clorhídrico.

Peso Muestra en (g): Peso de la muestra.

PE  $Na_2O$  (%) ( $\frac{mg}{meq}$ ): Peso equivalente del óxido.

### 3.4.7 Cloruros.

El contenido de cloruros en el jabón ayuda a saber si están dentro del rango permitido según las normas, ya que el exceso de estos genera que los jabones se agrieten y no tengan una textura agradable para los consumidores (Alejandro,2018).

Materiales para determinación de cloruros.

1. Matrices Erlenmeyer de 125 mL.
2. Pipeta volumétrica
3. Bureta
4. Pinzas de bureta
5. Parrilla de calentamiento
6. Agua destilada
7. Indicador de Cromato de potasio 0.5 %
8. Nitrato de plata 0.01 N



**Ilustración 15** Material para determinación de cloruros

Procedimiento para determinación de cloruros.

1. Se pesa 0.5g de jabón en escamas y se agrega al matraz Erlenmeyer de 125.
2. Después se agrega 50 mL de agua destilada al matraz para disolver la muestra de jabón en la parrilla de calentamiento.
3. Cuando la muestra se haya disuelto, se retira de la parrilla y se toman 5 mL de la solución.
4. Posteriormente se agregan 4 gotas de cromato de potasio y se titula con solución de nitrato de plata 0.01 N hasta obtener que se obtiene un vire amarillo y cambia a un color ladrillo.
5. Se registran los mililitros gastados y con la formula se obtienen los meq/L.

Fórmula para determinar el porcentaje de cloruros.

$$\frac{meq}{L} \times 35.5 = ppm \times = \frac{ml Ag NO_3 Ag NO_3 \times 100}{mL Muestra}$$



**Ilustración 16** Diluciones para determinar cloruros

### 3.4.8 Determinación de Ácidos Grasos Totales

Es de gran importancia analizar el porcentaje de ácidos grasos totales de los jabones para verificar su calidad y corroborar que cumplan con la norma NMX-Q-003-NYCE-2018, ya que según su porcentaje se determina su efecto limpiador.

El análisis de ácidos grasos totales se hace mediante cromatografía de gases (GC), en el cual se identifican y cuantifican dentro de la muestra.

Pasos generales del análisis:

1. Extracción: Los ácidos grasos se extraen de la muestra utilizando un solvente adecuado.
2. Derivatización: Los ácidos grasos libres se convierten en ésteres metílicos mediante una reacción de transesterificación.
3. Análisis por CG: La muestra de ésteres metílicos se introduce en el cromatógrafo de gases, los ésteres se separan en la columna cromatografía en función de su punto de ebullición y polaridad.

4. Identificación y Cuantificación: El detector de ionización de llama (FID) determina los ésteres a medida que salen de la columna y la señal se utiliza para identificar o cuantificar cada ácido graso, las áreas de picos determinan la concentración de cada uno de ellos.

### 3.5 Diseño experimental

Los tratamientos (fórmulas de jabón) utilizados para el diseño experimental de este proyecto se muestran en la siguiente tabla.

**Cuadro 3** Identificación de tratamientos utilizados en el diseño experimental.

<b>Tratamiento (Fórmula de jabón)</b>	<b>Identificación</b>	<b>Proceso Utilizado</b>
1	Spa	Hot Process
2	Artesanal aceite vegetal	Hot Process
3	Artesanal manteca	Hot Process
4	Artesanal aceite + manteca	Hot Process
5	Aceite vegetal	Cold Process
6	Manteca	Cold Process

Para esta investigación se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones, en total 18 muestras para análisis. Los datos obtenidos de calidad del jabón serán sometidos a un análisis de varianza y para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5% ( $\alpha=0.05$ ), utilizando el programa estadístico SAS versión 9.4.

### 3.5.1 Distribución de los tratamientos de estudio.

**Cuadro 4** Distribución de tratamientos al azar

Distribución de tratamientos		
T4 R3	T5 R2	T4 R1
T2 R2	T6 R1	T2 R1
T4 R2	T1 R3	T5 R3
T3 R2	T3 R1	T1 R1
T5 R1	T1 R2	T2 R3
T6 R3	T6 R2	T3 R3

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de calidad en el orden en que se hicieron las determinaciones. Se realizará un análisis estadístico de los resultados de cada variable, para determinar cuál de las fórmulas presenta una mejor calidad para los usuarios finales.

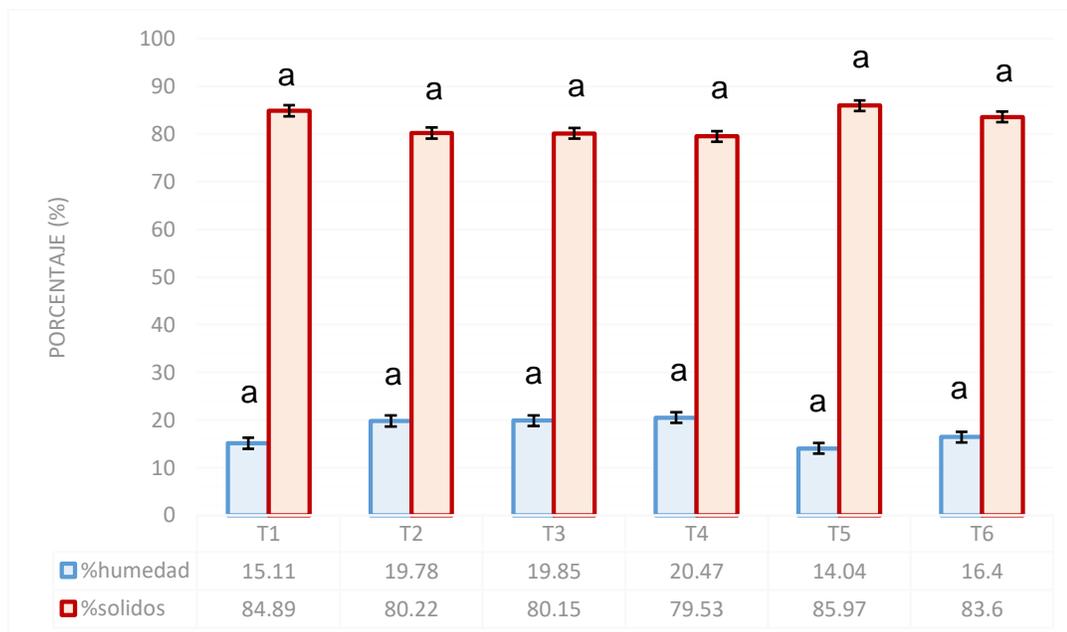
### 4.1 Prueba de humedad y sólidos.

La humedad es un parámetro utilizado principalmente en la evaluación de la vida útil del producto, ya que afecta o influye tanto en las propiedades físicas como químicas del jabón, como, el peso, la densidad, la viscosidad, el índice de refracción y la conductividad eléctrica. Alto contenido de humedad en el jabón durante el almacenamiento, hará que el exceso de agua reaccione con el aceite no saponificado para dar ácidos grasos libres y glicerol en un proceso llamado hidrólisis del jabón. Por otro lado, bajo porcentaje de humedad podría provocar que el jabón se seque, además de perder humedad durante su almacenamiento, por lo que puede llegar a agrietarse. La determinación de la humedad del jabón es importante para asegurar la calidad del producto y la eficiencia del proceso de fabricación (Alejandro,2018). El contenido de humedad óptimo al final del secado del jabón determina un mejor rendimiento y productividad. De acuerdo con la NMX-Q-003-NYCE-2018, estándar de calidad para jabones de tocador, se recomienda que el porcentaje de humedad del jabón terminado no exceda del 22 %.

En la figura 1, se muestra el ANOVA de los porcentajes tanto de humedad como de sólidos en el mismo gráfico, ya que la suma de ambas variables equivale al 100 % del peso total de la muestra analizada. Tanto la variable humedad como sólidos, no presentaron diferencias estadísticas significativas en ningún tratamiento, según el análisis de varianza con  $\alpha = 0.05$ . Sin embargo, los tratamientos T2, T3 y T4 presentan el valor numérico de medias más alto en humedad:  $19.78 \pm 5.98$ ,  $19.85 \pm 6.00$  y  $20.47 \pm 6.18$  respectivamente, por lo tanto, presentan los valores más bajos de sólidos,  $80.22 \pm 3.83$ ,  $80.15 \pm 8.82$  y  $79.53 \pm$

3.79 respectivamente. Por otro lado, los tratamientos T1, T5 y T6 presentan los valores más bajos de humedad, pero el contenido más alto de sólidos.

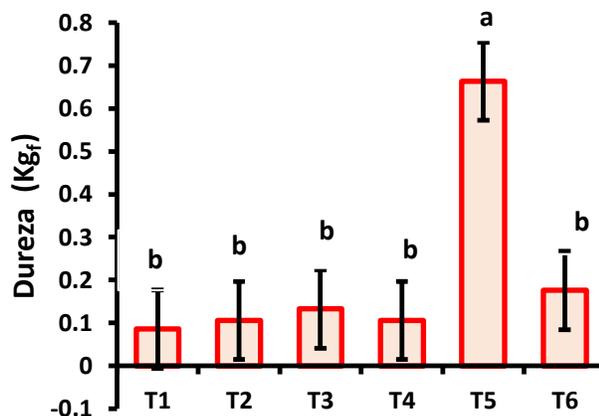
Cabe resaltar que todos los tratamientos se encuentran dentro del porcentaje de humedad recomendado por la norma NMX-Q-003-NYCE-2018, sin embargo, los tratamientos T2, T3 y T4 son la mejor opción para almacenarlo por tiempo prolongado, gracias a su alto valor de humedad.



**Figura 1** Gráfico comparativo de los promedios (Tukey  $p \leq 0.05$ ), de la variable de sólidos y humedad, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales.

#### 4.2 Dureza.

Con ayuda del penetrómetro se obtuvieron las lecturas de resistencia a la penetración, en unidades de Kilogramos fuerza ( $\text{Kg/cm}^2$ ), para así determinar cuál de los seis tipos de formula testeada tiene mejor consistencia y dureza.



**Figura 2** Gráfico comparativo de los promedios (Tukey  $p \leq 0.05$ ), de la variable de dureza, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales.

Los resultados de la prueba de resistencia a la penetración arrojan que el T5 tiene mayor dureza y compactación, siendo este el jabón al que se le aplicó mayor presión para realizar la prueba. Esta fórmula contiene solamente aceite vegetal residual, por lo cual se puede inferir que el aceite vegetal residual produce un jabón más compacto, sin aire atrapado.

#### 4.3 Solubilidad.

La prueba se desarrolló de dos maneras, en la primera, el jabón se disolvió en agua destilada a temperatura ambiente, en la segunda, se disolvió el jabón también en agua destilada, pero a baño maría, por lo que el aumento en la temperatura de la mezcla ayudó a que se solubilizara el jabón de una mejor manera.

A continuación, se muestran los resultados de solubilidad.

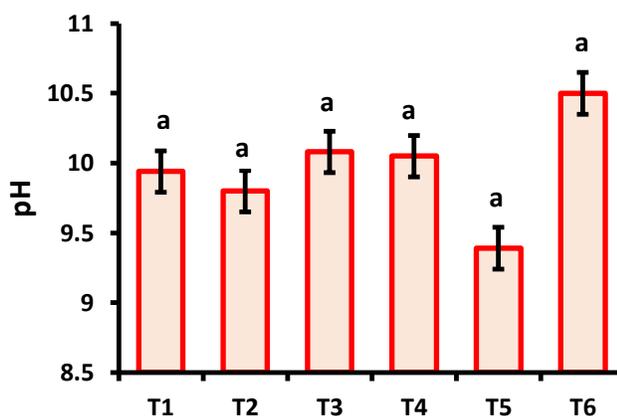
**Cuadro 5** Resultados de solubilidad

<b>Solubilidad</b>		
Muestra	Antes del calentamiento	Después del calentamiento
T1 R1	Soluble	Muy soluble
T1 R2	soluble	Muy soluble
T1 R3	Soluble	Muy soluble
T2 R1	Poco soluble	Muy soluble
T2 R2	Poco soluble	Muy soluble
T2 R3	Poco soluble	Muy soluble
T3 R1	Soluble	Muy soluble
T3 R2	Soluble	Muy soluble
T3 R3	Soluble	Muy soluble
T4 R1	Poco soluble	Muy soluble
T4 R2	Poco soluble	Muy soluble
T4 R3	Soluble	Muy soluble
T5 R1	Soluble	Muy soluble
T5R2	soluble	Muy soluble
T5 R3	Soluble	Muy soluble
T6 R1	Soluble	Muy soluble
T6 R2	Soluble	Muy soluble
T6 R3	Soluble	Muy soluble

Los resultados muestran la solubilidad de los tratamientos en el agua sin aplicar calor y en presencia de calor, observándose que las fórmulas de jabón T2 y T4 son menos solubles en ausencia de calor, estas fórmulas son artesanales, elaboradas con aceite vegetal residual. Se observa que todos los jabones son muy solubles en presencia de calor y no dejan restos de escamas en las muestras.

#### **4.4 pH.**

Para este análisis se utilizó un potenciómetro, el cual se sumergió en cada una de las muestras de jabón con agua destilada para obtener la lectura de pH, cuyos valores estuvieron en el rango de 8.66 a 10.59. En la figura 3 se muestra el ANOVA aplicado para esta variable.



**Figura 3** Gráfico comparativo de los tratamientos (Tukey  $p \leq 0.05$ ), de la variable de pH, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales

La fórmula con el valor más alto de pH fue el T6, lo que indica que su efecto limpiador es mayor debido a su alcalinidad, siendo esta la mejor opción para los consumidores ya que se considera antibacteriano.

#### 4.5 Volumen de espuma

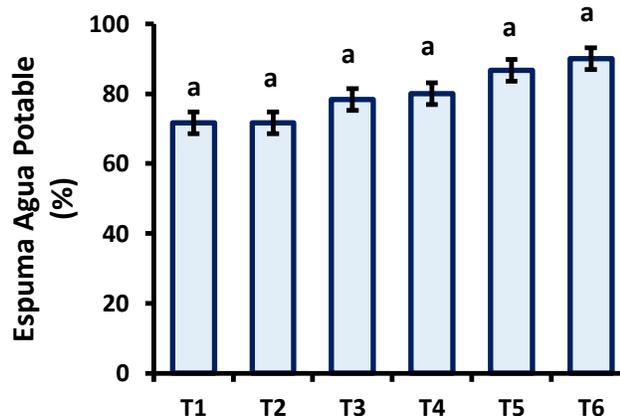
Para analizar los resultados de esta prueba, primero se deben observar los resultados de los análisis hechos a las muestras de agua potable. Los parámetros analizados al agua son: dureza del calcio, magnesio y cloruros. Dichos resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Cuadro 6** Parámetros del agua potable

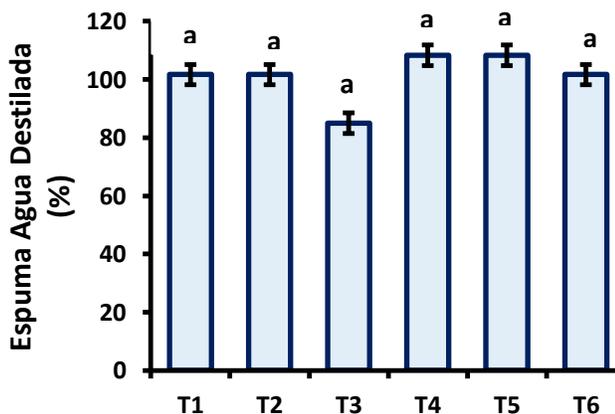
Parámetro	Resultado
Dureza del Calcio	3.28
Dureza del Magnesio	0.8
Cloruros	1.12

De acuerdo con los resultados del análisis del agua potable, se espera un mayor porcentaje de espuma en el agua destilada, ya que esta no posee dureza/sales o se considera casi nula.

En la siguiente figura podemos apreciar el volumen de espuma en mililitros hecha por los diferentes tratamientos con agua potable, mientras que en la figura 5 se observa el volumen de espuma de los tratamientos, pero con agua destilada.



**Figura 4** Gráfico comparativo de los promedios (Tukey  $p \leq 0.05$ ), de la variable de espuma en agua potable, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales.



**Figura 5** Gráfico comparativo de los promedios (Tukey  $p \leq 0.05$ ), de la variable de espuma en agua destilada, de seis formulaciones de jabón con grasas y aceites

Los resultados de la prueba de espuma muestran que existe una diferencia en el volumen debido a los tipos de agua utilizada para el experimento (agua destilada y agua potable), exhibiendo que el agua destilada produce mayor volumen de

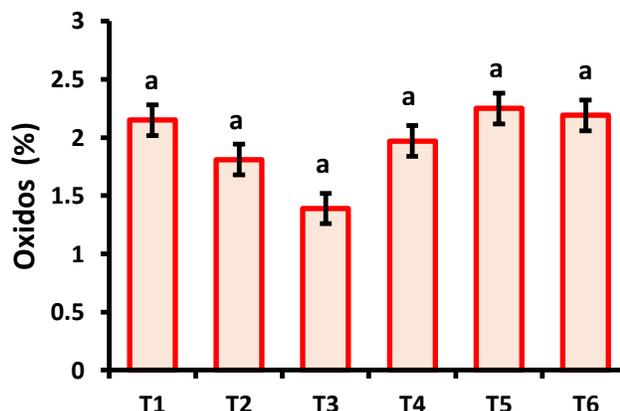
espuma para todos los tratamientos, esto como consecuencia de la concentración de sales presentes en el agua potable, las cuales interfieren en el proceso de producción de espuma.



**Ilustración 17** Resultados de prueba de espuma

#### **4.5.1 Óxidos.**

Los resultados del ANOVA para la variable de óxidos se presentan en la Figura 6, donde se grafica la concentración expresada en porcentaje para cada tratamiento.



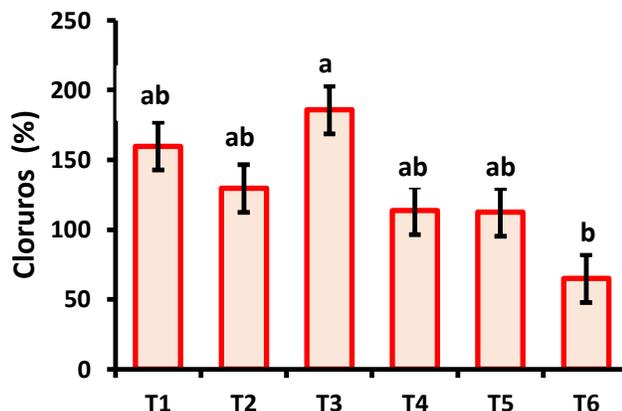
**Figura 6** Gráfico comparativo de los promedios (Tukey  $p \leq 0.05$ ), variable de óxidos para seis formulaciones de jabón con grasas y aceites residuales.

La dureza del agua se debe a la presencia de sales minerales, principalmente de calcio y magnesio, pero también de hierro y manganeso. Estas sales minerales reaccionan con los jabones para dar precipitados insolubles; por eso la eficacia limpiadora de los jabones se reduce con la dureza del agua. Otro problema que tienen los jabones es que la baja acidez de los ácidos grasos hace que sus sales con metales alcalinos sean ligeramente básicas ( $\text{pH} = 8 - 9$ ) y cuando el  $\text{pH}$  de una disolución jabonosa baja debido a la presencia de contaminantes acídicos, los ácidos grasos precipitan (Carrero y Herráez, 2024)

De acuerdo con los resultados de esta prueba, se puede considerar que los porcentajes de óxidos presentes en jabones con fórmulas artesanales, representan un resultado positivo, ya que los valores no son elevados, promediando entre los tratamientos un 1.96 %, comparado con un estudio realizado por Cruz-Alejandro (2018), donde se analizó esta variable en jabones comerciales, mostrando que el promedio de 10 marcas en el mercado es de 3.17 %, lo que representa una diferencia del 38.17 % en la presencia de óxidos entre un jabón artesanal contra uno comercial.

#### 4.5.2 Cloruros.

En la siguiente figura se presenta el ANOVA para el porcentaje de cloruros obtenido en la prueba de espuma.

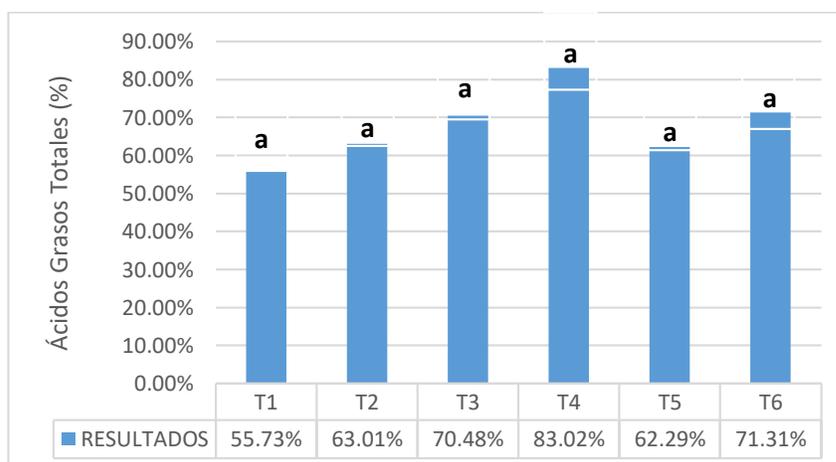


**Figura 7** Determinación de cloruros

La figura 7, arroja el resultado más alto y el más bajo los cuales son T3 y T6, siendo estos valores que sobrepasan los límites de la normativa consultada en este proyecto. Aunque las concentraciones fueron elevadas, no se presentaron alteraciones en la apariencia del jabón, tampoco se reportaron reacciones adversas de ninguna de la formulas en la piel de los usuarios finales.

#### 4.5.3 Ácidos Grasos

En la siguiente gráfica se pueden observar los resultados de Ácidos Grasos en los jabones fabricados en este proyecto.



**Figura 8** Ácidos Grasos Obtenidos en el Jabón

En la figura 8 se observa que el T4 (Artesanal Aceite + Manteca) es el jabón con mayor cantidad de ácidos grasos totales, siendo éste el que se considera con mayor efecto limpiador. Dejando así al T1 (SPA) como el jabón con menor efecto limpiador por su menor cantidad de ácidos grasos totales.

## 5 CONCLUSIONES

Esta investigación arrojo información importante sobre las diferencias entre fórmulas para la elaboración de jabones artesanales, con la finalidad de fomentar el reciclaje del aceite vegetal residual y/o grasas de origen animal.

Los resultados en el análisis de parámetros fisicoquímicos, usados como referencia para el control de calidad, mostraron diferencias positivas y útiles para determinar la mejor formulación de jabón.

Se concluye que todos los jabones presentaron buenas características fisicoquímicas y son amigables con el medio ambiente, sin embargo, el más recomendable para su uso y fabricación es el T6 (Cold Process con Grasa animal) ya que no sobrepasa ningún límite dentro de la normativa, tiene buena consistencia, solubilidad y buen efecto limpiador.

La mayoría de los jabones tuvieron una adecuada saponificación a excepción del T5 (Cold process con aceite vegetal residual), se pudo observar gran dificultad para moldear esta fórmula, ya que al mezclar la sosa (NaOH) con el aceite, se solidifica demasiado rápido, esto no permite homogenizar adecuadamente la mezcla y no se llega al punto de traza requerido. Este comportamiento puede ser atribuido a la disminución en la presencia de ácidos grasos totales en el aceite al reutilizarse múltiples ocasiones para la cocción de alimentos. Debido a esto se recomienda realizar un análisis de ácidos grasos totales en el aceite residual vegetal para determinar si influye negativamente en la índice saponificación.

Se recomienda seguir concientizando a las personas en la comarca lagunera e informarles de problemática de la contaminación ambiental por Aceite Vegetal Residual, así más personas desde niños hasta adultos mayores se unen a la causa y aprenden la fabricación de jabón artesanal.

## 6 REFERENCIAS

Acevedo-Páez, J. C., Urbina-Suárez, N. A., Acevedo-Rodríguez, A. Z., & Becerra-Orozco, L. C. (2019). Estudio de la producción de biodiesel por procesos químicos y enzimáticos a partir de aceite de cocina usado. *Aibi Revista De investigación, administración e ingeniería*, 7(2), 20-26.

Ahmad, F., Abbas, S., Bibi, A., Luqman, M., & Jamil, M. (2024). Canola Oil as a Bio-additive: Properties, Processing and Applications. *Vegetable Oil-Based Composites: Processing, Properties and Applications*, 59-85.

Alejandro, L. R. C. (2018). Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de control de calidad en jabones de tocador comercializados en México (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional).

Alfonso, J., Felipe, A., & Munar Orjuela, J. D. (2020). Desarrollo de una alternativa de producto utilizando aceites de cocina usados tratados por la empresa Greenfuel Colombia.

Anzules, Í. D. C. P., & Castro, D. W. M. (2022). Contaminación ambiental. *Recimundo*, 6(2), 93-103.

Antonić, B., Dordević, D., Jančiková, S., Tremlova, B., & Kushkevych, I. (2020). Physicochemical characterization of home-made soap from waste-used frying oils. *Processes*, 8(10), 1219.

Avagyan, A. B., & Singh, B. (2019). Biodiesel: feedstocks, technologies, economics and barriers. *Assessment of Environmental Impact in Producing and Using Chains*.

Azme, S. N. K., Yusoff, N. S. I. M., Chin, L. Y., Mohd, Y., Hamid, R. D., Jalil, M. N., ... & Zain, Z. M. (2023). Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer through community service learning. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100084.

Baccá, R. M., & Mena, E. T. (2001). El papel estratégico de la educación para el desarrollo sostenible. *Revista Educación*, 25(1), 19-26.

Baños, H. L., Gutiérrez-González, Y., & Pino-Pérez, O. (2019). Potencialidades de aceites esenciales de especies de tres familias botánicas para el manejo de *Bemisia tabaci* Biotipo B. *Revista de Protección Vegetal*, 34(1).

Barrantes, N. P. C. (2021). Participación comunitaria en un proyecto ambiental: grasas residuales de cocina. *Biocenosis*, 32(2).

Cabezas-Zábala, C. C., Hernández-Torres, B. C., & Vargas-Zárate, M. (2016). Fat and oils: Effects on health and global regulation. *Revista Facultad de Medicina*, 64(4), 761-768.

Campos-López, M. A., & Contreras, J. L. (2019). La importancia de promover la educación para el desarrollo sostenible. *Revista Eduscientia. Divulgación de la ciencia educativa*, 2(3), 58-62.

Carrero, I. & Herráez A. Biomodel Jabones y detergentes. (2024) Disponible en <https://biomodel.uah.es/model2/lip/jabondet.htm>).

Chamán, A. B. S. (2019). Manejo de la basura y su clasificación. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cobos Mora, S. L., Solano Peláez, J. L., & Gárate Rodríguez, P. C. (2021). Criterios de selección para un sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos. revisión de normas ambientales latinoamericanas y su contraste con la norma ecuatoriana. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37.

Collin, T. D., Cunningham, R., Asghar, M. Q., Villa, R., MacAdam, J., & Jefferson, B. (2020). Assessing the potential of enhanced primary clarification to manage fats, oils and grease (FOG) at wastewater treatment works. *Science of The Total Environment*, 728, 138415.

Díaz, M. C., & Glaves, A. (2020). Relación entre consumo de alimentos procesados, ultraprocesados y riesgo de cáncer: una revisión sistemática. *Revista chilena de nutrición*, 47(5), 808-821.

Farrés-González-Sarabia, A. (2024). Revisión bibliográfica sobre el problema ambiental y de salud generado por el aceite de cocina reutilizado: Opciones para su solución. *Ambiens Techné et Scientia México*, 12(2), 211-220.

Félix, S., Araújo, J., Pires, A. M., & Sousa, A. C. (2017). Soap production: A green prospective. *Waste management*, 66, 190-195.

Freire-Vinueza, C., Meneses, K., & Cuesta, G. (2021). Latin America: An environmental pollution haven?. *Revista De Ciencias Ambientales*, 55(2), 1-18.

Ganesan, K., Sukalingam, K., & Xu, B. (2019). Impact of consumption of repeatedly heated cooking oils on the incidence of various cancers-A critical review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(3), 488-505.

Guay, R. M. G., & Santos, Z. M. (2020). Factibilidad técnica en la elaboración de jabones en barra a partir del aceite residual de cocina. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 15(1), 48-56.

González Canal, I., & González Ubierna, J. A. (2015). Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. *Aguasresiduales. Info*, 1-8.

González-Jiménez, Y., & Villalobos-Morales, J. (2021). Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 11-22.

Herrera, L. J. S., Aragundi, J. A. G., Jaramillo, F. Y. V., & Muñoz, V. E. S. (2023). Modelo de Economía Circular en Ecuador: análisis descriptivo. *PACHA. Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, 4(10), e230175.

Iglesias, L., Laca, A., Herrero, M., & Díaz, M. (2012). A life cycle assessment comparison between centralized and decentralized biodiesel production from raw sunflower oil and waste cooking oils. *Journal of Cleaner Production*, 37, 162-171.

INEGI. (2020). *Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos 2010*. Ciudad de México, México : Publicación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Kumar, K. (2016). El aceite de palma en el mercado global y sus oportunidades en Estados Unidos. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 319-321.

Lago, J. A., Rodríguez, M., & Lamas, A. (2011). El Consumo de Comida Rápida: Situación en el mundo y acercamiento autonómico. EAE Busines School, 1-38.

León, M. A. A., Santaella, J. R. B., & Susa, D. A. H. (2024). *Revisión del estado del arte en tecnologías de transesterificación para la producción de biodiésel en sistemas de flujo continuo y por lotes*.

López Martínez, A. M. (2022). Diseño de un modelo de negocio enfocado en economía circular a partir del aceite vegetal usado (Doctoral dissertation, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Económicas. Programa de Administración de Empresas).

Márquez Delgado, D. L., Hernández Santoyo, A., Márquez Delgado, L. H., & Casas Vilardell, M. (2021). La educación ambiental: evolución conceptual y metodológica hacia los objetivos del desarrollo sostenible. *Revista Universidad y sociedad*, 13(2), 301-310.

Márquez Pallares, L., Gutiérrez Manuel, C. A., Campos García, J., & Romero Ocampo, M. L. (2024). Producción de jabón líquido a base de aceite residual recolectado de cafeterías de Ensenada B.C.: Production of liquid soap based on residual oil collected from coffee shops in Ensenada B.C. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 5(4), 1395 – 1403. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2343>

Medina, A. V. P., Rivas, M. L. G., & Suarez, C. M. M. (2022). JABONES ARTESANALES A BASE DE ACEITE VEGETAL USADO. *Revista Productos Naturales*, 5(1), 11-12.

Movahed, Z. G., Rastegari-Pouyani, M., Hossein Mohammadi, M., & Mansouri, K. (2019). Cancer cells change their glucose metabolism to overcome increased ROS: One step from cancer cell to cancer stem cell?. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 112, 108690.

Morton, I. D. (1998). Geography and history of the frying process. *Grasas y Aceites*, 49(3-4), 247-249.

Muñoz Luspa, V. A. (2020). Evaluación de la calidad de jabón a partir de aceite vegetal de desecho. Nancheva, V. H., Rosillo, H. G. T., & Gonzalez, M. M. (2024). *La Economía Circular en México—El Camino Hacia un Desarrollo más Sustentable. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 6893-6907.

OECD/FAO (2023), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>.

Ordoñez Salazar, D. E., & Vallejo Usca, D. F. (2023). Evaluación del uso y disposición final de aceite vegetal residual generado en locales de comida para la obtención de jabón en la Ciudad de Riobamba.

Padilla Padilla, C. A., Audelo Guevara, M. E., Buenaño Moyano, L. F., & Sánchez Rivera, D. M. (2022). Evaluación de la contaminación de aceites lubricantes en el piso de talleres y lubricadoras automotrices caso: ciudad de Riobamba. *Dominio De Las Ciencias*, 8(2), 1626–1644. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2890>.

Panceri, J. (2021). *Sustentabilidad: Economía, desarrollo y medioambiente*. Editorial Biblos.

Pascua, M. J., Romero, M. L., Hernández, M. L., & Castro, E. G. (2020). Sistematización de experiencias en las capacitaciones realizadas en el uso y manejo del aceite vegetal usado. *Revista Compromiso Social*, (3), 23-28.

Rodríguez, I. R. (2012). “La nave espacial tierra” de Kenneth Boulding. *Revista de Economía Crítica*, (14), 320-326.

Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 117-137.

Saade Laguzzi, J. P., Lencina, M. F., & Albarracín, P. (2025). Jabones a partir de aceites vegetales usados: un negocio posible.

Salas-Canales, H. J. (2021). Educación ambiental y su contribución al cuidado y protección del ecosistema. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 229-246.

Secretaría del desarrollo social. (1994). NOM-068-ECOL-1994, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal.

Secretaría de Economía- Dirección General de Normas. (2018). NMX-Q-003-NYCE-2018. Jabón de tocador-Especificaciones y métodos de prueba (cancela a la NMX-Q-003-CNCP-2013).

SEDEMA (secretaria del medio ambiente). (2015). NADF-012-AMBT-2015, que establece las condiciones y especificaciones técnicas para el manejo integral de grasas y aceites residuales de origen vegetal y/o animal, en el territorio de la ciudad de México.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2011). NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). NMX-AA-005-SCFI-2013: análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la nmx-aa-005-2000).

Uzcategui, H. (2023). ¿Sustentable o Sostenible?

Vega, A. R. T. (2023). Alimentos ultra procesados y efectos en la salud. *CiNTEB Ciencia Nutrición Terapéutica Bioética*, 2(4), 7-10.

Viola, L., Noel Marchiori, G., & Defagó, M. D. (2020). De nutrientes a patrones alimentarios: cambio de paradigma en el abordaje nutricional de las enfermedades cardiovasculares. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 22(1), 101-111.

Viejó, J. F. G., Cobos, J. D. V., Verduga, D. D. N., Moncayo, M. F. G., & Sánchez, S. P. A. (2025). Transformando residuos en recursos: Jabón a partir de AVU en la educación ambiental de estudiantes de bachillerato. *Ciencia y Educación*, 6(3), 265-274.

Villasmil, N. R., Montilla, J. M., Henríquez, A. B., Ramírez, A. F., & Villasmil, E. R. (2020). Efectos Metabólicos de La Reutilización de Aceites Comestibles Recalentados y Oxidados. *Avances en Biomedicina*, 9(2), 58-69.

Wrozyna, S., Agudo, R., Alonso, G., & Martín, J. (2022). Fabricación de jabón casero. *Ingenia Materiales*, (4), 10-13.