

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:
ECOEFICIENCIA DE PROCESOS INDUSTRIALES

**EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL
RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL USADO EN UNA EMPRESA DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

PRESENTADO POR:

**CALDERÓN CARÍAS, SILVIA GABRIELA
VÁSQUEZ QUIJADA, JACQUELIN LISSETT
VÁSQUEZ SOLANO, ANDREA GUADALUPE**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ÁLVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

ING. SARA ELISABETH ORELLANA BERRÍOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:
ECOEFICIENCIA DE PROCESOS INDUSTRIALES

**EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL
RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL USADO EN UNA EMPRESA DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

Para optar al título de:

INGENIERA QUÍMICO

Presentado por:

**CALDERÓN CARÍAS, SILVIA GABRIELA
VÁSQUEZ QUIJADA, JACQUELIN LISSETT
VÁSQUEZ SOLANO, ANDREA GUADALUPE**

Docente asesor:

ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2023

Trabajo de Grado aprobado por

DOCENTE ASESOR

ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

AGRADECIMIENTOS

La espera ha terminado, ha sido largo el camino más sin embargo no hemos desistido de él, parece que fue ayer cuando empezaba esta aventura y expandía mis conocimientos soñando con el día en que pudiera tener esa abreviatura adelante de mi nombre que describiera un logro más en mi vida, hoy llegan a mi mente tantos recuerdos, personas, anécdotas, fracasos, aciertos y demás que fueron esenciales y reforzaron cada paso dado.

En primer lugar, agradezco a Dios todopoderoso, por ser el centro de mi vida y acompañarme en todo momento de esta travesía, por sostenerme con su mano darme fuerzas, sabiduría y entendimiento para vencer con éxito y culminar aquellas metas que algún día me propuse. A mi madre, por ser ese apoyo incondicional para mí, por ser una mujer ejemplar y valiosa que me formo como persona y que me sigue brindando su amor de todas las formas posibles, por sus palabras sabias y consejos, por sus llamadas y desvelos a la par mía, por aceptar cada una de las decisiones que he tomado y animarme a nunca darme por vencida, por todos tus esfuerzos y sacrificios para brindarme siempre lo mejor.

A mi abuela, por sus consejos y oraciones, por inculcarme el temor a Dios y ser mi primer acercamiento hacia él, por tus mimos y caricias, por hacerme sentir apoyada y por consentirme cada vez que lo necesite. A mi tía, por ser mi segunda madre, por estar al pendiente de mí, brindarme su apoyo y amor a toda costa, por ser mi primera maestra y siempre animarme a seguir adelante, por confiar en mí y siempre tener las palabras correctas en cada situación. A mi demás familia que de alguna u otra manera contribuyeron a mi formación académica y personal, con sus consejos ayudas y demás. Agradezco a la vida por los amigos que encontré en esta etapa universitaria, por dejarme alegrías y compartir experiencias gratas con los mismos, por su apoyo y amistad genuina, por ser maestros en las noches de desvelos y enseñarme lo que son los hermanos de otra madre. A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de El Salvador, a todos los docentes que contribuyeron a mi formación de pensamiento crítico, conocimiento científico y criterio profesional esenciales dentro de la ingeniería química.

Silvia Gabriela Calderón Carías

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme acompañado durante todo este recorrido universitario, porque sin Él esto no sería posible. Agradezco infinitamente por su misericordia, por haberme protegido de todo mal y por haberme guiado en este caminar. Agradezco a Dios por mi familia, amigos y profesores, le pido que siempre los guarde y los proteja.

Agradezco a mis padres porque me han apoyado desde el principio en mis estudios universitarios, por no abandonarme, por no cortarme las alas y por darme la mejor herramienta que necesito para vivir que es la educación porque es la mejor herencia que me dejan.

A mi hermano por darme su apoyo incondicional, por todo su sacrificio y trabajo duro para que yo pueda salir adelante y ser una mejor persona.

A mi prima hermana fallecida, quien siempre creyó en mí y me impulsó a hacer todo lo que me proponga sin importar los obstáculos que enfrente.

A mis familiares por apoyarme y creer en mí, ya que siempre me animaron a continuar con mis estudios y a no rendirme.

A mis amigos, a quienes me gustaría nombrar uno por uno, que me dieron su apoyo incondicional en todo momento, siempre creyeron en mi capacidad de salir adelante y en mis ganas de superarme para darles lo mejor a mis padres y hermano.

A mis profesores, quienes me dieron la mejor educación posible para poder enfrentar el mundo laboral de este país y del mundo entero. Agradezco a la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos por brindarme las enseñanzas de la carrera universitaria que elegí. Finalmente, agradezco a mis compañeros por los momentos de que vivimos en la universidad, siempre los atesoraré.

Jacquelin Lissett Vásquez Quijada

AGRADECIMIENTOS

Llegado este tan anhelado momento en mi vida, es imposible no llenar mi mente de recuerdos, anécdotas, sentimientos y aprendizajes que ahora en día llevo en mi alma, lo que me hace valorar aún más todo este recorrido lleno de alegrías, tropiezos, pérdidas, pero sobre todo amor, que nunca me faltó, por esta razón, agradezco infinitamente a Dios, que me mantiene con vida, fuerza y discernimiento para poder continuar actuando bajo su luz.

A mi padre, por ser un hombre bondadoso, fuerte, valiente y entregado a su familia, de quien he aprendido tan buenos valores como la justicia, la sinceridad, y quien siempre me recuerda lo mucho que puedo lograr si creo en mí misma. A mi madre, por ser una mujer tan amorosa, independiente, solidaria y sobre todo luchadora, quien me ha enseñado con temple que cada uno construye los medios para valerse por sí mismo y también que la familia es primero. A mis abuelas, que con amor me acogieron en sus corazones como mi primer hogar. A mis abuelos, por siempre mis maestros en la vida, a quienes guardo en mi corazón con tanto cariño, quienes me enseñaron que existe el amor acompañado de la disciplina, y en especial “papito”, este logro dedicado a ti. A mis hermanos que son mi vida y mi motor para luchar y salir adelante, sin su apoyo nada de esto sería posible.

A la oportunidad que me brindó el destino, de conocer a tan buenos amigos, con quienes compartí noches de desvelo acompañadas de un buen libro, momentos felices y también tristes, pero que ahora guardo con mucho amor dentro de mi corazón, en especial a Gabriela, Verónica y Vilma, quienes para mí son un miembro más de mi familia; sin olvidar a mis queridos compañeros Sayes y Dimas, que aún descifro si hicieron mi vida universitaria más fácil o más complicada, pero que no dudo que sin ellos nada habría sido igual. Sin olvidar a Manuel Pacheco, que sin su ayuda no estaría aquí hoy escribiendo estas palabras de agradecimiento, de quien con mucha paciencia aprendí tantas cosas. A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de El Salvador, a todos los docentes que me ayudaron y guiaron a moldear y forjar los conocimientos y criterio que amerita la ingeniería química.

Andrea Guadalupe Vásquez Solano

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analiza la factibilidad técnica, económica y ambiental de los residuos del aceite vegetal usado como alternativa de materia prima para productos de valor agregado que son jabones y velas, de una empresa de productos alimenticios la cual fabrica snacks en freidoras y utilizan aceite vegetal de palma como materia prima para el proceso de fabricación.

La metodología desarrollada para el análisis de la factibilidad técnica se basó en realizar muestreo y ensayos de laboratorio al aceite vegetal según la AOAC (Asociación de Químicos Analíticos Oficial). Los ensayos realizados fueron el porcentaje de acidez, color y el porcentaje de TPC polares totales. Se tomaron criterios fisicoquímicos tanto para aceite vegetal nuevo como para aceite vegetal usado. Para el análisis de factibilidad económica se realizó una comparación de la venta del 20% del residuo de aceite vegetal versus el 100% de este. Para el análisis de factibilidad ambiental se utilizó el método ARAS en el cual se estudiaron distintas etapas del proceso de fabricación de snacks relacionadas directamente con la generación de residuos de aceite vegetal.

Finalmente, con base a los resultados obtenidos se puede concluir que los residuos de aceite vegetal usado de la empresa de productos alimenticios si tienen factibilidad técnica, económica y ambiental como materia prima para productos de valor agregado que son jabones y velas.

Índice de contenido

| Tema | Página |
|--|--------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo I | 2 |
| Alcances y planteamiento del problema | 2 |
| 1.1 Contexto | 2 |
| 1.2 Definición del problema | 2 |
| 1.3 Hipótesis del problema | 2 |
| 1.4 Objetivos | 2 |
| 1.5 Justificación | 3 |
| 1.6 Beneficios esperados | 3 |
| 1.7 Delimitación y límites de la investigación | 4 |
| 1.8 Antecedentes | 4 |
| 1.8.1 Sistemas de recolección de aceite vegetal usado | 4 |
| 1.8.2 Residuos de aceite vegetal | 6 |
| 1.8.2.1 Generalidades sobre el aceite vegetal usado | 6 |
| 1.8.3 Aplicación y usos potenciales del aceite vegetal quemado | 8 |
| 1.8.3.1 Reciclaje | 8 |
| 1.8.3.2 Fuentes de aceite de cocina usados que se pueden reciclar | 9 |
| 1.8.3.3 Usos en la industria química | 9 |
| 1.8.3.4 Otros usos | 11 |
| Capítulo II | 13 |
| Marco teórico | 13 |
| 2.1 Aceite vegetal | 13 |
| 2.2 Composición química del aceite vegetal | 14 |
| 2.3 Propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal | 21 |
| 2.4 Aceite vegetal usado | 25 |
| 2.4.1 Reacciones químicas comunes de los aceites durante el proceso de fritura | 26 |
| 2.4.2 Características fisicoquímicas del aceite reciclado | 27 |
| 2.4.3 Gestión de los aceites vegetales domésticos usados | 28 |
| 2.5 Productos derivados de la industria de los aceites vegetales | 29 |
| 2.5.1 Lecitinas y ceras | 29 |
| 2.5.1.1 Lecitina | 30 |
| 2.5.1.2 Ceras | 31 |
| 2.5.2 Jabones | 32 |
| 2.5.2.1 Proceso de la elaboración de jabón | 32 |
| 2.5.3 Velas | 34 |
| 2.6 Metodologías válidas para el análisis de aceites | 35 |
| 2.6.1 Metodología AOCS | 36 |
| Capítulo III | 38 |
| Metodología | 38 |
| 3.1 Enfoque metodológico | 38 |
| 3.1.1 Análisis cualitativo | 38 |
| 3.1.2 Análisis cuantitativo | 38 |

| Tema | | Página |
|------------------------|---|---------------|
| 3.2 | Modelamiento de la metodología con análisis cualitativo y cuantitativo | 40 |
| 3.2.1 | Especificaciones de calidad | 41 |
| 3.2.1.1 | Especificaciones de calidad para el aceite vegetal como materia prima para la fritura de productos A y B | 41 |
| 3.2.1.2 | Especificaciones de calidad para el aceite vegetal usado proveniente de la fritura de los productos A y B | 42 |
| 3.2.2 | Factibilidad técnica | 44 |
| 3.2.3 | Factibilidad económica | 45 |
| 3.2.4 | Factibilidad ambiental | 45 |
| 3.3 | Descripción de procedimientos experimentales | 46 |
| 3.3.1 | Toma de muestras | 47 |
| 3.3.2 | Procedimientos experimentales | 48 |
| 3.3.2.1 | Índice de acidez | 48 |
| 3.3.2.2 | Índice de peróxido | 50 |
| 3.3.2.3 | Color | 52 |
| 3.3.3 | Metodología para análisis de muestras | 54 |
| 3.4 | Estudio de factibilidad | 55 |
| 3.4.1 | Estudio de factibilidad técnica | 55 |
| 3.4.2 | Estudio de factibilidad económica | 66 |
| 3.4.3 | Estudio de factibilidad ambiental | 71 |
| Capítulo IV | | 77 |
| | Resultados y discusión | 77 |
| 4.1 | Análisis del estudio de factibilidad técnica | 77 |
| 4.2 | Análisis del estudio de factibilidad económica | 79 |
| 4.3 | Análisis del estudio de factibilidad ambiental | 79 |
| Conclusiones | | 81 |
| Recomendaciones | | 84 |
| Bibliografía | | 86 |
| Anexos | | 92 |
| | Anexo A. Esquema de buenas prácticas de almacenamiento y ejemplos | 92 |
| | Anexo B. Esquema de buenas prácticas de fritura de alimentos | 94 |
| | Anexo C. Esquema de beneficios de las buenas prácticas de fritura en alimentos | 95 |

Índice de figuras

| Figura | | Página |
|--------------------|---|---------------|
| Figura 2.1 | Estructura en cis y en trans de los dobles enlaces | 15 |
| Figura 2.2 | Diagrama de fosfolípidos | 16 |
| Figura 2.3 | Diagrama del tocoferol y del tocotrienol | 19 |
| Figura 2.4 | Diagrama del a-caroteno y del b-caroteno | 20 |
| Figura 2.5 | Estructura química del orizanol (éster 24-metilen-cicloartanol del ácido ferúlico) | 21 |
| Figura 2.6 | Diagrama de gestión de aceites usados | 29 |
| Figura 2.7 | Reacción de saponificación directa | 33 |
| Figura 3.1 | Diagrama de metodología a aplicar para la elaboración del proyecto | 39 |
| Figura 3.2 | Modelamiento de la metodología para la elaboración del proyecto | 40 |
| Figura 3.3 | Descripción de la fase de experimentación del proyecto de investigación | 47 |
| Figura 3.4 | Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en FREIDOR 1. Fecha: 1 de junio de 2022 | 58 |
| Figura 3.5 | Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en FREIDOR 1. Fecha: 2 de junio de 2022 | 58 |
| Figura 3.6 | Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en FREIDOR 1. Fecha: 1 de junio de 2022 | 59 |
| Figura 3.7 | Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en FREIDOR 1. Fecha: 2 de junio de 2022 | 59 |
| Figura 3.8 | Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 2, Fecha: 1 de junio de 2022 | 62 |
| Figura 3.9 | Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 2. Fecha: 2 de junio de 2022 | 62 |
| Figura 3.10 | Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1. Fecha: 1 de junio de 2022 | 63 |
| Figura 3.11 | Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1. Fecha: 2 de junio de 2022 | 63 |
| Figura 3.12 | Gráfico de comparación costos menos ingresos por ventas del 20% y 100% del aceite vegetal generado | 70 |
| Figura A.1 | Anexo A. Esquema de Buenas Prácticas de Almacenamiento | 92 |
| Figura A.2 | Almacenamiento a la intemperie | 93 |
| Figura B | Anexo B. Esquema de Buenas Prácticas de Fritura de Alimentos | 94 |
| Figura C | Anexo C Beneficios de las buenas prácticas de fritura en alimentos | 94 |

Índice de tablas

| Tabla | | Página |
|-------------------|---|---------------|
| Tabla 2.1 | Algunos ácidos grasos de los alimentos | 17 |
| Tabla 2.2 | Composición química de aceites vegetales | 18 |
| Tabla 2.3 | Normas empleadas para la caracterización del aceite vegetal | 25 |
| Tabla 2.4 | Composición media de ácidos grasos de los aceites reciclados | 27 |
| Tabla 2.5 | Características fisicoquímicas del aceite vegetal de cocina | 28 |
| Tabla 3.1 | Parámetros sensoriales de aceite como materia prima | 41 |
| Tabla 3.2 | Parámetros de calidad del aceite como materia prima | 42 |
| Tabla 3.3 | Parámetros sensoriales del aceite usado | 43 |
| Tabla 3.4 | Parámetros de calidad del aceite usado | 43 |
| Tabla 3.5 | Guía para la titulación ácido-base para porcentaje de ácidos grasos libres | 49 |
| Tabla 3.6 | Tabla de lectura de color para aceite como materia prima y aceite usado | 53 |
| Tabla 3.7 | Consolidado para los análisis de laboratorio: %TPC totales, % acidez y color | 55 |
| Tabla 3.8 | Resultados de análisis de laboratorio con intervalo de toma de muestra cada dos horas en FREIDOR 1 | 57 |
| Tabla 3.9 | Tiempo promedio de aceptación de aceite residual para el freidor 1 | 60 |
| Tabla 3.10 | Resultados de análisis de laboratorio con intervalo de toma de muestra cada dos horas en FREIDOR 2 | 61 |
| Tabla 3.11 | Tiempo promedio de descarte de aceite residual para el freidor 2 | 64 |
| Tabla 3.12 | Cantidad total promedio obtenida de aceite vegetal como materia prima para elaboración de jabones y velas | 65 |
| Tabla 3.13 | Ingresos por venta de aceite residual como materia prima | 67 |
| Tabla 3.14 | Costo por cantidad de aceite utilizado para fritura de productos A y B | 68 |
| Tabla 3.15 | Costo por gestión y desecho del aceite vegetal | 69 |
| Tabla 3.16 | Costo por uso y gestión del aceite vegetal | 69 |
| Tabla 3.17 | Costo menos ingreso por ventas del 20% y 100% de aceite residual generado | 70 |
| Tabla 3.18 | Análisis de factibilidad ambiental del aceite vegetal usado en empresa de productos alimenticios | 73 |
| Tabla 3.19 | Evaluación de IA y AA de etapa de aguas residuales del proceso | 74 |
| Tabla 3.20 | Evaluación de IA y AA de etapa de materiales con residuos de aceite y/o grasas de máquinas | 75 |
| Tabla 3.21 | Evaluación de IA y AA para etapa de derrame accidental de aceite residual | 76 |
| Tabla 4.1 | Empresas autorizadas por el MARN para la recolección y/o compra de aceite vegetal usado a nivel nacional | 77 |
| Tabla 4.2 | Algunas empresas certificadas para la recolección y/o compra de aceite vegetal usado a nivel internacional | 78 |
| Tabla 4.3 | Beneficios económicos por venta del 100% de aceite vegetal generado anual | 79 |
| Tabla 4.4 | Propuestas de mitigación para etapas de aguas residuales del proceso y de derrame accidental de aceite residual | 80 |

INTRODUCCIÓN

Los residuos de aceite vegetal usado representan un problema para el medio ambiente al no darles un tratamiento adecuado. En El Salvador, actualmente no existe una legislación, normativa o reglamentación respecto al reciclaje del aceite vegetal usado, pero eso no ha sido impedimento para algunas empresas de tomar cartas en el asunto y llevar a cabo proyectos por sí mismas.

Este trabajo de investigación explora la viabilidad técnica, económica y ambiental de los residuos del aceite vegetal usado en una empresa de productos alimenticios a través de una valorización del mismo enfocada en la economía circular y la producción más limpia.

Con ello no solo se identifican materiales de valor agregado como lo son los jabones y velas, sino que también se identifican nuevas alternativas de ingresos para la organización, que a su vez generen un impacto positivo en el medio ambiente.

CAPÍTULO I

ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Contexto

La empresa de productos alimenticios utiliza aceite vegetal para la preparación de bocadillos dulces y salados tipo snack, por lo que el aceite vegetal usado es uno de los residuos que se generan y se buscan alternativas para un adecuado manejo de este.

1.2 Definición del problema

Evaluación técnica, económica y ambiental del reciclaje de aceite vegetal usado en una empresa de productos alimenticios de El Salvador.

1.3 Hipótesis de trabajo

El aceite vegetal usado que se genera en una empresa de productos alimenticios dedicada a la elaboración de snacks, son residuos que pueden aprovecharse dentro de los conceptos de valorización de residuos y economía circular.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar alternativas de aprovechamiento y reciclaje del aceite vegetal usado generados en una empresa de productos alimenticios que sean viables técnica, económica y ambiental.

Objetivos específicos

- i. Estimar la cantidad de residuos generados provenientes del aceite vegetal usado generado en el proceso de fabricación de los productos A y B de la empresa de productos alimenticios.
- ii. Efectuar la caracterización fisicoquímica del aceite vegetal usado para recabar los parámetros necesarios a utilizar en el desarrollo de productos.

- iii. Describir el tipo de materiales de valor agregado que pueden producirse a partir de aceite vegetal usado priorizando en la elaboración de productos amigables con el medio ambiente.
- iv. Seleccionar el tipo de materiales de valor agregado que pueden producirse a partir del aceite vegetal usado con base en la caracterización fisicoquímica obtenida del análisis de laboratorio.
- v. Evaluar técnica, económica y ambientalmente las opciones de reciclaje o valorización para el aceite vegetal usado.

1.5 Justificación

Los aceites de cocina usados recogidos separadamente pueden recibir tratamientos mediante los cuales se preparan para la producción de biocarburantes, jabones y otros usos en la industria química siendo válido para producir otros materiales como betún asfáltico que luego se usa para telas impermeabilizantes o en el asfaltado de carreteras, pinturas, tintas, fertilizantes o arcillas expandidas, biodiesel, ceras, entre otros, reduciendo así el uso de recursos procedentes de materias primas e impulsando la actividad económica y empleos más verdes.

Este proyecto tiene como eje central el manejo responsable de los residuos provenientes del uso del aceite vegetal en una empresa de productos alimenticios, dirigido hacia la reutilización o valorización. Esto con miras a aprovechar los que se produzcan internamente para generar productos con valor agregado y evitar el mal tratamiento o mala disposición de los residuos, que puede llegar a ser más costoso y dañino para el ambiente.

1.6 Beneficios esperados

- i. Identificación de productos de valor agregado que pueden obtenerse a partir del aceite vegetal usado.
- ii. Establecimiento de alternativas factibles tanto técnicas, económicas como ambientales del aprovechamiento de residuos de aceite vegetal usado.

- iii. Valorización de residuos de aceite vegetal usado con enfoque de economía circular.

1.7 Delimitación y limitaciones de la investigación

La investigación abarca únicamente una empresa de productos alimenticios en El Salvador, cuya identidad se mantiene en privado.

La investigación comprende un periodo de seis meses para la valorización técnica, económica y ambiental de residuos de aceite vegetal usado.

En El Salvador no existe legislación, normativa o reglamentación acerca de la gestión, pruebas de laboratorio o parámetros para aceite vegetal usado.

Los productos de valor agregado que se investigarán son jabones y velas.

1.8 Antecedentes

En varios países alrededor del mundo ya se cuenta con sistemas de recolección de residuos de aceite usado y con legislación al respecto.

1.8.1 Sistema de recolección del aceite vegetal usado (Cruz y Davis, 2021)

En el mundo: en la mayoría de los países se han adoptado sistemas de recolección de aceite usado de cocina, casi todos cuentan con puntos específicos de acopio de aceite para que los ciudadanos lo desechen, sin embargo, en algunos países realizan más esta práctica que otros, esto se debe a la cultura que las personas del país adoptan y al buen uso de leyes que el país determinado impone.

- i. España: este país, como la mayoría de los países europeos, desde hace muchos años impulsan la separación de desechos en orgánicos e inorgánicos, por lo que la gente acostumbra a organizar sus residuos y contribuir al medio ambiente, no arrojando sus desechos en las calles de las ciudades; sin embargo, España solo recoge el 10% del aceite usado de cocina, por lo que la práctica de recolección de este residuo aún no es

empleada totalmente e incentivada por los ciudadanos. En la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el gobierno de España incluye a través de la “ley 22\2011, el 28 de julio de residuos y suelos contaminados”, la generación o reutilización de aceites e impulsan a la población a la recogida de los residuos de aceites vegetales.

- ii. Colombia: el Ministerio de Ambiente publicó en el año 2018, una nueva normativa para que los colombianos encargados de la gestión del aceite usado de cocina, cumplan con los nuevos lineamientos de mantener un orden y establecer puntos de recolección para este residuo, asimismo deben estar ubicados estratégicamente para que los ciudadanos sepan donde depositar su aceite usado de cocina, además, el Ministerio del Ambiente incentivó que destinarían este desecho para la creación de nuevos productos, principalmente biocombustibles.
- iii. Argentina: desde el año 2009, el país cuenta con la ley Nro. 1366, “Regulación, Control y gestión de Aceites Vegetales, Grasas de fritura usados”, en la que se prohíbe totalmente el vertimiento de los aceites y grasas luego de la primera fritura en alcantarillas, sumideros y suelos, con la finalidad de prevenir la contaminación y preservar la salud y ambiente, además de promover el desarrollo de empresas que se encargan de reciclar el aceite para generar productos no alimenticios. Ante la ley detallada anteriormente, se crea un registro de generadores, operadores y transportistas de aceites vegetales usados (REGOTAVU), donde deben inscribirse personas físicas y jurídicas que tengan como fin realizar las actividades de generación, manipulación, recolección, almacenamiento y transporte, además del tratamiento que se plantea dar al aceite y la disposición final de este residuo. Se especifica como principales generadores de aceite vegetal usado a comedores de hoteles, comedores industriales, restaurantes, confiterías y bares, restaurantes de comida rápida y todos aquellos establecimientos que generen o produzcan aceite vegetal en la ciudad de Buenos Aires.

- iv. Suiza: es considerado uno de los países con el mejor sistema de recolección de basura, cuentan con una tasa de reciclaje de más del 50%, colocándose entre los países más avanzados en recuperación de desechos. Desde la década de los 90, los ciudadanos acostumbran a separar todos los residuos en orgánicos o inorgánicos, consideran que reciclar es un hábito más que una obligación.
- v. Perú: en el año 2018, se aprobó la nueva ley y reglamento de residuos sólidos, con el objetivo de garantizar el adecuado tratamiento, recolección y disposición final de los residuos sólidos en el país; mencionan que se implementaría el uso de tecnologías para el manejo de los residuos sólidos y estos serían vistos como recursos y no amenazas.
- vi. Chile: Bioils es una empresa con sede principal en Chile, encargada de ofrecer un servicio de recolección de aceites vegetales de fritura en distintos países de Latinoamérica.
- vii. El Salvador: en el Centro de Información y Documentación del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CIDOC) se cuenta con un “Listado para RAEE, tratamiento y disposición final de materiales, transporte de materiales peligrosos, transportes bioinfecciosos, aceite usado” publicado en el 2017, según el sitio web de dicho ministerio. (MARN, 2017)

1.8.2 Residuos de aceite vegetal

Los residuos de aceite vegetal usado pueden ser reciclados y utilizados en otros productos de valor agregado.

1.8.2.1 Generalidades sobre el aceite vegetal quemado (REOIL, 2010)

Los Aceites Vegetales y Grasas de Fritura Usados (AVUs) son aquellos que provengan, o se produzcan, en forma continua o discontinua, a partir de su utilización en las actividades de cocción o preparación mediante fritura total o parcial de alimentos, cuando presenten cambios en la composición fisicoquímica y en las características del producto de origen de

manera que no resulten aptos para su utilización para consumo humano y en condiciones de ser desechado por el generador. Dentro del alcance de esta definición se incluyen los aceites hidrogenados, las grasas animales puras o mezcladas utilizadas para fritura y los residuos que estos generen. (Nasello, 2019)

Una vez que los contenidos polares totales del aceite vegetal han llegado a un valor de 27%, el aceite debe ser desechado, pues ya no es apto para continuar cociendo en él.

El residuo aceite vegetal usado, aceite vegetal quemado, aceite usado de cocina (RAUC por sus siglas en español), grasa amarilla o UCO (por sus siglas en inglés), es en la actualidad una de las principales causas de contaminación de las aguas residuales urbanas, ya que si una vez utilizados, se vierten a la red de alcantarillado, contaminan el medio ambiente, produciendo atascos y malos olores en las cañerías y una gran cantidad de problemas ambientales.

Estos vertidos hacen que la depuración de las aguas sea tremendamente costosa, además de dificultar el normal funcionamiento de las depuradoras o plantas tratadoras. En el caso de no haber gestión adecuada de estos aceites, al devolverlos al medio ambiente mezclados con agua, éste contamina las cuencas internas, el mar y los acuíferos, interfiriendo en la vida natural y degradando el entorno. El aceite en el agua facilita la proliferación de microorganismos perjudiciales para la salud.

El aceite provoca también problemas en las tuberías de desagüe en nuestras casas obstruyéndolas y generando malos olores, y creando un alimento ideal para la fauna nociva (como ratas y cucarachas). Y en cuanto a la red de drenaje, y particularmente en época de lluvias, la reducción de caudal por causa de la acumulación de aceite vegetal mezclado con jabones y detergentes (convertido en un sólido que se adhiere a la parte superior de las tuberías o canales), genera encharcamientos severos.

Por su composición, el aceite y el agua no se mezclan. Por tanto, el descarte de los aceites en los desagües domiciliarios constituye una de las prácticas domiciliarias más contaminantes, se estima que 1 litro de aceite puede contaminar hasta 1.000 litros de agua. El aceite viaja

hasta los ríos y forma una película impermeabilizante que impide el paso del oxígeno y de la luz del sol alterando los ecosistemas de los ríos (Nasello, 2019)

También puede ser un elemento de bioacumulación de dioxinas (potente agente cancerígeno) en la cadena alimenticia del ser humano, y contribuir al desarrollo de enfermedades como la diabetes.

Varios casos de alimentos para animales contaminados con dioxinas, se han presentado en todo el mundo.

1.8.3 Aplicación y usos potenciales del aceite vegetal quemado

Las alternativas sobre la aplicación y usos potenciales del aceite vegetal quemado se muestran a continuación:

1.8.3.1 Reciclaje (Team foods, 2020)

Reciclar el aceite vegetal usado es bastante sencillo. Se propone una serie de pasos para el reciclaje en el hogar:

- i. Luego de terminar de cocinar con el aceite, dejarlo enfriar hasta que esté a temperatura ambiente.
- ii. Tomar una botella plástica (puede ser de cualquier tamaño), lavarla y dejarla secar completamente. Tener en cuenta que no se debe utilizar recipientes de vidrio o bolsas plásticas.
- iii. Colocar una malla o un paño muy fino en la boquilla de la botella y verter el aceite utilizando un embudo para facilitar el proceso de llenado (esto es para filtrar cualquier impureza que haya quedado tras su uso).
- iv. Cuando ya se tenga las botellas de aceite vegetal usado llenas, cerrarlas bien y disponer de ellas en entidades protectoras del medio ambiente.

1.8.3.2 Fuentes de aceite de cocina usado que se pueden reciclar

Entre las fuentes de aceites de cocina usado más comunes, que se pueden reciclar, se encuentran las siguientes:

- i. El aceite de las papas fritas: después de freír las papas fritas este se puede reusar hasta cinco veces (ya que luego pierde su capacidad calórica) luego de esto se puede reciclar fácilmente.
- ii. El aceite de conservas de atún y aceitunas. Este aceite que viene en las latas no se debe tirar, ya que se le pueden dar nuevos usos o reciclarlo.
- iii. El aceite que proviene al momento de hacer un caldo ya sea pollo, pescado, carne o mariscos.
- iv. El aceite que sale de la grasa de las proteínas, por ejemplo, de la carne de pollo, cerdo o res. Se puede guardar en una botella antes de que se solidifique.
- v. El aceite que sale de la grasa del cerdo como el chicharrón y las tocinetas, se puede reutilizar en salsas, mayonesas o llevarlo a un punto verde para su reciclado.
- vi. El aceite usado para freír carne o pescado.
- vii. También se puede llevar para su reciclaje la margarina, mantequilla e incluso la mayonesa vencida.

Se debe usar diferentes botellas para cada tipo diferente de aceite. Lastimosamente en nuestro país es una práctica que no sucede a nivel popular, ni se cuenta con centro de acopio de aceite usado que sean accesibles a toda la población.

1.8.3.3 Usos en la industria química (Iriarte, Villabona y Tejada, 2017)

La reutilización y fabricación de productos con valor agregado a partir de un desecho como el aceite de cocina usado supone una fuente de empleo y una alternativa para la reducción del impacto ambiental y sanitario propiciado por la mala deposición de este residuo. Entre

los productos más comunes para tal fin, se encuentran: jabón, betún, biodiésel, velas, cera, surfactantes, tensoactivos, espumas rígidas de poliuretanos, fertilizantes, entre otros.

- i. Jabón: el jabón es un agente limpiador o detergente que se fabrica utilizando grasas animales y/o aceites vegetales, es soluble en agua y por sus propiedades detergentes, se usa comúnmente: en productos destinados a la higiene personal y para lavar determinados objetos o tejidos. Normalmente se presenta en forma de pastilla, en polvo, en crema o en líquido, aunque es sólido en estado natural a temperatura ambiente. Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso, obtenido por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón (Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEM, 2012).
- ii. Surfactantes: los surfactantes o tensoactivos son sustancias anfifílicas, es decir, tienen afinidad polar y apolar en la misma molécula. La parte polar está formada por elementos como O, S, N, P, los cuales aparecen en grupos funcionales como alcohol, éter, éster, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida, entre otros. La parte apolar está compuesta en general por hidrocarburos parafínicos o aromáticos; como consecuencia, tienen afinidad por los solventes polares, específicamente el agua, y por los solventes orgánicos, en particular los hidrocarburos, aceites o grasas (Salager y Fernández, 2014). A nivel industrial, los surfactantes tienen un gran campo de aplicación como en la producción de detergentes domésticos e industriales, de polímeros, plásticos, pinturas, productos agrícolas, en el sector de alimentos, metalúrgica, farmacéutica, en las industrias petrolera, química y textil, entre otras.
- iii. Betún y cera para muebles: la fabricación de betún es un proceso químico que resulta de la interacción de los siguientes productos: ceras, aceites, grasas, pigmentos y disolventes. Estos productos se calientan y se mezclan para obtener la proporción adecuada. Luego de la mezcla, se vierte dentro de recipientes, para así, lograr un cambio en su estado: pasa de líquido a sólido. Posterior a ello, el betún se encuentra listo para su comercialización. Por otro lado, la elaboración de cera para muebles se

lleva a cabo con la mezcla de grasas y aceites usados, cera de abejas, trementina y aceite mineral; disueltos los productos, deben ser calentados y luego expuestos a temperatura ambiente para que se solidifique el producto final. De este modo, se consigue que la cera tenga una buena consistencia y que pueda, a su vez, proporcionar un buen brillo.

- iv. Fertilizantes: un proyecto de investigación del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) titulado «Demostración del ciclo de residuos cero mediante la completa valorización de los residuos del refinado de aceites vegetales usados» y finalizado en febrero de 2013, surgió para dar solución a los residuos generados en el proceso de conversión de los aceites vegetales usados (AVU) de uso doméstico en biodiésel. Se ha logrado obtener energía y fertilizantes utilizando estos AVU, con el avance añadido de eliminar en el proceso todos los residuos.
- v. Biodiésel: la elaboración de biodiésel a partir de aceites vegetales usados es una aplicación emergente que se ha desarrollado rápidamente y con la que se están realizando diversas pruebas piloto en varios países. El proceso de tratamiento de los AVU para la aplicación como biodiésel se basa en un conjunto de reacciones químicas, un proceso de transesterificación, donde actúan: aceite vegetal o grasa, un alcohol (metanol) y un catalizador alcalino. Es este proceso, el 85% se convierte en biodiésel y el 15%, en glicerol. En el proceso de transesterificación, se remueve la glicerina de los triglicéridos y se sustituye por el alcohol usado para el proceso de conversión, el cual disminuye la viscosidad, pero mantiene el número de cetano y el poder calorífico.

1.8.3.4 Otros usos (Costas, 2020)

- i. Gasóleo: el Aceite Vegetal Hidrotratado (AVH o HVO -por sus siglas en inglés-) es un tipo de gasóleo de origen renovable obtenido a partir de aceite reciclado y grasas obtenidas de cocinas particulares o profesionales. Es una alternativa al gasóleo normal auspiciada por la Unión Europea. El aceite de cocina usado es un residuo que bien puede tener una segunda vida como combustible. A través de la iniciativa

européa RecOil se está aumentando el nivel de recogida del aceite usado, tanto en la esfera profesional como en la particular, para disponer de más "materia prima". Las grasas y el aceite usado se refinan y procesan con un catalizador de hidrógeno. El combustible resultante, HVO, no tiene oxígeno ni azufre. En teoría no hace falta modificación alguna para utilizarlo en cualquier motor diésel, como si fuese gasóleo normal y corriente. Se pueden mezclar en cualquier proporción sin problema.

Por ejemplo, fabricantes como Ford han dado su apoyo oficialmente para usarlo en sus vehículos (concretamente las furgonetas Transit 2.0 EcoBlue, las más modernas). El HVO está disponible sobre todo en gasolineras de países del norte de Europa, aunque empezaremos a verlo como realidad comercial más a menudo. El principal atractivo del HVO es que reduce las emisiones indirectas que implica traer el gasóleo desde los lugares de producción y también tiene connotaciones positivas frente al biodiésel, sobre todo el obtenido a partir del aceite de palma tras haber deforestado para que crezcan los cultivos.

- ii. Bioplástico natural: utilizar el aceite de fritura usado para producir bioplásticos naturales, 100% biodegradables y con las mismas propiedades termo mecánicas que los plásticos tradicionales. Este es el nuevo desarrollo de los laboratorios Bio-on, una empresa con sede en Bolonia que opera en el campo de los bioplásticos de alta calidad, que ha decidido usar como materia prima un material de desecho entre los más caros en términos de eliminación, y con un alto impacto medioambiental. El bioplástico natural fabricado con el aceite de fritura usado tiene las mismas características que el generado a partir de otros residuos u otros productos agroindustriales, lo que es posible gracias a un sistema de tratamiento al que se somete previamente el aceite usado. En comparación con los plásticos tradicionales, los bioplásticos se obtienen a partir de fuentes vegetales renovables sin competir con las cadenas de suministro alimentario y ofrecen posibilidades de aplicación incluso en sectores en los que no se utilizan los plásticos tradicionales. (Flores Trujillo y Carranza Serrano, 2022)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Aceite vegetal

Los aceites han sido utilizados por los humanos desde épocas ancestrales como parte de su alimentación y como combustibles, los aceites son productos de origen vegetal o animal, cuyos componentes principales son triésteres de ácidos grasos y el glicerol, se les denomina como “triglicéridos”, un aceite puede estar formado por un solo tipo de triglicérido, o por una mezcla de los mismos. (Durán Agüero, Torres García, y Sanhuesa Catalán, 2015)

Se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos no polares. Los ácidos grasos son compuestos carboxílicos terminales de cadena abierta alifática de C8 a C24 de longitud y pueden ser saturados o insaturados. (Nieves, 2018)

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Como todas las grasas está constituido por glicerina y tres ácidos grasos. Puede obtenerse del girasol, soja, maíz, lino, sésamo, entre otros. (Nasello, 2019)

El consumo de aceite vegetal aumentó rápidamente, en un 3,5 %, casi dos veces más que la población mundial, la cual aumentó en 1,6 % entre los años 1980 y 2000, por consiguiente, aumentó la generación de aceite vegetal de desecho. Se estima que más de 10 millones de toneladas de aceite vegetal de desecho se generan en el mundo cada año. Los aceites vegetales de desecho, son aquellos que han sido utilizados en los procesos de cocción en restaurantes, comedores colectivos, industrias alimenticias, etc. El aceite vegetal que se vierte en las fuentes de agua proviene principalmente de las industrias, mientras que la segunda fuente más importante de este contaminante proviene de las casas. (Bombón y Albuja, 2018)

Durante el proceso de fritura el aceite presenta un gran número de reacciones químicas complejas, por lo que el aceite empieza a degradarse; es de suma importancia la purificación del aceite residual para eliminar los potenciales contaminantes del mismo y así obtener un

producto de suficiente calidad como para ser fuente de materias primas en procesos de transformación que permitan obtener nuevos productos. (Bombón y Albuja, 2018)

Actualmente se investigan fuentes alternativas de energías, así como la sustitución de los lubricantes de origen mineral, debido al agotamiento del principal combustible fósil (petróleo) y los efectos contaminantes que éste y sus derivados generan al medio ambiente. Una fuente alternativa que da respuesta a ambos casos son los aceites vegetales, ya que, convertidos en biodiesel a través del proceso de transesterificación, constituyendo combustibles capaces de sustituir al diésel, generando gases menos tóxicos al medioambiente. Por otra parte, los aceites vegetales son ecológicos y biodegradables, lo que los convierte en fuertes candidatos para la sustitución de los lubricantes minerales. (Bombón y Albuja, 2018)

2.2 Composición del aceite vegetal

(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, OMS, 1993)

El aceite vegetal se caracteriza por su composición de ácidos grasos; las diferencias entre los diversos tipos de aceite son debido a la distinta composición de estos. Así, atendiendo a su composición los aceites vegetales pueden clasificarse en:

- a) Aceites ricos en ácidos grasos saturados y ácido oleico (aceite de oliva).
- b) Aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados (aceite de girasol).

Dependiendo del tipo de aceite la composición de los ácidos grasos varía. (Preciado, 2017)

A. Ácidos grasos

Los ácidos grasos más abundantes presentan cadenas lineales con un número par de átomos de carbono. Existe un amplio espectro de longitudes de cadena, que varían entre un ácido graso de la leche con cuatro átomos de carbono, y los ácidos grasos de algunos aceites de pescado, con 30 átomos de carbono. Son frecuentes los ácidos grasos con 18 átomos de carbono. Los dobles enlaces situados en la cadena de carbonos o los sustituyentes de la misma se designan químicamente asignando al

carbono del grupo carboxilo la posición 1. Así, los dobles enlaces del ácido linoleico le proporcionan el nombre químico sistemático de ácido 9,12-octadecadienoico. Una abreviatura taquigráfica para designar el ácido linoleico sería 18:2 (18 átomos de carbono: dos dobles enlaces). Su último doble enlace se encuentra a seis átomos de carbono del metilo terminal, una característica importante para algunas enzimas. Este ácido se considera un ácido graso n-6 o w 6 (véase Figura 2.1).

En la figura 2.2 se presenta el nombre común (vulgar), el nombre químico sistemático y la abreviatura de varios ácidos grasos. Los dobles enlaces de los ácidos grasos están en configuración cis. El primer miembro de la serie n-6 de los ácidos grasos es el ácido linoleico, y el primer miembro de la serie n-3 es el ácido α -linolénico (ácido 9, 12, 15- octadecatrienoico). Los ácidos grasos poliinsaturados n-6 y n-3 presentan dobles enlaces en cis separados por grupos metileno. Un doble enlace puede cambiar de configuración cis a trans (isomerización geométrica), o bien puede desplazarse a otra posición de la cadena de carbonos (isomerización posicional), según se ilustra en la Figura 2.1. El perfil de un ácido graso en trans es similar al de un ácido graso saturado, como resultado de esto, los ácidos grasos en trans presentan puntos de fusión más elevados que sus isómeros en cis. El isómero en trans puede considerarse como un intermedio entre el ácido graso insaturado en cis original, y un ácido graso completamente saturado.

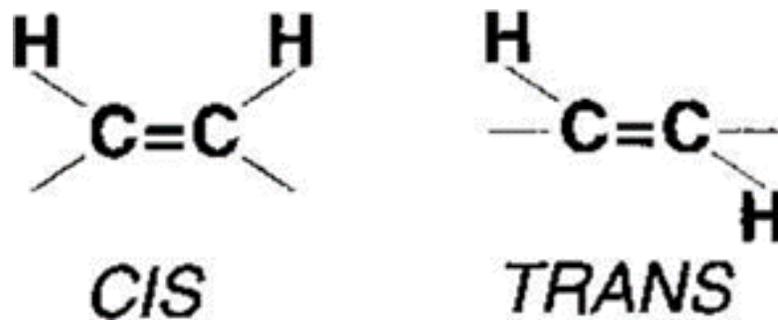
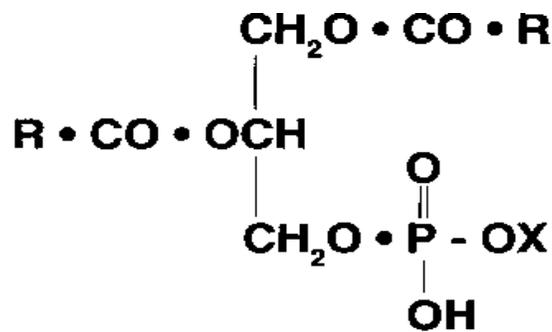


Figura 2.1 Estructura en cis y en trans de los dobles enlaces

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; OMS1993

- I. **Acilglicéridos:** El tipo de ácido graso y la posición en la cual se esterifica a glicerol determinan las características de los acilglicéridos. Además de los glicéridos que presentan tres ácidos grasos esterificados, los di acilglicéridos (diglicéridos) y los monos acilglicéridos (monoglicéridos) también están presentes en los alimentos crudos o en los ingredientes de los alimentos. Se observan características específicas en cuanto a la posición que ocupan los ácidos grasos en las tablas 2.1 y 2.2. Las grasas de reserva de origen animal tienden a presentar un ácido graso saturado en la posición 1 y un ácido graso insaturado en la posición 2. Los ácidos grasos de la posición 3 parecen presentar una distribución fortuita, aunque con frecuencia aquí se acumulan ácidos grasos poliinsaturados.
- II. **Fosfolípidos:** Los fosfolípidos son componentes de la membrana que están presentes en los alimentos y aceites obtenidos por extracción. La estructura general de los fosfoglicéridos se muestra en la Figura 2.2



Fosfolípidos, donde X representa la colina, etanolamina, serina, inositol, glicerol

Figura 2.2 Diagrama de fosfolípidos.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; OMS, 1993

En la tabla 2.1 se presentan algunos ácidos grasos de los alimentos con sus nombres comunes, nombres sistemáticos, abreviaturas y familia del ácido graso a la que pertenecen. En la tabla 2.2 se muestra la composición química de los aceites vegetales de oliva y girasol.

Tabla 2.1 Algunos ácidos grasos de los alimentos.

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE SISTEMÁTICO | ABREVIATURA | FAMILIA DE ÁCIDO GRASO |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|------------------------|
| cáprico | decanoico | 10:0 | |
| láurico | dodecanoico | 12:0 | |
| mirístico | tetradecanoico | 14:0 | |
| palmítico | hexadecanoico | 16:0 | |
| esteárico | octadecanoico | 18:0 | |
| arquídico | elcosanoico | 20:0 | |
| behénico | docosanoico | 22:0 | |
| lignocérico | tetracosanoico | 24:0 | |
| palmitoleico | 9-hexadecenoico | 16:1 | n-7 |
| oleico | 9-octadecenoico | 18:1 | n-9 |
| gadoleico | 11-eicosaenoico | 20:1 | n-9 |
| cetoleico | 11-docasaenoico | 22:1 | n-11 |
| erúcico | 13-docasaenoico | 22:1 | n-9 |
| nervónico | 15-tetracosanoico | 24:1 | n-9 |
| linoleico | 9,12-octadecadienoico | 18:2 | n-6 |
| α -linoleico | 9,12,15-octadecatrienoico | 18:3 | n-3 |
| γ -linoleico | 6,9,12-octadecatrienoico | 18:3 | n-6 |
| dihomo- γ -linoleico | 8,11,14-eicosatrienoico | 18:3 | n-6 |
| | 5,8,11-eicosatrienoico | 20:3 | n-9 |
| araquidónico | 5,8,11,14-eicosatetraenoico | 20:4 | n-6 |
| AEP | 5,8,11,14,17-eicosapentanoico | 20:5 | n-3 |
| adrénico | 7,10,13,16-docosatetraenoico | 20:4 | n-6 |
| | 7,10,13,16,19-docosapentanoico | 22:5 | n-3 |
| ADP | 4,7,10,13,16-docosapentanoico | 22:5 | n-6 |
| ADH | 4,7,10,13,16,19-docosaheptanoico | 22:6 | n-3 |

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, OMS, 1993

Tabla 2.2 Composición química de aceites vegetales: oliva y girasol

| ÁCIDOS GRASOS | OLIVA | GIRASOL |
|----------------------------|--------|---------|
| Ácido láurico (C12:0) | 0 | ≤ 0,01 |
| Ácido mistérico (C12:0) | ≤ 0,05 | ≤ 0,01 |
| Acido palmítico (C16:0) | 7-8 | 5-8 |
| Ácido palmitoleico (C16:1) | 0.3-3 | ≤ 0,2 |
| Ácido esteárico (C18:0) | 0.5-5 | 3-7 |
| Ácido oleico (C18:1) | 61-83 | 15-38 |
| Ácido linoleico (C18:2) | 2-18 | 50-72 |
| Ácido linolénico (C18:3) | ≥ 1,5 | ≤ 0,2 |
| Ácido arcaico (C20:0) | ≤ 0,5 | ≤ 0,6 |
| Ácido gadoleico (C20:1) | 0 | ≤ 0,3 |
| Ácido behénico (C22:0) | 0 | ≤ 1,0 |
| Ácido erúcico (C22:1) | 0 | 0 |
| Ácido lignocérico (C24:0) | 0 | 0 |

Fuente: Nazareno, 2017

B. Componentes no glicéridos

La creciente constatación de la importancia de los componentes no glicéridos de los ácidos grasos, algunas veces denominados “constituyentes menores”, obligó a incluir este tema en la consulta de expertos. Los componentes no glicéridos sólo son componentes menores en lo que se refiere a su concentración con respecto a los triacilglicéridos. La nueva información sobre estos constituyentes de las grasas procede de las mejoras en la capacidad de analizarlos y de los estudios de sus propiedades.

- i. Vitamina E: La vitamina E consiste en una mezcla de fenoles liposolubles caracterizados por una cabeza aromática de cromanol y una cadena lateral de 16 átomos de carbono. El número y posición que los grupos metilo ocupan en el anillo de cromanol, da lugar a los diferentes alfa -, beta -, gamma-, y

sigma -tocoferol y a los isómeros del tocotrienol (véase Figura 2.3). Los aceites vegetales y los productos elaborados con ellos contienen normalmente grandes cantidades de tocoferol, especialmente los isómeros alfa, beta y gamma. Además, algunos aceites vegetales, especialmente el aceite de palma (Qureshi et al., 1991a) y el aceite de salvado de arroz (Rogers et al., 1993), son fuentes muy ricas de tocotrienoles con una débil actividad como vitamina E, pero que actúan como antioxidantes y proporcionan estabilidad contra la oxidación.

- ii. **Carotenoides:** Los carotenoides son hidrocarburos liposolubles altamente insaturados derivados del poli isopreno. Se sabe que en las grasas animales y vegetales están presentes más de 75 carotenoides diferentes. Los más frecuentes son los carotenos alfa, beta y gamma, la licopina, la luteína y las xantofilas (véase Figura 2.4). Los carotenoides y sus derivados son normalmente los que dan el color amarillo a rojo intenso a las frutas, hortalizas, cereales y aceite de palma bruto. Los carotenoides son los precursores de la vitamina A, presentando el b -caroteno la mayor actividad de provitamina A.

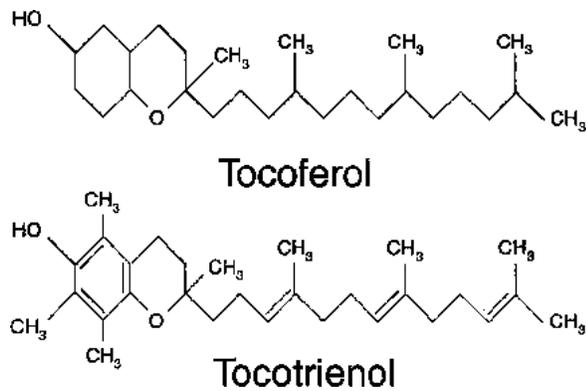


Figura 2.3 Diagrama del tocoferol y del tocotrienol.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; OMS, 1993

- iii. **Vitaminas A y D:** Una fuente tradicional de vitamina A es la grasa de la mantequilla. Los aceites de pescado constituyen la fuente normal de vitamina

D. Las margarinas, que se enriquecen con vitaminas A y D por exigencias legales en la mayoría de los países, también contribuyen de forma importante a asegurar una ingestión adecuada de estos nutrientes.

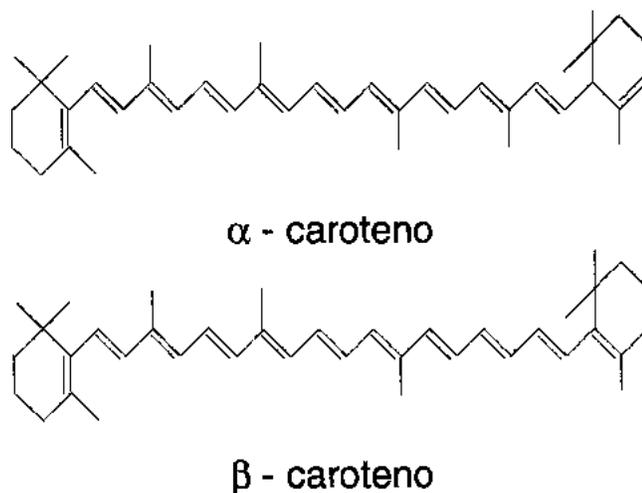


Figura 2.4 Diagrama del α -caroteno y del β -caroteno.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; OMS, 1993

C. Otros componentes

- i. Esteroles: El colesterol es el principal esterol de los productos animales. Los principales esteroles de las plantas son el β -sitosterol, el campesterol y el estigmasterol, aunque se sabe que existen algunos otros (Formo et al., 1979). El contenido de esterol de las grasas y aceites alimentarios oscila entre el 0,01 y el 2 por ciento (Itoh, Tamura y Matsumoto, 1973a).
- ii. Alcoholes derivados del metilesterol y del triterpeno: Los esteroles metilados en la posición OH-4 están presentes en los aceites vegetales comunes en concentraciones del 0,01 al 0,4 por ciento, presentando el aceite de salvado de arroz y el aceite de sésamo los niveles más elevados (Itoh, Tamura y Matsumoto, 1973b). Las correspondientes concentraciones de alcoholes triterpénicos, incluidos los de cinco

anillos de ciclohexano condensados, son del 0,01 al 1,2 por ciento. El aceite de salvado de arroz es el único que se encuentra en el nivel superior.

- iii. Escualeno: El hidrocarburo predominante en las grasas alimentarias es el escualeno. Es un intermediario en la síntesis del esteroles a partir del acetato, y se encuentra en cantidades particularmente elevadas en algunos aceites de pescado y en el aceite de oliva. En la mayoría de los aceites vegetales, la concentración se encuentra por debajo de 30 mg/100 g (Formo et al., 1979).
- iv. Orizanoles: Los orizanoles son compuestos que constan de ácido ferúlico esterificado con varios esteroides vegetales y con alcoholes triterpénicos (véase Figura 2.5). Aunque se encuentran grandes cantidades en el salvado de arroz crudo y en el aceite de linaza, los orizanoles no se encuentran ampliamente distribuidos en otros aceites.

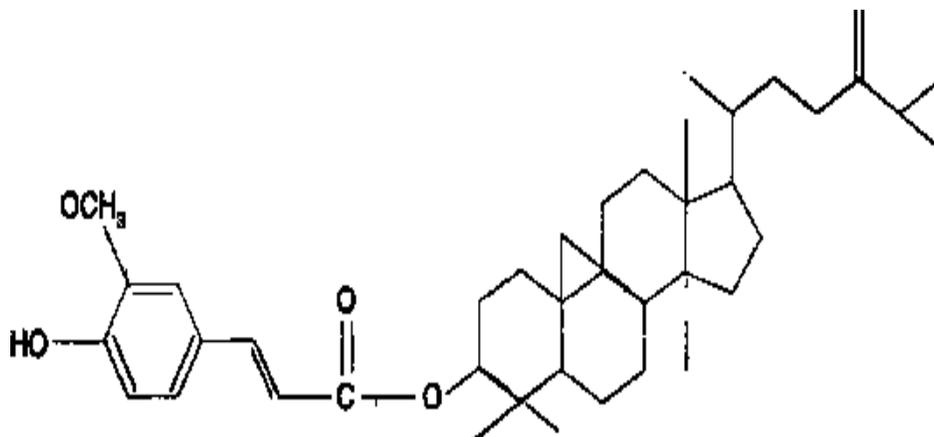


Figura 2.5 Estructura química del orizanol (ester 24-metilen- cicloartanol del ácido ferúlico).

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; OMS, 1993

2.3 Propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal

(Lafargue-Pérez, Barrera, Nascimento, Díaz y Rodríguez, 2012)

El aceite vegetal crudo contiene muchas impurezas, tales como: sustancias mucilaginosas, resinas, fibras, ceras, metales que se comportan como catalizadores. El

aceite vegetal debe poseer un bajo índice de acidez, menor o igual a 3,1 mg de KOH/g de aceite para un correcto proceso de transesterificación.

Según el tratamiento que haya tenido la semilla de la planta (recolección, secado, almacenamiento y extracción), así como el tratamiento y conservación que tenga el aceite, puede conducir a elevar la acidez debido a la presencia de ácidos grasos libres que afectan el rendimiento durante la transesterificación.

Una vez realizada la cosecha de la semilla, el aceite es extraído de forma mecánica, luego se realiza el refinado químico que consiste en el desgomado y el neutralizado. Luego se determinan diferentes propiedades al aceite, teniendo en cuenta las diferentes normas a tal efecto, las cuales se muestran en la tabla 2.3 (HOUFANG LU, 2008)

Las altas temperaturas que alcanzan los aceites durante el proceso de fritura producen una compleja serie de reacciones que resultan en la oxidación y polimerización del aceite. Además, los residuos de la comida, que frecuentemente alcanzan valores cercanos a 25% de compuestos polares, y su respectiva degradación, también afectan la calidad del aceite. (Amado y Mora, 2006)

- i. Viscosidad Una de las propiedades directamente afectadas por los compuestos polares y los procesos de polimerización es la viscosidad. La importancia del estudio de la viscosidad bajo diferentes condiciones radica en que permite determinar la viabilidad de uso de un aceite como combustible o lubricante. La atomización del combustible es afectada por factores como densidad, viscosidad y tensión superficial. Distintos métodos y modelos se han desarrollado para predecir la viscosidad de un tipo específico de aceite combustible puro o de las mezclas con diésel. (Amado y Mora, 2006)
- ii. Índice de acidez El IA es considerado como uno de los principales parámetros que reflejan la calidad de los aceites vegetales, el grado de refinación, así como el cambio de calidad durante el almacenamiento. (Menacho, Salvador, Guillén, Capa, y Moreno, 2015)

Es el número de mg de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (moléculas que no se encuentran unidas a una molécula de glicérido), de 1g de aceite. Esto se determina mediante la titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol con una solución estándar de KOH. (Nieves, 2018)

Un valor elevado del índice muestra el alto grado de hidrólisis que ha liberado a los ácidos grasos de su enlace éster con la molécula de glicérido original. Este índice es importante para el proceso de la reacción de transesterificación, debido a que los ácidos grasos reaccionan con el catalizador de la transesterificación dando lugar a la saponificación (jabones), conduciendo a la disminución en el rendimiento de la producción de biodiesel. (Nieves, 2018)

- iii. Índice de peróxido: Determina el estado de oxidación inicial de un aceite, el cual se asocia al enranciamiento de los aceites. Por lo general el enranciamiento es un proceso natural, donde la composición de estos se altera con el tiempo, generando un cambio en las propiedades organolépticas, entre otras cosas, lo que es indicativo de un proceso oxidativo intenso. (Nieves, 2018)

El enranciamiento puede ser por hidrólisis o por oxidación: cuando se dice que es por hidrólisis los acilglicéridos de los aceites se hidrolizan liberando ácidos grasos y glicerina, pero cuando es por oxidación el proceso consiste en la incorporación del oxígeno en el doble enlace del ácido graso insaturado (ya sea libre o incorporado en un acilglicérido) para formar peróxidos e hidroperóxidos. (Nieves, 2018)

Los peróxidos e hidroperóxidos son compuestos relativamente estables y se transforman progresivamente en aldehídos, cetonas condición que se manifiesta en problemas de olor en el aceite.

La velocidad de oxidación aumenta por el incremento en la temperatura, a través de la exposición del oxígeno del aire, presencia de luz y contacto con materiales prooxidantes (cobre, latón, bronce, etc.), además el proceso de fritura favorece

este proceso en el aceite. El índice de peróxido se expresa en mili-equivalente de oxígeno por kilogramo (kg) de aceite (meq O₂/kg). (Nieves, 2018)

- iv. Índice de yodo: Este índice nos permite obtener el número de insaturaciones de los ácidos grasos en el aceite, de manera que un aceite cuando se encuentra completamente saturado tendrá un índice de yodo igual a 0. El valor obtenido establece una relación con el punto de fusión del aceite, tomando como condición que a mayores insaturaciones es menor el punto de fusión del aceite. Dado que las insaturaciones de los ácidos grasos se mantienen después del proceso de la alcoholisis, el punto de fusión de los biocombustibles producidos está relacionado al del aceite de procedencia. (Nieves, 2018)
- v. Índice de saponificación: Este se define por el número de mg de KOH necesario para saponificar 1 gr de aceite. Un aspecto importante es que este valor indica la facilidad con la que la muestra se puede saponificar, además de que se emplea para establecer aproximadamente la masa molar promedio del aceite utilizado. (Nieves, 2018)
- vi. Índice de humedad Establece la cantidad de agua presente en el aceite, lo que puede causar la hidrólisis de los triglicéridos, generando ácidos grasos libres, mono glicéridos, di glicéridos y/o glicerol. Este proceso se acelera en el aceite por un aumento de altas temperaturas y presión, así como una cantidad excesiva de agua. Existen varios métodos para determinar la humedad, pero por lo general se hace por el método de evaporación de la misma; otro método muy aplicado es Karl Fischer, método que químicamente mide la cantidad de agua contenido en la muestra. (Nieves, 2018)

En la tabla 2.3 se muestran las normas empleadas para la caracterización fisicoquímica del aceite vegetal, entre ellas hay normas ASTM y AOCS.

Tabla 2.3 Normas empleadas para la caracterización del aceite vegetal: ASTM y AOCS.

| PROPIEDADES | NORMA EMPLEADA |
|--|------------------------------|
| Viscosidad cinemática (mm ² /s) | ASTM D 445 |
| Densidad (kg/m ³) | ASTM D 1298 |
| Índice de viscosidad | ASTM D 2270 |
| Acidez (%) | AOCS Método oficial Ca 5a |
| Humedad (%) | AOCS Método oficial Ca 2a |
| Contenido de cenizas (%) | AOCS Método oficial Ca 11-55 |
| Contenido de metales (ppm) | ASTM D 6595 |
| Punto de inflamación (°C) | ASTM D 92 |
| Punto de fluidez (°C) | ASTM D 97 |

Fuente: HOUFANG LU, 2008

2.4 Aceite vegetal usado

(Gioia, 2013)

El aceite vegetal de uso doméstico es un producto habitual en nuestras cocinas, en restaurantes, catering, industrias alimenticias, etc.; utilizados como materia prima (aceite de oliva, girasol, soja...) para freír o durante procesos de cocción. Una vez usado, el aceite vegetal de uso doméstico se considera como un residuo contaminante.

En el sector del hotelería y en la actividad gastronómica, el aceite vegetal usado se genera en grandes cantidades. Para hacerse una idea, un establecimiento gastronómico de tamaño medio puede llegar a originar del orden de 50 o más litros al mes de aceite vegetal usado. Mientras que en nuestros propios hogares las cantidades son menores pudiendo generar un promedio aproximado de un litro al mes.

La gestión de los aceites vegetales usados no sólo representa un problema ambiental, sino que es un desaprovechamiento de una materia prima valiosa, tanto para la obtención de glicerina, ácidos grasos o ésteres como el biodiesel.

De esta gestión incorrecta de los aceites vegetales usados se pueden derivar una serie de problemas que se resumen en los siguientes puntos:

- a) Provoca malos olores por descomposición, suciedad y sirve como alimento de ratas, cucarachas y otros insectos.
- b) Se solidifica y se queda adherida a los desagües de las casas y a la red general con el peligro de embotellamiento y atascos en tuberías.
- c) El aceite mezclado en el agua complica los procesos de depuración y se encarecen los costes de explotación de las depuradoras.
- d) Complica el proceso de recuperación de las aguas residuales que recogen las depuradoras locales, al dificultar el funcionamiento de los depósitos de aireación, lo que provoca una disminución de la vida media de estas instalaciones.
- e) Los aceites llegan a los ríos y forman una película superficial que impide el normal intercambio de oxígeno, dificultando la vida de los peces y demás seres acuáticos provocando una alteración en el ecosistema.

2.4.1 Reacciones químicas comunes de los aceites durante el proceso de fritura

(Preciado, 2017)

Durante la fritura, el calor es transferido a los alimentos lo que propicia que estos sufran cambios y reacciones entre sus componentes, evaporándose el agua de las capas superficiales, absorbiéndose aceite, que es el que les imparte el sabor y la textura. Cabe recalcar que las reacciones que se originan durante el proceso de fritura son las siguientes:

Hidrolíticas. Los triglicéridos en contacto con humedad o agua se descomponen en diglicéridos y monoglicéridos, liberando una o dos cadenas de ácidos grasos. El resultado de la hidrólisis es la aparición de ácidos grasos libres, que aumentan la acidez del aceite, y en menor cantidad la formación de metil cetonas y lactosas, que pueden producir aromas desagradables. Ver tabla 2.4

Termo oxidativas: El calentamiento del aceite a las temperaturas utilizadas en la fritura provoca su degradación termo oxidativa y la aparición de compuestos que reducen su calidad organoléptica y nutritiva. La velocidad de oxidación no viene determinada solamente por la

temperatura, sino también por el tipo y calidad del aceite, por la superficie de exposición al aire, y por la presencia de pro oxidantes (hierro, cobre), antioxidantes (alfa-tocoferol) y antiespumantes (siliconas). Se forman compuestos polares, polímeros y volátiles.

Polimerización: Esta reacción se lleva a cabo por la formación de compuestos anillados, como se ha mencionado anteriormente el aceite usado de cocina presenta alto grado de insaturación, lo que conlleva a la combinación de radicales libres formando compuestos lineales o largos, estos al aumentar su tamaño y peso molecular, aumentan la viscosidad del aceite y aparece espuma, la cual es de eliminar del aceite (Camelo J., 2005)

Tabla 2.4 Composición media de ácidos grasos de los aceites reciclados.

| ÁCIDO GRASO | COMPOSICIÓN (%) |
|----------------------------|-----------------|
| Ácido mirístico (C14:0) | 0.02 |
| Ácido palmítico (C16:0) | 10.35 |
| Ácido palmitoleico (C16:1) | 0.91 |
| Ácido esteárico (C18:0) | 3.35 |
| Ácido oleico (C18:1) | 56.35 |
| Ácido linoleico (C18:2) | 26.71 |
| Ácido linolénico (C18:3) | 1.17 |
| Ácido arcaico (C20:0) | 0.5 |

Fuente: (Preciado, 2017)

2.4.2 Características fisicoquímicas del aceite reciclado

Según Murcia et al., (2013) indican que las características fisicoquímicas del aceite vegetal usado comparadas con las del aceite vegetal fresco o sin usar son las que se presentan en la tabla 2.5 y se pueden notar las diferencias que presentan en diversas propiedades tanto físicas como químicas:

Tabla 2.5 Características fisicoquímicas del aceite vegetal de cocina (desechado, usado, fresco).

| PARÁMETROS | DESECHADO | USADO | FRESCO |
|--------------------------------------|--------------|------------|----------------|
| Peso específico | 0.911 | 0.9593 | 0.858 |
| (20°C) | | | |
| (34°C) | | | |
| Índice de yodo (%m/m) | 107.76 | 99.585 | 93.95 |
| Índice de saponificación (mg KOH/g) | 201.5 | 185.6 | 160.1 |
| Índice de refracción (500C) | 1,4605 | 1,459 | 1,456 |
| Humedad y material volátil (%m/m) | 0.1046 | 0.0899 | 0.1526 |
| Punto de fusión (0C) | 32.6 | 32 | 26 |
| Impurezas insolubles (%m/m) | 0.012 | 0.052 | 0.066 |
| Índice de acidez (%m/m ácido oleico) | 9.193 | 1.87 | 1.07 |
| K232 | 0.126 | 0.075 | 0.015 |
| K270 | 0.156 | 0.076 | 0.03 |
| Color (%T550nm) | 95 | 99 | 100 |
| Kreis (interfase) | Rojo intenso | Rojo claro | Amarillo claro |

Fuente: (Preciado, 2017)

2.4.3 Gestión de los aceites vegetales domésticos usados (Preciado, 2017)

Cuando se someten los residuos a una correcta gestión se evita que se utilicen procedimientos y métodos que puedan poner en peligro no sólo el medio ambiente, sino también la salud humana. La gestión de los aceites vegetales usados comprende las siguientes acciones, véase figura 2.6:

- i. Generación y almacenamiento: se almacena en bolsas y contenedores específicos para luego transportarlos.
- ii. Recogida y Transporte: se recogen las bolsas y contenedores para transportarlos desde los lugares de producción hasta los lugares de tratamiento.
- iii. Tratamiento y eliminación: operaciones destinadas a la recuperación y o a la disposición final o eliminación de los residuos.

iv. Valorización: aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos.

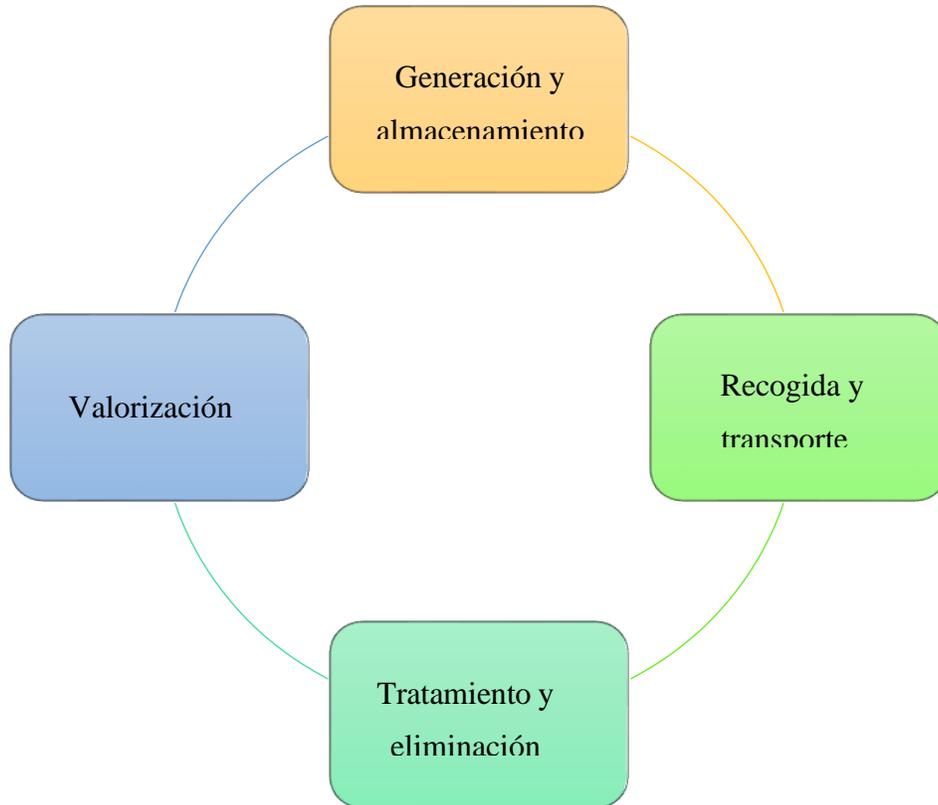


Figura 2.6 Diagrama de gestión de aceites usados.

Fuente: (Gioia, 2013)

2.5 Productos derivados de la industria de aceites vegetales

Las lecitinas y las ceras son productos derivados de la industria de aceites vegetales de gran valor como se explica a continuación:

2.5.1 Lecitina y ceras

Las lecitinas y las ceras se utilizan como materiales de fabricación de otros productos, debido a sus funciones. Además, son productos completamente naturales, ya que se extraen de aceites vegetales.

2.5.1.1 Lecitina

(FISHMER LECITHIN, 2021)

La lecitina es un compuesto químico formado principalmente por ácidos grasos, glicerol, ácido fosfórico y colina, y es uno de los fosfolípidos. Es un producto completamente natural que se encuentra en las yemas de huevos, las habas de soja, las semillas de girasol y las células de las semillas de las plantas.

Las lecitinas de soja y girasol contienen muchos más ácidos grasos esenciales que la lecitina de colza y, por tanto, son más valiosas desde un punto de vista nutricional.

Las principales funciones de la lecitina son estabilizar las membranas celulares, estimular diversos procesos metabólicos, respaldar la regeneración de células hepáticas y muchas otras. A fecha de hoy todavía no se han encontrado sustitutos sintéticos cuyas funciones puedan ni siquiera acercarse a las de la lecitina.

La lecitina es un extraordinario emulsionante, ya que puede combinarse con grasas y aceites como con el agua.

Las sustancias inmiscibles, como el aceite y el agua, forman emulsiones estables gracias a la lecitina. Esta propiedad se emplea, por ejemplo, en la producción de chocolate y polvo de cacao, margarina untada y grasas que no chorrean, y pasta crujiente.

Hasta los aromas estimulantes duran mucho más gracias a la adición de lecitina. Es así porque la lecitina es capaz de encerrar sus principios activos en gotas de aceite. Por tanto, los aromas pueden "encapsularse" y transportarse. Esto beneficia a los alimentos bajos en grasa, que pueden adquirir un sabor intenso.

Las propiedades antioxidantes de la lecitina también se extienden a la conservación de los alimentos en la despensa.

No obstante, como es un versátil agente emulsionante y dispersante, la lecitina se emplea no solo en la industria alimentaria, sino también en la producción de productos cosméticos y farmacéuticos, y en la producción de alimentos para animales y tecnología.

A. Producción de lecitina

Las semillas de soja, colza y girasol son los principales productos iniciales para la obtención de lecitinas. Se limpian, secan y extraen. Así se produce un aceite vegetal crudo con un contenido en lecitina de hasta un 2,5 %. El petróleo crudo se calienta a 90 °C añadiendo un poco de agua. Unos separadores especiales se encargan de separar la lecitina del petróleo crudo. Las gomas húmedas de lecitina se secan y enfrían hasta alcanzar una temperatura inferior a 50 °C para evitar su oscurecimiento. El resultado final es lecitina líquida y natural.

La parte aceitosa de la lecitina líquida se extrae para obtener polvos o gránulos. Esta concentración aumenta la parte operativa de la lecitina: la llamada parte insoluble en acetona.

2.5.1.2 Ceras

(PROQUINAT, 2021)

Las ceras vegetales son lípidos saponificables que están compuestos por un ácido graso de cadena larga y son sólidas a temperatura ambiente. Los aceites vegetales son triglicéridos extraídos de las plantas y son líquidos a temperatura ambiente.

Las ceras vegetales y aceites vegetales son una alternativa a las ceras de origen mineral, como la parafina, para una gran variedad de industrias como el papel, la fabricación de velas o la industria farmacéutica.

A. Producción de las ceras

- a) Cera de soja: La cera de soja se produce por la hidrogenación parcial o completa del aceite de soja. El proceso de hidrogenación convierte algunos de los ácidos grasos del aceite de no saturados a saturados. Este proceso altera el punto de fusión del aceite, haciéndolo sólido a temperatura ambiente. La cera de soja es muy utilizada para la fabricación de velas de soja y también en el sector de cosmética.
- b) Cera de palma: La cera de palma se produce por la hidrogenación parcial o completa del aceite de palma. La cera de palma tiene gran aceptación en la industria de velas ya que se considera un material ideal para hacer velas. Con un punto de fusión más

alto que otras ceras, no se derrite a temperaturas altas, absorbe bien los colores y fragancias, además se mezcla bien con otras ceras y parafinas, lo que le da una gran versatilidad de formas, aromas y texturas. La cera de palma también presenta alta contracción, lo que significa que, cuando se enfría, se separa de los bordes del molde o de la máquina. La cera de palma también es muy utilizada en aplicaciones de papel encerado para aumentar la impermeabilidad y la resistencia al agua y los aceites.

- c) Cera de girasol: La cera de girasol se produce por la hidrogenación del aceite de girasol. Es una cera muy utilizada en el sector de cosmética por su contenido de ácidos grasos esenciales y vitaminas como también es una cera vegetal muy utilizada en la industria del papel y la industria de velas.

2.5.2 Jabones

Los jabones también forman parte de los productos que se pueden elaborar a base de aceite vegetal, el método tradicional para su elaboración parte de la saponificación de aceites y grasas con hidróxido de sodio. Actualmente la tecnología de producción de los jabones está cambiando de la saponificación a la neutralización de ácidos grasos con hidróxido de sodio (Rupilius, 2007).

El aceite de palma puede ser utilizado para la elaboración de jabones, ya que, posee unos ácidos grasos que pueden ser mezclados en proporciones para obtener las características de un jabón como: estabilidad, solubilidad, facilidad para producir espuma, además de tener propiedades de retención de perfume; sin embargo, los jabones elaborados a partir de aceite crudo de palma tienen un color que va disminuyendo con el tiempo y esto se debe a la presencia de antioxidantes naturales, esto ocasiona que se caracterice como un jabón de menor pureza, siendo utilizado para la limpieza o cocina (Garces y Cuellar, 2012).

2.5.2.1 Proceso de la elaboración de jabón

El método más utilizado es la saponificación directa, debido a que el equipo necesario para obtener un producto de calidad es accesible y sencillo para la mayoría de las personas, y adaptable a cualquier lugar donde se desarrolle el proyecto (Guerrero Gonzales, 2014).

Saponificación directa de las grasas neutras, también conocida como hidrólisis alcalina de ésteres; es la reacción química en la cual los Triglicéridos presentes en el aceite y/o grasas son saponificados directamente al estar en contacto con una base fuerte, el álcali, como la soda caustica y se produce jabón y glicerina como resultado (Guerrero Gonzales, 2014). En la figura 3.2 se muestra la reacción de saponificación directa, en la cual el ácido graso reacciona junto con la solución alcalina para obtener jabón más glicerina.

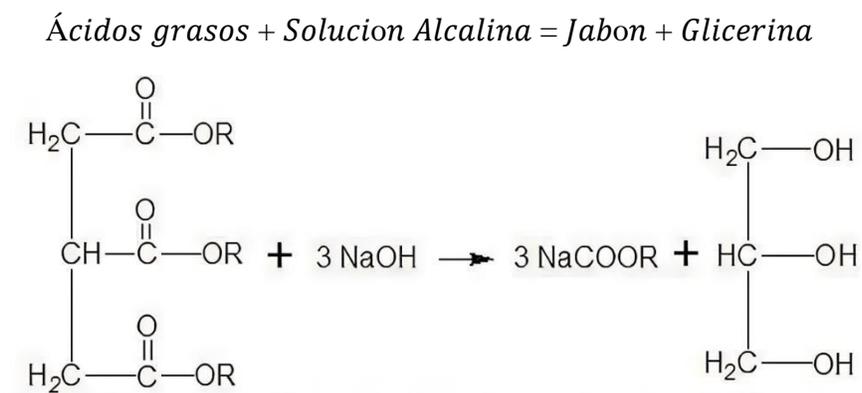


Figura 2.7 Reacción de saponificación directa

Fuente: Guerrero González, 2014

Los dos procesos más utilizados para elaborar jabones artesanales por saponificación son: Saponificación en caliente y saponificación en frio (Aula Natural, 2016).

- I. Saponificación en frio: Se basa exclusivamente en el calor generado por la reacción química entre el aceite usado de cocina y soda caustica (ácidos grasos y la base alcalina), para producir jabón. Como la saponificación se realiza sin necesidad de una fuente de calor externo, los aceites al no estar sobrecalentados mantienen sus propiedades. Además, se genera la glicerina natural, que es uno de los mejores agentes hidratantes y se encuentra presente en el resultado final. Los aditivos pierden parte de sus propiedades debido al alto pH que tiene el jabón al momento de ser añadidos. Sin embargo, una vez terminado el jabón hay que esperar 4 semanas, periodo al cual se le conoce como curado, para que el proceso de saponificación

termine y disminuya el pH. Por consiguiente, el tiempo para obtener el producto final equivale 4 semanas y media aproximadamente (Guerrero Gonzales, 2014).

- II. Saponificación en caliente: En este procedimiento de fabricación se mezclan grasas o aceites y una base alcalina a una temperatura entre 70° y 110°C durante 3 o 4 horas, periodo en el cual el jabón permanece en un estado fluido y de mucha viscosidad (gelatinización). De esta forma se consigue que la saponificación se complete sin necesidad de requerir un tiempo de curado posterior, lo que hace posible su uso luego de un menor tiempo, además los aditivos conservan sus propiedades y preservan sus componentes. Actualmente este método es utilizado para la producción de jabones líquidos y jabón de glicerina. El principal inconveniente es que el proceso es mucho más laborioso. Sin embargo, se puede obtener el producto final después de 3 o 4 días aproximadamente (Guerrero Gonzales, 2014).

2.5.3 Velas

Teniendo en cuenta la importancia de dar una disposición final correcta a este residuo, Laura Camila Gómez, estudiante de último semestre de Ingeniería Ambiental, planteó para su proyecto de grado la transformación del aceite de cocina usado generado en las cafeterías de la Universidad, en un producto nuevo, velas con olor y color.

Este proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de Bioprocesos de la UAO, a través del Semillero de Investigación Aprovechamiento de la Biomasa, en donde gracias al acompañamiento de Javier Jurado Rosero y la docente Luz Marina Flórez, se realizó un trabajo de investigación, análisis y pruebas, que permitió la obtención de un producto nuevo a partir de un residuo, en este caso una vela.

Adicionalmente, estas velas elaboradas por la estudiante cuentan con características de color y olor y están fabricadas para durar hasta 33 horas, cabe mencionar que su presentación viene en frascos de vidrio que también son reciclados en la universidad.

2.6 Metodologías válidas para el análisis de aceites Asociación de Químicos

Oficiales AOAC (AOAC INTERNATIONAL, 2020)

Métodos oficiales de análisis de AOAC INTERNATIONAL™ (OMA) es la colección más completa y confiable de métodos químicos y microbiológicos y estándares de consenso disponibles. Muchos métodos oficiales han sido adoptados como métodos de referencia internacional armonizados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Federación Internacional de Productos Lácteos (FID), la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y la Comisión del Codex Alimentarius.

AOAC INTERNATIONAL se estableció en 1884 como la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales. Más tarde, en 1965, se adoptó el nombre de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales para reflejar mejor las áreas de interés de seguridad adicionales. En la actualidad, el nombre legal de la organización es AOAC INTERNATIONAL, para reflejar la naturaleza global de su impacto.

AOAC International, cuenta con programas de pruebas de aptitud de laboratorio, criterios de acreditación de laboratorio e información y oportunidades científicas. Los métodos de la AOAC se utilizan a nivel mundial para promover el comercio y facilitar la salud pública y la seguridad pública.

Como parte de la revisión de métodos que ofrece a AOAC se tienen los siguientes:

- I. Formulaciones de pesticidas y desinfectantes
- II. Drogas y temas relacionados
- III. Aditivos alimentarios
- IV. Toxinas naturales y alérgenos alimentarios
- V. Alimentos y nutrición alimentaria

2.6.1 Metodología AOCS (Atrica, 2020)

Es por ello que se utiliza la metodología AOCS del año 2020, esta ofrece métodos oficiales y prácticas recomendadas por la sociedad americana de químicos (Official Methods and Recommended Practices of the American Chemists Society). Son esenciales para un laboratorio que prueba grasas y aceites comestibles y compuestos similares. AOCS trabaja con muchas organizaciones para contribuir con más de cien años de experiencia en la clasificación de grasas, aceites y otros materiales relacionados.

La metodología AOCS está dividida en las siguientes secciones:

- I. Sección A: materiales de origen vegetal
- II. Sección B: subproductos de semillas oleaginosas
- III. Sección C: Grasas y aceites comerciales
- IV. Sección D: Jabón y detergentes sintéticos
- V. Sección E: Glicerina
- VI. Sección F: aceites sulfonados y sulfatados
- VII. Sección G: acciones de jabón
- VIII. Sección H: especificaciones para reactivos, disolventes y aparatos
- IX. Sección J: lectina
- X. Sección M: evaluación y diseños de métodos de prueba
- XI. Sección S: pautas analíticas para probar productos industriales y derivados
- XII. Sección T: métodos de prueba para aceites

Algunas de estas secciones serán el punto de partida para la caracterización del aceite vegetal recolectado, que nos permitirá evaluar la viabilidad de la obtención de productos de valor agregado son:

- I. Sección D: Comprende de 61 métodos para jabón y detergentes sintéticos, donde están la comparación de los métodos AOCS y ASTM, clorofila en jabón y productos de jabón, índice de acidez, índice de yodo, entre otros.
- II. Sección F: Para aceites sulfonados y sulfatados que tiene 15 métodos como, humedad en aceites, humedad y materia volátil, sales orgánicas, entre otros.
- III. Sección S: Trata de 8 métodos en pruebas analíticas como de pruebas de ácidos, de aceites, de clorofila y otros.
- IV. Sección T: Consta de 46 métodos de pruebas para aceites industriales y derivados. Entre los métodos se encuentran el muestre de aceites industriales y derivados, muestreo de ácidos dibásicos, valor ácido de aceites de secados neutros, de sintéticos, aceites aproximados, alcoholes grasos y ésteres grasos, entre muchos otros.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque metodológico

La valorización del aceite residual como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado se realizará por medio de un análisis cualitativo proveniente de investigación bibliográfica; como también por medio de un análisis cuantitativo a través de distintos análisis de laboratorio que garanticen la viabilidad para la utilización de dicho residuo.

3.1.1 Análisis cualitativo

La metodología se basa en:

- i. Explorar la posibilidad de producir productos de valor agregado, como jabones, ceras, velas o combustible ecológico (biodiesel) a partir del aceite vegetal usado.
- ii. Explorar sobre las ventajas y virtudes económicas y ambientales que representa elaborar productos de valor agregado a partir del aceite vegetal usado, por ejemplo, el uso del mismo para la elaboración de jabones y velas, tanto para el medio ambiente como para los motores que lo utilicen.

3.1.2 Análisis cuantitativo

La metodología se basa en:

- i. Trabajo de campo, a través de una toma de muestra, tomando en cuenta el alto volumen de producción del aceite vegetal usado en una empresa de productos alimenticios.
- ii. Determinar la cantidad de aceite vegetal producido en una empresa de productos alimenticios.
- iii. Determinación de los parámetros fisicoquímicos necesarios para el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la elaboración de productos de valor agregado a partir de la muestra de aceite usado.

- iv. Proponer aplicaciones que permitan aprovechar los residuos del aceite vegetal usado, los cuales aporten beneficios económicos y ambientales.

La metodología descrita se presenta en el diagrama de la figura 3.1 en el cual se observa a detalle pasa a paso la elaboración del proyecto.

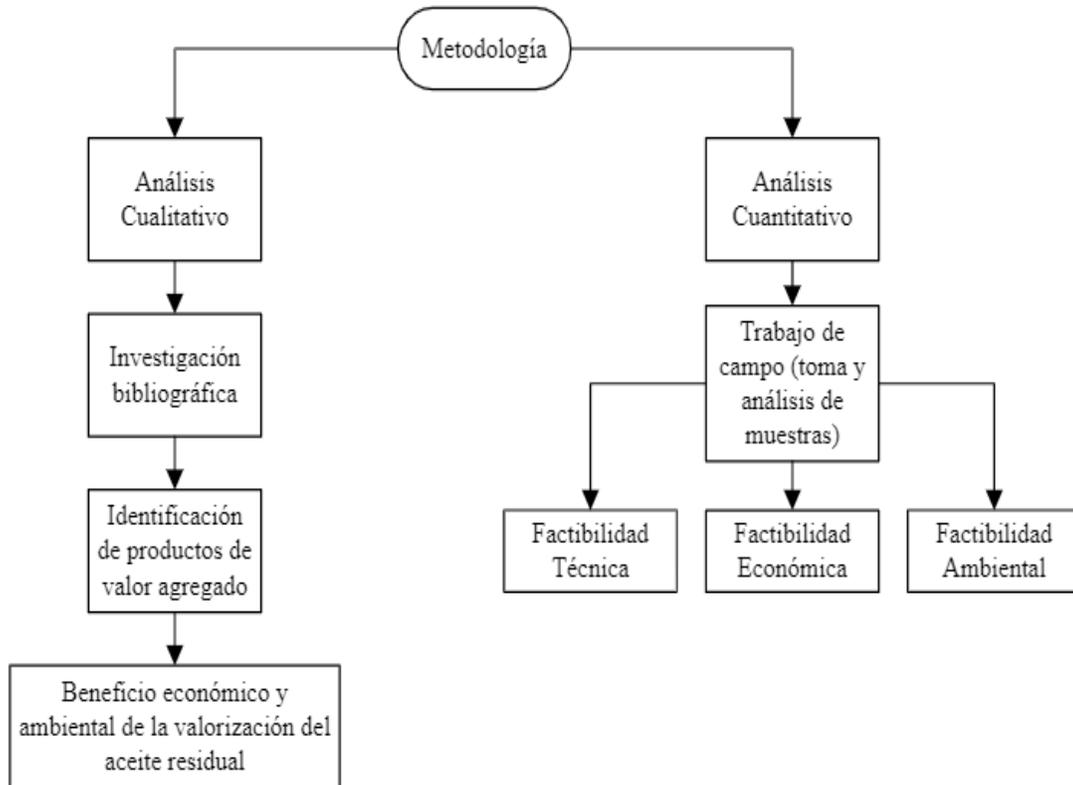


Figura 3.1 Diagrama de metodología a aplicar para la elaboración del proyecto con análisis cualitativo y cuantitativo

La metodología incluye dos tipos de análisis: análisis cualitativo y análisis cuantitativo. El análisis cualitativo comprende las etapas de investigación bibliográfica, identificación de productos de valor agregado y la de beneficio económico y ambiental de la valorización del aceite vegetal residual. El análisis cuantitativo comprende la etapa de trabajo de campo (toma de muestras y sus respectivos análisis), esta se subdivide en otras tres etapas que son factibilidad económica, factibilidad técnica y factibilidad ambiental.

3.2 Modelamiento de la metodología con análisis cualitativo y cuantitativo

En la figura 3.2 se muestra el modelamiento de la metodología a seguir en el proyecto:

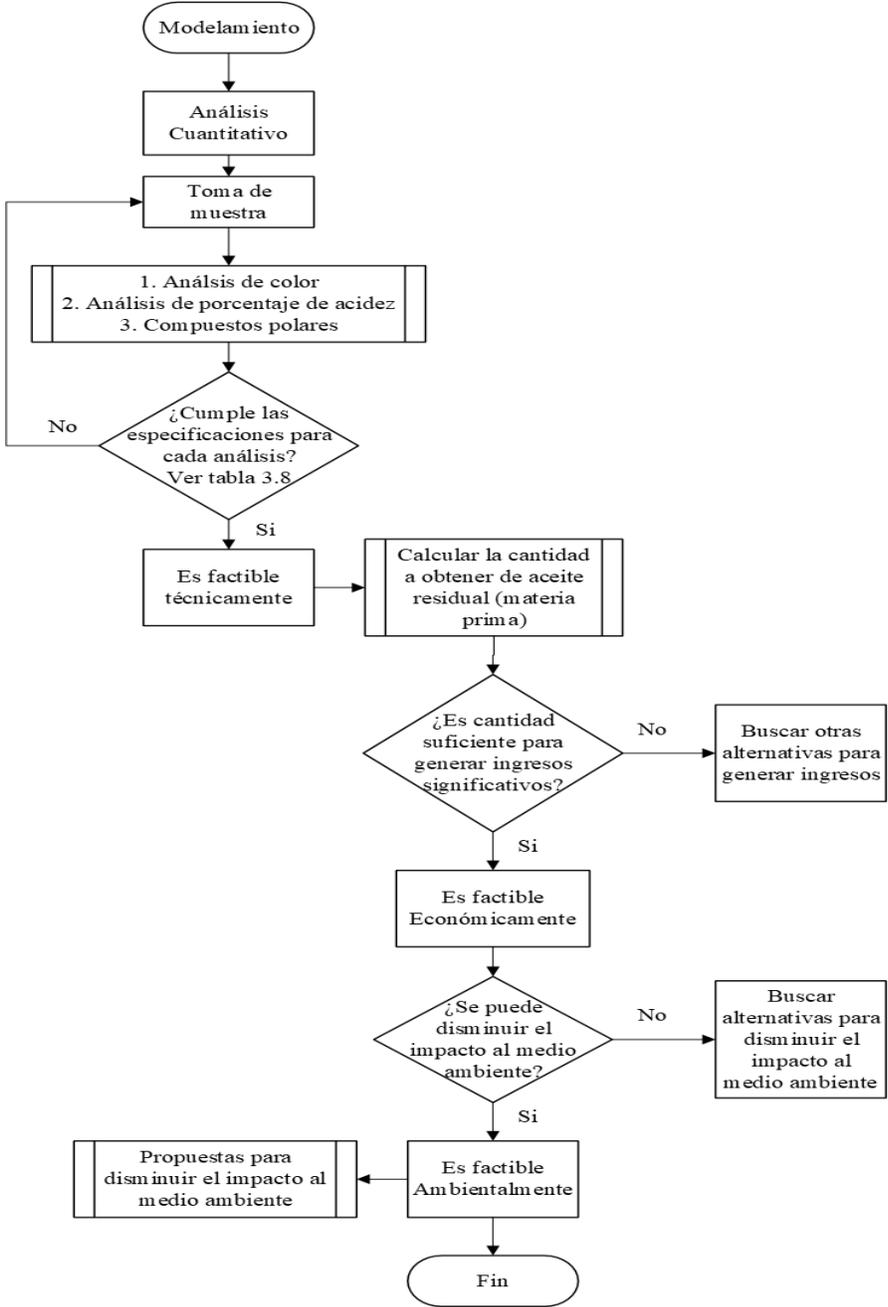


Figura 3.2 Modelamiento de la metodología para la elaboración del proyecto con análisis cualitativo y cuantitativo

El modelamiento del proyecto contemplará las siguientes etapas de proceso para determinar la factibilidad del uso del aceite residual como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado, tal como se muestra en el diagrama de la figura 3.2.

3.2.1 Especificaciones de calidad

El aceite vegetal de palma, tanto como materia prima para la fritura de los productos A y B, como el aceite usado luego del proceso de fritura, deben cumplir con ciertas especificaciones de calidad, las cuales validan que su uso será satisfactorio para llevar a cabo el proceso subsecuente.

3.2.1.1 Especificaciones de calidad para el aceite vegetal como materia prima para la fritura de productos A y B (Empresa de productos alimenticios, 2022)

- i. Descripción del producto: Aceite de origen vegetal, obtenido del mesocarpio carnoso del fruto de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*). Aceite comestible refinado, blanqueado y desodorizado. De consistencia líquida a temperaturas mayores del punto de fusión, de color amarillo claro.
- ii. Parámetros sensoriales: Los parámetros sensoriales de aceite como materia prima se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Parámetros sensoriales de aceite como materia prima.

| DETERMINACIÓN | ESPECIFICACIÓN |
|---------------|----------------|
| Olor | Característico |
| Sabor | Característico |

Fuente: Elaborado por empresa de productos alimenticios, 2022

- iii. Parámetros de calidad: Los parámetros de calidad del aceite como materia prima se presentan en la tabla 3.2.
- iv. Impurezas: Libre de presencia de impurezas inorgánicas: metales, piedras, polvo, etc.

- v. Embalaje: A granel en tanques y contenedores (barriles) cerrados.
- vi. Almacenamiento y vida útil: Almacenar en tanques de almacenamiento y o barriles cerrados, aterrizados, provistos de medios de control de temperatura y calentamiento. Evitar el contacto directo con la luz solar, fuentes de calor, oxígeno, agentes oxidantes, bases fuertes y ácidos concentrados.

Tabla 3.2 Parámetros de calidad del aceite como materia prima

| PARÁMETROS | ESPECIFICACIONES | | |
|-----------------------------------|------------------|----------|--------|
| | MÍNIMO | OBJETIVO | MÁXIMO |
| Ácidos grasos libres (%) | N.A. | N.A. | 0.05 |
| Color rojo (Iovibond, celda 5 ¼") | N.A. | N.A. | 3.0 |
| Índice de peróxido (meq/Kg) | N.A. | N.A. | 1.0 |
| Punto de fusión (Wiley, °C) | 38.0 | N.A. | 39.0 |
| Humedad (%) | N.A. | N.A. | 0.05 |
| Antioxidante (THBQ, ppm) | N.A. | N.A. | 200 |

Fuente: Elaborado por empresa de productos alimenticios, 2022

3.2.1.2 Especificaciones de calidad para el aceite vegetal usado proveniente de la Fritura de los productos A y B (Empresa de productos alimenticios, 2022)

- i. Descripción del producto: Aceite de origen vegetal, obtenido del mesocarpio carnoso del fruto de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*). Aceite comestible refinado, blanqueado y desodorizado. De consistencia líquida a temperaturas mayores del punto de fusión, de color amarillo claro.
- ii. Parámetros sensoriales: Los parámetros sensoriales del aceite usado se presentan en la tabla 3.3, en la cual se observa que se toman en cuenta el olor y el sabor.

Tabla 3.3 Parámetros sensoriales del aceite usado.

| DETERMINACIÓN | ESPECIFICACIÓN |
|---------------|----------------|
| Olor | Característico |
| Sabor | Característico |

Fuente: Elaborado por empresa de productos alimenticios

- iii. Parámetros de calidad: Los parámetros de calidad del aceite usado se presentan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Parámetros de calidad del aceite usado.

| PARÁMETROS | ESPECIFICACIONES | | |
|------------------------------------|------------------|----------|--------|
| | MÍNIMO | OBJETIVO | MÁXIMO |
| Ácidos grasos libres (%) | N.A. | N.A. | 0.50 |
| Color azul (Iovibond, celda 5 ¼") | N.A. | N.A. | 1.0 |
| Índice de peróxido (meq/Kg) | N.A. | N.A. | 7.0 |
| % Compuestos polares totales (CPT) | N.A. | N.A. | 27.0 |

Fuente: Elaborado por empresa de productos alimenticios.

- iv. Impurezas: Libre de presencia de impurezas inorgánicas: metales, piedras, polvo, etc.
- v. Embalaje: A granel en tanques y contenedores (barriles) cerrados.
- vi. Almacenamiento y vida útil: Almacenar en tanques de almacenamiento y o barriles cerrados, aterrizados, provistos de medios de control de temperatura y calentamiento. Evitar el contacto directo con la luz solar, fuentes de calor, oxígeno, agentes oxidantes, bases fuertes y ácidos concentrados.

3.2.2 Factibilidad Técnica

Para la caracterización de la materia prima, se recolectarán muestras del aceite vegetal usado en los freidores usados en la empresa dedicada a la elaboración de snacks; obteniéndolo luego de la fritura de dos productos:

- i. Producto A: Producto agrícola frito (Plátano verde)
- ii. Producto B: Producto procesado de carne de cerdo

Para poder conocer la frecuencia de muestreo más adecuada, y así determinar la cantidad de aceite residual obtenido, se procederá a muestrear cada 2 horas, y así obtener una data de % de acidez del aceite, ya que el criterio de descarte será el siguiente:

Se descartará un barril de aceite de cada uno de los freidores (se cuenta con 2 freidores) cada vez que el porcentaje de aceite sea mayor o igual a 0.5 % de ácidos grasos, ya que, está demostrado que a ese porcentaje de acidez los productos A y B, cumplen las especificaciones de calidad requeridas por los clientes, de igual manera cumple con las especificaciones del área de investigación y desarrollo y los parámetros de calidad del área de aseguramiento de calidad de dicha empresa.

En ese sentido, se estudiará el comportamiento gráfico de la data para determinar la frecuencia con la que los análisis de acidez de aceite sobrepasan el límite del 0.5% de ácidos grasos, gracias a esta información se podrá muestrear con una menor frecuencia y tomar así la decisión si el aceite se descartará o no, para posteriormente ser utilizado como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado como jabones y ceras.

Por otro lado, se ha comprobado que al descartar un barril de aceite cada vez que el porcentaje de acidez alcanza el valor máximo permitido y luego se introduce al freidor un barril de aceite nuevo se logra reducir el nivel de acidez hasta en un 30%, alcanzando un valor de acidez hasta entre 0.1% y 0.15% de ácidos grasos. De esta manera se podrá conocer la cantidad de aceite residual disponible.

Será necesario realizar un pre tratamiento de la muestra, dependiendo del producto que se desea elaborar. Es por ello que se evaluará la factibilidad de elaborar los siguientes productos de valor agregado:

- i. Jabones
- ii. Velas

Finalmente, se harán pruebas de laboratorio para verificar la viabilidad de la elaboración de los productos de valor agregado, tomando en cuenta factores como:

- i. Contar con la suficiente cantidad de materia prima
- ii. Realizar los análisis correspondientes para validar la calidad de la materia prima

3.2.3 Factibilidad económica

Para el estudio de la factibilidad económica se llevará a cabo un análisis costo-beneficio, dentro del cual se pretende evaluar si es de beneficio o no para la empresa la venta del 100% del residuo de aceite vegetal generado como materia prima en la elaboración de jabones y velas, tomando en cuenta los resultados arrojados por la factibilidad técnica de si este es o no apto para su venta y fabricación de dichos productos.

Se evaluarán y considerarán los costos asociados a la adquisición del aceite vegetal virgen, y los costos por disposición del residuo según la situación actual de la empresa, haciendo comparativas entre los beneficios actuales por la venta del 20% del aceite residual generado versus la venta del 100% si esta se considera viable, estimando reducciones a los costos y beneficios económicos anuales.

3.2.4 Factibilidad ambiental

La factibilidad ambiental se efectuará de la siguiente manera:

Se solicitará a los proveedores que actualmente ofrecen el servicio de disposición final de residuos, si cuentan con el debido permiso ambiental, con ello, se pretende evaluar si la disposición final de dichos residuos genera el menor impacto ambiental posible. Si el

proveedor cuenta con permiso ambiental, se solicitará información acerca de su disposición final, se sabe que, generalmente se disponen en un relleno sanitario, lo cual no representa una disposición final provechosa tanto económica como ambientalmente, por otro lado, de no contar con el permiso ambiental, la elaboración de dichos productos cobrará mayor relevancia, ya que, se dará a la empresa la alternativa de contar con estrategias de gestión ambiental que contribuyan a impactar positivamente a la sociedad.

Por otro lado, se elaborará una matriz de aspectos e impactos ambientales que permita establecer una calificación adecuada al riesgo que el aceite usado ocasiona como residuo utilizando la metodología ARAS (Análisis de Riesgos Ambientales y Sociales). (Curso de Especialización Ecoeficiencia de Procesos Industriales UES, 2022)

Cada una de las factibilidades será de especial relevancia para determinar la viabilidad de la elaboración de productos de valor agregado mediante el uso del aceite vegetal usado como materia prima.

Para caracterizar el aceite vegetal usado, será necesario disponer de marchas de laboratorio certificadas que permitan obtener resultados confiables para finalmente validar si es técnicamente factible utilizarlos como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado. Es por ello que se establecen procedimientos de toma de muestra y de análisis fisicoquímicos recomendados por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, AOAC por sus siglas en inglés, además de cumplir con ciertas especificaciones de calidad que garanticen que dicho residuo es apto para su valorización.

3.3 Descripción de procedimientos experimentales

El procedimiento experimental debe iniciar por una toma de muestra que garantice la integridad de esta, y así obtener análisis que conduzcan a resultados fidedignos que permitan la evaluación técnica de cada una de las opciones de productos de valor agregado a elaborar. En el siguiente diagrama (figura 3.3) se presenta una descripción de la fase de experimentación.

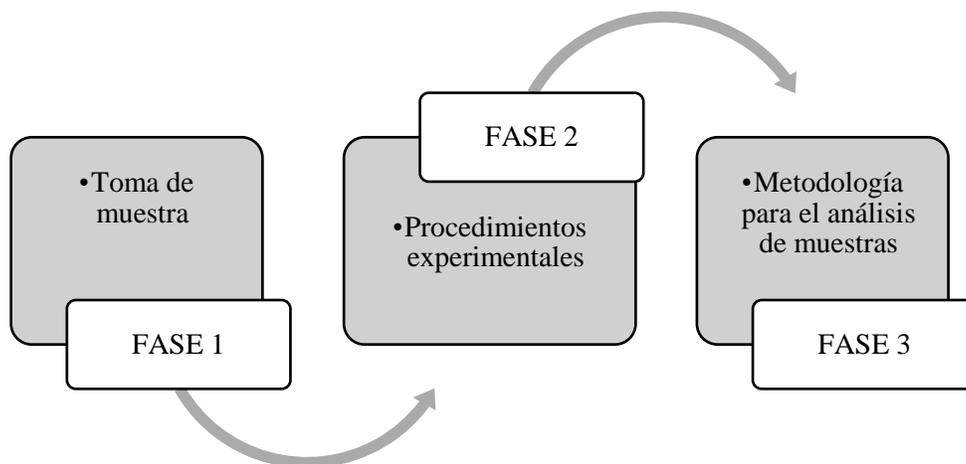


Figura 3.3 Descripción de fases de experimentación del proyecto de investigación

3.3.1 Toma de muestras

A. Objetivo: Verificar y garantizar la integridad de la muestra para obtener resultados confiables y sirvan como parámetro de toma de decisiones para evaluar su uso como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado.

B. Procedimiento:

- i. Recolectar una cantidad considerable de aceite, esto se puede hacer con la ayuda de bidones plásticos una vez que el aceite ya se ha enfriado a temperatura ambiente, y se puede obtener de los barriles de descarte.
- ii. Tapar cada uno de los bidones y resguardarlos de la intemperie, preferiblemente se deben analizar las muestras el día que se recolectaron.
- iii. En el laboratorio, preparar los recipientes con los que se tomarán las muestras, asegurarse que el recipiente para la toma de muestra se encuentra limpio. Deben ser recipientes plásticos siempre y cuando se asegure que la muestra se encuentra a temperatura ambiente, en caso contrario se utilizarán recipientes de aluminio.

- iv. Colocar dos papeles filtro a cada uno de los recipientes. (para poder filtrar la miga que pueda tener el aceite).
- v. Se coloca todo el equipo de seguridad necesario (Caretta, mascarilla, guantes, etc.).
- vi. Retirar los papeles filtros.
- vii. Realiza los análisis pertinentes para poder determinar la acidez y color de cada una de las muestras de aceite.
- viii. Ya con los resultados de los análisis realizados, realiza un informe dando a conocer los resultados obtenidos.

NOTA: Si los resultados de los análisis arrojan que el aceite no está cumpliendo con las especificaciones, se informa al personal encargado de la cocina para que filtre el aceite o realice el proceso pertinente para controlar la situación.

3.3.2 Procedimientos experimentales

Los procedimientos experimentales son: índice de acidez, índice de peróxido y color.

3.3.2.1 Índice de acidez (AOAC Ca 5a-40)

A. Reactivos

- i. Alcohol Etílico al 95%: Debe neutralizarse con solución de hidróxido de sodio 0.1 N (para 1000 mL de alcohol utilizar 40 mL de fenolftaleína al 2% y 8 mL de hidróxido de sodio al 0.1N).
- ii. Fenolftaleína al 2%: Pasar 20.0g de fenolftaleína en balanza analítica. Colocar en balón volumétrico de 1000 mL, agregar +/- 500 mL de alcohol al 95 %, disolver y aforar a 1000 mL con alcohol. Guardar en frasco ámbar.

- iii. Hidróxido de Sodio 1 N: Pesar 40 g de hidróxido de sodio granular, colocar en balón volumétrico de 100 mL, agregar 500 mL de agua hervida y enfriada. Disolver y aforar con agua hervida y enfriada.
- iv. Hidróxido de Sodio 0.1 N: De la solución preparada en el punto 1.3 tomar una alícuota de 100 mL con pipeta volumétrica o bureta y colocarla en un balón volumétrico de 100 mL. Aforar con agua destilada hervida y enfriada.
- v. Hidróxido de Sodio 0.25 N: De la solución preparada en el punto 1.3 tomar una alícuota de 250 mL con pipeta volumétrica o bureta y colocar en un balón volumétrico de 100 mL. Aforar con agua destilada hervida y enfriada.

B. Procedimiento

En la tabla 3.5 se muestra una guía para la titulación ácido-base según las normas AOCS.

Tabla 3.5 Guía para la titulación ácido-base para porcentaje de ácidos grasos libres.

| RANGO DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES % | MASA DE MUESTRA (G) | VOLUMEN ALCOHOL (ML) | CONCENTRACIÓN HIÓXIDO DE SODIO (TITULANTE) |
|--|----------------------------|-----------------------------|---|
| 0.00 a 0.2 | 56.4 +/- 0.2 | 50 | 0.1 N |
| 0.2 a 1.0 | 28.2 +/- 0.2 | 50 | 0.1 N |
| 1.0 a 30.0 | 7.05 +/- 0.05 | 75 | 0.25 N |
| 30.0 a 50.0 | 7.05 +/- 0.05 | 100 | 0.25 o 1.0 N |
| 50.0 a 100 | 3.525 +/- 0.001 | 100 | 1.0 N |

Fuente: Norma AOCS 2020

- i. Las muestras deben mezclarse bien y estar fundidas antes de pesarlas.
- ii. Agregar la cantidad de alcohol y el peso de muestra según el rango de acidez especificado en la tabla anterior, en Erlenmeyer de 250 mL.
- iii. Colocar los Erlenmeyer con la muestra pesada y disuelta en alcohol, en un baño de maría para facilitar la liberación de ácidos grasos libres presentes en las muestras.
Nota: Debe dejarse por poco tiempo en el baño de maría para evitar la evaporación del alcohol.
- iv. Titular con hidróxido de sodio, según la tabla anterior, agitando vigorosamente hasta lograr el vire o cambio de color, de incoloro a rosado. El color debe persistir por más de 30 segundos.

C. Cálculos del porcentaje de ácidos grasos libres.

3.3.2.2 Índice de peróxido (AOAC Cd 8-53)

$$\begin{aligned} & \% \text{ ácidos grasos libres} \\ & = \frac{\text{volumen de titulante} \times \text{Concentración del titulante} \times \text{PM ácido oléico}}{\text{Peso de muestra}} \end{aligned}$$

$$\% \text{ ácidos grasos libres} = \frac{\text{ml de titulante} \times N \left(\frac{\text{meq}}{\text{ml}} \right) \times 28.2 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

Como ácido oleico.

A. Principio

Este método se aplica para determinar el nivel de peróxidos en aceites y mantecas. Los peróxidos provienen de la oxidación de las grasas y aceites.

Los peróxidos oxidan al yoduro de potasio a yodato, el cual se mide cuantitativamente por su reacción redox con tiosulfato de sodio. La reacción se lleva a cabo en medio ligeramente ácido y en presencia de un exceso de iones yoduro. Debido a la naturaleza hidrofóbica del aceite, La titulación se lleva a cabo en una mezcla de ácido acético / cloroformo.

B. Reactivos

- i. Solución ácido acético – cloroformo (3:2). Mezclar 3 partes en volumen de ácido acético glacial, grado reactivo con 2 partes de cloroformo (900 mL de ac. Acético glacial con 600 mL de cloroformo. Almacenar en frasco ámbar).
- ii. Solución saturada de yoduro de potasio (KI). A 50 mL de agua destilada hervida y enfriada agregarle yoduro de potasio hasta que los cristales no se disuelvan. Almacenar en frasco ámbar.
- iii. Solución indicadora de almidón a 1%. En un beaker pesar 1.0 g de almidón soluble y agregar 10 mL de agua destilada caliente. Disolver hasta obtener una pasta. Agregar 90 mL de agua destilada caliente con agitación constante. Hervir un minuto hasta que desaparezca el color lechoso. Enfriar y filtrar. Almacenar en frasco gotero por no más de una semana.
- iv. Tiosulfato de Sodio 0.1 N. De la solución del punto 2.4 tomar una alícuota de 100 mL, colocar en balón volumétrico de 1000 mL y aforar con agua destilada hervida y enfriada.

C. Procedimiento

- i. Pesar 5.0 +/- 0.05g de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL con tapón esmerilado.
- ii. Agregar 30 mL de solución de ácido acético/cloroformo y mezclar suavemente para disolver.
- iii. Agregar 0.5 mL de solución saturada de yoduro de potasio. Tapar y agitar por 1 minuto.

- iv. Agregar 30 mL de agua destilada hervida y enfriada, agitar.
- v. Agregar 1 mL de solución de almidón al 1%
- vi. Titular inmediatamente con tiosulfato de sodio 0.01 N agitando fuerte para liberar el yodo de la fase de cloroformo.
- vii. El punto final es indicado por la desaparición brusca del color azul.

D. Cálculos

El valor peróxido se expresa en miliequivalentes por 1000 g de muestra:

$$\text{Perox.} \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}} \right) = \text{mL gastados} \times N \times 1000 \text{g de muestra}$$

Nota: multiplicar los mL gastados por el factor $2(0.01 \times 1000) / 5$

Otra metodología análoga para el cálculo de peróxido en una muestra de aceite es el método del valor p-anisidina, el cual, de igual manera indica el grado de deterioro o descomposición de un aceite usado.

3.3.2.3 Color (AOCS Cc 13 b-45)

Método Wesson usando vidrios coloreados calibrados de acuerdo con A.O.C.S (Tintómetro)
Este método determina el color de aceites y manteca por comparación con vidrios de colores característicos conocidos.

A. Equipo y materiales

- i. Aparato Tintómetro Lovibond
- ii. Celdas de Vidrio de 5 ¼"

B. Procedimiento

- i. Colocar la muestra, previamente fundida, en la celda de vidrio.
- ii. Limpiar las paredes de la celda con papel suave para dejar pasar la luz a través de la muestra.
- iii. Leer el color utilizando el propio radio de amarillo a rojo siguiente (véase tabla 3.6).

Se utilizan los colores amarillo o rojo dependiendo del rango de lectura en el que se encuentre la muestra de aceite, ya sea nuevo o usado.

Para aceite deodorizado se utilizan los vidrios de color de menores rangos tanto para el color rojo como para el amarillo.

Para aceite de cocina se utilizan los vidrios de colores de mayores rangos tanto para el color amarillo como para el rojo.

Tabla 3.6 Tabla de lectura de color para aceite como materia prima de proceso y aceite usado.

| CON ROJO | UTILIZAR AMARILLO | |
|-------------------|--------------------------|--------------------|
| Arriba de 3.9 | 6 a 1 | |
| 4.0 – 4.9 | 25 | Aceite deodorizado |
| 5.0 – 5.9 | 30 | Aceite deodorizado |
| 6.0 – 6.9 | 35 | Aceite deodorizado |
| 7.0 – 7.9 | 40 | Aceite deodorizado |
| 8.0 – 10.9 | 50 | Aceite de cocina |
| 11.0 – 14.9 | 70 | |
| 15.0 – 19.9 | 100 | |
| 20.0 y siguientes | 150 | |

Fuente: Elaborado por empresa de productos alimenticios, 2022

3.3.3 Metodología para análisis de muestras

En este apartado, se establecerá de manera específica cada uno de los análisis de laboratorio que se realizarán a las muestras del aceite vegetal usado (aceite de palma), luego de la fritura de los productos A (Producto agrícola frito, plátano verde) y B (producto procesado de carne de cerdo), con el objetivo de esclarecer toda la información necesaria para un correcto análisis de resultados posteriormente, esto incluye:

- i. La cantidad de muestra a analizar para cada una de las pruebas.
- ii. Los análisis de laboratorio a realizar.
- iii. Métodos de análisis de cada una de las pruebas, y los equipos necesarios para tal fin.
- iv. Las especificaciones que garantizan el rango de aceptación para cada prueba, definidos por la empresa dedicada a la elaboración de snacks.
- v. Las propiedades que indican el estado de la materia prima, luego de obtenerse los resultados.
- vi. Criterio de aceptación o rechazo, el cual se establece a partir de los resultados obtenidos y de esta manera declarar si el aceite vegetal usado, se aceptará para su uso como materia prima para la elaboración de jabones y velas.

Para ello, se muestra la tabla 3.7 que es un resumen con toda la información antes mencionada, cabe mencionar que sólo se realizarán tres análisis de laboratorio, ya que son suficientes para establecer el criterio de aceptación o rechazo de la muestra y de esta manera decidir si los barriles de aceite vegetal usado serán destinados como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado que son velas y jabones para este proyecto de investigación.

Tabla 3.7 Consolidado para los análisis de laboratorio: %TPC totales, % acidez y color.

| | %TPC POLARES TOTALES | %ACIDEZ | COLOR | |
|----------------------------------|---|---|--|------------|
| Muestra | 100 ml - 150 ml | 7 g | 100 ml | |
| Método de análisis | Lectura por sonda de testurómetro Testo 270 | Titulación Ácido-Base | Lectura por Tintómetro Lovibond | |
| Especificación | 24-27 | 0.5 | Producto A | Producto B |
| | | | 1 | 15 |
| Propiedades | Mide el nivel de oxidación del aceite, método alternativo a índice de Peróxido | A mayor % de ácidos grasos libres, la reacción de transesterificación tiende a mayor saponificación | Mide el grado de deterioro del aceite | |
| Criterio de aceptación y rechazo | Si el % TPC supera la especificación, se procede al descarte de 2 barriles durante el proceso de fritura, y se proceden a aceptar como materia prima para la elaboración de jabones y velas (1 barril = 42 gal) de aceite | Si el % de acidez supera la especificación, se procede al descarte de 2 barriles durante el proceso de fritura, y se proceden a aceptar como materia prima para la elaboración de jabones y velas (1 barril = 42 gal) de aceite | Si el color azul supera la especificación, se procede a filtrar los sólidos suspendidos (migas), para aumentar la vida útil del aceite y se sigue utilizando dentro del proceso de fritura | |

3.4 Estudio de factibilidad

Los estudios de factibilidad son tres: técnica, económica y ambiental.

3.4.1 Estudio de factibilidad técnica

Para el estudio de factibilidad técnica se iniciará con el muestreo de aceite residual, para ello es importante mencionar que, la cantidad de muestra a recolectar de los freidores es de 100 a 150 ml, volumen que será suficiente para realizar cada uno de los análisis de laboratorio.

Fue necesario definir el intervalo de muestreo, por esa razón, se procedió a tomar muestras cada 2 horas por un tiempo determinado de 2 días, con un turno laboral de 12 horas cada día, tomando en cuenta que no todos los días se elaboran los productos A y B y considerando que siempre se tiene el mismo comportamiento durante toda la jornada de producción de cada uno de los productos.

Finalmente se promedió los tiempos de muestreo en cada uno de los dos freidores (ambos fríen los dos productos A y B) en los cuales el % de acidez superó la especificación (0.5%) y en los que el color azul superó las especificaciones, 1 para producto A y 9 para producto B, ya que a estos valores se procede a hacer un descarte de aceite residual para poder sustituirlo en el freidor por aceite nuevo y reducir el aceite a niveles aceptables para seguir el proceso.

El aceite descartado luego de realizar los análisis es el que serviría como materia prima para la elaboración de jabones y velas. Expuesto lo anterior, se obtuvieron los resultados de la tabla 3.9.

De los resultados obtenidos se construyó las siguientes gráficas 3.4 y 3.5 para analizar el comportamiento, y de esta manera definir una frecuencia de obtención de aceite residual, lo que significa la obtención de materia prima para la elaboración de jabones y velas.

Es importante aclarar que el tiempo de obtención de aceite en el Freidor 1, se relaciona al porcentaje de acidez al cual se logró bajar luego de la extracción de aceite y estabilizar especificaciones.

En la empresa que se dedica a la elaboración de snacks, se cuenta con una base de datos de resultados de análisis de los cuales se observa que a diario se opera bajo condiciones muy similares, por esta razón se procede a establecer un tiempo promedio de obtención de aceite residual e iniciar de nuevo el proceso a un porcentaje de acidez cercano a 0.4%, evidenciado en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Resultados de análisis de laboratorio con intervalo de toma de muestra cada dos horas en FREIDOR 1

| FECHA | HORA | % ACIDEZ | Análisis de color | | | % TPC (compuestos polares) | PRODUCTO | OBSERVACIÓN |
|----------|-------|------------|-------------------|----------|------|-------------------------------|----------|----------------------------|
| | | (0.5% MAX) | ROJO | AMARILLO | AZUL | (24-27% MAX) | | |
| 1/6/2022 | 06:15 | 0.5 | 18 | 50 | 1.1 | 13 | A | Se obtuvo 1 barril |
| 1/6/2022 | 06:50 | 0.4 | 12 | 50 | 0.2 | 10 | A | Luego de extraer el aceite |
| 1/6/2022 | 08:10 | 0.4 | 14 | 50 | 0.5 | 11 | A | |
| 1/6/2022 | 10:05 | 0.4 | 16 | 50 | 0.8 | 12 | A | |
| 1/6/2022 | 12:00 | 0.5 | 18 | 50 | 0.9 | 13.5 | A | |
| 1/6/2022 | 13:00 | 0.54 | 18.9 | 50 | 8.9 | 14 | B | Se obtuvo 1 barril |
| 1/6/2022 | 14:00 | 0.42 | 17.9 | 50 | 7.9 | 12 | B | Luego de extraer el aceite |
| 1/6/2022 | 17:30 | 0.5 | 19 | 50 | 8.9 | 14 | B | |
| 2/6/2022 | 08:00 | 0.25 | 19.9 | 50 | 7.3 | 10.5 | B | |
| 2/6/2022 | 10:05 | 0.32 | 13 | 50 | 7 | 11 | B | |
| 2/6/2022 | 12:00 | 0.4 | 17 | 50 | 8 | 12 | B | |
| 2/6/2022 | 14:15 | 0.54 | 16 | 50 | 12 | 13 | B | |
| 2/6/2022 | 15:10 | 0.7 | 20 | 50 | 10 | 17.5 | B | Se obtuvieron 3 barriles |
| 2/6/2022 | 15:45 | 0.45 | 19.9 | 50 | 9 | 15.5 | B | Luego de extraer el aceite |

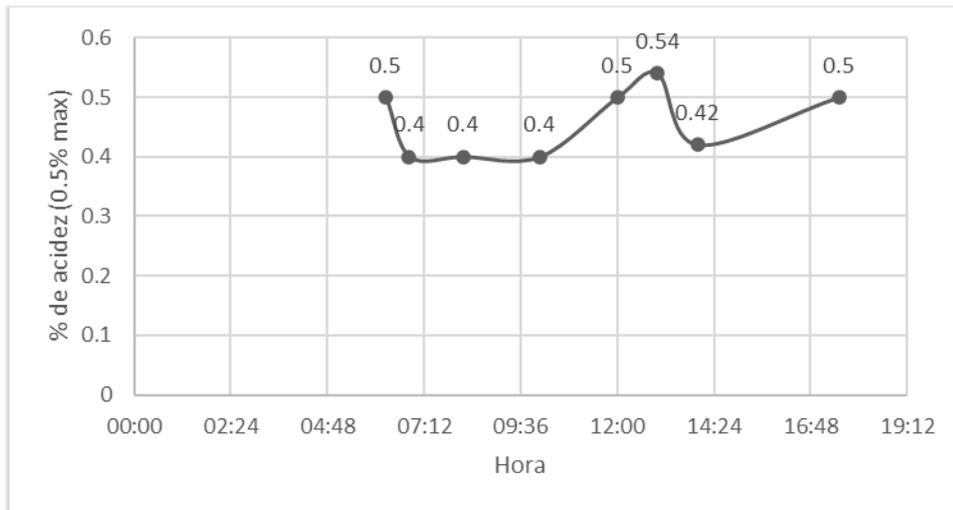


Figura 3.4 Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 1 de junio de 2022

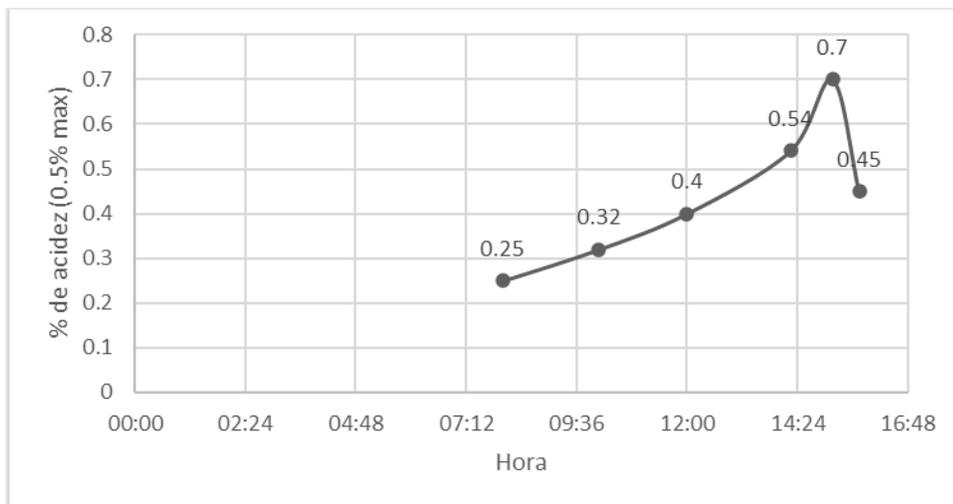


Figura 3.5 Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 2 de junio de 2022

Para el caso del análisis de color (gráficos 3.6 y 3.7), que evidencia el deterioro del aceite, cabe recordar que la especificación para el producto A (plátano verde) es de 1 y para el producto B (carne de cerdo) es de 9, con lo que, al superar estos valores, se procede a la obtención de aceite residual como materia prima para la elaboración de jabones y velas.

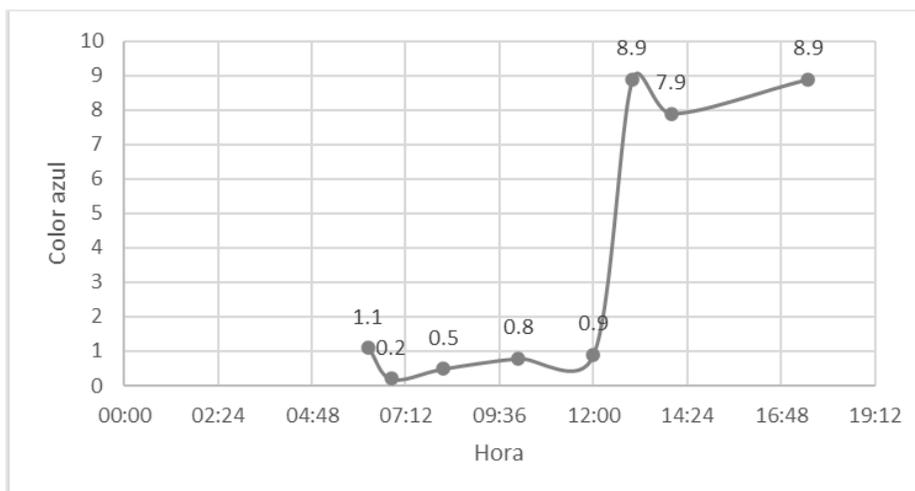


Figura 3.6 Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 1 de junio de 2022

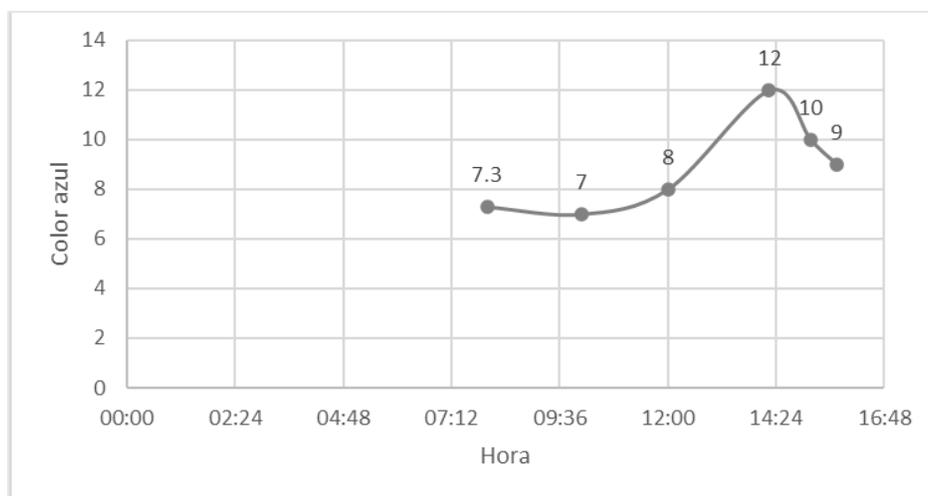


Figura 3.7 Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 2 de junio de 2022

Por otra parte, gracias a los resultados obtenidos, se evidencia que el análisis de color, guarda estrecha relación con respecto al porcentaje de acidez, ya que, a mayor porcentaje de acidez, se tiene un aceite más deteriorado.

Por lo tanto, se procede a obtener aceite para su uso como materia prima a los mismos intervalos de tiempo, tanto por sobrepasar especificaciones de acidez como por

especificaciones por color, ya que éste último también indica qué tan quemado se encuentra el aceite.

De esta forma, se puede tomar un solo criterio de aceptación de materia prima, ya sea por porcentaje de acidez elevado o por color azul elevado; para nuestro caso, se tomará como criterio de aceptación cuando el porcentaje de acidez se encuentre fuera de especificación por las siguientes razones:

- a) El análisis de color es más subjetivo que el análisis de acidez, esto debido a que, la recepción o sensibilidad a percibir tonalidades de color es diferente para cada analista.
- b) Por otro lado, para el análisis de porcentaje de acidez, se utiliza la metodología de valoración ácido-base, lo cual permite hacer un cálculo más preciso del porcentaje de acidez y así proceder a establecer el criterio de aceptación o rechazo del aceite residual.

Finalmente, las horas de descarte tanto por porcentaje de acidez como por color azul fuera de especificación para el freidor 1 son, véase tabla 3.9:

Tabla 3.9 Tiempo promedio de aceptación de aceite residual para el Freidor 1

| FECHA | INICIO | DESCARTE | TIEMPO TRANSCURRIDO (H) | PROMEDIO |
|--------------|---------------|-----------------|--|-----------------|
| 1/6/2022 | 06:15 | 13:00 | 7.25 | 7.2 |
| 2/6/2022 | 08:00 | 15:10 | 7.20 | |

De igual manera, los freidores 1 y 2, poseen las mismas características relacionadas a diversos parámetros como la capacidad de producción, tamaño, volumen de freidor, entre otros, por lo tanto, se evidencia por medio de los análisis de laboratorio, que se obtienen resultados muy parecidos, de esta manera, se pueden homologar ambos procesos y establecer un único promedio de tiempos de muestreo y aceptación de aceite residual, véase tabla 3.10.

Tabla 3.10 Resultados de análisis de laboratorio con intervalo de toma de muestra cada dos horas en FREIDOR 2

| FECHA | HORA | % ACIDEZ | Análisis de color | | | % TPC (compuestos polares) | PRODUCTO | OBSERVACIÓN |
|----------|-------|------------|-------------------|----------|------|-------------------------------|----------|----------------------------|
| | | (0.5% MAX) | ROJO | AMARILLO | AZUL | (24-27% MAX) | | |
| 1/6/2022 | 06:10 | 0.4 | 14.5 | 50 | 0.2 | 12 | A | |
| 1/6/2022 | 07:55 | 0.42 | 15 | 50 | 0.5 | 12.5 | A | |
| 1/6/2022 | 10:05 | 0.48 | 16.5 | 50 | 0.6 | 13 | A | |
| 1/6/2022 | 12:00 | 0.5 | 19.5 | 50 | 0.7 | 12 | A | |
| 1/6/2022 | 14:00 | 0.52 | 16 | 50 | 1 | 14 | A | Se obtuvieron 3 barriles |
| 1/6/2022 | 14:10 | 0.4 | 18.9 | 50 | 7.9 | 12 | B | Luego de extraer el aceite |
| 1/6/2022 | 17:30 | 0.5 | 19 | 50 | 8 | 13.5 | B | |
| 2/6/2022 | 09:30 | 0.3 | 19.9 | 50 | 7 | 10 | B | |
| 2/6/2022 | 10:05 | 0.32 | 13 | 50 | 7 | 11 | B | |
| 2/6/2022 | 12:00 | 0.4 | 17 | 50 | 8 | 12 | B | |
| 2/6/2022 | 14:15 | 0.54 | 16 | 50 | 12 | 13 | B | |
| 2/6/2022 | 18:35 | 0.6 | 20 | 50 | 9 | 14.5 | B | |
| 2/6/2022 | 20:40 | 0.41 | 18 | 50 | 6.5 | 12 | B | Se obtuvo un barril |

De manera similar al freidor 1, de los resultados obtenidos se construyó las siguientes gráficas para analizar el comportamiento, y de esta manera definir una frecuencia de obtención de aceite residual, lo que significa la obtención de materia prima para la elaboración de jabones y velas (véanse gráficos 3.8 ,3.9, 3.10 y 3.11).

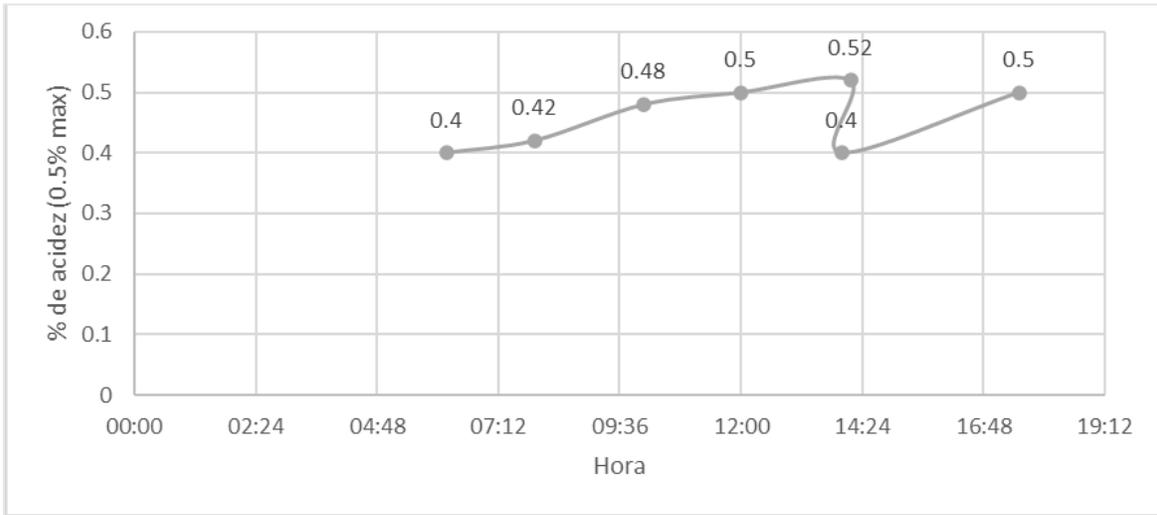


Figura 3.8 Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 2, Fecha: 1 de junio de 2022

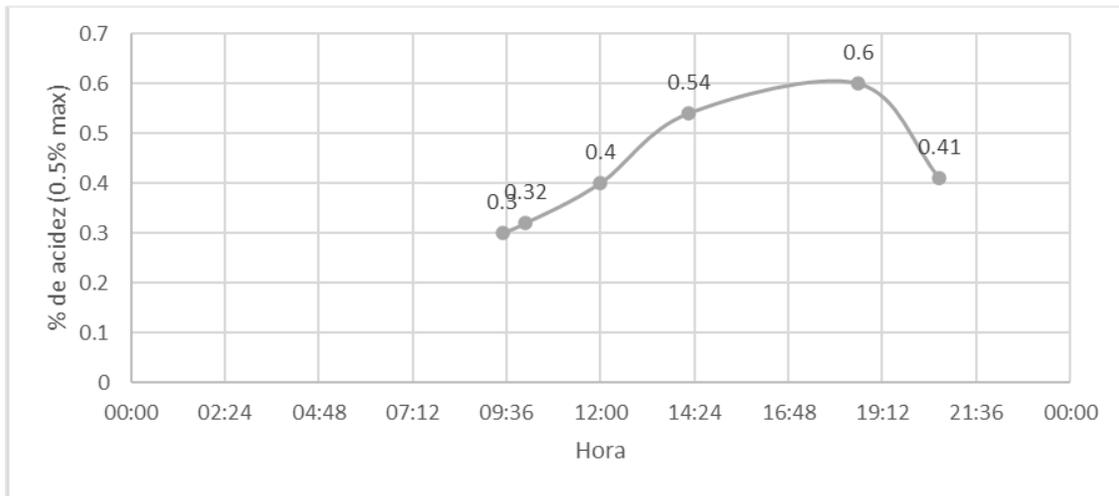


Figura 3.9 Gráfico de comportamiento del porcentaje de acidez con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 2, Fecha: 2 de junio de 2022

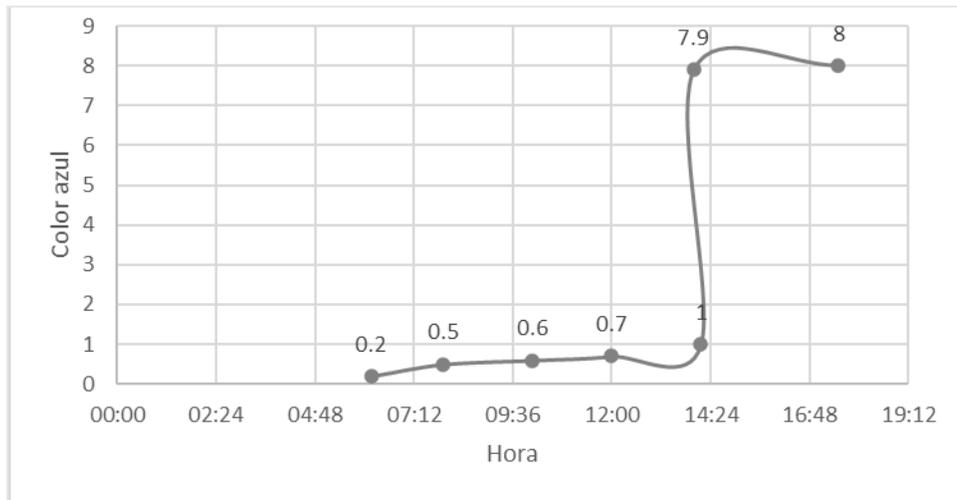


Figura 3.10 Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 1 de junio de 2022

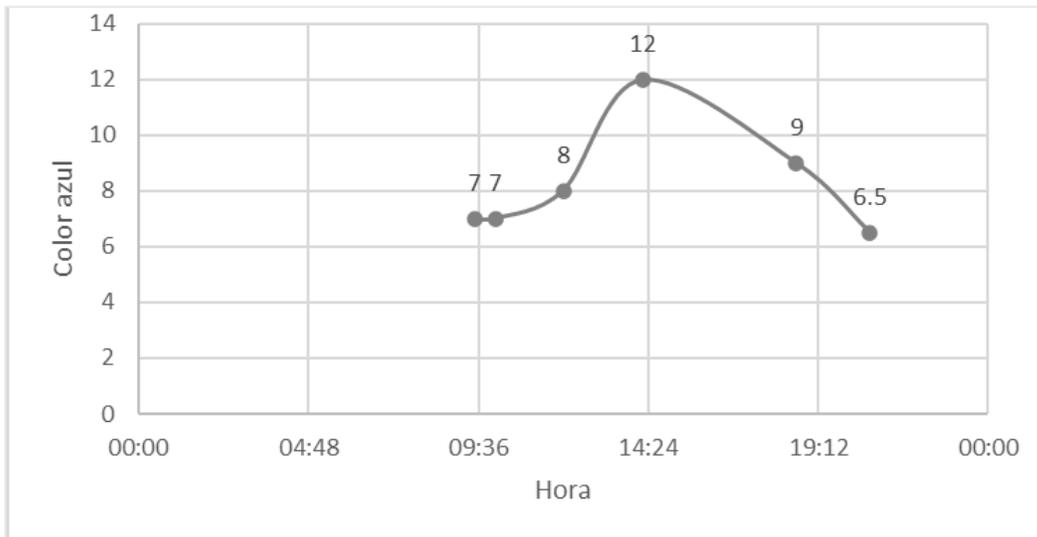


Figura 3.11 Gráfico de comportamiento del color azul (para ambos productos) con frecuencia de muestreo de dos horas en Freidor 1, Fecha: 2 de junio de 2022

Finalmente, las horas de obtención de aceite residual como materia prima, tanto por porcentaje de acidez como por color azul fuera de especificación para el freidor 2 son (véase tabla 3.11):

Tabla 3.11 Tiempo promedio de descarte de aceite residual para el Freidor 2

| FECHA | INICIO | DESCARTE | TIEMPO TRANSCURRIDO (H) | PROMEDIO |
|----------|--------|----------|-------------------------------|----------|
| 1/6/2022 | 06:10 | 14:10 | 8.0 | 8.5 |
| 2/6/2022 | 09:30 | 18:35 | 9.0 | |

Se evidencia una diferencia de promedio de frecuencia de obtención de aceite residual como materia prima para elaboración de jabones y velas, entre el freidor 1 y el freidor 2, esto es debido a que para el segundo día de toma de muestras en el freidor 2, se inicia con una extracción de aceite que disminuye el porcentaje de acidez por debajo del 0.4%, lo que permite seguir operando hasta por una hora más, como esto puede ocurrir con frecuencia, se hará un promedio de tiempo de obtención de aceite residual entre ambos freidores, así se asegura tomar muestras representativas que permitan establecer un criterio de aceptación o rechazo de aceite residual como materia prima, obteniéndose finalmente un promedio de frecuencia de obtención de 8 horas.

Gracias al anterior estudio, ahora se establece el hecho que, aproximadamente cada 8 horas, se tendrá que realizar una toma de muestra y los análisis evidenciarán que debe hacerse una extracción de aceite residual para seguir operando dentro de las especificaciones requeridas para la fritura de los productos A y B.

En cada extracción, se obtendrán de 1 a 3 barriles de aceite residual como materia prima para la elaboración de jabones y velas, lo que significa que, en promedio, se obtendrán 2 barriles de aceite cada 8 horas por cada uno de los freidores, es decir que, se obtendrán en promedio 4 barriles de aceite residual cada 8 horas, los días que se elaboren los Productos A y B en los Freidores 1 y 2.

Finalmente, se puede calcular la masa de aceite residual obtenido al día y al mes, con el dato de la densidad del aceite de palma que se obtiene de la ficha técnica recibida del proveedor, y con el dato del volumen obtenido de aceite residual cada 8 horas. Por lo que se sabe que la densidad del aceite de palma es de 0.88 g/cm³, o lo que equivale a 880 Kg/m³.

Aplicando la ecuación para el cálculo de la densidad, despejando para el cálculo de la masa se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho * v$$

Dónde:

ρ = Densidad

m = masa

v = volumen

Por otro lado, se sabe que 1 barril equivale a 0.16 m³.

Considerando que se fríen los productos A y B, 4 veces por semana, se obtiene tabla 3.12 de datos:

Tabla 3.12 Cantidad total promedio obtenida de aceite vegetal como materia prima para la elaboración de jabones y velas

| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | CANTIDAD DE MATERIA PRIMA (barriles) | CANTIDAD DE MATERIA PRIMA (m³) | CANTIDAD DE MATERIA PRIMA (Kg) |
|--|---|--|---------------------------------------|
| 8 HORAS | 4 | 0.64 | 563.20 |
| DIARIO | 12 | 1.92 | 1,689.60 |
| SEMANAL | 48 | 7.68 | 6,758.40 |
| MENSUAL | 192 | 30.72 | 27,033.60 |
| ANUAL | 2304 | 368.64 | 324,403.20 |

Lo cual indica que se obtienen aproximadamente 1,689.60 Kg de aceite residual al día, de los freidores 1 y 2, luego de la fritura de los productos A y B, que servirán como materia prima para la elaboración de jabones y velas. Lo que se traduce a obtener 324,403.20 Kg de aceite residual al año.

3.4.2 Estudio de factibilidad económica

El enfoque adelante proporcionado está orientado hacia un costo-beneficio, dentro del cual se plantea la idea de vender en un 100% el aceite residual producido por la empresa como materia prima, puesto que actualmente solo se vende un 20% como materia prima para la elaboración de jabones y el 80% restante se descarta como desecho en un relleno sanitario.

Con los resultados de los análisis anteriormente aquí presentados se demostró que el 100% de aceite residual producido puede ser utilizado como materia prima en la elaboración de jabones y velas, este puede ser comercializado en su totalidad para darle una segunda vida, reciclar y así disminuir la contaminación ambiental, dado que actualmente el 80% de este no se aprovecha monetaria ni productivamente.

Actualmente el aceite vegetal utilizado en la empresa productora de snacks, se compra a US\$1.32/Kg y ya que evidentemente existe una degradación de la calidad del mismo, este es vendido para usos posteriores en convenio con la empresa productora de jabones a un precio de US\$0.24/Kg, precio por el cual podría ser vendido a otras empresas productoras de velas y jabones aprovechando así el 80% restante del residuo como materia prima.

Culminada la evaluación fisicoquímica del aceite residual, y tomando como base el precio de venta anteriormente mencionado se obtuvieron los siguientes datos (véase tabla 3.13): precio de venta del aceite residual, periodo de tiempo de generación del residuo (8 horas, diario, semanal, mensual, anual), cantidad de aceite residual generado, Kg de aceite vendido actualmente como materia prima, ingresos actuales percibidos por venta del 20%, ingresos a percibir por venta del 100% y cantidad extra a percibir por la venta del 100%.

Tabla 3.13 Ingresos por venta del aceite residual como materia prima.

| PRECIO DE VENTA DEL ACEITE RESIDUAL US\$/Kg | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 0.24 | | | | | |
| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | CANTIDAD DE ACEITE RESIDUAL GENERADO (Kg) | Kg DE ACEITE VENDIDO ACTUALMENTE COMO MATERIA PRIMA (20%) | INGRESOS ACTUALES PERCIBIDOS POR VENTA DEL 20% (US\$) | INGRESOS A PERCIBIR POR VENTA DEL 100% (US\$) | CANTIDAD EXTRA A PERCIBIR POR VENTA DEL 100% (US\$) |
| 8 HORAS | 563.20 | 112.64 | 27.03 | 135.17 | 108.13 |
| DIARIO | 1,689.60 | 337.92 | 81.10 | 405.50 | 324.40 |
| SEMANAL | 6,758.40 | 1,351.68 | 324.40 | 1,622.02 | 1,297.61 |
| MENSUAL | 27,033.60 | 5,406.72 | 1,297.61 | 6,488.06 | 5,190.45 |
| ANUAL | 324,403.20 | 64,880.64 | 15,571.35 | 77,856.77 | 62,285.41 |

La venta del 20% del residuo representa actualmente un ingreso mensual de US\$1,297.61 lo cual se traduce a un ingreso anual de US\$15,571.35 si este se vendiera en su totalidad (100%) representaría un ingreso mensual de US\$6,488.06 representando un ingreso anual de US\$77,856.77 reflejando de la misma manera un ingreso extra de US\$5,190.45 mensuales y US\$62,285.41 anuales.

Tomando en cuenta que la capacidad de cada una de las freidoras de productos A y B es de 5 barriles, y se sabe que 1 barril equivale a 0.16 m³, esto se traduce a una capacidad de 0.8m³/freidora, y retomando el dato anteriormente contemplado para la densidad del aceite

de palma de 0.88 g/cm³ equivalente a 880 Kg/m³, y aplicando la ecuación para el cálculo de la densidad, despejando para el cálculo de la masa se obtiene un valor de capacidad de 704Kg de aceite/freidora.

Considerando que el proceso de descarte del aceite vegetal se tiene que hacer en promedio cada 8h, en un día hábil de trabajo (24h) se debe ejecutar 3 veces dicho proceso, sabiendo que la fritura de los productos A y B se lleva a cabo 4 días por semana, se obtienen los siguientes datos (véase tabla 3.14):

Tabla 3.14 Costo por cantidad de aceite utilizado para fritura de productos A y B.

| | |
|--|------------|
| CAPACIDAD DE CADA FREIDORA (m³) | 0.80 |
| CAPACIDAD DE CADA FREIDORA (Kg) | 704.00 |
| PRECIO DE ADQUISICIÓN DEL ACEITE VIRGEN (US\$/Kg) | 1.32 |
| COSTO DE ACEITE VIRGEN POR 8H DE USO (US\$) | 929.28 |
| COSTO DE ACEITE VIRGEN DIARIO (US\$) | 2,787.84 |
| COSTO DE ACEITE VIRGEN SEMANAL (US\$) | 11,151.36 |
| COSTO DE ACEITE VIRGEN MENSUAL (US\$) | 44,605.44 |
| COSTO DE ACEITE VIRGEN ANUAL (US\$) | 535,265.28 |

En términos monetarios se incurre en un gasto de adquisición de aceite vegetal de US\$44,605.44 mensuales y US\$535,265.28 anuales. Si a este costo agregamos el hecho que el 80% del aceite residual generado por la empresa, es desechado hacia un relleno sanitario por una empresa gestora del mismo, la cual cobra US\$13.28/barril desechado se tiene (véanse tablas 3.15 y 3.16):

Tabla 3.15 Costo por gestión y desecho del aceite vegetal

| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | CANTIDAD DE ACEITE RESIDUAL GENERADO (Barriles) | 80% DE ACEITE RESIDUAL GENERADO (Barriles) | COSTO POR GESTIÓN DEL ACEITE (US\$) |
|--|--|---|--|
| 8 HORAS | 4 | 3.20 | 42.50 |
| DIARIO | 12 | 9.60 | 127.49 |
| SEMANAL | 48 | 38.40 | 509.95 |
| MENSUAL | 192 | 153.60 | 2,039.81 |
| ANUAL | 2,304 | 1,843.20 | 24,477.70 |

Tabla 3.16 Costo total por uso y gestión del aceite vegetal

| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | COSTO POR FRITURA DE PRODUCTOS A Y B (US\$) | COSTO POR GESTIÓN DEL ACEITE (US\$) | COSTO TOTAL (US\$) |
|--|--|--|---------------------------|
| 8 HORAS | 929.28 | 42.50 | 971.78 |
| DIARIO | 2,787.84 | 127.49 | 2,915.33 |
| SEMANAL | 11,151.36 | 509.95 | 11,661.31 |
| MENSUAL | 44,605.44 | 2,039.81 | 46,645.25 |
| ANUAL | 535,265.28 | 24,477.70 | 559,742.98 |

Al efectuar el cálculo de costos totales menos ingresos percibidos por la venta del 20% de aceite residual generado, obtenemos una reducción significativa la cual representa actualmente un 2.78% de reducción a los costos totales. Sin embargo, al tomar en cuenta que, si se vende el 100% de aceite residual generado, los costos totales se verán disminuidos, puesto que no se incluirían los costos por gestión del residuo, sino que solo se incurriría en costos por fritura de los productos A y B, dicho esto el porcentaje de reducción a los costos totales es de 14.55% (véanse tablas 3.17, 3.18 y gráfico 3.9).

Tabla 3.17 Costo menos ingresos por ventas del 20% y 100% de aceite residual generado

| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | COSTO - INGRESOS POR VENTAS DEL 20% DE ACEITE RESIDUAL (US\$) | PORCENTAJE DE REDUCCIÓN A COSTOS TOTALES (%) | COSTO - INGRESOS POR VENTAS DEL 100% DE ACEITE RESIDUAL (US\$) | PORCENTAJE DE REDUCCIÓN A COSTOS TOTALES (%) |
|---|---|--|--|--|
| 8 HORAS | 944.74 | 2.78 | 794.11 | 14.55 |
| DIARIO | 2,834.23 | 2.78 | 2,382.34 | 14.55 |
| SEMANAL | 11,336.91 | 2.78 | 9,529.34 | 14.55 |
| MENSUAL | 45,347.64 | 2.78 | 38,117.38 | 14.55 |
| ANUAL | 544,171.62 | 2.78 | 457,408.51 | 14.55 |

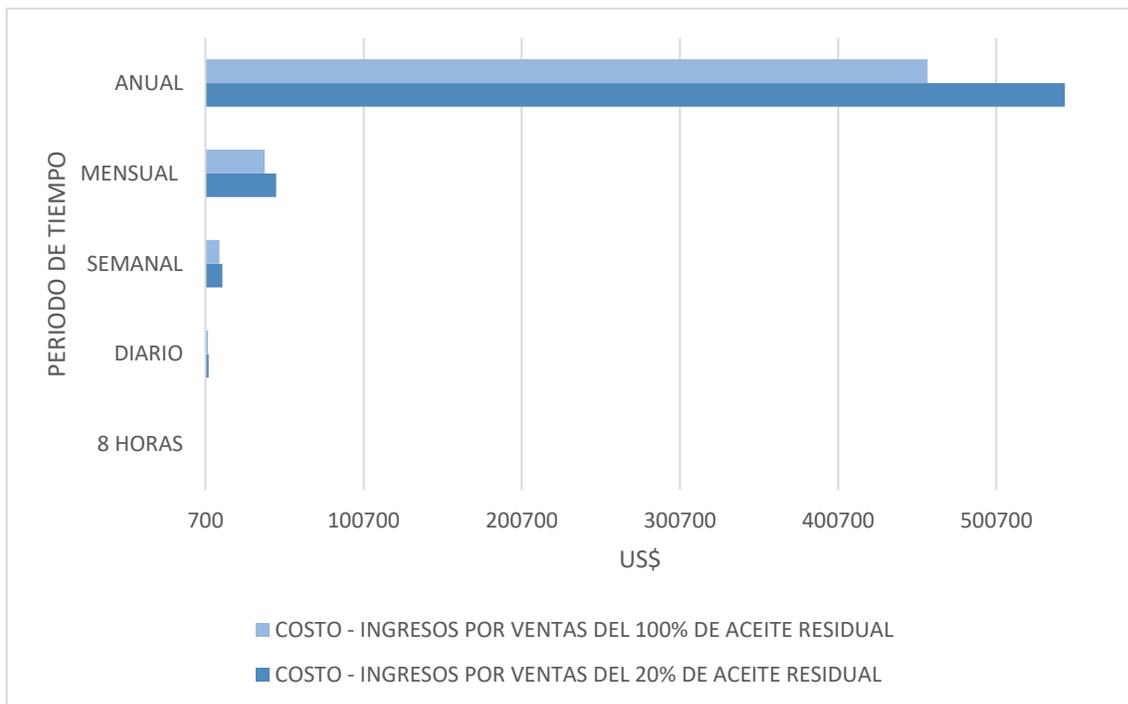


Figura 3.12 Gráfico de comparación costos menos ingresos por ventas del 20% y 100% del aceite vegetal generado

3.4.3 Estudio de factibilidad ambiental

El impacto que tiene el aceite vegetal usado en el medio ambiente es de gran magnitud, ya que por cada litro de aceite de cocina desechado de manera incorrecta se pueden llegar a contaminar más de mil litros de agua, es por ello que los beneficios de reciclarlo son impresionantes. (Nasello, 2019)

Uno de los principales problemas que los residuos de aceite vegetal usado provocan es la contaminación del agua, ya que, si este llega a los ríos o a cualquier cuerpo de agua se forma una película de aceite sobre la superficie afectando el intercambio de oxígeno y perjudicando a los seres vivos del ecosistema, esto se puede prevenir al reciclarlo y al hacer esto se protegen las fuentes hídricas a la vez que se contribuye a una buena educación ambiental y se generan empleos más verdes.

Como se ha venido mencionando, los residuos de aceite vegetal usado pueden reutilizarse como materia prima para otros productos de valor agregado tales como barnices, abono orgánico, pinturas, jabones, velas, ceras, biodiesel, entre otros. Esta investigación se enfocó en dos de estos productos de valor agregado que son jabones y velas.

Como se sabe, para la fabricación de jabón se necesita de grasas o aceites como materias primas para favorecer la reacción de saponificación y los residuos de aceite vegetal usado son una buena elección como materia prima ya que cumplen con las características fisicoquímicas necesarias para ello.

Al utilizar aceite vegetal usado como materia prima de jabones se evita que todo este residuo llegue al medio ambiente y contamine los mantos acuíferos, ya que este es uno de los problemas más grandes en cuanto de contaminación se trata.

La elaboración de velas, básicamente es un proceso de mezcla de distintas materias primas, por lo general se suele utilizar cera de petróleo, pero ello implica que ciertas sustancias que

son dañinas para la salud humana se liberen al ambiente en el proceso de utilización de una vela.

Se puede sustituir la cera de petróleo por una materia prima más amigable con el medio ambiente y con la salud humana como lo es el aceite vegetal usado, además de que las velas hechas con este material tienen mayor duración en su uso.

- i. El reciclaje de aceite vegetal usado es de gran importancia y presenta beneficios por su implementación:
- ii. En el aspecto ambiental, se reduce el impacto negativo al evitar que los residuos de aceite vegetal usado sigan contaminando el medio ambiente y evitando que lleguen a los rellenos sanitarios.
- iii. Otro aspecto ambiental es que, al evitar contaminar las aguas y suelo, la flora y fauna no se ven afectadas y no se alteran los ecosistemas.
- iv. En el aspecto estético, también se reduce el impacto negativo en el paisaje ya que la flora y la fauna se mantienen sanas y limpias lo cual da un aspecto agradable.

En el análisis técnico se observó que el residuo de aceite vegetal usado proveniente de los productos A y B de la empresa de productos alimenticios es apto para usarse como materia prima para la elaboración de velas y jabones, los cuales son productos de valor agregado, ya que la organización percibiría ingresos monetarios.

En el país existen empresas que compran residuos de aceite vegetal usado a otras organizaciones bajo la autorización del MARN, lo cual representa ingresos monetarios para ambas partes.

Con base en lo anterior, la empresa de productos alimenticios puede optar, de forma segura para el medio ambiente, vender el residuo de aceite vegetal usado a una empresa autorizada por el MARN o utilizarlo como materia prima en productos de valor agregado considerados para esta investigación los cuales son velas y jabones.

En la tabla 3.18 se muestra la cantidad de aceite vegetal residual apto para la fabricación de velas y jabones que se genera en la empresa de productos alimenticios.

Tabla 3.18 Análisis de Factibilidad Ambiental del aceite vegetal residual generado en empresa de productos alimenticios

| CANTIDAD DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL MENSUAL | CANTIDAD DE ACIETE VEGETAL RESIDUAL ANUAL | DESCRIPCIÓN |
|--|--|---|
| 5,406.72 Kg | 64,880.64 Kg | Representan el 20% del residuo de aceite vegetal usado, el cual es vendido a una empresa que actualmente no posee permiso del MARN. La empresa compradora está gestionando obtener el permiso del MARN, pero no hay constancia de ello. |
| 21,626.88 Kg | 259,522.56 Kg | Representa el 80% del residuo de aceite vegetal usado, que no es vendido ni utilizado en otras actividades o productos de valor agregado. |
| Total 27,033.60 Kg | 324,403.20 Kg | Representan el 100% del residuo de aceite vegetal usado, obtenido del proceso de fritura de los productos A y B. |

Para el proceso de producción de los productos A y B en las freidoras 1 y 2 de la empresa de productos alimenticios se identificaron aspectos e impactos ambientales pertinentes a los residuos de aceite vegetal usado, los cuales se presentan en las siguientes matrices (véanse tablas 3.19, 3.20 y 3.21), según la Metodología ARAS.

- i. Etapa: Aguas residuales del proceso (cocimiento, lavado, reposo)

Aspecto Ambiental AA: vertidos al agua

Impacto Ambiental IA: contaminación hídrica

Tabla 3.19 Evaluación de IA y AA de etapa de aguas residuales del proceso

| CRITERIO | PARÁMETRO | CUANTIFICACIÓN |
|---------------|--|----------------|
| Carácter | Positivo (+1) Negativo (-1) | -1 |
| Magnitud | Importante (3) Considerable (2) Tolerable (1) | 2 |
| Intensidad | Alta (2) Baja (1) | 2 |
| Frecuencia | Constante (3) Frecuente (2) Intermitente (1) | 3 |
| Extensión | Regional (3) Zonal (2) Local (1) | 2 |
| Puntaje | $C(3*M+2*I+F+E)$ | -13 |
| Clasificación | Alto (-19 y -16) Medio (-15 y -11) Bajo (-10 y -7) | -15 |

La tabla 3.19 muestra que, como resultado de la metodología ARAS en la etapa de aguas residuales del proceso (cocimiento, lavado, reposo) cuyo aspecto ambiental son los vertidos al agua y el impacto ambiental es la contaminación hídrica, la calificación es de nivel medio en color amarillo con un menos quince (-15), lo que significa que no representa un grave riesgo, pero se deben tomar precauciones para evitar que su calificación aumente.

- ii. Etapa: Materiales con residuos de aceite y/o grasas de máquinas

Aspecto Ambiental AA: generación de residuos sólidos peligrosos

Impacto Ambiental IA: contaminación del suelo, agua y posibles problemas a la salud humana

Tabla 3.20 Evaluación de IA y AA para etapa de materiales con residuos de aceite y/o grasas de máquinas

| CRITERIO | PARÁMETRO | CUANTIFICACIÓN |
|-----------------|--|-----------------------|
| Carácter | Positivo (+1) Negativo (-1) | -1 |
| Magnitud | Importante (3) Considerable (2) Tolerable (1) | 1 |
| Intensidad | Alta (2) Baja (1) | 1 |
| Frecuencia | Constante (3) Frecuente (2) Intermitente (1) | 2 |
| Extensión | Regional (3) Zonal (2) Local (1) | 1 |
| Puntaje | $C(3*M+2*I+F+E)$ | -8 |
| Clasificación | Alto (-19 y -16) Medio (-15 y -11) Bajo (-10 y -7) | -8 |

En la tabla 3.20 se observa que al aplicar la metodología ARAS a la etapa de materiales con residuos de aceite y/o grasas de máquinas, cuyo aspecto ambiental es la generación de residuos sólidos peligrosos y el impacto ambiental es la contaminación del suelo, agua y posibles problemas a la salud humana, la calificación es de nivel bajo en color verde con menos ocho (-8), lo cual no representa riesgos para la organización.

iii. Etapa: Derrame accidental de aceite residual

Aspecto Ambiental AA: derrame de aceite vegetal usado

Impacto Ambiental IA: contaminación de suelo, agua y posibles problemas a la salud humana

Tabla 3.21 Evaluación de IA y AA para etapa de derrame accidental de aceite residual

| CRITERIO | PARÁMETRO | CUANTIFICACIÓN |
|-----------------|--|-----------------------|
| Carácter | Positivo (+1) Negativo (-1) | -1 |
| Magnitud | Importante (3) Considerable (2) Tolerable (1) | 3 |
| Intensidad | Alta (2) Baja (1) | 2 |
| Frecuencia | Constante (3) Frecuente (2) Intermitente (1) | 1 |
| Extensión | Regional (3) Zonal (2) Local (1) | 2 |
| Puntaje | $C(3*M+2*I+F+E)$ | -16 |
| Clasificación | Alto (-19 y -16) Medio (-15 y -11) Bajo (-10 y -7) | -16 |

Al tomar en cuenta la etapa de un derrame accidental de aceite residual (véase tabla 3.21) como un posible problema que podría enfrentar la organización a futuro y aplicando la metodología ARAS, se observa que el resultado de este suceso probable es de clasificación alta en color rojo con menos dieciséis de cuantificación, lo cual representaría un serio problema para la organización.

En la historia de la empresa de productos alimenticios no han sucedido derrames accidentales de aceite vegetal usado, pero se toma en cuenta la posibilidad de que ocurra para que la empresa esté preparada ante tal situación y sepa cómo proceder al respecto.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del estudio de factibilidad técnica

De los resultados de la factibilidad técnica, se evidencia que el 100% del aceite vegetal residual obtenido es ideal para utilizarse como materia prima para la elaboración de productos de valor agregado como jabones y velas.

Tabla 4.1 Empresas autorizadas por el MARN para la recolección y/o compra de aceite vegetal usado a nivel nacional.

| EMPRESA | DESCRIPCIÓN | UBICACIÓN Y CONTACTO |
|------------------------------------|--|--|
| Ecología y Tecnología S. A | Recolección de aceites y lubricantes usados. Llantas y otros materiales deben ser entregados en planta. | Final Calle Libertad Poniente, Parque Industrial Santa Lucía, Santa Ana. Tel: 2447 3077 y 2447-8814 |
| Geocycle El Salvador, S.A. de C. V | Aceites, lubricantes y desechos especiales. | Bulevar Sur Urb. Madre Selva Av. El Espino Edificio Holcim Antiguo Cuscatlán, La Libertad. Tel: 2505- 0000 y 2316- 8045 |
| Inversiones Luz de María | Empresa que compra aceite residual vegetal, proveniente de frituras. | Carretera la Herradura, El Salvador Departamento de La Paz. Tel: 2334 6409. Email: www.ildemarsa.net |
| Recicladora de aceite Valle | Somos una pequeña empresa dedicada a reciclar aceite usado de frituras. Compra a buen precio para reciclaje de aceite, grasa vegetal y de palma a todos los Restaurantes En el Salvador. | San salvador, San Salvador, 1101, El Salvador. Tel: 22760468 y 76118980 @recicladoradeaceitesvalle |
| Textiles San Andrés / HILASAL | Compra y venta de aceite usado, desperdicios textiles (maquila), madera, papel y cartón. | Km 32 carretera a Santa Ana, San Juan Opico, La Libertad. Tel: 23384099 y 23384488 |
| Sun Energy Corp | Reciclaje, recolección y compra de aceite vegetal usado. | 6 av. Norte y 28 Calle Poniente # B4, Santa Ana. Tel: 2447-9343 y 7706-1271 |

Fuente: MARN, 2017

Tabla 4.2 Algunas empresas certificadas para la recolección y/o compra de aceite vegetal usado a nivel internacional

| EMPRESA | DESCRIPCIÓN | UBICACIÓN Y CONTACTO |
|----------------------------|--|---|
| BIOILS | BIOILS es la empresa de reciclaje y disposición final de aceites vegetales usados en frituras líder en Latinoamérica, perteneciente a FIORDO AUSTRAL GROUP, grupo de empresas líderes en los mercados internacionales de aceites vegetales. | El centro de operaciones se encuentra en Chile, desde donde hemos extendido nuestras operaciones hacia Perú, Argentina, Colombia. coordinacion.chile@bioilslatam.com |
| ECOGREEN MUNDO | Recicla el aceite vegetal usado en restaurantes | Compra y venta de aceites vegetales usados en Lima, Perú team@ecogreenmundo.com |
| Ecosut S.R.L | Es una empresa argentina encargada de la recolección de aceite vegetal usado | San Juan, Argentina info@ecosut.com |
| REOIL | REOIL es una organización creada en 2008, por emprendedores mexicanos, para la gestión integral y correcto reciclado del residuo sólido de manejo especial conocido como aceite vegetal usado. REOIL cuenta con todos los registros y certificaciones oficiales, nacionales e internacionales, como empresa recicladora, para el manejo integral del residuo de manejo especial: aceite vegetal usado. | México info@reoil.net acapulín@reoil.net |
| ECO SYSTEM XXI SL | Empresa dedicada a la recogida, tratamiento y reciclaje de los aceites vegetales y grasas animales, procedentes de alimentación | España www.biograsas.com |
| RESEAVE | Reseave, empresa líder del sector de Gestión de Aceite Vegetal Usado, especializados en la recogida, transporte y reciclaje de aceite vegetal usado para su transformación | España www.reseave.es |
| LA ROMANA ARMONIA CORPORAL | Taller artesano de jabones, con ingredientes naturales. | España Teléfono: +34 918550813 |
| AMBIVERD | Compra de aceite vegetal usado. Recoge de forma gratuita el aceite de hoteles, restaurantes, bares, servicios de catering, centros escolares, residencias, industrias y comunidades de vecinos. | España www.ambiverd.com |

Se citan algunas empresas nacionales y extranjeras dedicadas al comercio de aceite residual vegetal, las cuales, son excelentes opciones para disponer correctamente del residuo ya que cuentan con los permisos ambientales correspondientes (véanse tablas 4.1 y 4.2).

4.2 Análisis del estudio de factibilidad económica

A partir de los resultados de la factibilidad económica podemos inferir que es ventajosa la venta del 100% de aceite residual generado como materia prima para la para la elaboración de productos de valor agregado como jabones y velas, ya que primordialmente no solo se reducen costos por adquisición y uso del aceite vegetal virgen, sino que también es evidente una reducción significativa en los costos por manejo y disposición del residuo como tal, disminuyendo en gran manera los costos totales.

La venta del 100% de aceite residual generado, produce en un periodo de tiempo de 1 año ingresos económicos representativos para la empresa de US\$77,856.77 y una reducción a los costos totales del 14.55%. (véase tabla 4.3):

Tabla 4.3 Beneficios económicos por venta del 100% de aceite vegetal generado anual.

| PERIODO DE TIEMPO DE GENERACIÓN DEL RESIDUO | INGRESOS POR VENTAS DEL 100% DE ACEITE RESIDUAL (US\$) | PORCENTAJE DE REDUCCIÓN COSTOS (US\$) |
|--|---|--|
| 1 año | 77,856.77 | 14.55 |

4.3 Análisis del estudio de factibilidad ambiental

Al aplicar la metodología ARAS se observa que:

- i. La etapa de menor riesgo es la de Materiales con residuos de aceite y/o grasas de máquinas en color verde.
- ii. Luego le sigue la etapa de riesgo medio que es la de Aguas residuales del Proceso (cocimiento, lavado, reposo) resultando en color amarillo, para la cual se propone el tratamiento y disposición con la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa para mitigar el impacto ambiental que generan los vertidos al agua a cuerpos receptores cercanos.

- iii. Así como también la etapa de mayor riesgo que es el Derrame accidental de aceite residual en color rojo que contempla la posibilidad de que ocurra un suceso de este tipo en la empresa, por lo cual se propone prevenir a través de un plan de acción en caso de derrame accidental de aceite vegetal residual.

En la tabla 4.4 se pueden observar las propuestas de mitigación para ambas etapas anteriormente mencionadas.

Table 4.4 Propuestas de mitigación para las etapas de Aguas residuales del proceso y de derrame accidental de aceite vegetal residual

| ASPECTO AMBIENTAL | IMPACTO AMBIENTAL | CLASIFICACIÓN | COLOR | TIPO DE PROPUESTA | PROPUESTA |
|---------------------------------------|---|----------------------|--------------|---------------------------|--|
| Derrame accidental de aceite residual | Contaminación de suelo, agua y posibles problemas a la salud humana | Alta | | Prevención | Elaborar un plan de acción en caso de un derrame accidental de aceite vegetal residual |
| Vertidos al agua | Contaminación hídrica | Medio | | Tratamiento y disposición | Disposición final de desechos adecuada |

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del aceite vegetal usado son: índice de acidez sea mayor a 0.5% y color azul sobrepase el valor de 1 para la fritura de plátano verde y de 9 para la fritura de chicharrones. Es importante destacar, que la cantidad de muestra a recolectar de los freidores 1 y 2, luego de la fritura de los productos A y B, es de 100 a 150 ml.
2. Del estudio y caracterización fisicoquímica de las muestras de aceite de palma usado, tomado de las freidoras de una empresa que se dedica a la elaboración de snacks, se evidencia que al alcanzar una acidez de 0.5% este ya no es funcional para su proceso operativo, es por ello, que se evaluó si era posible la utilización de estos residuos de aceite vegetal como materia prima para productos de valor agregado tales como jabones y velas; de lo cual se demuestra la factibilidad técnica al cumplir con los ensayos de laboratorio efectuados entre los cuales se tomaron el porcentaje de acidez y el color de la muestra.
3. Se determinó que el tiempo de muestreo y obtención de aceite residual como materia prima, en los freidores 1 y 2, para los productos A y B, es de cada 8 horas. Gracias a los resultados obtenidos, se evidencia que, a mayor porcentaje de acidez, se tiene un aceite más deteriorado. Se demostró que al alcanzar el 0.5% de acidez ya sea para la fritura de plátano verde como de chicharrón se obtiene aceite residual como materia prima, ya que, entre más alto es el porcentaje de acidez, existe mayor favorecimiento a la reacción de saponificación, lo cual es esencial para la elaboración de jabones y velas.
4. Se evidencia que se obtienen aproximadamente 1,690 Kg de aceite residual al día, de los freidores 1 y 2, luego de la fritura de los productos A y B, que servirán como materia prima para la elaboración de jabones y velas.
5. Se confirmó que la empresa de productos alimenticios comercializa el 20% de sus residuos de aceite vegetal generados a una empresa que no posee los permisos

medioambientales correspondientes otorgados por el MARN y al no tener la certeza de que dicha empresa haga buen uso o disposición del residuo, representa un potencial impacto ambiental.

6. El enfoque utilizado para la evaluación de la factibilidad económica aplicada fue el de costo-beneficio, debido a que los resultados obtenidos en la factibilidad técnica arrojaron que el 100% de aceite residual generado por la empresa de snacks puede utilizarse como materia prima en la fabricación de velas y jabones, este puede ser comercializado en su totalidad para obtener un beneficio económico para la empresa.
7. La empresa productora de snacks en la actualidad solo comercializa el 20% del aceite residual generado, lo cual representa la cantidad de 64,880.64 Kg al año, y los ingresos percibidos por dicha actividad son de US\$15,571.35 al año. Si se comercializa el 100% (324,403.20 Kg) se obtendrán ingresos de US\$77,856.77 anuales, lo cual refleja un ingreso extra de US\$62,285.41 anuales.
8. Los costos totales de la empresa con respecto a la utilización de aceite vegetal en sus procesos de fritura de productos A y B, se ven afectados por la adquisición del aceite vegetal virgen pues este representa un costo de US\$535,265.28 anuales, y a la disposición final del residuo generado. Debido a que el 20% de dicho residuo es comercializado, el 80% restante es desechado hacia un relleno sanitario el cual representa un costo de US\$24,477.70 anuales, reflejando así un costo total de US\$559,742.98 al año.
9. Al efectuar la venta del 20% de aceite residual generado por la empresa, esta refleja una reducción significativa a los costos totales del 2.78%, si se realizara la venta del 100% del residuo, esta incurriría en una reducción a los costos totales del 14.55%. Por lo tanto, la venta total del residuo es viable y una manera de disminuir la contaminación ambiental, ya que se asegura la reutilización y aprovechamiento al máximo del recurso.

- 10.** En la aplicación de la metodología ARAS en el análisis de factibilidad ambiental, se identificaron las etapas de mayor riesgo en el proceso de la obtención del aceite vegetal residual como materia prima para productos de valor agregado, las cuales son la etapa de aguas residuales del proceso y la etapa de derrame accidental de aceite vegetal residual.
- 11.** Para la etapa de aguas residuales del proceso ya se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales para su adecuado tratamiento y disposición final, para la etapa de derrame accidental de aceite vegetal residual todavía no se cuenta con un plan de acción en caso de dicho evento.
- 12.** La etapa de materiales con residuos de aceites y/o grasas que se analizó con la metodología ARAS es la de menor riesgo, ya que la cantidad de residuos generados en dicha etapa son producto de la limpieza y desinfección de la maquinaria utilizada para el procesamiento de los productos A y B.

RECOMENDACIONES

1. Monitorear el proceso productivo de los productos A y B en las freidoras 1 y 2 cada 8 horas para realizar pruebas de ensayo de porcentaje de acidez y de porcentaje de TPC polares totales para verificar que dicho aceite es apto para la elaboración de jabones y velas.
2. Exigir a la empresa o las empresas a contratar para la venta del residuo de aceite vegetal usado, cuente con los permisos medioambientales avalados por el MARN, ya que de esta forma se asegura de que dichos residuos tengan una gestión integral adecuada y no lleguen al medio ambiente a causar contaminación.
3. Ampliar el portafolio de empresas con las cuales comercializar el residuo del aceite vegetal usado, de manera que, todos cuenten con la debida autorización del MARN y evitar así, almacenar el residuo dentro de las instalaciones de la empresa dedicada a la elaboración de snacks y a su vez, obtener el 100% del beneficio por la venta de dicho residuo.
4. No desechar el aceite vegetal usado por las tuberías para evitar la generación de obstrucciones en el sistema de tuberías.
5. Almacenar el aceite vegetal usado en recipientes adecuados que eviten su derramamiento o contaminación, así como no almacenarlo junto con otros tipos de residuos o desechos para evitar contaminación cruzada. Para ello es importante contar con un manual o guía de Buenas Prácticas de Almacenamiento el cual será de utilidad en las actividades diarias de la empresa de productos alimenticios, así como de prevención de derrames accidentales de aceite vegetal usado. Ver anexo A.
6. Elaborar un plan de acción en caso de derrame accidental de aceite vegetal usado para contar con los recursos y la debida capacitación del personal a cargo. De esta forma se evitará que los residuos de aceite vegetal usado lleguen a contaminar suelo y agua.

7. Evaluar otras alternativas para la valorización del aceite vegetal usado, como la elaboración de biodiesel, ceras, entre otros.
8. Contemplar a futuro la elaboración de productos a base de aceite vegetal, para su comercialización o como opción de reciclaje para reducir costos dentro de la empresa misma, puesto que se cuenta con el 100% de materia prima para su producción lo cual sería beneficioso al incursionar en nuevos mercados y expandir la empresa, y a su vez se mejoraría el desempeño ambiental de la misma.
9. Disminuir la cantidad de aceite vegetal destinada como materia prima para la elaboración de snacks a través de la implementación de:
 - i. Buenas Prácticas de Fritura de Alimentos (Diagramas de los anexos B y C). (INTI, 2012)
 - ii. Otras alternativas de fritura de alimentos tal como la fritura al vacío (cocinar de manera continua a baja temperatura y baja presión de principio a fin) la cual permite conservar las propiedades de los alimentos como sabor, textura y apariencia. (Florigo, 2014)
 - iii. El uso de otros aceites vegetales como aquellos que contienen ácido linolénico, ácido oleico y ácido linoleico, ya que ofrecen más estabilidad y sabor. (Revista Industria y Alimentos, julio-septiembre 2014).

BIBLIOGRAFÍA

- Análisis de sensibilidad: VAN, TIR, Payback, IR (2022). España. Recuperado de <https://bit.ly/3Ebuzxy>.
- Amado, E., y Mora, L. (2006). Análisis de la variación de la viscosidad cinemática de un aceite vegetal en función de la temperatura. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 4(2), 54-56. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3T4M1IE>
- AOAC INTERNATIONAL. (2020). *Métodos oficiales de análisis TM*, 21ª Edición (2019). Estados Unidos. Recuperado de <https://bit.ly/3S1tzPB>
- Asamblea Legislativa de El Salvador. (27 de febrero de 2020). Decreto No. 527 Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje. El Salvador. Diario Oficial, págs. 6-7.
- ATACORI (2017). Almacenamiento y manejo de lubricantes. Costa Rica. Obtenido de <https://bit.ly/3T4A8m1>
- Atrica, L. (31 de agosto de 2020). SCRIBD. Perú. Recuperado de NORMAS AOAC, AOCS: <https://bit.ly/3rYq81I>
- Aula Natural. (15 de febrero de 2016). *Métodos de elaboración de jabones naturales*. España. Recuperado de Aula Natural: <https://bit.ly/3CshK0A>
- Bartholomew C. H. y Farrauto R. J. (2005). *Fundamentals of industrial catalytic processes*. Estados Unidos. Recuperado de <https://bit.ly/3TjJNp3>
- BUNGE. (2021). *Aceites vegetales*. Estados Unidos. Recuperado de <https://bit.ly/2tYRuGS>
- Bombón, N., y Albuja, M. (2018). Diseño de una planta de saponificación para el aprovechamiento del aceite vegetal de desecho. *Revista politécnica Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria*. Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/3yD688D>

- Chapalud Narváez, M. C. (2017). Recuperación de subproductos a partir del proceso de descerado de aceite de girasol. Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/3dUWMy1>
- Costas, J. (27 de enero de 2020). ¿Qué es el Aceite Vegetal Hidrotratado o HVO? ¿Puedo usarlo en mi vehículo? España. Recuperado de <https://bit.ly/3M43j66>
- Cruz Criollo, A. L., y Davis Fernández, A. (julio de 2021). Diseño de un sistema de recolección de aceite usado de cocina para la elaboración de jabón artesanal, en el distrito de Piura. Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3rnvvaf>
- Curso de especialización Ecoeficiencia de los procesos industriales, Módulo 3 conceptos Generales y Metodología de P+L, Unidad 2 Metodología de PML (marzo de 2022). Universidad de El Salvador. El Salvador. Recuperado de Curso de Especialización Ecoeficiencia de los Procesos Industriales 2022.
- Durán Agüero, S., Torres García, J., y Sanhueza Catalán, J. (2015). aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. Nutrición hospitalaria, 11-19. Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3MxHkV7>
- Echavarría, J. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano. Colombia. Scielo. Recuperado de <https://bit.ly/3D1xrw4>
- Empresa de Productos alimenticios (2022). Parámetros sensoriales del aceite como materia prima y Especificaciones de calidad del aceite como materia prima. El Salvador.
- Estrucplan. (19 de enero de 2011). Informe Técnico Sobre Aceites Usados Y Sus Usos. Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/3rX0H0p>
- Fernández, A., Lozada, W., Espinoza, J., Criollo, A., y Valdiviezo, J. (junio de 2020). Diseño de proceso para la elaboración de jabón a base de aceite de cocina usado en la Urb. Santa María del Pinar, distrito Piura. Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3M7vYXW>

- FISHMER LECITHIN. (2021). La lecitina: Todo lo que debe saber sobre esta increíble sustancia. Alemania. Recuperado de <https://bit.ly/3RawDKB>
- Flores Trujillo, A. L., y Carranza Serrano, G. A. (2022). Propuestas de gestión ambiental para el aceite vegetal quemado proveniente de los restaurantes de una cadena de comida rápida en El Salvador. El Salvador: Universidad de El Salvador. El Salvador. Recuperado de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/26023/>
- Florigo Industry, una empresa de TNA (2014). Países Bajos. Recuperado de <https://bit.ly/3MiYrK9>
- Garces, I., y Cuellar, M. (2012). Productos derivados de la industria. Colombia. Recuperado el 15 de mayo de 2022, de <https://bit.ly/3CE6Kfv>
- Gioia, G. (febrero de 2013). Rio Negro Universidad Nacional. Argentina. Recuperado el 7 de junio de 2022, de <https://bit.ly/3WLBXW3>
- Guerrero Gonzales, C. (2014). Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, Almería. España. Recuperado de <https://bit.ly/3Vwd2Go>
- HOUFANG LU, Y. L. (2008). Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L. Oil. Computers and Chemical Engineering xxx. China. Recuperado de <https://bit.ly/3TgxdXe>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Ministerio de producción, Secretaría de Industria, Comercio y Mediana y pequeña empresa, Argentina (2012). Recuperado de <https://bit.ly/3S2B499>
- Iriarte, R., Villabona, A., y Tejada, C. (30 de Julio de 2017). Alternativas para el aprovechamiento integral de residuos grasos de procesos de fritura. España. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382715>

- Lafargue-Pérez, F., Barrera, N., Nascimento, J., Díaz, M., y Rodríguez, C. (2012). Caracterización físico-química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. *Tecnología Química*, 162-165. Cuba. Recuperado de <https://bit.ly/3g8Zpgh>
- Laguzzi, J., Lencina, M., y Albarracín, M. (2015). Jabones a partir de aceites vegetales usados: un negocio posible. Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/3Efdse6>
- Menacho, L., Salvador, R., Guillén, J., Capa, J., y Moreno, C. (24 de noviembre de 2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. Perú. Recuperado de: <https://bit.ly/3SRxWhi>
- Midwest Research Institute. (1995). Emission Factor Documentation for AP-42. Vegetable Oil Processing. Prepared for the U. S Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, Section 9.11.1. Estados Unidos. Recuperado de <https://bit.ly/3CyBiir>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, Centro de Información y Documentación del MARN (CIDOC) (2017). Listado para RAEE, tratamiento y disposición final de materiales peligrosos, transporte de materiales peligrosos, transportes bioinfecciosos, aceite usado. El Salvador. Recuperado de <https://bit.ly/3SM6Nw4>
- Ministerio de Salud de Perú, Dirección de Salud IV Lima Este, (2015). Manual de Buenas Prácticas de Almacenamiento. Perú. Recuperado de <https://bit.ly/3CrLNoX>
- Moreira Núñez, Jenny Elizabeth. (2019). Gestión integral del aceite vegetal usado en los restaurantes del cantón Santo Domingo. Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/3ybMnVg>
- Nasello, M. E. (2019). Tratamiento de los aceites vegetales usados y evaluación de su factibilidad técnica como materia prima en una planta de biodiesel en la ciudad de

- Tandil (Doctoral dissertation, Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Control de la Provincia de Buenos Aires). Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/3TiZBaW>
- NIEVES, T. R. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles. México. Recuperado de <https://bit.ly/3F0aUBd>
- Núñez Isaza M. L., Prada Villamar L. P. (2008). Proceso para la obtención de compuestos parafínicos sólidos por hidrotratamiento de aceites vegetales. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3S5jEbM>
- Oleo. (9 de abril de 2021). El 70% del consumo del aceite de oliva a nivel mundial se realiza dentro del hogar. España. Recuperado de <http://www.oleorevista.com/?p=382272>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; Organización Mundial de la Salud. (19-26 de octubre de 1993). Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta FAO/OMS de expertos. (Estudio FAO Alimentación y Nutrición - 57). Estados Unidos. Recuperado de <https://bit.ly/3HelB2q>
- Pons, G. A. (2015). Aceites vegetales, hacia una producción sostenible. El Hombre y la Máquina, 9-19. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3HeYd4X>
- Preciado, A. G. (2017). Repositorio Universidad de Guayaquil. Ecuador. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://bit.ly/3SOEtcl>
- PROQUINAT. (2021). Ceras y Aceites Vegetales. España. Recuperado de <https://proquinat.com/ceras-y-aceites-vegetales/>
- Rupilius, W. (2007). USODELOSACEITESDEPALMA y de palmiste en el sector de jabones y detergentes`. 1, 22. Alemania. Recuperado el 24 de mayo de 2022, de <https://bit.ly/3C2uTvJ>
- Reciclario.com. (2021). ACEITE VEGETAL USADO. Argentina. Recuperado de <https://reciclario.com.ar/otras/aceite-vegetal/#>

REOIL. (2010). ¿Qué es el Residuo Aceite Usado de Cocina? México. Recuperado de <http://www.reoil.net/rauc.html>

Revista Industria y alimentos, año 16, No. 64, julio-septiembre 2014. El salvador.
Recuperado de <https://bit.ly/3Y3ykvv>

Superintendencia de competencia. (Julio de 2014). Condiciones de Competencia en la Producción y Distribución de Aceites y Mantecas. El Salvador. Recuperado de http://www.sc.gob.sv/uploads/est_19_inf.pdf

Team foods. (2020). ¿Cómo reciclar el aceite vegetal de cocina en tu casa? Colombia.
Recuperado de <https://bit.ly/3kJCxfX>

Valenzuela, A., y Morgado, N. (2005). Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. Revista Chilena de Nutrición, 32,2. Chile. Recuperado de <https://bit.ly/3VGPPSf>

ANEXOS

Anexo A. Esquema de buenas prácticas de almacenamiento y ejemplos

Esquema A.1 de Buenas Prácticas de Almacenamiento que puede aplicarse al almacenamiento de aceite vegetal residual en la empresa de productos alimenticios.



Figura A.1 Esquema de Buenas Prácticas de Almacenamiento.

Fuente: Ministerio de Salud de Perú, 2015

Algunas prácticas comunes del almacenamiento de aceites nuevos y usados son dejarlos a la intemperie bajo el sol y la lluvia, lo cual causa contaminación del contenido del barril, como se muestra en la figura A.2.

Para evitar que el residuo de aceite vegetal usado se contamine con otras sustancias, es recomendable almacenarlo en un lugar seco y fresco, protegido de las inclemencias del clima.

De esta manera se evitan filtraciones de agua dentro de los contenedores y también se evitan derrames de residuo de aceite vegetal usado, ya que al estar a la intemperie los contenedores se pueden deteriorar.

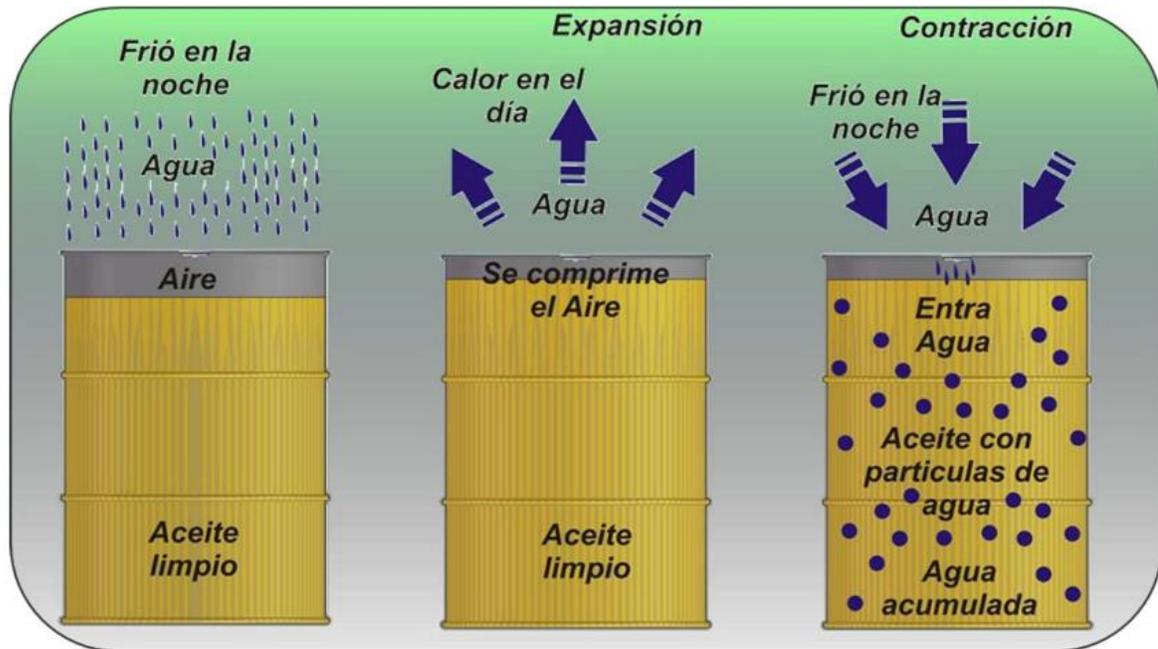


Figura A.2 Almacenamiento a la intemperie.

Fuente: ATACORI 2017

Otra forma de poner en práctica las buenas prácticas de almacenamiento es la de llevar un registro de la cantidad de residuos que se generan y se almacenan dentro de la empresa, así como realizar inspecciones visuales a los contenedores para verificar su buen estado.

Anexo B. Esquema de buenas prácticas de fritura de alimentos

Esquema B de Buenas Prácticas de Fritura de Alimentos, el cual proporciona recomendaciones importantes para un mejor uso del aceite vegetal como materia prima y así disminuir la cantidad de aceite vegetal usado durante el proceso de elaboración de snacks.

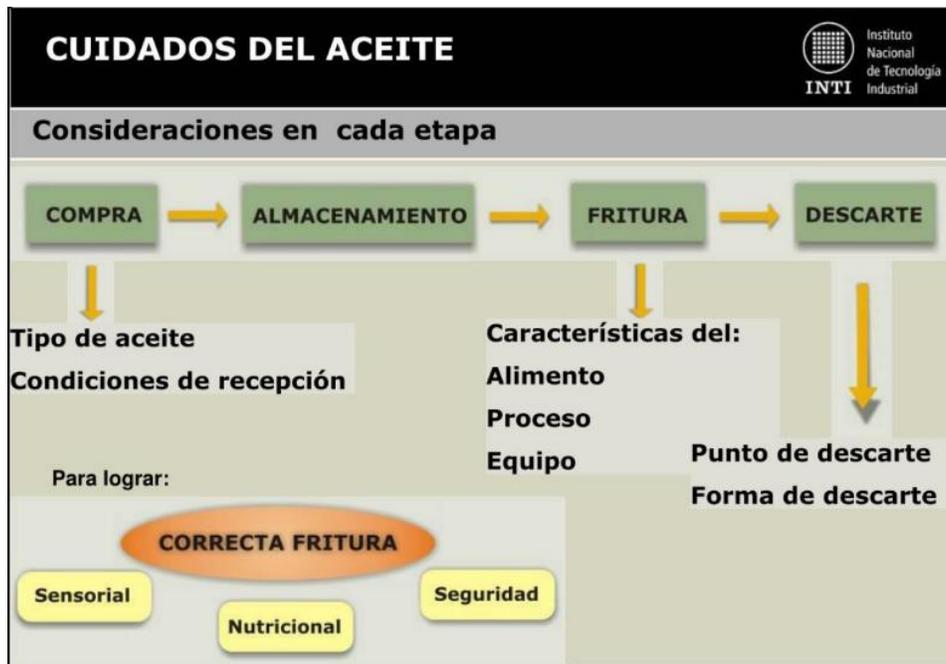


Figura B. Esquema de Buenas Prácticas de Fritura de Alimentos. Fuente: INTI, 2012

Anexo C. Esquema de beneficios de las buenas prácticas de fritura en alimentos

La implementación de las buenas prácticas de fritura de alimentos trae beneficios, los cuales se muestran en el esquema C.

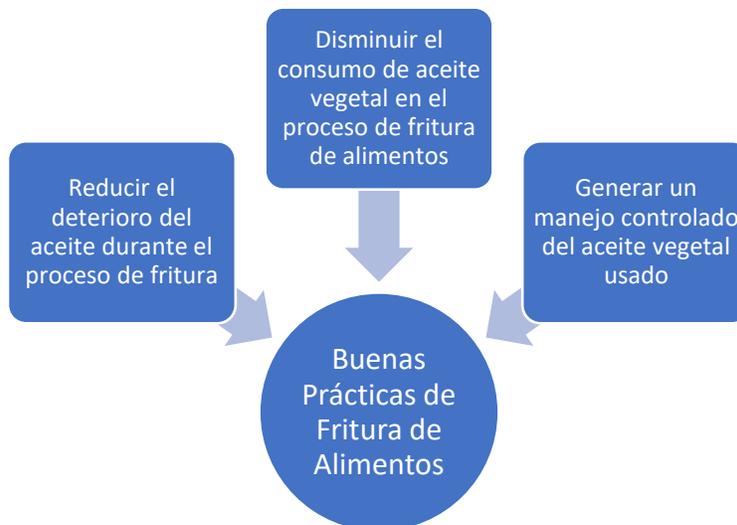


Figura C Beneficios de las Buenas Prácticas de Fritura en Alimentos