

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA DE PRODUCTO UTILIZANDO ACEITES
DE COCINA USADOS TRATADOS POR LA EMPRESA GREENFUEL
COLOMBIA

ANDRÉS FELIPE JAIME ALFONSO
JUAN DAVID MUNAR ORJUELA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2020

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA DE PRODUCTO UTILIZANDO ACEITES
DE COCINA USADOS TRATADOS POR LA EMPRESA GREENFUEL
COLOMBIA

ANDRÉS FELIPE JAIME ALFONSO
JUAN DAVID MUNAR ORJUELA

Proyecto integral de trabajo de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director

JUAN CAMILO CELY GARZÓN
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Luis Miguel Chaparro Hernández

Ing. Duvian Alberto Vera Romero

BOGOTÁ D.C, febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Postgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMAN

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMAN

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A todos mis amigos y familiares, que en el transcurso de la carrera me apoyaron y estuvieron siempre conmigo, en especial a Julio, Andrés y Laura. Este trabajo está dedicado a mis padres y a mi hermana, que con los años me enseñaron a ser fuerte, a que la constancia y el coraje vencen cualquier injusticia, a no decaer nunca y que sin importar las adversidades y los golpes hay que seguir luchando por los sueños y la felicidad. Debo nombrar también a nuestro Director Juan Camilo Cely, sin él este proyecto no hubiera sido posible y le agradezco por guiarnos en los momentos más críticos y desalentadores.

Es necesario expresar mi alegría por culminar mi pregrado, pero también los sentimientos encontrados. Hay mucho que decir de la Universidad, pero esta ocasión no es para hablar de sus falencias y defectos sino de lo bueno y gratificante después de estos años: mis compañeros que serán grandes profesionales, los profesores que con su sabiduría impulsaron más mis deseos de conocimiento, los hermosos recuerdos que en un par de años serán míticas anécdotas y las cumbres que fueron instantes de plenitud completa.

Don't waste your time on me, you're already the voice inside my head...

Juan David Munar Orjuela

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Dios por la sabiduría que me ha brindado, por las personas que ha puesto en mi camino, por las bendiciones que ha derramado para poder lograr las metas propuestas, porque siempre ha estado presente en momentos de difíciles, de felicidad y etapas que ha marcado mi vida.

A mis padres por el amor, trabajo, apoyo y esfuerzo que me han brindado durante mi vida, porque ellos son lo más importante y gracias a ellos soy la persona humana y profesional en la que me he formado.

A mi hermano Camilo que es mi ejemplo a seguir, gracias por todo el apoyo, conocimiento y consejo que me ha brindado, porque él ha sido partidario de la persona que soy, porque gracias a él cada día me motiva a salir adelante a pesar de todos los obstáculos que se me presentan y es un claro ejemplo que con mayor dedicación y conocimiento uno puede cumplir los sueños.

A mis abuelos maternos y paternos por el amor, cariño y por estar siempre conmigo, a pesar de que uno de ellos no esté presente, sé que está en mi corazón y me da la fuerza para seguir adelante.

A mis amigos de vida Nathaly, Stephanny, Paola, Andrea, Lina, Angela, Mafe, Laura C, Julio G, Cristian R, Julio T y Leonardo, por su apoyo, consejos y porque siempre han estado cuando más los necesito. Por todas las experiencias vividas y los por que viene.

A mis amigos de la universidad que me han acompañado en el transcurso de la carrera, porque han hecho de esta etapa lo mejor, por todo el cariño y respeto.

A familia por creer en mí, porque apoyarme en cada etapa, por inspirarme a salir adelante.

Finalmente, a mi compañero de tesis Juan, por ser una persona incondicional, por el apoyo, por la paciencia, por creer en mí y porque se pudo lograr cumplir con los objetivos propuestos.

Andrés Felipe Jaime Alfonso

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dios del cielo, por permitirnos salir adelante, por la sabiduría que nos brinda día a día, por sus bendiciones que ha derramado sobre nosotros, por esta etapa que culmina y por los obstáculos que se han presentado durante este proceso y han sido superados, por hacer de nosotros mejores personas desde ámbito profesional hasta el humano.

A las familias, por el apoyo y la formación que nos han brindado desde pequeños, ya que gracias a ellos nos hemos propuesto a salir adelante tanto profesional como humanamente, sobresaliendo por nuestros conocimientos adquiridos durante nuestra vida y por estar presentes en el cumplimiento de nuestros logros, metas y sueños realizados.

A la empresa GreenFuel Colombia, en especial a la ingeniera Leonela Paez, por abrirnos las puertas y darnos la oportunidad de trabajar con ellos, ofreciendo las herramientas y conocimiento necesarios para desarrollar este proyecto, también queremos agradecerle al ingeniero David Teuta por el seguimiento, conocimiento y colaboración que nos ha brindado durante este trabajo.

A nuestro director de trabajo de grado Juan Camilo Cely, por el acompañamiento, consejos y sugerencias que nos permitió desarrollar este proyecto, ya que sin él habría sido tedioso este proceso.

A la Fundación Universidad de América, al departamento de Ingeniería Química, en concreto a los profesores que tuvimos a lo largo de la carrera.

A Tecnoparque nodo Bogotá, al departamento de biotecnología y nanotecnología, por brindarles el laboratorio, reactivos y equipos donde se llevó a cabo el proyecto, al gestor Diego Cifuentes por su asesoramiento y apoyo durante cada etapa experimental que se realizó.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	23
1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ACEITES DE COCINA USADOS	24
1.1 ACEITES DE COCINA USADOS (ACUS)	24
1.2 ALTERACIONES EN EL PROCESO DE COCCIÓN Y FRITURA	26
1.3 PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACUS	28
1.3.1 Densidad.	29
1.3.2 Índice de refracción.	30
1.3.3 Índice de yodo.	31
1.3.4 Índice de acidez.	33
1.3.5 Acidez.	34
1.3.6 Índice de saponificación.	35
1.3.7 Índice de peróxido.	36
1.3.8 Contenido de humedad y compuestos volátiles.	38
1.3.9 Contenido de impurezas insolubles.	38
1.4 PRETRATAMIENTO DE ACUS	39
1.4.1 Filtración.	40
1.4.2 Decantación y segunda filtración.	40
1.4.3 Purificación.	40
1.4.4 Centrifugación.	40
1.4.5 Floculación y coagulación.	40
1.5 ALTERNATIVAS DE ACUS	41
1.5.1 Biodiesel.	41
1.5.2 Aceites epoxidados.	45
1.5.3 Ceras.	51
1.5.4 Jabones.	54
1.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	61
1.6.1 Técnicas de titulación e indicadores.	62
1.6.2 Potenciómetro (medidor de ph).	64
1.6.3 Refractómetro.	64
1.7 NORMATIVA PARA LA DISPOSICIÓN DE ACUS	65
1.8 EMPRESA GREEN FUEL COLOMBIA	66
1.8.1 Proceso empresa greenfuel colombia.	66
1.8.2 Información histórica.	68
2. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE ACUS	71

2.1 MUESTREO	71
2.2 CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS	73
2.2.1 Determinación de densidad.	73
2.2.2 Determinación de índice de refracción.	74
2.2.3 Determinación de índice de yodo.	74
2.2.4 Determinación de índice de acidez.	75
2.2.5 Determinación de acidez.	76
2.2.6 Determinación de índice de saponificación.	76
2.2.7 Determinación de índice de peróxido.	76
2.2.8 Determinación de contenido humedad y compuestos volátiles.	77
2.2.9 Determinación de contenido de impurezas insolubles.	78
3. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN	79
3.1 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD	79
3.2 DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN	81
3.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO	83
3.4 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ Y ACIDEZ	85
3.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	88
3.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDOS	90
3.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA VOLÁTIL	92
3.8 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE IMPUREZAS INSOLUBLES	94
3.9 CARACTERIZACIÓN GENERAL	96
4. ELABORACIÓN DE PRODUCTOS	100
4.1 CERAS	101
4.1.1 Proceso de elaboración.	102
4.1.2 Caracterización de ceras para pisos.	102
4.1.2.1 Determinación de pH.	102
4.1.2.2 Abrasividad.	103
4.1.2.3 Caracterización propia.	104
4.2 JABONES	105
4.2.1 Procesos de elaboración	108
4.2.2 Rendimiento de reacción.	109
4.2.3 Caracterización.	110
4.2.3.1 Humedad.	111
4.2.3.2 Determinación de pH.	111
4.2.3.3 Control de espuma.	112
4.2.3.4 Caracterización propia.	113
4.3 ACEITES EPOXIDADOS	115
4.3.1 Procedimiento de elaboración.	116
4.3.2 Rendimiento.	118
4.3.3 Caracterización.	119

4.3.3.1 Índice de Yodo.	120
4.3.3.2 Índice de Oxiranos.	120
4.3.3.3 Características propias.	122
4.4 SELECCIÓN DE PRODUCTO A ESCALAR	124
5. ESCALAMIENTO A NIVEL BANCO	128
5.1 BALANCE DE MATERIA	128
5.2 BALANCE DE ENERGÍA	129
5.3 INSUMOS Y EQUIPOS PARA EL ESCALAMIENTO	130
5.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN	133
6. ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	134
7. CONCLUSIONES	142
8. RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	144

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición media de ácidos grasos en aceite reutilizado.	27
Tabla 2. Características físicas y químicas de los aceites de cocina (desechado, usado, fresco)	29
Tabla 3. Descripción de siglas para el índice de acidez para grasas y aceites.	30
Tabla 4. Masa de porción de ensayo y volumen solvente para el índice de yodo esperado.	32
Tabla 5. Descripción de siglas para el índice de yodo en grasas y aceites.	32
Tabla 6. Masa de porción de ensayo, concentración de álcali y preciso de pesaje con respecto al porcentaje de acidez esperado.	33
Tabla 7. Descripción de siglas para el índice de acidez en aceites y grasas.	34
Tabla 8. Descripción de siglas para corrección de temperatura.	34
Tabla 9. Descripción de siglas para acidez en aceites y grasas.	35
Tabla 10. Descripción de siglas para el índice de saponificación en aceites y grasas.	36
Tabla 11. Descripción de siglas del factor de la solución titulante de peróxidos.	37
Tabla 12. Descripción de siglas para el índice de peróxidos de aceites y grasas.	37
Tabla 13. Descripción de siglas para la humedad y materia volátil de aceites y grasas.	38
Tabla 14. Descripción de siglas para contenido de impurezas insolubles en aceites y grasas.	39
Tabla 15. Plantas productoras de biodiesel en funcionamiento a nivel nacional.	43
Tabla 16. Composición porcentual del aceite epoxidado de linaza	46
Tabla 17. propiedades físicas y químicas de aceites epoxiadados	46
Tabla 18. Costo de aceite epoxidado en el mercado.	47
Tabla 19. Mercado de ceras para pisos	54
Tabla 20. Costos de jabones industriales.	59
Tabla 21. Rango ph para indicadores.	63
Tabla 22. Normas y decretos de disposición de aceites usados	65
Tabla 23. Parámetros de calidad para exportar aceites de cocina usados	71
Tabla 24. Resultados generales de pruebas de caracterización de acus	97
Tabla 25. Comparación de aceites nuevos.	98
Tabla 26. Materia prima para elaboración de ceras	101
Tabla 27. Datos de ph para los tipos de ceras	103
Tabla 28. Resultados de abrasividad para ceras	104
Tabla 29. Caracterización propia de ceras para muebles y pisos laminados	105
Tabla 30. Cantidades de materia prima para elaboración de jabón	106
Tabla 31. Cantidad de jabón y glicerina obtenida.	110
Tabla 32. Rendimiento de jabones industriales.	110
Tabla 33. Resultados de humedad para el jabón industrial	111

Tabla 34. Datos de ph para jabones industriales	112
Tabla 35. Resultados de control de espuma	113
Tabla 36. Caracterización propia para jabones industriales	114
Tabla 37. Condiciones seleccionadas de reacción de epoxidación	115
Tabla 38. Rendimiento del proceso de epoxidación de aceites	118
Tabla 39. Selectividad de reacción de epoxidacion	119
Tabla 40. Numero ácido de aceites epoxidados.	121
Tabla 41. Caracterización propia de aceites epoxidados	122
Tabla 42. Comparación de resultados de aceites epoxidados	123
Tabla 43. Matriz de selección para el producto	126
Tabla 44. Determinación del factor de escala.	129
Tabla 45. Materiales y equipos para el escalamiento.	131
Tabla 46. Reactivos necesarios para elaboración y control de calidad de aceite epoxidado.	133
Tabla 47. Condiciones de operación para la elaboración de aceites epoxidados a nivel banco.	133
Tabla 48. Análisis de costos para reactivos	134
Tabla 49. Análisis de costos para instrumentos.	136
Tabla 50. Análisis de costos de equipos de laboratorio.	140
Tabla 52. Costos de servicios industriales en la elaboración de aceite epoxidado.	141
Tabla 53. Costo de elaboración de aceite epoxidado.	141

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cambio de propiedades físicas y químicas del aceite durante el proceso de fritura	25
Figura 2. Distribución del porcentaje de mezclas de biodiesel en Colombia.	44
Figura 3. Reacciones de degradación del anillo oxirano.	48
Figura 4. Mecanismo de reacción de epoxidación	49
Figura 5. Reacción global de aceite epoxidado.	49
Figura 6. Cera sólida para pisos laminados.	51
Figura 7 Molécula de jabón.	55
Figura 8. Mecanismos de reacción para jabón líquido.	56
Figura 9. Etiqueta ecológica de Colombia.	61

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aceites.	67
Diagrama 3. Procedimiento para determinación de densidad.	73
Diagrama 4. Procedimiento para determinación de índice de refracción	74
Diagrama 5. Procedimiento para determinación de índice de yodo	75
Diagrama 6. Proceso para determinación de índice e acidez y acidez.	75
Diagrama 7. Proceso para determinación del índice de saponificación	76
Diagrama 8. Procedimiento para determinación de índice de peróxidos.	77
Diagrama 9. Procedimiento para determinación de la humedad y materia volátil	78
Diagrama 10. Procedimiento para determinación de contenido de impurezas insolubles	78
Diagrama 12. Boxplot para determinación de densidad	81
Diagrama 13. Boxplot para determinación del índice de refracción	83
Diagrama 14. Boxplot para determinación del índice de yodo.	85
Diagrama 15. Boxplot para determinación del índice de acidez	87
Diagrama 16. Boxplot para determinación de la acidez	88
Diagrama 17. Boxplot para determinación del índice de saponificación	90
Diagrama 18. Boxplot para determinación del índice de peróxidos	92
Diagrama 19. Boxplot determinación del contenido de humedad y materia volátil	94
Diagrama 20. Boxplot para determinación del contenido de impurezas insolubles	96
Diagrama 21. Procesos de elaboración de ceras	102
Diagrama 22. Proceso de determinación de ph en ceras	103
Diagrama 23. Proceso de determinación de abrasividad en ceras	103
Diagrama 24. Proceso de elaboración de jabón industrial	108
Diagrama 25. Determinación de humedad para jabones industriales	111
Diagrama 26. Determinación de ph para jabones industriales	112
Diagrama 27. Determinación de control de espuma para jabones industriales	112
Diagrama 28. Soluciones para el seguimiento de reacción de epoxidación	117
Diagrama 29. Procesos de elaboración de aceites epoxidados	117
Diagrama 30. Determinación de índice de yodo durante el seguimiento de la reacción de epoxidación	120
Diagrama 31. Determinación de índice de oxiranos durante el seguimiento de la reacción de epoxidación	121
Diagrama 32. Balance de masa para el proceso de aceites epoxidados nivel laboratorio.	128
Diagrama 33. Balance de masa para el proceso de aceites epoxidados a nivel banco.	129

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación de densidad en aceites y grasas.	30
Ecuación 2. Determinación del índice yodo en aceites y grasas.	32
Ecuación 3. Determinación de índice de acidez en aceites y grasas.	33
Ecuación 4. Corrección de temperatura para la concentración de la solución etanólica.	34
Ecuación 5. Determinación de acidez en aceites y grasas.	35
Ecuación 6. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas.	36
Ecuación 7. Determinación del factor para la solución titulante de peróxidos.	37
Ecuación 8. Determinación de índice de peróxidos para aceites y grasas.	37
Ecuación 9. Determinación de contenido de humedad y materia volátil en aceites y grasas.	38
Ecuación 10. Determinación de contenido de impurezas insolubles en aceites y grasas.	39
Ecuación 11. Selectividad de reacción de epoxidación.	50
Ecuación 12. Cantidad de hidróxido de sodio necesaria para saponificar aceite	106
Ecuación 13. Determinación de cantidad de jabón obtenido	109
Ecuación 14. Balance de masa global.	129
Ecuación 15. Balance de energía para escalamiento	130

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Producción de biodiesel a nivel nacional en los últimos dos años.	45
Gráfica 2. Curva de valoración de un ácido fuerte con una base fuerte.	63
Gráfica 3. Datos históricos de acidez para aceites de cocina usados	69
Gráfica 4. Datos históricos de humedad para aceites de cocina usados	69
Gráfica 5. Datos históricos de impurezas para aceites de cocina usados	70
Gráfica 7. Análisis de desviación estándar para determinación de densidad	80
Gráfica 8. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de refracción.	82
Gráfica 9. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de yodo	84
Gráfica 10. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de acidez y acidez	86
Gráfica 11. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de saponificación	89
Gráfica 12. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de peróxidos	91
Gráfica 13. Análisis de desviación estándar para determinación del contenido de humedad y materia volátil	93
Gráfica 14. Análisis de desviación estándar para determinación del contenido de impurezas insolubles	95
Gráfica 15. Seguimiento de la reacción de epoxidación	122

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. titulación volumétrica de índice de yodo	pág. 62
Imagen 2. Potenciómetro (ph-metro)	64
Imagen 3. Ubicación planta de producción greenfuel colombia.	66
Imagen 4. Muestreo realizado entre junio y julio	72
Imagen 5. Control de espuma para jabones industriales	113

GLOSARIO

ACEITE EPOXIDADO: es producido a partir de aceite de soya de alta pureza. Tiene una excelente compatibilidad con resinas de PVC, lo cual le permite ser utilizado en sus diversas aplicaciones, tanto como plastificante y como estabilizador.

ACIDEZ: son los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos.

ÁCIDOS GRASOS: son biomoléculas constituidas por lípidos que se forman a partir de una cadena de hidrógeno y carbono lineal.

ACUS: Aceite de Cocina Usado.

CERA: son sustancias que contienen ésteres de los ácidos grasos superiores y alcoholes monohídricos de cadena larga.

EPOXIDADOS: es un triglicérido mixto epóxico que pertenece a la familia de los esterres epóxicos.

JABÓN: sustancia sólida o líquida que, mezclada con agua, sirve para la higiene personal y para lavar determinados objetos.

OXIDACIÓN: se refiere al proceso químico que implica la pérdida de electrones por parte de una molécula.

OXIRANOS: Son compuestos que suelen ser muy reactivos debido a la tensión del anillo de tres.

PERÓXIDOS: son uno de los parámetros físico-químicos que definen la calidad del aceite virgen y valoran la oxidación inicial de un aceite.

RESUMEN

El trabajo de grado que se desenvuelve a continuación en desarrollar una alternativa de producto ya sea cera para pisos, jabón industrial o aceite epoxidado; a partir del aceite de cocina usado (ACUs) tratado por la empresa Greenfuel Colombia con el fin de ampliar el mercado, obtener productos amigables con el medio ambiente y ser un producto rentable. La empresa Greenfuel Colombia, se encarga de la recolección y tratamiento de los aceites y grasas usadas o vencidas con el fin de retirar en mayor proporción las impurezas que se obtienen durante el proceso de cocción y fritura.

Inicialmente se realizó una caracterización del aceite de cocina usado tratado por la empresa para evaluar las condiciones y las propiedades físicas y químicas en las que se encuentra la materia prima, las pruebas que se realizaron fueron densidad, índice de refracción, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de saponificación, índice de acidez, acidez, contenido de humedad y compuestos volátiles y por último contenido de impurezas insolubles. De acuerdo con los ensayos establecidos se realizó un desarrollo experimental ya que los resultados obtenidos cumplían con los requerimientos para la elaboración de los tres productos seleccionados los cuales son ceras para muebles y pisos laminados, jabones industriales y aceite epoxidado. Posterior al desarrollo de cada producto se realizaron pruebas de calidad para identificar si el producto se encuentra dentro de los parámetros a nivel industrial para comercialización.

Por consiguiente, se realizó una matriz de selección para establecer el producto con mayor impacto, evaluando desde su rendimiento, costos de producción y facilidad de elaboración. Luego de haber seleccionado el producto se realizó un escalamiento a nivel banco teniendo en cuenta balance de materia y energía, equipos e instrumentos necesarios para la producción de este y las condiciones adecuadas para el proceso.

Finalmente, se realizó un análisis de costos del producto de escalado con base en los instrumentos requeridos, materia prima e insumos, mano de obra y servicios industriales.

Palabras Clave: Aceite de Cocina Usado, Ácidos Grasos Libres, Aceite Epoxidado, Índice de Yodo, Anillo de Oxirano.

INTRODUCCIÓN

Debido a la versatilidad que tiene la oleoquímica en la industria, la demanda de los aceites y grasas de origen vegetal y animal ha incrementado a lo largo de los años. Sin embargo, a la hora del haber cumplido su función y vida útil, por lo general no hay una correcta disposición de este residuo; siendo desechados directamente al ambiente sin un previo tratamiento. Lo cual la mayoría de estos residuos llegan a fuentes hídricas y suelos, causando un daño considerable a la fauna y flora de los ecosistemas donde se vierten estos desechos, sin tener presente que se modifica la composición natural de ellos. Por tal motivo, se han implementado diversas alternativas para su recolección, logrando aprovechar estos aceites y grasas para implementarlos como materias primas en la producción de jabones, lubricantes, ceras, resinas y en su mayoría como fuente primaria para la de obtención de biodiesel¹.

Actualmente, la empresa GreenFuel Colombia ubicada en el municipio de Soacha, se encarga de recolectar aceites de cocina usados (ACUs), margarinas usadas o de vencimiento y grasas animales; con el fin de hacer un tratamiento de limpieza y purificación por medio de una fundidora, en donde se calienta el aceite para eliminar el agua residual que afecta la calidad del producto. A su vez, la fundidora cuenta con una malla que sirve para retener partículas y sólidos contaminantes. Posteriormente de que el aceite pasa por la fundidora, la mezcla es bombeada a tanques de decantación con calentamiento para obtener el aceite purificado, que una vez limpio es exportado a España para ser utilizado en la generación de biodiesel.

Aunque GreenFuel Colombia se dedica la producción de biodiesel, el cual es un proceso económicamente rentable y que su implementación ayuda mitigar las emisiones tóxicas liberadas a la atmósfera producidas por la quema de combustibles fósiles, existe la posibilidad de obtener sustancias y productos con mayor valor agregado y de amplio uso en la industria y no sólo para el uso en biocombustibles.

Últimamente existen diversos métodos a partir de ACUs para generar diferentes productos que se extienden desde la industria farmacéutica y de alimentos hasta a la industria de los polímeros y lubricantes; algunos como jabones líquidos o derivados de la glicerina como el éster de poliglicerol y estearatos de glicerilo. Otros que son aplicados como emulsificantes o espesantes como ésteres de sacarosa. También, existen aceites epoxidados que usan para plastificantes o estabilizadores

¹ MinAmbiente. Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país. [Consultado el Mar 01,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

evitando cambios en las líneas de producción para la fabricación de polímeros a nivel industrial.

Motivo por el cual, es conveniente considerar nuevas alternativas para el uso de ACUs como fuentes de nuevas materias primas en la industria y a su vez, como oportunidad de reinventar o innovar procesos conocidos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una alternativa de producto utilizando Aceites de Cocina Usados (ACUs) tratados por la empresa Green Fuel Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Seleccionar el producto y el método de obtención adecuado según las propiedades físicas y químicas de las muestras de ACUs.
- ✓ Obtener el producto seleccionado a nivel laboratorio.
- ✓ Establecer un escalamiento del proceso a nivel banco.
- ✓ Determinar el costo de producción de la propuesta seleccionada.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ACEITES DE COCINA USADOS

El uso de aceites vegetales a nivel poblacional se encuentra en mayor proporción en hogares, restaurantes, instituciones, entre otros. Una gran parte se utilizan para fines relacionados con las frituras, donde al aumentar la temperatura y adicionar un alimento para su cocción, este proceso afecta las condiciones químicas del aceite y es necesario su reemplazo debido a que no cumple con su normatividad en la parte de calidad sanitaria, afectando la salud de las personas; debido a que el aceite es reemplazado constantemente, no se está realizando una correcta disposición de estos residuos, generando una contaminación ambiental en las fuentes hídricas.

La problemática con mayor impacto ambiental que se está viviendo hoy en día a nivel mundial, es con este tipo de residuos, los cuales causan contaminaciones de las fuentes hídricas y taponamiento en las tuberías, esto sucede debido a que se está vertiendo estos residuos en los desagües y alcantarillas y al estar en contacto con detergentes y jabones que también son vertidos, generan incrustaciones que taponan la tubería, además en los costos de tratamientos de aguas aumenta debido a que reduce la oxigenación de la interface aire-agua y aumenta los sólidos suspendidos totales.

Para reducir este tipo de contaminación, hay empresas encargadas de la recolección de aceites de forma selectiva, realizando tratamientos previos para desarrollar productos en biocarburantes, jabones, barnices, entre otros; disminuyendo los recursos de la materia prima e impulsando la actividad económica y productos de menor impacto ambiental².

1.1 ACEITES DE COCINA USADOS (ACUS)

Según el Ministerio Español Para la Transición Ecológica, los Aceites de Cocina Usados son todas aquellas grasas de origen vegetal y animal que, utilizados en el cocinado de alimentos su poseedor desecha o tiene la necesidad de desecharlas³. Por otra parte, el ministerio Colombiano Ambiental de Desarrollo Sostenible define los ACUs como todo producto de origen vegetal constituido básicamente por glicéridos de ácidos grasos principalmente triglicéridos, cuyas características fisicoquímicas han sido modificadas al ser sometido a cocción de alimentos en los ámbitos doméstico, industrial, comercial y de servicios⁴.

² ARANDA VILLAMAYOR, Carlos. Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento de depuradoras.

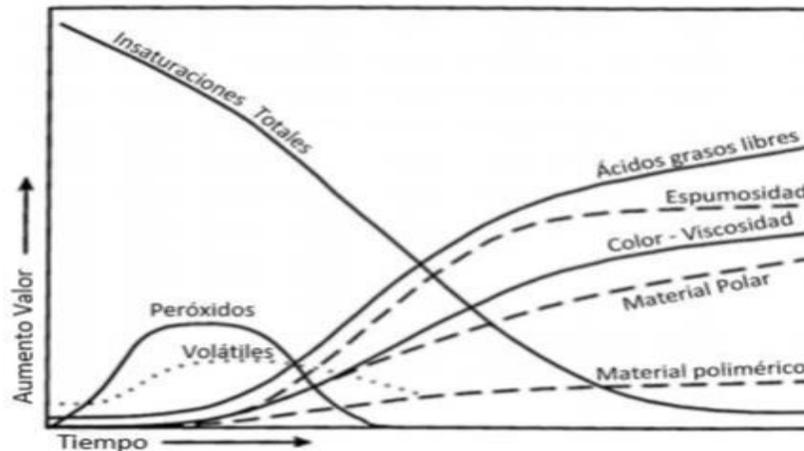
³ ESPAÑA. MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA. [sitio web] Aceites de cocina Usados. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/en/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 316 de 2018

Sin embargo, ambas definiciones quedan cortas al tratar de explicar la complejidad de estos residuos, debido a que en su mayoría los aceites usados son la mezcla de diferentes tipos de aceites vegetales (soya, girasol, palma, canola, etc.), con grados de uso distintos y que pueden contener gran cantidad de proteínas y restos alimenticios adquiridos durante su uso culinario. No obstante, los ACUs durante la fritura y cocción pierden sus insaturaciones y se originan productos de descomposición (cetonas, peróxidos, aldehídos, polímeros y ácidos grasos libres).⁵

Ya que los ACUs son sustancias oleaginosas contaminantes, el Ministerio de Ambiente Colombiano en transcurso de los últimos años ha tratado de concientizar a la población, en especial a restaurantes, centros comerciales, hoteles y almacenes de cadena para que se haga una correcta recolección y disposición de los ACUs, evitando que estos lleguen a desagües y ríos; pues al entrar en contacto con cuerpos hídricos, estos aceites afectan el intercambio de oxígeno con el agua perjudicando la vida de la fauna y flora que en ellos habita. Los aceites vegetales usados también perjudican los suelos haciéndolos menos fértiles y erosionándolos, por lo que el Ministerio busca que estos residuos tengan un nuevo uso en la producción de nuevos productos, como: aditivos de caucho, jabones, poliuretano, surfactantes, lodos de perforación, tintas para artes gráficas, ceras, velas y resinas; pero en especial a la generación de Biodiesel⁶.

Figura 1. Cambio de propiedades físicas y químicas del aceite durante el proceso de fritura



Fuente: Rincón Vija Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. [1]:

⁵ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [sitio web]. Bogotá. Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país. [Consultado: 01 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

Los aceites durante su proceso de cocción adquieren compuestos que afectan el sabor, la estabilidad, el color y textura de alimentos fritos y la calidad nutricional de los alimentos. En este proceso ocurren reacciones químicas comunes como lo son la hidrólisis, oxidación y polimerización, que generan compuestos volátiles o no volátiles que afectan la calidad del aceite. Los factores que son consecuencia de las reacciones que ocurren en el proceso de fritura son la temperatura y el tiempo de cocción y se puede ver afectado en el aumento o disminución de las propiedades físicas o químicas del aceite; como bien se puede determinar en la Figura 1 la variación de peróxido, material polimérico, material polar, ácidos grasos libres, espumosis, instauraciones, color, viscosidad y demás propiedades que afectan al aceite⁷.

1.2 ALTERACIONES EN EL PROCESO DE COCCIÓN Y FRITURA

Normalmente, los aceites vegetales son usados en la cocina para realizar procesos de cocción y fritura en donde son agregados junto a los alimentos con el fin de ayudar a su preparación. En el caso de fritura, que por lo general es donde se utiliza la mayor cantidad de aceite y que es usada con mayor frecuencia, los aceites y grasas presentan un gran número de reacciones que pueden dar como resultado la formación de compuestos tóxicos y nocivos como polímeros, monómeros de ácidos grasos cíclicos y compuestos polares; esto sucede por la temperatura a la cual los alimentos son preparados (175-185°C)⁸.

Según el origen de la materia prima de los aceites, de su grado de instauraciones, su pureza, su manejo, el tipo de fritura, el tipo de alimento en el que se usará y la proporción de éste respecto del aceite, así como de la temperatura; el deterioro de estos será menos o más rápido, pero siempre habrá una degradación de los aceites. La degradación se puede dar por tres tipos de reacciones; La primera se trata de la hidrólisis causada por el agua a temperaturas elevadas en donde se liberan ácidos grasos libres alterando la composición original. La segunda, la oxidación de los aceites, que puede ser primaria, secundaria o terciaria y que conlleva a la aparición hidroperóxidos, compuestos polares y polímeros, los cuales han sido vinculados con enfermedades gástricas⁹.

⁷ EUNOK Choe, BS MIN David. Química de los aceites para freír con mucha grasa. [en línea]. [consultado: 15 de abril de 2019] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>

⁸ SUATERNA HURTADO, Adriana Cecilia. La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. En: PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA. vol. 11, no. 1, p. 39-53

⁹ SUATERNA HURTADO, Adriana Cecilia. La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. En: PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA. vol. 11, no. 1, p. 39-53

La tercera reacción de degradación es causada por la temperatura, y aunque también influye en las dos primeras reacciones la presencia de elevadas temperaturas posibilita que los doble enlaces de las cadenas sean atacadas saturando los aceites y oligomerizándolos. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados¹⁰.

Tabla 1. Composición media de ácidos grasos en aceite reutilizado.

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: XAVIER, Elías. Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora (2a. ed.). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2009.

En la Tabla 1 se puede observar un promedio de la presencia de ácidos grasos presentes en una muestra de aceite usado, siendo en mayor proporción el ácido oleico con un 56,35% que se presenta en mayor cantidad en aceites vegetales como por ejemplo aceites de palma, oliva, aguacate, canola entre otros¹¹. Le sigue un ácido linoleico con 26,71% que se presenta también en aceites vegetales y se encuentra en mayor cantidad en el aceite de maíz y soja y menor cantidad como el aceite de girasol¹². En cuanto a los ácidos grasos de menos proporción se encuentra el ácido mirístico que se presenta en pequeñas cantidades en grasas animales y vegetales como por ejemplo en mantecas de cacao, pescados, leche, aceite de coco, aceite de palma, entre otros alimentos.

Debido a las alteraciones de las que se han hablado, es muy difícil controlar la variabilidad de los ACU's, no solo porque es muy difícil tener una trazabilidad del uso y del origen vegetal del aceite, si no que pueden provenir de aceites con una mayor o menor calidad o con mayor cantidad de residuos; de tal forma se debe entender esta materia prima como una sustancia variable que nunca podrá ser igual químicamente una de otra y por lo cual se debe propender a que ciertos parámetros

¹⁰RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

¹¹ ACEITE DE LAS VALDESAS. Propiedades y composición de aceite de oliva. [en línea]. [Consultado: 05 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/propiedades-composicion-aceite-oliva/acido-oleico/>

¹² ÁCIDO CLORHÍDRICO. Ácido Linoléico - Usos, Aplicaciones, Beneficios Y Peligros. [en línea]. [Consultado: 05 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://acidoclorhidrico.org/acido-linoleico/>

físicos y químicos se mantengan un margen establecido, el cual garantizará el uso de los aceites usados en otros procesos. Algunas propiedades que se pueden usar para tal fin se mencionaran a continuación.

1.3 PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACUS

Cómo lo visto anteriormente, existen diversas formas en que los aceites vegetales pierden sus características, bien sea por el número de veces que el aceite fue utilizado, las temperaturas a las que fue sometido o por el uso que se dio. Por lo cual, las propiedades fisicoquímicas de los ACUs son dependientes de las condiciones de fritura y cocción en su vida pasada, por lo que sus propiedades físicas y su composición química puede ser bastante heterogénea de muestra a muestra.

Justamente, algunas características presentadas en la Tabla 2 se pueden analizar físicamente, como del color, olor, sabor, viscosidad, densidad y apariencia; mientras que a otras como el punto de humo, los índices de yodo, saponificación, peróxidos, impurezas insolubles y contenido de humedad requieren un estudio químico para determinar que compone la muestra de aceite usado¹³.

En la Tabla 2 se identifican las propiedades físicas y químicas que se realizaron a tres tipos de aceites de procedencia diferente. Los aceites desechados son aceites recolectados de asaderos de pollos, los aceites usados son provenientes de los hogares y los aceites frescos pertenecen tiendas del mercado. Como se observa los datos obtenidos de la caracterización del aceite, el impacto que tiene el aceite de asaderos presenta mayor deterioro debido a su alto índice de acidez, presenta mayor cantidad de enlaces insaturados y contiene mayor cantidad de humedad y compuesto volátiles, con respecto a los aceites usados y los aceites fresco. En cuanto a los aceites frescos y los usados los cambios son considerables debido a las reacciones que se presentan durante la cocción.

¹³ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

Tabla 2. Características físicas y químicas de los aceites de cocina (desechado, usado, fresco)

Parámetro	Desechado	Usado	Fresco
Peso específico (20°C)	0,911	0,9593	0,858
(34°C)			
Índice de yodo (%m/m)	107,76	99,585	93,95
Índice de saponificación (mgKOH/g)	201,5	185,6	160,1
Índice de refracción (50°C)	1,4605	1,459	1,456
Humedad y materia volátil (%m/m)	0,1046	0,0899	0,1526
Punto de fusión (°C)	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
K ₂₃₂	0,126	0,075	0,015
K ₂₇₀	0,156	0,076	0,03
Color (%T _{550nm})	95	99	100
Kreis (interfase)	Rojo intenso	Rojo claro	Amarillo claro

Fuente: MURCIA ORDOÑEZ, Betselene; CHAVES, Luis Carlos. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Jun 22.

Conjuntamente, cada una de estas características, su presencia en mayor o menor proporción en los ACUs tiene una razón. Por ejemplo, la temperatura juega un papel muy importante en el color que adoptan los aceites usados, indicando que entre mayores temperaturas el color es más oscuro debido a que se producen sustancias que tiñen el aceite como oligómeros, compuestos volátiles y por su parte, el color indica permite tener una certeza del grado de oxidación del aceite y su descomposición¹⁴.

1.3.1 Densidad. La densidad en los aceites es una propiedad física que no se encuentra constante, sino que varía de acuerdo al tipo de aceite a analizar. La determinación de densidad se mide por la cantidad de masa en una unidad de volumen.

Para la calibración se llena el picnómetro con agua y se lleva a un baño de agua con una temperatura constante, se debe tener presente la temperatura del baño de agua. Se deja en el baño por unos minutos, se retira y se hace un buen secado, teniendo en cuenta que contenga motas al secar. Se lleva a temperatura ambiente y pesa el picnómetro con tapa.

La muestra que se dispone para el ensayo al momento de ser dosificado en el picnómetro se debe tener presente que no contenga burbujas de aire. Se sumerge

¹⁴ LAZARICK, Kelsey. Cause of color component formation in oils during frying. ProQuest Dissertations Publishing, 2012

el picnómetro en el baño de agua manteniendo la temperatura establecida, hasta que el contenido alcance la temperatura.

Se deja fluir la muestra, se retira y se seca, teniendo en cuenta que contenga motas al secar. Se lleva a temperatura ambiente y pesa el picnómetro con tapa.

Se debe realizar un duplicado para este ensayo para asegurar una densidad promedio de la muestra. Con la Ecuación 1 se calcula la densidad de la muestra de aceite¹⁵.

Ecuación 1. Determinación de densidad en aceites y grasas.

$$\rho_{\theta} = \frac{m_2 - m_1}{V_d} + k(\theta_d - \theta)$$

En la Tabla 3 se describe el significado de las siglas para la Ecuación 1

Tabla 3. Descripción de siglas para el índice de acidez para grasas y aceites.

V _d	Es el volumen, del picnómetro a la temperatura θ_d , en mililitros.
m ₁	Es la masa del picnómetro vacío de agua, incluido el tapón esmerilado, pesado en gramos.
m ₂	Es la masa del picnómetro lleno con la muestra de ensayo, incluido el tapón esmerilado, pesado en gramos.
θ_d	Es la temperatura a la cual la determinación fue realizada, en grados Celsius.
θ	Es la temperatura a la cual la densidad (masa por volumen convencional) es para ser establecida, en grados Celsius
k	Es el cambio medio de la densidad (masa por volumen convencional) de las grasas debido al cambio de temperatura, en gramos por mililitro grados Celsius (k = 0,000 68 g/ml por grado Celsius).

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional), NTC 336.[en línea]. Bogotá:2016, p. 11

1.3.2 Índice de refracción. El índice de refracción en un medio es la dirección que una onda experimenta al pasar de un medio a otro diferente. Esta propiedad se relaciona con el peso molecular y el grado de insaturaciones del aceite. Los factores como lo son la temperatura y los ácidos grasos libres modifican el índice de refracción de forma inversamente proporcional¹⁶.

El principio de medición se basa en utilizar una muestra líquida a una temperatura establecida, por medio de un refractómetro que se acomode el tipo de sustancia a analizar.

¹⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional), NTC 336.[en línea]. Bogotá:2016, p. 11

¹⁶ MEDINA M, Gilma Beatriz. ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. [en línea].

En primer lugar, se debe realizar una limpieza del refractómetro con algodón y solvente, para calibrar el equipo se agrega una gota de agua destilada, teniendo presente la temperatura de medición.

Se limpia el refractómetro con algodón y el solvente seleccionado, se agrega una gota de la muestra, se anota el valor y la temperatura, de nuevo se limpia el refractómetro con algodón y el solvente. Se deben realizar dos lecturas más para determinar la media aritmética y obtener el valor final¹⁷.

1.3.3 Índice de yodo. Es una prueba de análisis que se realiza en los aceites y grasas para determinar el número total de dobles enlaces presentes en la muestra, de tal forma que nos garantice el grado de insaturaciones que se presentan en esta. Esta propiedad está relacionada con la densidad y el índice de refracción, ya que al aumentar el índice de yodo, tanto la densidad como el índice de refracción aumentarán¹⁸. El índice de Yodo se expresa como el número de gramos de yodo que reaccionará con los dobles enlaces en 100 gramos de grasas o de aceites¹⁹.

El principio de esta prueba consiste en diluir la porción de ensayo de acuerdo al valor esperado del índice de yodo con base en la Tabla 4, donde se especifica además de la masa de la muestra, el volumen del solvente y la proporción del reactivo Wijs con respecto a la muestra pesada.

Luego se deja en reposo en un lugar oscuro por un tiempo específico para que la mezcla reaccione. Al finalizar el tiempo establecido se adiciona yoduro de potasio junto con agua y se titula la liberación de yoduro con una solución de tiosulfato de sodio a una concentración de 0,1 N²⁰.

¹⁷INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de refracción, NTC 289. Bogotá.:2019. 8 p

¹⁸DOCENCIAUDEA. Índice de Yodo [sitio web] DocenciaUdea. [Consultado: 01 de marzo de2019]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/yodo.html>

¹⁹ METROHM. Determinación del índice de yodo (IV) en grasas y aceites con valoración termométrica [sitio web] Metrohm [Consultado: 01 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.metrohm.com/es/compania/noticias/news-indice-de-yodo-en-grasas-y-aceites/>

²⁰INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

Tabla 4. Masa de porción de ensayo y volumen solvente para el índice de yodo esperado.

Índice de yodo esperado, g/100g	Masa de la porción de ensayo g	Volumen de solvente ml
< 1,5	15,00	25
1,5 a 2,5	10,00	25
2,5 a 5	3,00	20
5 a 20	1,00	20
20 a 50	0,40	20
50 a 100	0,20	20
100 a 150	0,13	20
150 a 200	0,10	20

Nota. La masa de la muestra puede ser tal que el exceso del reactivo de Wijs este entre el 50 % al 60 % de la cantidad adicionada

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

Para calcular el índice de yodo, expresado en gramos por 100g de grasa, está dado por la Ecuación 2.

Ecuación 2. Determinación del índice yodo en aceites y grasas.

$$VI = \frac{12,69 \times c \times (V_1 - V_2)}{m}$$

La Tabla 5 describe los significados de las siglas para la Ecuación 2.

Tabla 5. Descripción de siglas para el índice de yodo en grasas y aceites.

c	Es el valor numérico de la concentración de la solución del tiosulfato de sodio, en moles por litro.
V ₁	Es el valor numérico del volumen, en mililitros, de la solución de tiosulfato de sodio empleado en el blanco.
V ₂	Es el valor numérico del volumen, en mililitros, de la solución de tiosulfato de sodio usado para la determinación.
m	Es el valor numérico de la masa de la porción de ensayo, en gramos.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

1.3.4 Índice de acidez. El índice de acidez, permite conocer la cantidad de ácidos grasos no combinados que resultaron de la hidrólisis o descomposición lipolítica de las grasas y aceites. Esta propiedad se analiza por medio de una titulación con una base en un medio etanólico y se define como el volumen de base que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa²¹. El índice de acidez es el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar los ácidos grasos libres que hay presentes en un gramo del aceite²².

Una prueba básica para la determinación del índice de acidez es el método con etanol caliente utilizando indicador, para este método inicialmente se prepara una solución alcohólica con fenolftaleína al 95% v/v y se neutraliza con hidróxido de potasio. Se pesa una porción de la muestra de ensayo de acuerdo a la Tabla 6 teniendo en cuenta el valor esperado de acidez y se le agrega la solución alcohólica, la mezcla se lleva a una temperatura de ebullición. Por último, se titula con hidróxido de sodio o potasio hasta identificar el cambio de color en la solución.

Tabla 6. Masa de porción de ensayo, concentración de álcali y preciso de pesaje con respecto al porcentaje de acidez esperado.

Porcentaje de acidez esperado,	Masa de la porción de ensayo g	Concentración de la solución de álcali	Precisión en el pesaje
<1	28,0	0,05	0,02
1 a 4	7,0	0,10	0,02
4 a 15	2,5	0,25	0,01
15 a 75	0,5	0,5	0,001
>75	0,1	0,5	0,000 2

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

En la determinación de índice de acidez, el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en un gramo de grasa se realiza con la Ecuación 3.

Ecuación 3. Determinación de índice de acidez en aceites y grasas.

$$IA = \frac{56,1 \times V \times c}{m}$$

La Tabla 7 describe las siglas que se utilizan en la Ecuación 3.

²¹DOCENCIAUDEA. Índice de Acidez [sitio web] DocenciaUdea [Consultado: 01 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/acidez.html>

²²INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

Tabla 7. Descripción de siglas para el índice de acidez en aceites y grasas.

V	Es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de hidróxido de sodio o de potasio.
c	Es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica normalizada de hidróxido de sodio o de potasio.
m	Es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

De acuerdo a la variación de la temperatura, se debe realizar una corrección en la concentración de la solución etanólica de hidróxido de sodio o de potasio como se muestra en la Ecuación 4.

Ecuación 4. Corrección de temperatura para la concentración de la solución etanólica.

$$\text{Corrección } T = V' + V_t[1 - 0,0011 (t - t_0)]$$

En la Tabla 8 describe el significado de los términos de la Ecuación 4.

Tabla 8. Descripción de siglas para corrección de temperatura.

V'	Es el volumen corregido, en mililitros, de la solución normalizada de hidróxido de sodio o de potasio.
V _t	Es el volumen corregido, en mililitros, de la solución normalizada de hidróxido de sodio o de potasio medida a la temperatura t.
t	Es la temperatura, en grados Celsius, a la cual se determinó.
t ₀	Es la temperatura, en grados Celsius, a la cual se determinó la concentración de la solución normalizada de hidróxido de sodio o de potasio.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

1.3.5 Acidez. La acidez libre es una propiedad importante en la calidad del aceite, debido a que identifica el deterioro hidrolítico que ha sufrido en procesos antepuestos, ya sea desde los procesos de cocción como en el tipo de almacenamiento. El grado de acidez se expresa como un porcentaje másico medido por la cantidad de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio que neutraliza los ácidos libres, con ayuda de una solución de fenolftaleína en etanol²³.

²³ GARCÍA MARTÍNEZ, *et al.* Determinación del enranciamiento hidrolítico de un aceite de oliva mediante el Grado de Acidez. [en línea]:2014.

La acidez determina el contenido de ácidos grasos libres presentes en el aceite, si durante el ensayo se reporta acidez, sin explicación adicional, se considera la acidez expresada con base en ácido oleico²⁴.

A continuación, con la Ecuación 5 permite calcular la acidez presente en los aceites y grasas, se expresada en porcentaje por masa.

Ecuación 5. Determinación de acidez en aceites y grasas.

$$Acidez = V \times c \times \frac{M}{1000} \times \frac{100}{m} - \frac{V \times c \times M}{10 \times m}$$

En la Tabla 9 se encuentra el significado de cada sigla implementada en la Ecuación 5.

Tabla 9. Descripción de siglas para acidez en aceites y grasas.

V	Es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de hidróxido de sodio o de potasio.
c	Es la concentración exacta, en, moles por litro, de la solución normalizada de hidróxido de sodio o de potasio usada.
M	Es la masa molar, en gramos por mol, del ácido escogido para la expresión de los resultados.
m	Es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

1.3.6 Índice de saponificación. El índice de saponificación es la cantidad en miligramos de un álcali, específicamente de hidróxido de potasio, que se necesita para saponificar un gramo de determinado aceite o grasa. Esta prueba se usa para medir indirectamente la presencia de glicéridos, ácidos grasos libres y otros lípidos saponificables²⁵.

Se toma una porción de muestra de ensayo y se adiciona una solución alcohólica de hidróxido de potasio previamente preparada y estandarizada. Se conecta a un montaje de con reflujo y se calienta con agitación hasta ebullición durante 1 hora. Una vez terminado el tiempo de calentamiento se agrega una solución de fenolftaleína y se titula con una solución de ácido clorhídrico estándar hasta desaparecer el color presente²⁶.

²⁴INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

²⁵ ECURED. Saponificación [sitio web] EcuRed [consultado: 11 de marzo de 2019] Disponible en: <https://www.ecured.cu/Saponificaci%C3%B3n>

²⁶INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de saponificación, NTC 335.:2019, 12 p

En la cuantificación del índice de saponificación, se obtiene a partir de la Ecuación 6.

Ecuación 6. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas.

$$IS = (V_0 - V_1) \times c \times 56,1/m$$

Con base a la Ecuación 6, se describe en la Tabla 10 la descripción de cada sigla.

Tabla 10. Descripción de siglas para el índice de saponificación en aceites y grasas.

V ₀	Es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de ácido clorhídrico que se usa para el ensayo en blanco.
V ₁	Es el volumen, en mililitros, de la solución volumétrica normalizada de ácido clorhídrico que se usa para la determinación.
c	Es la concentración exacta, en moles por litro, de la solución volumétrica estándar de ácido clorhídrico.
m	Es la masa, en gramos, de la porción de ensayo.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de saponificación, NTC 335.:2019, 12 p

1.3.7 Índice de peróxido. El índice de peróxidos es una estimación del contenido de sustancias que oxidan el yoduro potásico y se expresa como el número de miliequivalentes de oxígeno activo por un kilogramo de grasa. Este índice se asocia con la presencia de peróxidos derivados de los ácidos grasos presentes en la muestra y se realiza por medio de una titulación con tiosulfato de sodio²⁷.

Este ensayo consiste en disolver la muestra de ensayo en cloroformo o isooctano, ácido acético glacial, se agrega yoduro de potasio. El yodo liberado por los peróxidos se cuantifica por medio de yodometría con un indicador de almidón y una solución normalizada de tiosulfato de sodio. El punto final de la titulación se identifica de formar visual²⁸.

En primer término, se debe normalizar la solución titulante de tiosulfato de sodio al 0,01 N, para determinar el factor de solución normalizada con ayuda de la Ecuación 7.

²⁷FEDNA. Índice de Peróxidos, [sitio web] Fedna [Consultado: 02 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/tecnicas_de_analisis/%C3%ADndice-per%C3%B3xidos

²⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de peróxido, NTC 236.:2011, 13 p

Ecuación 7. Determinación del factor para la solución titulante de peróxidos.

$$F = \frac{m_{KIO_2} \times V_1 \times 6 \times 1000 \times w_{KIO_2}}{M_{KIO_2} \times V_2 \times V_3 \times c_{KIO_2} \times 100}$$

Con base a la Ecuación 7, se encuentra la descripción en los términos en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción de siglas del factor de la solución titulante de peróxidos.

m_{KIO_2}	Es la masa de yodato de potasio, en gramos.
6	Es la masa equivalente para el título (1 mol $KIO_2 \longleftrightarrow 3$ mol I_2).
V_1	Es el volumen de la solución de yodato de potasio, utilizado para la determinación del título (5mL o 10mL)
V_2	Es el volumen total de la solución de yodato de potasio, en mililitros (250mL o 500mL).
V_3	Es el volumen de la solución de tiosulfato 0,01N utilizado para la determinación, en mililitros.
w_{KIO_2}	Es la pureza del yodato de potasio en g/100g.
M_{KIO_2}	Es la masa molecular del yodato de potasio (214g/mol).
c_{KIO_2}	Es la concentración de la solución normal de tiosulfato de sodio en moles por litro (0,01mol/L)

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de peróxido, NTC 236.:2011, 13

Para calcular el valor del índice de peróxidos, en miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo, se implementa la Ecuación 8.

Ecuación 8. Determinación de índice de peróxidos para aceites y grasas.

$$IP = \frac{(V - V_o) \times c \times F \times 1000}{m}$$

La descripción de las siglas de la Ecuación 8, se encuentra en la Tabla 12, a continuación.

Tabla 12. Descripción de siglas para el índice de peróxidos de aceites y grasas.

V	Es el volumen de la solución de tiosulfato de sodio utilizado para la determinación, en mililitros.
V_o	Es el volumen de la solución normal de tiosulfato de sodio utilizado para el ensayo blanco, en mililitros.
F	Es el factor de la solución de tiosulfato de sodio 0,01N.
c	Es la concentración de tiosulfato de sodio, en moles por litro.
m	Es la masa de la porción de ensayo, en gramos.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de peróxido, NTC 236.:2011, 13

1.3.8 Contenido de humedad y compuestos volátiles. En el aceite de cocina, el contenido de humedad y compuestos volátiles aumenta por medio del proceso de cocción de los alimentos, donde hay un intercambio de sustancias durante esta etapa, afectando las propiedades y deterioro del aceite. Para este caso se analiza la pérdida de masa a una temperatura de 103 °C hasta que la humedad y la materia volátil se eliminen en su totalidad²⁹.

Para determinar el contenido de humedad y material volátil, w , se expresa como porcentaje en masa, en la Ecuación 9.

Ecuación 9. Determinación de contenido de humedad y materia volátil en aceites

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

En la Tabla 13 se encuentra la descripción de las siglas para el cálculo de humedad y materia volátil para aceites y grasas.

Tabla 13. Descripción de siglas para la humedad y materia volátil de aceites y grasas.

m_0	Es la masa en gramos de la cápsula o recipiente de vidrio.
m_1	Es la masa, en gramos, de la cápsula y la porción de ensayo antes del calentamiento.
m_2	Es la masa, en gramos, de la cápsula y el residuo después del calentamiento.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

1.3.9 Contenido de impurezas insolubles. El aceite usado de cocina contiene una serie contaminantes que adquiere durante su primer uso, ya sea materia orgánica e inorgánica, insolubles en solventes como lo son el éter de petróleo o n-hexano, bajo unas condiciones establecidas.

Este proceso consiste en tomar una porción de ensayo con exceso de solvente, posterior a eso se debe filtrar; luego se lava el filtro y el residuo con el mismo solvente para reducir el contenido oleoso en el filtro, se debe llevar a una temperatura de 103 °C para secar y por último se debe pesar para determinar el contenido de impurezas³⁰.

²⁹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

Para determinar el contenido de impurezas insolubles, w , expresado como un porcentaje de masa, como se muestra en la Ecuación 10.

Ecuación 10. Determinación de contenido de impurezas insolubles en aceites y grasas.

$$w = \frac{(m_2 - m_1)}{m_0} \times 100\%$$

En la Tabla 14 se encuentra la descripción de las siglas para el contenido de impurezas insolubles de aceites y grasas.

Tabla 14. Descripción de siglas para contenido de impurezas insolubles en aceites y grasas.

m_0	Es la masa de la porción de ensayo, en gramos.
m_1	Es la masa del recipiente con su tapa y el papel filtro, en gramos.
m_2	Es la masa del recipiente con su tapa y el papel filtro que contiene el residuo seco, en gramos.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

1.4 PRETRATAMIENTO DE ACUS

Una vez son recolectados los aceites de cocina usados, es necesario hacer un tratamiento físico con el objetivo de eliminar sustancias contaminantes como partículas o sólidos suspendidos provenientes del proceso de cocción o fritura. También es necesario eliminar el agua y la humedad con los que llegan estos aceites para mejorar sus propiedades. El proceso de tratamiento consiste en general de estos pasos.

1.4.1 Filtración. En este paso, se busca eliminar los materiales más gruesos mediante el uso de una malla por donde circula el ACU reteniendo dichos materiales. Generalmente este procedimiento se hace con la ayuda de calentamiento y agitación para promover la eliminación de agua³¹.

1.4.2 Decantación y segunda Filtración. Los aceites y las grasas recogidas de la primera filtración, se separan del agua y del resto de las impurezas utilizando tanques de decantación con calentamiento, evitando que el aceite se solidifique y mejorando la separación. Posteriormente, son bombeados para realizar una segunda filtración, seguida de otra decantación. En cada una de las decantaciones se van separando los aceites que se obtienen, los cuales cada vez son de mayor pureza³².

1.4.3 Purificación. El aceite más sucio, se hará circular por un reactor a temperatura, que al mismo tiempo estará sometido a una agitación continuada que permitirá evaporar el agua que pueda quedar mezclada con el aceite. Esta agua se eliminará a través de un condensador³³.

1.4.4 Centrifugación. Este proceso unitario se basa en utilizar la fuerza centrífuga como método de separación entre dos o más sustancias que estén mezcladas entre sí. En la centrifugación se presentan procesos físicos como la sedimentación y la filtración, pero en éste, la velocidad con que se separan los compuestos es más rápida y eficiente a medida que las revoluciones son mayores. Sin embargo, estos procesos suelen ser de costo elevado debido al consumo energético que las máquinas de centrifugación requieren para su funcionamiento; aunque pueden ser viables económicamente dependiendo de los componentes que presenten los aceites y en caso de que sean muy difíciles en separar. Este método puede ser utilizado si la diferencia de densidades que presentan las dos fases es pequeña (alrededor de 10 kg/m³) o bien si los productos en mezcla presentan un alto valor económico³⁴.

1.4.5 Floculación Y Coagulación. Ésta forma de separación se suele utilizar en procesos de tratamiento de aguas, pero en el tratamiento de aceites también puede resultar útil, aunque su costo puede resultar elevado.

³¹ PORCEL, Baltasar. Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados. 1. ed. ed. Barcelona: Planeta, 1996. ISBN 8408017357

³² PORCEL, Baltasar. Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados. 1. ed. ed. Barcelona: Planeta, 1996. ISBN 8408017357

³³ PORCEL, Baltasar. Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados. 1. ed. ed. Barcelona: Planeta, 1996. ISBN 8408017357

³⁴ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014.

Continuando, la floculación es un proceso químico mediante el cual se aglutinan las sustancias presentes en el agua, para facilitar su posterior decantación. En el transcurso del proceso se suelen añadir sustancias floculantes, que permiten aglutinar los sólidos presentes. La masa formada aumenta su peso con el paso del tiempo y del contacto con el floculante, lo que favorece la coagulación, la precipitación y por tanto su separación del resto. La formación de estos flóculos se favorece con la adición de polielectrolitos que se caracterizan por ser moléculas orgánicas poliméricas que son ionizables, que forman puentes entre las partículas, dando lugar al fenómeno de la floculación con partículas de mayor tamaño que son más fácilmente sedimentables.

Normalmente suelen ser sustancias químicas orgánicas y entre los más usados se pueden destacar los copolímeros a base de acrilamida (polielectrolitos catiónicos), poliacrilamidas no iónicas, poliacrilatos (aniónicos), sílice diluida al 0,5-1% como SiO₂, o bien polielectrolitos naturales como almidones, taninos y alginatos³⁵.

1.5 ALTERNATIVAS DE ACUS

El aprovechamiento de los aceites de cocina usados en la actualidad se está fortaleciendo en los diferentes procesos industriales, con el fin de disminuir los recursos naturales y reutilizar este residuo como base principal en sectores de combustibles, polímeros, farmacéuticos, mecánicos, entre otros³⁶.

Esto se debe a su composición química, la cual se compone en su mayoría con de triglicéridos y ácidos grasos³⁷.

1.5.1 Biodiesel. El biodiesel es un biocombustible alternativo y amigable con el medio ambiente, se obtiene a partir de aceites vegetales y grasas animales de primera generación o segunda generación (aceites y grasas usados), ya sean comestibles o de uso industrial, permitiendo la reducción de emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y disminuye la quema de hidrocarburos, aun que incrementa el valor de óxidos de nitrógeno, a nivel ambiental reduce hasta un 89% de emisiones a la atmosfera de los gases del perturban el efecto invernadero³⁸.

Los biocombustibles son mezclas entre esterres monoalquílico de ácidos grasos, que reduce la dependencia de los combustibles derivados del petróleo, el cual está

³⁵ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014.

³⁶ PORCEL, Baltasar. Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados. 1. ed. ed. Barcelona: Planeta, 1996. ISBN 8408017357

³⁷ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

³⁸ FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>

generando mayor impacto ambiental y los costes a nivel mundial son elevados. Este tipo de biocombustibles no se permite implementar de forma directa debido a que puede alterar la vida útil del equipo, generando obstrucciones o deteriorando las partes del equipo en menor tiempo. De acuerdo a las características de los aceites se debe realizar una mezcla con combustible de petróleo, dado que altera las modificaciones en la dilución con solventes, en el proceso de transesterificación, emulsificación, entre otras propiedades que mejoran la calidad del biodiesel. La etapa primordial para la obtención de biodiesel es la transesterificación, la cual se obtiene al reaccionar un alcohol con ácidos grasos en presencia de un catalizador para la formación de ésteres alquílicos de ácidos grasos y glicerina³⁹.

El biodiesel está encabezando el tema de las energías alternativas limpias a nivel mundial, debido a que disminuye el impacto ambiental y se están realizando cada vez nuevos estudios para mejorar la producción y el método de obtención. La producción de este biocombustible no es un valor fijo en el mundo, es decir que de acuerdo a las normas de cada país se están desarrollando diferentes tipos de mezclas del biodiesel con el diésel de petróleo. En el caso de Colombia, la producción de biodiesel inició en el 2008 con el uso de aceite de palma, debido a que es el mayor productor de aceite de palma en Latinoamérica y el quinto país a nivel mundial⁴⁰. Inclusive hasta el año 2019, Colombia cuenta con 13 empresas productoras de biodiesel, como se muestra en la Tabla 15 donde especifica la ubicación de la planta, la capacidad de producción anual y la fecha de entrada en operación. La empresa con mayor capacidad de biodiesel es BioD, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Facatativá, la cual cuenta con una capacidad de 200.000 Toneladas por año⁴¹.

³⁹ MURCIA ORDOÑEZ, Betselene. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. En: REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA.

⁴⁰ DELGADO, Juan Eduardo; SALGADO, José Jorge, PEREZ, Ronaldo. Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. En: REVISTA INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. vol. 14, no. 27, p. 13-28

⁴¹ DELGADO, Juan Eduardo; SALGADO, José Jorge, PEREZ, Ronaldo. Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. En: REVISTA INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. vol. 14, no. 27, p. 13-28

Tabla 15. Plantas productoras de Biodiesel en funcionamiento a nivel nacional.

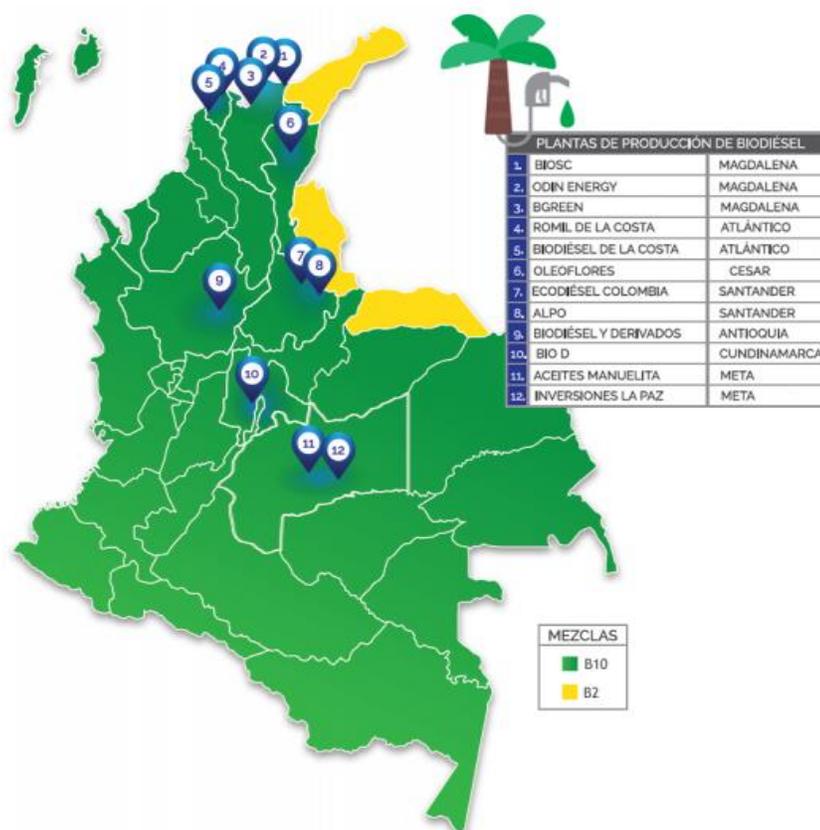
Región	Empresa	Capacidad (T/año)	Fecha entrada en operación
Santa Marta, Magdalena.	Biocombustibles Sostenibles del caribe	152.000	2009/03/01
Codazzi, Cesar.	Oleoflores	70.000	2008/01/01
Barranquilla, Atlántico.	Romil de la Costa	0	No hay información.
Gálapa, Atlántico.	Biodiésel de la Costa	0	No hay información.
Santa Marta, Magdalena.	Odín Energy	35.000	No hay información.
Facativá, Cundinamarca.	BioD	200.000	2009/02/01
Barrancabermeja, Santander.	Ecodiesel Colombia	115.000	2008/06/01
San Carlos de Guaroa, Meta.	Aceites Manuelita	120.000	2009/07/01
San Carlos de Guaroa, Meta.	Inversiones La Paz	70.000	No hay información.
Barrancabermeja, Santander.	ALPO	12.000	No hay información.
Santa Marta, Magdalena.	Biocosta Green Energy	70.000	No hay información.
TOTAL		844.000	

Fuente: FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923>

La producción de biocombustibles en Colombia se obtienen las mezclas B10 y B2, la letra B hace referencia a mezclas de biodiesel con diésel de petróleo, el numero indica el porcentaje que se implementa para la mezcla. En Colombia se desarrolla en mayor proporción la elaboración de biodiesel B10 como se muestra en la Figura 2, donde se observa que la gran parte de empresas se encuentran ubicadas en la región Caribe y Andina, en cuanto a la producción de B2 solo se realiza en el departamento de La guajira, Norte de Santander y Arauca⁴².

⁴² DELGADO, Juan Eduardo; SALGADO, José Jorge, PEREZ, Ronaldo. Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. En: REVISTA INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. vol. 14, no. 27, p. 13-28

Figura 2. Distribución del porcentaje de mezclas de biodiesel en Colombia.

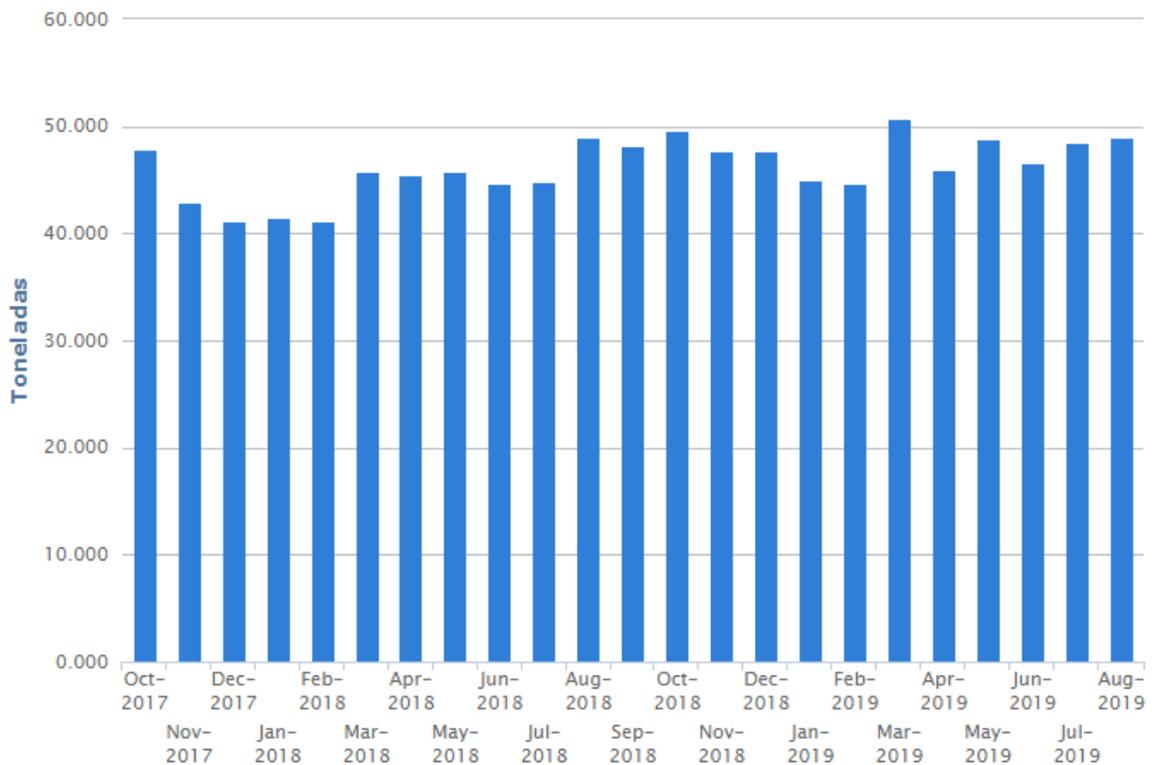


Fuente: FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>

Como se ha visto en los últimos años, de acuerdo a la Gráfica 1; la producción de biodiesel a nivel nacional se ha mantenido por encima de las 40.000 toneladas por meses, de acuerdo a las estadísticas presentadas por la Federación Nacional de Biocombustibles. Para los últimos meses, los datos son estimaciones de producciones que pueden variar hacia el futuro⁴³.

⁴³ FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>

Gráfica 1. Producción de biodiesel a nivel nacional en los últimos dos años.



Fuente: FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>

1.5.2 Aceites epoxidados. Actualmente, los aceites epoxidados han sido estudiados para aditivos de los polímeros, debido a que les facilita el proceso de producción, extienden la vida útil, modifica su dureza, proporciona color y entre otras. Son considerados aditivos porque no afectan su estructura molecular, sino que modifican las propiedades de los polímeros. Se espera de estos aditivos no presenten compuesto volátiles durante la transformación y durante su vida útil debido a puede ocasionar problemas en la estética o durante su uso, además no generan ni son sustancias tóxicas para las personas que lo manipulan ni para los usuarios.

En el mercado existe una variedad amplia de estos aceites, como lo son los epoxidados de linaza, oleína de palma, soya, caucho, girasol, etc. La mayoría de estos aceites tienen propiedades y composiciones similares, aunque algunos de ellos dan mejores rendimientos como el caso de la soya y linaza; esto se debe a que poseen mayores insaturaciones.

En la Tabla 16 se puede apreciar la composición del aceite epoxidado de linaza de los ácidos grasos con mayor presencia.

Tabla 16. Composición porcentual del aceite epoxidado de linaza

Ácidos grasos	Composición porcentual de ácidos grasos
Ácido Estereáico	3-5%
Ácido Pálmico	5-7%
Ácido Linoleico	14-20%
Ácido Oleico	18-26%
Ácido Linolénico	51-56%

Fuente: ZULETA S, Ernesto; MANTILLA M, Mariel, AVENDAÑO, Indira. Epoxidación de oleína de palma con ácido peroxiacético formado in situ. En: Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Jun 1, vol. 11, no. 1, p. 235-244

Así mismo, en la Tabla 17 se muestra una comparación entre las propiedades físicas y químicas entre los aceites epoxidados de linaza, palma y soya.

Tabla 17. Propiedades físicas y químicas de aceites epoxidados

Propiedad	Aceite epoxidado de linaza ¹	Aceite epoxidado de palma ²	Aceite epoxidado de soya ³
Apariencia	líquido	líquido	líquido
Índice de acidez (mg KOH/g)	< 1	0,7-0,8	0,8 máximo
Índice de oxirano (%)	< 8	6,4	6,7 mínimo
Índice de Refracción a 20°C	1,475	1,472	No reporta
Densidad (g/cm ³) a 20°C	1,005	0,993-0,997	No reporta
Viscosidad	Aprox 8 Ps a 20°C	No reporta	300- 400 cPs a 25°C

Fuente: ZULETA S, Ernesto; MANTILLA M, Mariel, AVENDAÑO, Indira. Epoxidación de oleína de palma con ácido peroxiacético formado in situ. En: Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Jun 1, vol. 11, no. 1, p. 235-244¹. BOYACÁ, Luis Alejandro, BELTRÁN, Ángela Aurora. Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado in situ mediante catálisis homogénea. En: Revista de ingeniería e investigación. Apr 1, vol. 30, no. 1, p. 136-140². INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Plásticos. Aceites vegetales epoxidados de soya y linaza, NTC 2366.:2000, 11 p³.

En cuanto al valor de los aceites epoxidados en el mercado se encontraron los siguientes datos para el aceite de Soya en la Tabla 18.

Tabla 18. Costo de aceite epoxidado en el mercado.

País de Origen	Marca	Cantidad	Valor
México ¹	No reporta	Kilogramo	\$5.393 COP
China ²	Henan GO Biotech	Kilogramo	\$3.400 COP
China ²	Handan Shijia Chemical Technology	Kilogramo	\$3.400 COP
India ³	Meta Wares India Private Limited	Kilogramo	\$4.372 COP

Fuente: QUIMICANET¹ [sitio web] Qumicanet [Consultado:06 de noviembre de2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/aceite-epoxidado-de-soya-30140529/precios.htm>.

ALIBABA² [sitio web] Alibaba [Consultado:06 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-quality-pvc-platicizer-epoxidized-soybean-oil-price-from-china-60650814164.html?spm=a2700.8699010.normalList.2.595a2e91Z4oT3b&s=p>.

INDIAMART³ [sitio web] Indiamart [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/epoxydised-soyabean-oil-1816117312.html>

En cuanto a la epoxidación de aceites vegetales es un proceso que se realiza por medio de lotes, ya que al principio es necesario hacer una carga de reactivos y de aceite. La reacción que ocurre generalmente se efectúa por medio de un oxidante, como el peróxido de hidrógeno y de un ácido orgánico para formar una reacción In Situ. En el transcurso del proceso es necesario tener un control cuidadoso de la temperatura, ya que al ser la epoxidación una reacción exotérmica si no se mantiene la temperatura alrededor de los 50 y 70°C puede ocurrir una degradación del anillo oxirano⁴⁴.

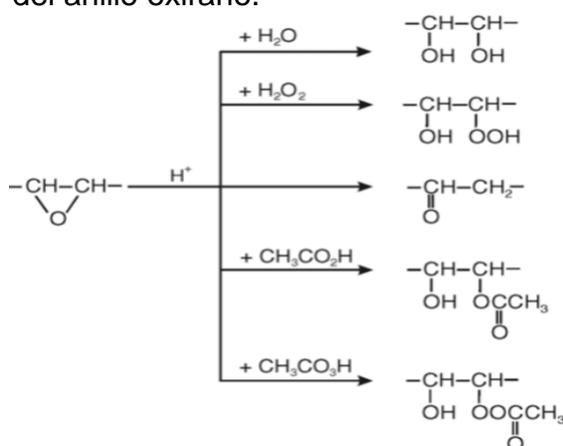
De acuerdo a la teoría, la velocidad de reacción es lenta por lo que es necesario utilizar un catalizador, el cual se encarga de reducir el tiempo de reacción sin afectar el producto final, para este caso el catalizador puede ser tanto homogéneo como heterogéneo, el catalizador homogéneo es la sustancia que se mezcla con el reactivo formando una sola fase, donde al final del proceso se retira por técnicas de separación ya sea por punto de fusión o con ayuda de membranas, en cuanto al catalizador heterogéneo es el que al adicionarse a los reactivos, presenta dos fases diferentes ayudando a acelerar la reacción. Cuando se trata de un catalizador sólido, las resinas de intercambio iónico suelen ser de gran ayuda pues se acomodan muy bien a los requerimientos de este tipo de reacciones, facilitando la

⁴⁴ QUIMINET.COM. ¿Cómo se obtiene el aceite de soya epoxidado? [en línea]. [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/como-se-obtiene-el-aceite-de-soya-epoxidado-2720809.htm>

obtención del epoxidado⁴⁵. Por otra parte, al emplear un catalizador homogéneo es conveniente utilizarlo al 2% con respecto al aceite de carga, pues un mayor porcentaje no tiene cambios significativos en la reacción⁴⁶. Agregando a lo anterior, también es conveniente mantener una agitación entre 300 y 400 rpm, ya que a velocidades lentas y altas no se favorece la formación del anillo oxirano.

El adecuado control de estas variables ayudará a la conversión exitosa de aceite vegetal en el aceite epoxidado; de lo contrario es posible que ocurran otras reacciones que pueden desestabilizar el enlace oxirano y descomponerlo. Es recomendable que el tiempo del proceso no sea muy prolongado, pues una vez formado el compuesto de interés, si no es detenida la reacción, éste seguirá reaccionando con el peróxido sobrante y se descompondrá; disminuyendo así la calidad del producto. Otras rutas de degradación del anillo oxirano son mostradas en la Figura 3.

Figura 3. Reacciones de degradación del anillo oxirano.



Fuente: CAMPANELLA, Alejandrina, BALTANÁS, Miguel A. Degradation of the oxirane ring of epoxidized vegetable oils with hydrogen peroxide using an ion exchange resin. En: Journal catalysis today. vol. 107, p. 208-214

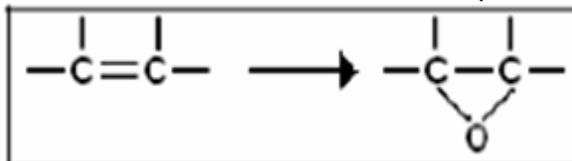
Una vez explicado parte del proceso y su control, es necesario conocer el objetivo del procedimiento. Lo que se busca mediante la reacción de epoxidación, es

⁴⁵ BEST, Rosie, DUARTE, Monica. Optimización del proceso de epoxidación para la producción de polioles a partir de aceite de palma. Universidad de los Andes, 2005.

⁴⁶ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

convertir un grupo olefínico en un éter cíclico de tres miembros, obteniendo un grupo oxirano. Esto se consigue al atacar el doble enlace de la cadena carbonada del aceite haciendo una asociación Carbono- Oxígeno-Carbono tal como se muestra la Figura 4 a continuación⁴⁷.

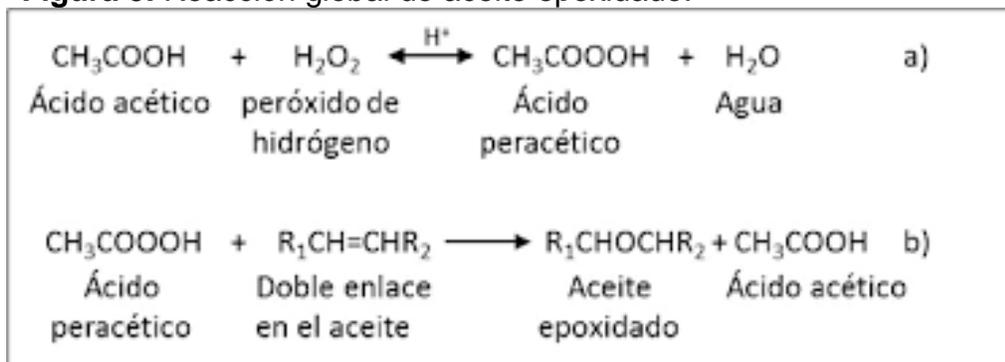
Figura 4. Mecanismo de reacción de epoxidación



Fuente: CAMPANELLA, Alejandrina, BALTANÁS, Miguel A. Degradation of the oxirane ring of epoxidized vegetable oils with hydrogen peroxide using an ion exchange resin. En: Journal catalysis today. vol. 107, p. 208-214

En el desarrollo de esta investigación se utilizará el método de Epoxidación In Situ con ácido peracético y con ayuda de un catalizador homogéneo; pues en éste proceso, la reacción ocurre en una sola etapa, siendo más segura y con un menor costo. De tal forma, este procedimiento consiste en hacer reaccionar en un mismo sitio el ácido acético con el peróxido de hidrogeno en presencia del aceite vegetal; tal como se muestra en la Figura 5⁴⁸.

Figura 5. Reacción global de aceite epoxidado.



Fuente: ZULETA S, Ernesto; MANTILLA M, Mariel, AVENDAÑO, Indira. Epoxidación de oleína de palma con ácido peroxiacético formado in situ. En: Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Jun 1, vol. 11, no. 1, p. 235-244¹ Y AGROINDUSTRIAL. Jun 1, vol. 11, no. 1, p. 235-244

⁴⁷ BEST, Rosie, DUARTE, Monica. Optimización del proceso de epoxidación para la producción de polioles a partir de aceite de palma. Universidad de los Andes, 2005

⁴⁸ BEST, Rosie, DUARTE, Monica. Optimización del proceso de epoxidación para la producción de polioles a partir de aceite de palma. Universidad de los Andes, 2005

Para conocer el avance de la reacción y el momento en que ha reaccionado toda la materia orgánica con al ácido paracético, se debe hacer un seguimiento por medio de titulaciones de yodo y oxiranos. La medición de estos índices permite conocer con certeza que tanto ha reaccionado el aceite con el agente oxidante; por una parte, el índice de yodo, quien es el que monitorea el número de insaturaciones en el aceite irá disminuyendo con el paso del tiempo y se mantendrá en niveles muy cercanos cuando la reacción se haya completado⁴⁹. En consecuencia, el índice oxiranos debe tener un comportamiento creciente durante el proceso, sin embargo después de cierto tiempo, éste índice puede disminuir debido a la descomposición del anillo como se habló un momento⁵⁰.

Es posible también, que el seguimiento y monitoreo del proceso de epoxidación se haga por medio de un espectrofotómetro FT-IR; pero para el caso de ésta investigación se tendrá en cuenta el método de titulaciones, ya que no se contó con éste equipo⁵¹.

Finalmente, con la recopilación de información llevada a cabo se encontró un método cuantitativo para obtener la selectividad de la reacción utilizando el seguimiento por índices de yodo y oxiranos. Esta selectividad esta descrita por la Ecuación 11; donde la selectividad está dada por índice de oxiranos final sobre la diferencia entre el índice de yodo inicial y el final.

Ecuación 11. Selectividad de reacción de epoxidación.

$$S_{IO/IY} = \frac{IO_f}{IY_o - IY_f}$$

Los aditivos se pueden implementar como plastificantes, estabilizantes y lubricantes. Los lubricantes son utilizados en durante las transformaciones de plásticos para disminuir las fuerzas de fricción en las tolvas de alimentación o entre el polímero fundido y las superficies metálicas de los equipos. En cuanto a los estabilizantes funcionan para retardar el proceso de degradación de polímeros que sufren condiciones violentas tales como temperaturas elevadas, exposición a

⁴⁹ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

⁵⁰ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

⁵¹ RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

radiaciones altas, presencia de oxígeno. Por último los plastificantes el cual funciona como recubrimiento donde se observa un aumento en la ductilidad de las mezclas⁵².

1.5.3 Ceras. Las ceras, también conocidas como céridos, son lípidos saponificables formados por la unión de un ácido graso de cadena larga (de 14 a 36 átomos de carbono) con un monoalcohol, también de cadena larga (de 16 a 30 átomos de carbono), mediante un enlace éster⁵³.

Generalmente las ceras suelen ser sólidas, cristalinas y solubles en el agua dependiendo de la temperatura a la cual estén sometidas; a su vez las moléculas de las ceras son totalmente apolares, lo que las hace sustancias hidrófobas que sirven como impermeabilizante y protector natural⁵⁴.

Por otro lado, las ceras provienen de diferentes fuentes, desde las capas exteriores en cultivos de bacterias, así como en las raíces, tallos y hojas de plantas, en los frutos de árboles, en los esqueletos de insectos, de la piel cuerno y pelo de los animales como de productos naturales como la cera de abeja o lana de oveja⁵⁵.

Figura 6. Cera sólida para pisos laminados.



Fuente: Vix, Como hacer cera para pisos casera. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <https://www.vix.com/es/imj/hogar/4700/como-hacer-cera-para-pisos-casera>

⁵² BUENO FERRER, Carmen. Bio-compuestos termoplásticos basados en aceites vegetales: estudio de su aplicabilidad al envasado de alimentos. Universidad de Alicante, 2012

⁵³LAS CERAS [sitio web] LasCeras [Consultado: 19 de abril de 2019]. Disponible en: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/07/02/las-ceras/>

⁵⁴LAS CERAS [sitio web] LasCeras [Consultado: 19 de abril de 2019]. Disponible en: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/07/02/las-ceras/>

⁵⁵ ECURED. Cera [sitio Web] EcuRed [Consultado: 15 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Cera>

Las ceras para pisos o también conocidas como ceras poliméricas se componen de una base natural de ceras o mezcla de estas, disueltos en solventes orgánicos obtenidos a partir de hidrocarburos y aditivos que mejoran su aspecto, permitiendo preservar el piso y manifestar mayor brillo al ser aplicado, depende del tipo de cera se recomienda la utilización de una lustradora para mejorar el acabado, un ejemplo se claro de este producto se muestra en la Figura 6. A continuación de identifican los diferentes tipos de ceras para pisos⁵⁶.

- ✓ Cera a la grasa: Es un producto que se elabora a partir de ceras naturales, mezcladas junto con solventes orgánicos y aditivos para mejorar aspecto frente al mercado⁵⁷.
- ✓ Ceras al agua: Es una emulsión a base de ceras se caracterizan por su durabilidad y resistencia al agua, usualmente es aplicado en escuelas, bodegas o sitios que posean mayor contacto con personas⁵⁸.
- ✓ Ceras autobrillante: Este tipo de cera no requiere de una lustradora para dar brillo, a diferencias de las demás esta contiene un aditivo especial que actúa de forma inmediata mejorando el brillo de los pisos de forma considerable y con menor esfuerzo⁵⁹.

En la elaboración de ceras para pisos, principalmente este proceso es sencillo de realizar, pero se deben tener precauciones a la hora de realizar la mezcla, debido a que los químicos que se implementan durante el proceso pueden afectar la salud. El procedimiento consiste en mezclar el aceite base y un solvente a temperaturas altas, hasta que la mezcla se encuentre en una fase homogénea, posteriormente se deja disminuir la temperatura y agrega al contenedor en el cual va a ser expuesto al público⁶⁰.

⁵⁶ GUALPA TIPÁN, Paúl Fernando. Proyecto de factibilidad para la fábrica de ceras para la empresa Lux Ecuador S.A. empresa dedicada a la comercialización de equipos de limpieza ubicada en la ciudad de Quito. Pregrado de Ingeniería Química. Quito. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, 2013.

⁵⁷ GUTIÉRREZ SORIA, Luis Roberto. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de desinfectante líquido de piso para empresas o negocios en la ciudad de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.

⁵⁸ GUTIÉRREZ SORIA, Luis Roberto. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de desinfectante líquido de piso para empresas o negocios en la ciudad de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019..

⁵⁹ GUTIÉRREZ SORIA, Luis Roberto. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de desinfectante líquido de piso para empresas o negocios en la ciudad de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019..

⁶⁰ GUALPA TIPÁN, Paúl Fernando. Proyecto de factibilidad para la fábrica de ceras para la empresa Lux Ecuador S.A. empresa dedicada a la comercialización de equipos de limpieza ubicada en la

Para determinar que el producto sea rentable y tenga permiso para expendirse al mercado, el producto se somete a unos ensayos cualitativos o cuantitativos de calidad para determinar sus propiedades físicas y químicas, garantizando que el producto no genere decoloración en las superficies aplicadas, no afecte irritaciones en la piel a condiciones normales y no presentar partículas sólidas o grumos.

- ✓ Abrasividad: Este ensayo se encarga de identificar el esfuerzo que se emplea al aplicar la cera sobre una superficie⁶¹.
- ✓ Consistencia: Durante esta prueba se identifica la firmeza y la facilidad de deformación de la cera para pisos, al aplicar una fuerza mecánica⁶².
- ✓ Rendimiento: Para esta prueba se identifica la facilidad al aplicar el producto, el tiempo de secado sin generar una superficie pegajosa en un lapso de 15 minutos, si requiere ser pulido con un paño suave se frota para aumentar el brillo de la superficie⁶³.
- ✓ Determinación de pH: En este ensayo se identifica el grado de acidez o basicidad del producto final⁶⁴.

Este producto en el mercado se encuentra una gran variedad de ceras para cualquier tipo de pisos, ya sea de mármol, granito, tableta, pisos rojos, entre otros. Con el fin de proteger, limpiar y garantizar mayor brillo, a continuación, en la Tabla 19 se muestran las ceras de mayor impacto en el mercado, con su respectiva marca, tipo de piso en el que se debe aplicar, cantidad y características principales del producto.

ciudad de Quito. Pregrado de Ingeniería Química. Quito. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, 2013.

⁶¹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. artículos de limpieza. cera para pisos, NTC 2111.:1990, 16 p

⁶² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. artículos de limpieza. cera para pisos, NTC 2111.:1990, 16 p

⁶³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. artículos de limpieza. cera para pisos, NTC 2111.:1990, 16 p

⁶⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. artículos de limpieza. cera para pisos, NTC 2111.:1990, 16 p

Tabla 19. Mercado de ceras para pisos

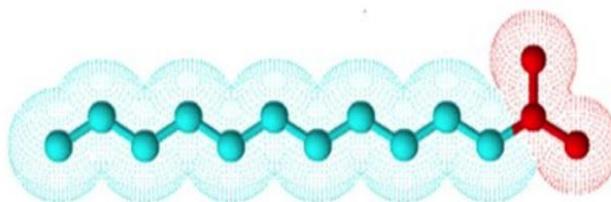
Marca	Tipo de pisos	Cantidad	Características.
Monestir	Cera para mármol.	1 L.	Genera buen brillo e impermeabilizar los pisos de mármol, terrazo y granito.
IQG	Cera abrillantadora para todo tipo de suelos	5 L.	Solo es aplicable para limpieza de suelos, manteniendo superficies limpias y protegidas. Es un limpiador y endurecedor de suelos (mármol, granito y terrazo). Mejora la resistencia al roce y al desgaste en los suelos tratados.
Alex	Cera para todo tipo de pisos	750 mL.	Cera roja para suelos rojizos. Recupera e intensifica el color y brillo original. Fácil aplicación, sin trazas, no resbala. Aísla la humedad, protege de manchas y suciedad.
Alex	Abrillantador de suelos para todo tipo	1.5 L.	Cera perfecta para abrillantar, sanar y limpiar todo tipo de suelos.
Monestir	Para pisos porcelanizados de gres y azulejos.	1 L.	Limpia y a la vez abrillanta los suelos dejándolos en perfecto estado. Desmancha eficazmente si se aplica directamente en la mancha
Novecento	Para todo tipo de suelos	5 L.	Perfecta para usar directamente sin diluir. Ayuda a abrillantar y al mantenimiento de suelos de cualquier material
HG	Para Parquet	1 L.	Protege, realiza el color y abrillanta todo tipo de suelos de parquet.

Fuente: SOLOPULIDORAS.COM, Ceras para suelos [sitio web] Solopulidoras [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://solopulidoras.com/ceras-para-suelos/>

1.5.4 Jabones. El jabón es un producto conocido como sal sódica o sal potásica, esto depende de las sustancias que se utilizan para su elaboración; este producto se caracteriza por ser soluble en agua, y por sus propiedades detergentes, que generalmente se usa para higiene personal, lavar objetos o tejidos específicos.

La importancia de éste producto se da porque comparte una parte hidrofóbica y otra hidrofílica, la cual le da afinidad tanto por las grasas como lo el agua; y de ahí su capacidad para retirar suciedad de las superficies que se someten a lavado⁶⁵.

Figura 7 Molécula de jabón.



Fuente: NERI, Adrian Cristobal; REGLA, Ignacio. La química del jabón y algunas aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/>

En la Figura 7 se puede apreciar la representación de una molécula de jabón, los dos extremos hacen referencia a la afinidad por el agua y los lípidos o grasas. La cabeza roja es la que repele las grasas y presenta un comportamiento lipofóbico, mientras su contraparte tiene es lipofílica. Debido a su estructura, esta molécula es capaz de orientarse dependiendo del medio donde se encuentre⁶⁶.

La reacción química para obtener jabón se denomina saponificación, que ocurre por medio de la hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en el material orgánico produciendo glicerina y una sal o jabón⁶⁷.

La fabricación de jabón es un proceso muy antiguo, que a lo largo de los años no ha tenido cambios muy notables; ya que el principio continúa siendo el mismo a pesar de que su elaboración se ha industrializado. Existen gran variedad de jabones, de algunas de ellas se hablará más adelante; sin embargo, todas tienen en común la reacción química que permite su obtención.

Éste mecanismo consiste principalmente en hacer reaccionar un aceite o una grasa (triglicérido) con un álcali; que bien puede ser hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), la interacción del hidróxido con los ácidos grasos forma dos compuestos, el primero es el jabón el cual deberá ser retirado del segundo producto

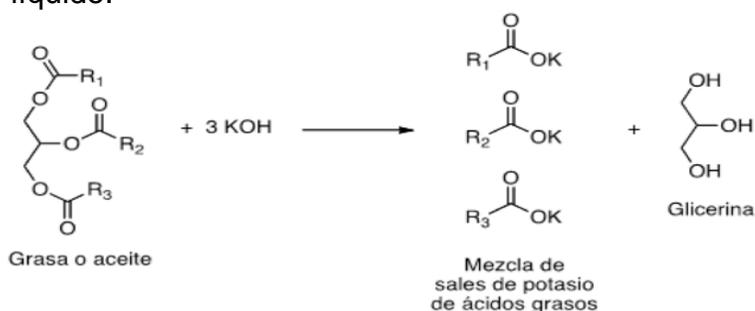
⁶⁵ NERI, Adrian Cristobal; REGLA, Ignacio. La química del jabón y algunas aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/>

⁶⁶NERI, Adrian Cristobal; REGLA, Ignacio. La química del jabón y algunas aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/>

⁶⁷ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

de reacción, la glicerina⁶⁸. De la elección de la base dependerá la consistencia del jabón, de tal manera si se decide utilizar el NaOH es jabón a obtener será sólido, mientras que será líquido si la base es el hidróxido de potasio. En el caso de nuestro proyecto, se eligió realizar jabón líquido por la aplicación a la cual está destinado. El mecanismo de reacción corresponde a la Figura 8.

Figura 8. Mecanismos de reacción para jabón líquido.



Fuente: NERI, Adrian Cristobal; REGLA, Ignacio. La química del jabón y algunas aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38>

El proceso de fabricación de jabón se describe a grandes rasgos, de la siguiente forma. Primero se coloca el aceite en un recipiente de acero inoxidable. Luego se calienta en el recipiente mediante un serpentín o camisa de calefacción por donde circula vapor, cuando el aceite se ha calentado a unos 80-100°C, se agrega lentamente y con agitación continua la solución acuosa de álcali (sosa o potasa).

Se continúa agitando hasta obtener la saponificación total, se agrega una solución de sal común, NaCl ó KCl (dependiendo del álcali seleccionado), para que el jabón se separe y quede flotando sobre la solución acuosa que contiene glicerina.

Se recoge el “jabón base” y se le agregan colorantes, perfumes, aromas u otros ingredientes, dependiendo del uso que se le quiera dar. Si el jabón que vamos a producir va a ser en barras (sólido, llamado comúnmente jabón de tocador), se enfría y se corta en porciones, las que enseguida se secan y prensan, dejando un material con un contenido de agua en torno al 35%. Si por el contrario vamos a obtener un jabón líquido, se deja enfriar, pero menos tiempo que el anterior, y se le añade más agua junto con los ingredientes finales, para embotellarlo⁶⁹.

⁶⁸ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

⁶⁹ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

Existen dos procesos básicos para la elaboración de jabones un proceso frío y un proceso caliente. El proceso frío es a partir del material orgánico (Aceite) y una disolución de álcali en frío. Se realiza con hidróxido de sodio para obtener jabones duros, este tipo de proceso se debe realizar una parte de curado, donde se deja reposar entre 4 a 8 semanas para que la saponificación sea efectiva y el jabón vaya adquiriendo un pH menos básico y además ayuda a la pérdida de exceso de agua para que se vaya endureciendo. Este método es utilizado para la fabricación de jabones artesanales o caseros a partir de aceites de cocina usados⁷⁰.

En cuanto al proceso caliente, este método para la obtención de jabones es más rápido, manteniéndolo entre dos a tres horas a temperaturas mayores de a 50 °C a baño maría o a un horno, por lo que no es necesario un tiempo de curación debido a que la reacción de saponificación es efectiva. Para este producto se puede adicionar aceites esenciales, colorantes o aromatizantes después de haber realizado la saponificación, siempre y cuando el jabón no se haya solidificado. De este modo también se preserva los componentes del pH básico y se puede alterar su composición⁷¹.

Por otra parte, los jabones se caracterizan por ser sustancias solubles en agua, por poseer propiedades detergentes. Los jabones ejercen su acción limpiadora sobre las grasas en presencia de agua, esto se debe a su estructura molecular. Se caracterizan por tener una parte liposolubles que se encarga de que el jabón moje la grasa disolviendo y la otra parte que es hidrosoluble la cual se encarga de disolver en agua.

Para determinar la parte de calidad de este producto se deben realizar pruebas de saponificación, humedad, control de espuma, pH y alcalinidad para garantizar que es un producto seguro⁷².

Además de los ensayos de calidad que se realizan se debe tener presente el tipo de jabón, ya que existe una diversidad de jabones con el fin de enfocarse a una propiedad de detergente de más destacadas. A continuación, se muestra una serie de jabones para diferentes usos.

- ✓ Jabones comunes: Son Jabones sólidos y espumosos, elaborados por lo general con sebo grasoso y sodio o potasio. Se indican para todo tipo de pieles y en algunos casos pueden usarse para lavar el cabello.

⁷⁰ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

⁷¹ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

⁷² ARIAS, Martha. Evaluación de técnicas de saponificación artesanal de aceites de cocina usados provenientes del municipio de charalá. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2017

- ✓ Jabones humectantes: En su mayoría son producidos a partir de aceites vegetales, otros poseen cremas humectantes en su composición. También hay jabones que poseen glicerina que son muy útiles para pieles secas o dañadas⁷³.
- ✓ Jabones suaves: Están compuestos por aguas termales y son recomendados para pieles sensibles⁷⁴.
- ✓ Jabones líquidos: Se presentan como una loción de limpieza, su poder efectivo varía y no todos tienen la misma eficacia⁷⁵.
- ✓ Jabones dermatológicos: Poseen agentes de limpieza sintética muy suaves, donde se añaden vegetales que se encargan de cerrar los poros, curando irritaciones y frenando la aparición del acné o puntos negros. Gracias a estos jabones la piel no se descama⁷⁶.
- ✓ Jabones glicerina: Son jabones neutros, no suelen humectar la piel y por el contrario, en algunas ocasiones tienden a resecarlas y se recomiendan para las pieles grasas. Por lo general, la glicerina tiene un efecto más duradero que los jabones comunes⁷⁷.
- ✓ Jabones terapéuticos: Son recetados por los médicos, algunos se recomiendan para psoriasis, para micosis cutáneas y otros para limpieza profunda de cutis⁷⁸.
- ✓ Jabones Industriales: Jabón líquido industrial diseñado para áreas de trabajo pesado en la limpieza de cualquier superficie, sin contaminar las aguas residuales, gracias a sus componentes iónicos y no iónicos de cadena lineal y emolientes⁷⁹.

Finalmente, se hizo un pequeño barrido de información de los precios de jabones industriales en las páginas más importantes de compra en línea, en la Tabla 20 se pueden ver algunos de ellos.

⁷³ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁴ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁵ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁶ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁷ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁸ GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

⁷⁹ BASICFARM. JabónClean. [sitio web] Basicfarm [consultado: 06 de agosto de 2019] Disponible en: <https://basicfarm.com/project/jabonclean/>

Tabla 20. Costos de jabones industriales.

País de Origen	Marca	Cantidad	Valor
España ¹	Massclean	5 litros	\$ 34.600
Colombia ²	Forte	1 galon	\$ 41.000
Colombia ²	No registra	2 litros	\$ 20.000
Colombia ³	Ston Protex	2 litros	\$ 44.900
Colombia ³	Ston Protex	2 litros	\$ 42.900

Fuente: AMAZON. [sitio web] Amazon.com [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: https://www.amazon.es/dp/B06VYJJZF6/ref=sspa_dk_detail_4?psc=1&pd_rd_i=B06VYJJZF6&pd_rd_w=2AEBE&pf_rd_p=f0815c89-d195-4bd5-89fe-99dc61984993&pd_rd_wg=HtEZZ&pf_rd_r=P650C2X3R4TD1GQJ63HB&pd_rd_r=42779f66-f628-4a74-b538-d00a3ca436b2&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUFWNEc2U1JPUUhQTVMmZW5jcnlwdGVkSWQ9QTA4MDQ4NTNERkIFM0ZERzZGTEkmZW5jcnlwdGVkQWRJZD1BMDM5NzI1MDFSVlc5T0M4VVIVSUsmD2IkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhaWwYWN0aW9uPWNsaWNrUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl

MERCADO LIBRE. [sitio web] Mercado Libre [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480365014-desengrasante-liquido-industrial-1-gln-forte-_JM?quantity=1#position=8&type=item&tracking_id=391fe856-5cff-4be3-90de-c43d69183bfb\(colombia\)](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480365014-desengrasante-liquido-industrial-1-gln-forte-_JM?quantity=1#position=8&type=item&tracking_id=391fe856-5cff-4be3-90de-c43d69183bfb(colombia))

HOME CENTER, [sitio web] Homecenter [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/landing/cat4220001/?kid=bnnnext962934&utm_source=GOOGLE-SEM&utm_content=PERFORMANCE&utm_medium=SEARCH&utm_term=GENERAL&utm_campaign=PREVIA-BLACK-FRIDAY--SEM-BRAND-EXACT&gclid=CjwKCAiAws7uBRAKEiwAMlbZjkGy8ojic2yuLUaCBEVmcqnZD7aNOd0ekXIxmCL4AY1rYnOOBFH7hoCgl0QAvD_BwE

1.5.5 Lubricantes. Los lubricantes son mezclas que se aplican a la superficie para disminuir el rozamiento, reducir el desgaste, facilitar el lavado, sellar y demás funciones que garantizan extender la vida útil de las maquinas. Los aceites lubricantes se conforman por un aceite base, que se mezcla con compuestos y aditivos para mejorar el producto final. Los primeros lubricantes se obtenían de aceites vegetales y grasas animales. No obstante, desde el descubrimiento del petróleo, más del 90% de los lubricantes son generados a partir del petróleo. En la actualidad existe una gran variedad de aceites base, los cuales se clasifican dependen de su origen, ya sean minerales, naturales o sintéticos⁸⁰.

⁸⁰ GARCÍA COLOMER, Albert. Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. Universidad Ramón Llull, 2011.

La producción de aceites minerales es por medio de la destilación y refinación del petróleo, después de obtener gasóleo y antes de la producción de alquitrán, llegando al 50% del barril de crudo, este producto es conocido como aceite base, al cual se le agregan aditivos químicos que mejoran las propiedades⁸¹.

Los aceites naturales, son los primeros lubricantes que se implementan y se obtienen por derivados de los animales y vegetales, ya que estos poseen en mayor proporción ácidos grasos y triglicéridos, a través de procesos mecánico y/o químicos. Principalmente se realizaban procesos mecánicos para extraer el aceites de las semillas o frutos oleaginosos, ya si la extracción se complica se implementan solventes para adquirir mayor aceite base y así agregar aditivos para mejorar las propiedades para una mejor lubricación⁸².

Por último los lubricantes sintéticos se producen por medio de una síntesis química, es decir elaborar el lubricante a partir de la modificación de la estructura molecular de los componentes presente en la materia prima para obtener el aceite base y agregar los aditivos para mejorar las propiedades⁸³.

Actualmente debió al impacto ambiental que se está presentando, se han creado alternativas para aprovechar los residuos e implementarlos como materia prima en la elaboración de un nuevo producto. Los biolubricantes son lubricantes que se caracterizan por su rápida biodegradabilidad y no son tóxicos para el medio ambiente. Los biolubricantes pueden estar conformados por un aceite base vegetal o basado a partir de esteres sintéticos de origen mineral⁸⁴.

Para identificar los biocombustibles de lo convencionales, es por medio de una etiqueta ecológica, es un tipo de medición de sostenibilidad de los productos para tener presente las consideraciones medioambientales a la hora de adquirir el producto. Algunas etiquetas contienen la contaminación o el consumo de energía por medio de índices o simplemente hacen valer el cumplimiento de sostenibilidad o disminución de la contaminación ambiental⁸⁵. En Colombia, hoy en día el ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, desarrollo una etiqueta ecológica que radica en un sello adquirido de forma voluntaria como se muestra en la Figura 9, con el objetivo de consolidar la producción de bienes ambientales sostenibles e

⁸¹QUADIS. Diferencias entre lubricantes minerales y sintéticos, [sitio web] [consultado: 17 de junio de 2019] Disponible en: <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/lubricantes/diferencias-entre-lubricantes-minerales-y-sinteticos/>

⁸²GARCÍA COLOMER, Albert. Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. Universidad Ramón Llull, 2011..

⁸³ QUADIS. Diferencias entre lubricantes minerales y sintéticos, [sitio web] [consultado: 17 de junio de 2019] Disponible en: <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/lubricantes/diferencias-entre-lubricantes-minerales-y-sinteticos/>

⁸⁴ Biolubricantes. Biolubricantes protegiendo el medio ambiente.

⁸⁵GARCÍA COLOMER, Albert. Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. Universidad Ramón Llull, 2011.

incrementar la oferta de servicios ecológicos competitivos en los mercados tanto nacionales como internacionales⁸⁶.

Figura 9. Etiqueta ecológica de Colombia.



**MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA
Y DESARROLLO TERRITORIAL**

Fuente: Super User. Sello Ambiental Colombiano | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [0]. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla->

1.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Durante este proyecto se realizaron ensayos que nos permiten identificar el valor de una propiedad ya sea física o química, para este caso se implementaron técnicas que nos permiten comprobar la concentración de las sustancias por medio de una solución indicador en el caso de las propiedades químicas de la muestra que se requiere analizar. En cuanto a las propiedades físicas se hace uso de instrumentos especializados en una medición específica para las muestras.

⁸⁶MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO COLOMBIANO. Sello Ambiental Colombiano | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [en línea]. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla->

1.6.1 Técnicas de titulación e indicadores. Una titulación o valoración es una técnica química que permite conocer cuantitativamente la concentración de una sustancia por medio de la interacción entre dos sustancias, normalmente entre un ácido y una base; aunque existen otros tipos de titulaciones como las valoraciones complejométricas, las de precipitación y las Redox⁸⁷.

Si bien existen varias titulaciones, el procedimiento es muy similar y sigue el mismo principio, en donde se parte de una solución base o patrón primario, del cual se conoce su composición y concentración, ésta se mezcla con una sustancia de la cual se desconoce su concentración con el fin de llegar a un punto de equivalencia en donde ambas sustancias se contrarrestan entre sí⁸⁸.

Este es un método volumétrico bastante simple en donde por lo general solo se usa una bureta graduada y un erlenmeyer o vaso de precipitados. La primera, contiene el titulante o valorante, que es la sustancia con que se neutraliza la porción de ensayo; mientras que en el segundo se encuentra el analito o especie química que se desea estudiar. Un ejemplo clave para esta técnica se muestra en la Imagen 1 como cambia el compuesto con respecto al agente titulante.

Imagen 1. Titulación volumétrica de índice de yodo



Fuente: elaboración propia.

Para poder hacer un seguimiento del método, se utiliza bien sea un potenciómetro, que medirá continuamente el pH de la solución titulante- analito ó un indicador, que por medio del cambio de color permite conocer el punto exacto de equivalencia.

⁸⁷DOCENCIA UDEA. Análisis metrífico.[en línea]. Universidad de Antioquia [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/cen/QuimicaAnalitica/volu.htm>

⁸⁸ BARROSO MORENO, Mario. Titulación ácido base. [sitio web] [consultado: 05 de abril de 2019], Disponible en: <http://ciencia-basica-experimental.net/titulacion.htm>

Existen bastantes indicadores, que dependiendo del rango de pH en donde tienen el cambio de color se usan para titulaciones específicas. Algunos de estos indicadores son mostrados en la Tabla 21.

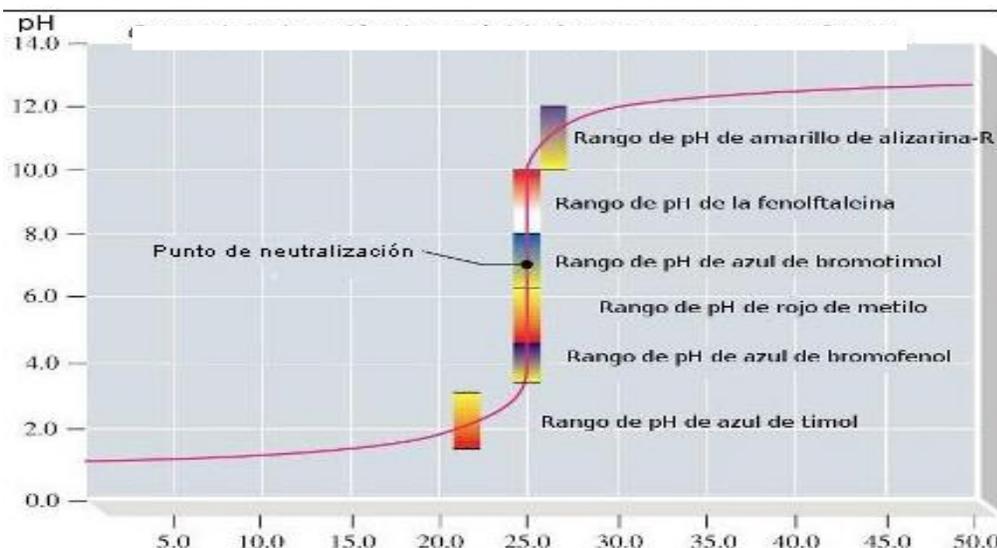
Tabla 21. Rango pH para indicadores.

Indicador	Color ácido	Rango de pH del cambio de color	Color Alcalino
Azul de timol	Rojo	1.2 – 2.8	Amarillo
Naranja de metilo	Rojo	3.1 – 4.5	Amarillo
Verde de bromocresol	Amarillo	3.8 – 5.5	Azul
Rojo de metilo	Rojo	4.2 – 6.3	Amarillo
Papel tornasol	Rojo	5.0 – 8.0	Azul
Azul de bromotimol	Amarillo	6.0 - 7.6	Azul
Azul de timol	Amarillo	8.0 – 9.6	Azul
Fenolftaleína	Incoloro	8.3 – 10.0	Rojo
Amarillo de alizarina	Amarillo	10.0 – 12.1	Lavanda

Fuente: TITULACIÓN ACIDO BASE, Ciencias-básicas-experimentales. [Consultad: 05,2019]. Disponible en: <http://ciencia-basica-experimental.net/titulacion.htm>

Así mismo, para el caso de una titulación ácido fuerte - base fuerte, el comportamiento de los indicadores con respecto al pH puede tener la siguiente distribución como lo muestra el Gráfica 2 en la titulación con NaOH.

Gráfica 2. Curva de valoración de un ácido fuerte con una base fuerte.



Fuente: EDUCATIVA. Valoración indicador, [sitio web] Educativa [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4858/html/12_valoracin_e_indicadores.html

En cuanto a este proyecto de investigación, se realizaron titulaciones utilizando como indicadores la fenolftaleína y el almidón soluble; las cuales serán mostradas en el transcurso del documento.

1.6.2 Potenciómetro (medidor de pH). Un pHmetro o medidor de pH es un instrumento científico que mide la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH. El medidor de pH mide la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia. Esta diferencia de potencial eléctrico se relaciona con el pH de la solución. Este equipo es de bastante ayuda y se utiliza ampliamente en laboratorios químicos, alimenticios y farmacéuticos e incluso en la industria para control de calidad, un ejemplo de un potenciómetro se observa en la Imagen 2.

Imagen 2. Potenciómetro (pH-metro)



Fuente: TPLABORATORIOQUIMICO. Materiales e instrumentos de un laboratorio químico, [sitio web] Tplaboratorioquimico [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/phmetro.html>

1.6.3 Refractómetro. Es un instrumento óptico que usa el principio físico de la refracción de la luz para mediciones que permiten identificar una sustancia, verificar la pureza de un componente líquido o sólido translúcido; así como analizar la cantidad de soluto disuelto en una solución.

Su funcionamiento se basa en utilizar la refracción de la luz, la cual es una propiedad física de cualquier sustancia y se relaciona con algunas propiedades físicas como la densidad. A partir de ello, y de acuerdo a su aplicación se construyen diferentes

escalas. La escala más usada es Grados Brix (Proporción de sacarosa o sales en una solución)⁸⁹.

1.7 NORMATIVA PARA LA DISPOSICIÓN DE ACUS

Como se ya se hablado antes, los aceites de cocina usados son sustancias contaminantes del ambiente que suelen tener compuestos tóxicos o nocivos para la salud y resultan peligrosos para la vida acuática. Por tal razón, existen entes de control y seguimiento que se encargan de controlar y vigilar la correcta manipulación y disposición de los ACUs por medio de normas y decretos que permiten garantizar un buen manejo de estos desechos. Así pues, algunas de las normativas más importantes en Colombia son mostradas en la Tabla 22.

Tabla 22. Normas y decretos de disposición de aceites usados

Ley / Norma	Resumen de contenido	Fuente de referencia
Resolución 316 de 2018	busca fomentar el aprovechamiento del residuo de aceite de cocina usado en todo el país a través de gestores de AVU, promover el aprovechamiento del residuo como materia prima para la producción de nuevos productos	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Acuerdo 634 de 2015	regulaciones para la generación, recolección y tratamiento o aprovechamiento adecuado del aceite vegetal usado	Secretaria Distrital de Ambiente
Resolución 1188 de 2003	manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito Capital	Secretaria Distrital de Ambiente
Resolución 2154 de 2012. Cap 13	Prohibición del uso alimenticio o para consumo de aceite de cocina usado	Ministerio de Salud y Protección Social

FUENTE: RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

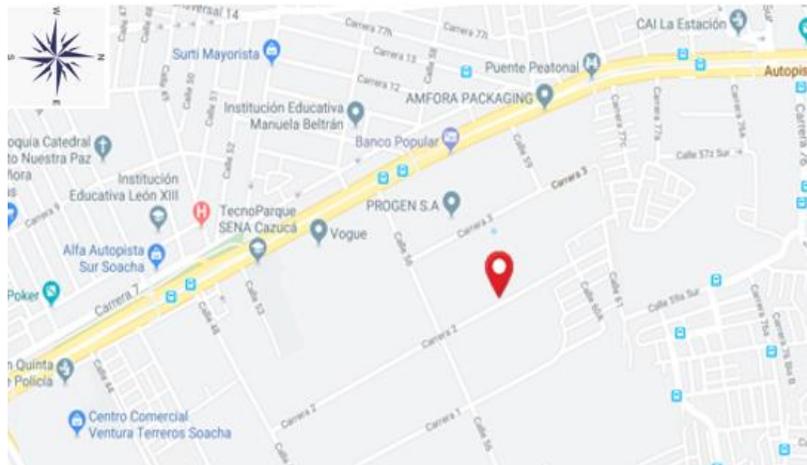
⁸⁹ QUÍMICA GENERAL. Refractómetro » TP - Laboratorio Químico [sitio web]. [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/refractometro.html>

1.8 EMPRESA GREEN FUEL COLOMBIA

Es necesario conocer con mejor detalle y profundidad el proceso productivo y las actividades que se desarrollan habitualmente en la planta de limpieza y tratamiento de grasas y aceites de cocina usados. Posterior a ésta etapa, las empresas Greenfuel Colombia y Vagral, nos suministraron parte de la información histórica de las propiedades salientes en los aceites de cocina usados, antes de su envío a España. Con esa documentación se pudo hacer una comparación de los datos obtenidos por nosotros durante la experimentación.

1.8.1 Proceso empresa Greenfuel Colombia. Antes de describir tratamiento que se hacen a los aceites y grasas por greenfuel colombia, es conveniente hablar un poco sobre la empresa y las funciones que desempeña.

Imagen 3. Ubicación planta de producción Greenfuel Colombia.

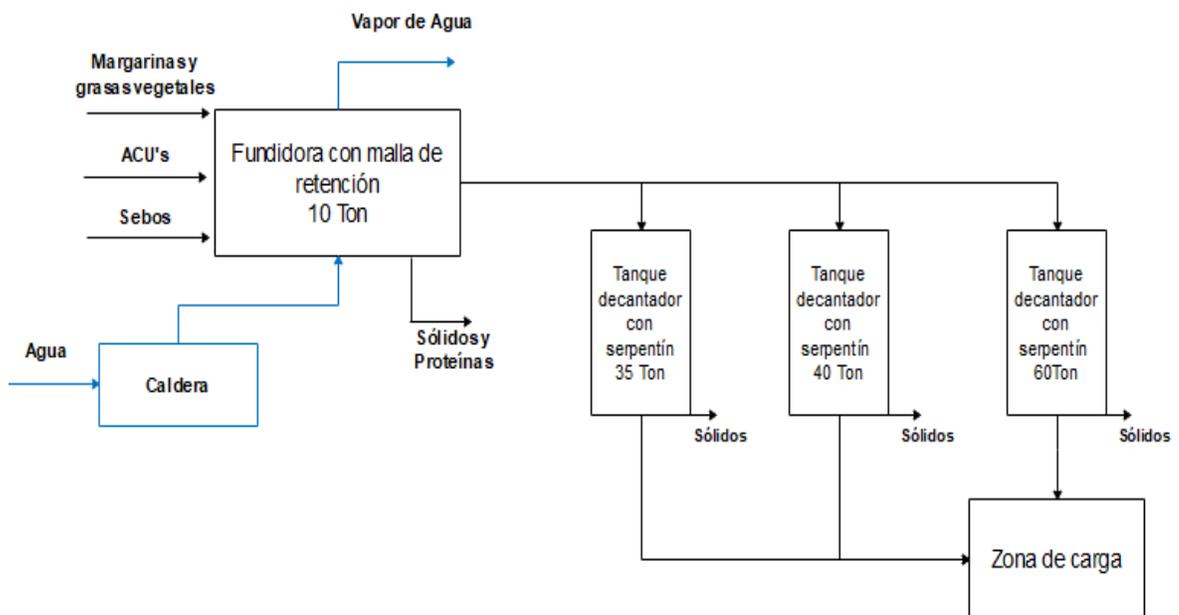


Fuente: Google maps, Google maps. . [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps>

Actualmente, la planta tratamiento está ubicada en el municipio de Soacha (Imagen 3) y cuenta con una capacidad de procesamiento de grasas y aceites de cincuenta (50) toneladas por semana. Al ser Greenfuel, una de las primeras empresas en Colombia encargadas de la recolección y disposición de ACUs y contar con una trayectoria de más de veinte años en esta labor, hoy en día, el proceso de limpieza que se realiza en planta está certificado y supervisado por el *Sello ISCC* y cuenta con el aval de Ministerio de Ambiente; por tal razón, y hablando específicamente de los procesos físicos de separación de contaminantes de los aceites de cocina usados, la empresa tiene gran cuidado en la manipulación de estos residuos y en el transcurso de los años ha experimentado un continuo mejoramiento en cada una de sus actividades. Sin embargo, aún quedan muchos aspectos técnicos, productivos y económicos que se pueden mejorar, como el caso de la capacidad instalada, que en un futuro se debe ampliar e introducir nueva infraestructura.

Por otro lado, GreenFuel Colombia recibe diferentes tipos de aceites y grasas de cocina; bien sea que provienen de diferentes destinos del país o que, en su mayoría suelen venir en mezclas de distintos aceites como aceite de girasol, palma, canola, soya, etc; o en ocasiones vienen acompañadas con trazas de margarinas y sebo, motivo por el cual las propiedades de la materia prima tratada varíen de una carga a otra y sea difícil su estandarización. Otro factor que afecta en gran medida las características al inicio del proceso es que a la empresa llega mercancía con diferente grado de uso, donde unas cargas pueden provenir de vencimientos y otras de residuos de la industria alimenticia que tuvieron uno o más procesos de fritura y cocción.

Diagrama 1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aceites.



Fuente: elaboración propia.

Ampliando lo dicho anteriormente, en el transcurso del mes, se realizan diferentes cargas en la fundidora. Estas cargas pueden ser de aceites vegetales usados, o bien de margarinas y sebo; sin embargo, las cargas se hacen sin mezclar los tres tipos de materias primas, pues al unirlas las propiedades finales del producto se pueden alterar siendo irregulares y necesitar mayor materia prima para su estandarización. De tal forma, en la fundidora se calientan los aceites eliminando así gran porcentaje de humedad (el cual aumenta el deterioro de las grasas y aceites) y gracias a que este equipo cuenta con una malla de retención, se logran filtrar partículas y sólidos grandes que son necesarios retirar de la operación, ya que por las altas temperaturas que se mantienen en la fundidora, los sólidos presentes podrían ocasionar reacciones indeseadas con la materia prima o promover su oxidación.

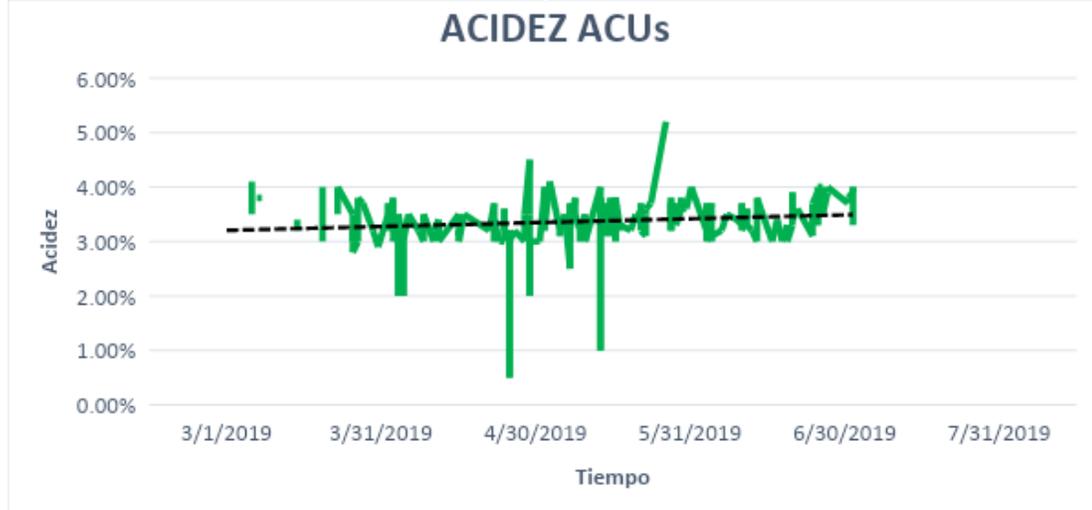
Una vez el aceite o grasa en tratamiento ha cumplido el tiempo de retención en la fundidora, es bombeado a alguno de los 3 tanques de almacenamiento. Estos tanques cuentan con calentamiento por medio de un serpentín, que garantiza una temperatura adecuada para que no se formen grumos ni se solidifique el producto que en ellos se almacena. También, los tanques de almacenamiento funcionan como decantadores, permitiendo que las partículas suspendidas que no pudieron ser retiradas en la malla se depositen en el fondo del tanque, permitiendo que el producto final tenga menor porcentaje de éstas impurezas.

Normalmente, cuando se ha logrado procesar algo menos de doscientas toneladas, y la capacidad de los tanques de alcanzado su límite se realiza el proceso de descarga y despacho por medio de carro tanques; terminando así el tratamiento y limpieza que se realiza en planta.

1.8.2 Información histórica. Puesto que GreenFuel Colombia aún no cuenta con un proceso sistematizado y que su interés empresarial en la actualidad es la limpieza y despacho de ACUs a su sede en España, no se mantienen datos antiguos sobre las calidades de su producto final, ni tampoco de amplias propiedades que estos poseían. No obstante, con la ayuda de los ingenieros y trabajadores de la planta, se logró obtener algunos datos desde el pasado mes de marzo del 2019; siendo esta información vital para el desarrollo de la investigación en curso, pues nos permitió tener un punto de comparación en nuestra experimentación, concretamente en el cumplimiento del primer objetivo. Las gráficas mostradas a continuación son datos históricos de la empresa desde el mes de marzo del 2019 hasta julio del 2019.

En la Gráfica 3 se observa que la acidez del aceite tratado por la empresa no sobrepasa el 5%, teniendo en cuenta que el comportamiento durante esos meses no presentan cambios significativos se determinó y se realizara un análisis de las muestras tomadas para corroborar que la acidez en las muestras no sea mayor al 5% de ácido oleico y cumpla con los parámetros establecidos mencionados en la Tabla 23.

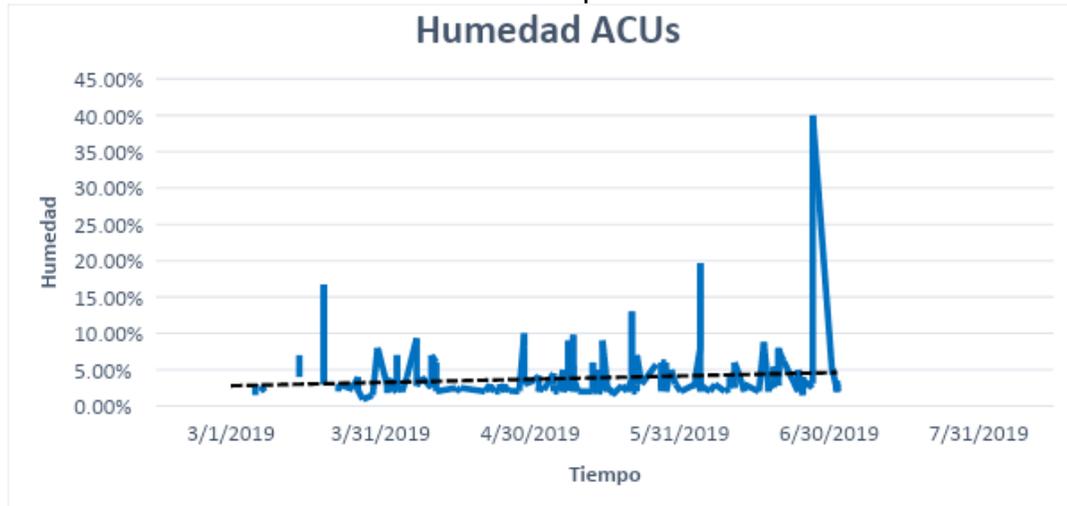
Gráfica 3. Datos históricos de acidez para aceites de cocina usados



Fuente: elaboración propia.

Para la Gráfica 4, la humedad presente en aceite tratado, se observó que durante el tiempo de registro los datos se mantenían en su mayoría un intervalo menor al 15%, esto se debe a que el residuo que llega a la empresa contiene una gran parte de agua debido a que disposición que los usuarios le están empleando y sustancias no alcanzan a evaporarse en la etapa de calentamiento del aceite.

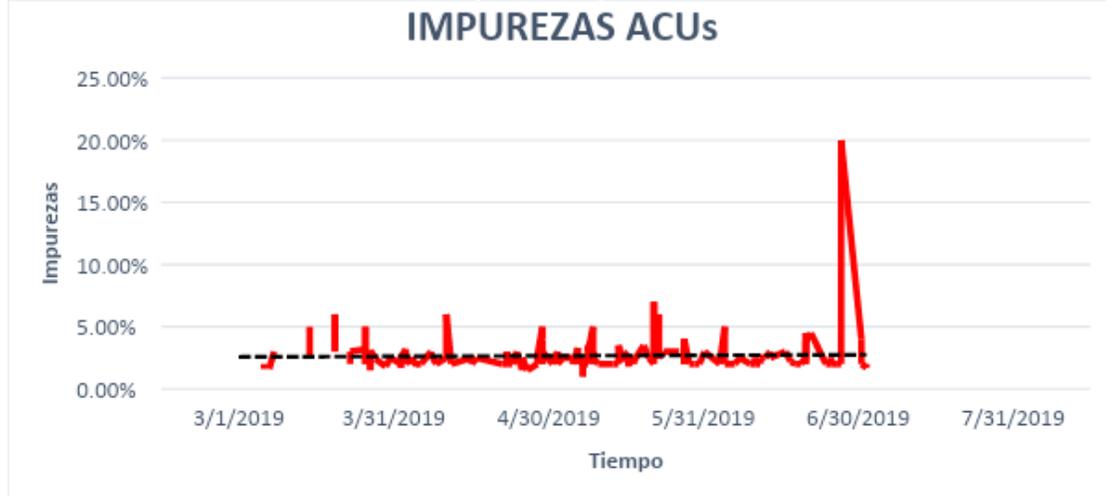
Gráfica 4. Datos históricos de humedad para aceites de cocina usados



Fuente: elaboración propia.

La impureza se observa en la Gráfica 5 que en promedio se encuentran por debajo del 10%, lo cual nos permite identificar que los compuestos que se encuentran dentro del aceite son partículas finas que se filtran por las mallas presentes en la fundidora, también depende de la disposición que el usuario y el alimento que se preparó.

Gráfica 5. Datos históricos de impurezas para aceites de cocina usados



Fuente: elaboración propia.

La humedad es una propiedad que está ligada al contenido de impurezas que se presentan en el aceite, donde se observa que los días con mayor cantidad de humedad (Gráfica 4) presentan mayor cantidad de impurezas (Gráfica 5).

2. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE ACUS

En el transcurso de este capítulo, se evidenciará el paso a paso que se realizó para el cumplimiento del primer objetivo planteado en el anteproyecto. Para poder realizar la caracterización de los aceites usados, fue necesario hacer una investigación meticulosa del tipo de muestreo y de cómo llevarlo a cabo; pues de este paso dependía en gran medida la selección del producto a obtener, por lo que el muestreo debía ser bastante bueno para asegurar que los resultados fueran los correctos.

Finalmente, se realizó la caracterización de los aceites, teniendo en cuenta la metodología propuesta para el proyecto. Los resultados y la profundización de cada una de las actividades hechas se evidencian a continuación.

2.1 MUESTREO

Para realizar la caracterización de los ACUs tratados por la empresa Greenfuel Colombia y garantizar que las condiciones se encuentren en los rangos establecidos, se tuvo presente las diversas técnicas de muestreo, optando el que mayor se acople para el desarrollo de este proyecto y ratificar que el producto final cumple con los parámetros para la producción de biodiesel en España y así mismo tener presente estos indicadores para la selección del producto a elaborar.

La empresa se encarga de realizar un control de calidad de acidez, humedad e impurezas del aceite, los cuales muestran la variación de las condiciones en los últimos meses para acidez e impurezas. Según la Tabla 23 indica las condiciones de exportación, garantizando que la materia prima tratada se encuentre siempre en las mejores condiciones.

Tabla 23. Parámetros de calidad para exportar aceites de cocina usados

Acidez	5.0 max % ácido oleico
Impurezas	2.0 max %
Densidad	0,92 max g/cc a 20°C

Fuente: elaboración propia.

Para seleccionar el tipo de muestreo que se desarrolló durante este proyecto, se tuvo en cuenta la complejidad (muestreo simple y muestreo complejo) y la forma de selección (muestreo probabilístico y no probabilístico). El muestreo probabilístico es aquel que permite conocer la probabilidad de cada individuo, incluyendo una muestra a través de una selección al azar; el muestreo no probabilístico estudia los individuos que dependen de características que los investigadores consideren en el momento, este tipo de muestras no se ajustan a un fundamento probabilístico, es

decir no tiene una tendencia por tanto no se puede extrapolar o realizar una inferencia estadística⁹⁰.

El muestreo implementado es de tipo probabilístico debido a que se ajusta para asegurar una muestra representativa, los resultados se interpretan de forma general, además se puede asegurar las muestras no sesgadas y se permite el cálculo de un error ocasional durante el muestreo y asimismo se puede realizar inferencias estadísticas a los resultados⁹¹.

Con base a la selección del tipo de muestreo, se prosigue en el grado de complejidad de este, seleccionando como mejor alternativa un muestreo aleatorio simple, debido a que los parámetros de la calidad de exportación se encuentran por debajo del rango establecido como se muestra en la tabla anterior. Toda la población puede hacer parte de la muestra gracias a que las variaciones no son extremadas. Esto nos indica que la probabilidad en la selección de una muestra es independiente a la probabilidad que tienen las demás muestras que hacen parte de la población general⁹².

Para este caso, se seleccionaron seis muestras tomadas en un lapso de dos meses evaluando el día de carga y descarga de la muestra para valorar las condiciones en las que se encuentra la muestra (Imagen 4). Con base a los datos obtenidos por la caracterización y teniendo presente los datos históricos, se realizó una comparación entre ellos para seleccionar una muestra representativa que cumpla con las condiciones establecidos por la empresa. El volumen de la muestra seleccionada es de dos litros, debido a que no se requiere cantidades mayores a 200 mililitros para la caracterización, en cuanto a lo restante se utilizó para la elaboración del producto y sus correspondientes ensayos y repeticiones.

Imagen 4. Muestreo realizado entre junio y julio



Fuente: Elaboración propia.

⁹⁰ OTZEN, Tamara; MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. En: Revista SCIELO. vol. 35, no. 1

⁹¹ KLEEBERG HIDALGO, Fernando; RAMOS RAMIREZ, Julio Cesar. Aplicación de las técnicas de muestreo en los negocios y la industria. Universidad de Lima, 2009.

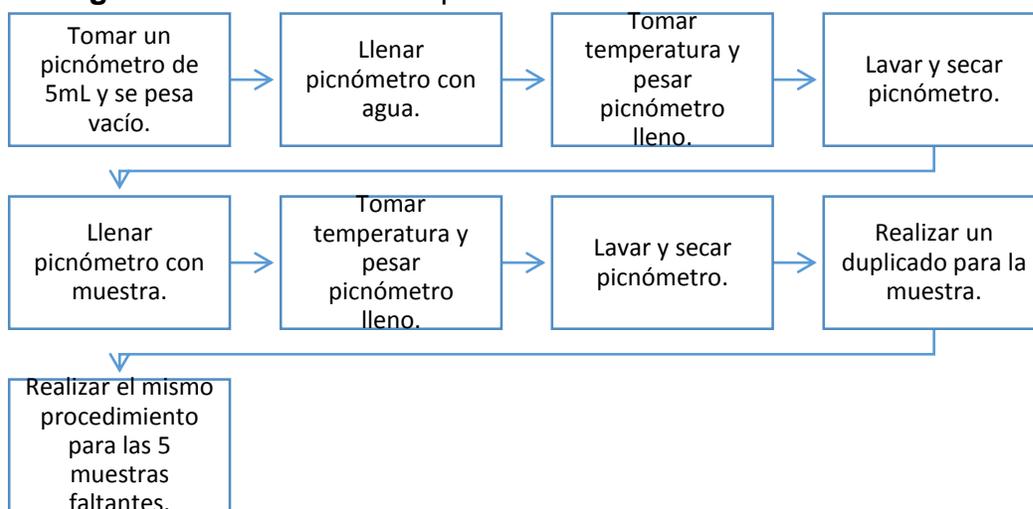
⁹² OTZEN, Tamara; MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. En: Revista SCIELO. vol. 35, no. 1

2.2 CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

En la caracterización de los Aceites de Cocina Usados seleccionados se consideraron pruebas físicas y químicas para determinar las condiciones en las que se encuentra el aceite después de su tratamiento y así valorar las pruebas de mayor impacto en la elaboración del producto ya sea el aceite epoxidado, jabones industriales o ceras; siempre y cuando cumpla con los parámetros de calidad de aceites.

2.2.1 Determinación de densidad. Durante el proceso de determinación de densidad en los aceites muestra se realizó el ensayo con base a la *NTC 336 Grasas y aceites animales y vegetales, Método de la determinación de la densidad (Masa por volumen convencional)*; Para este ensayo se hizo uso de un picnómetro de *Gay-Lussac* previamente limpio y seco con un volumen de 5 mL aproximadamente y conociendo su peso vacío⁹³. En el Diagrama 2 se evidencia el procedimiento implementado para esta prueba.

Diagrama 2. Procedimiento para determinación de densidad.

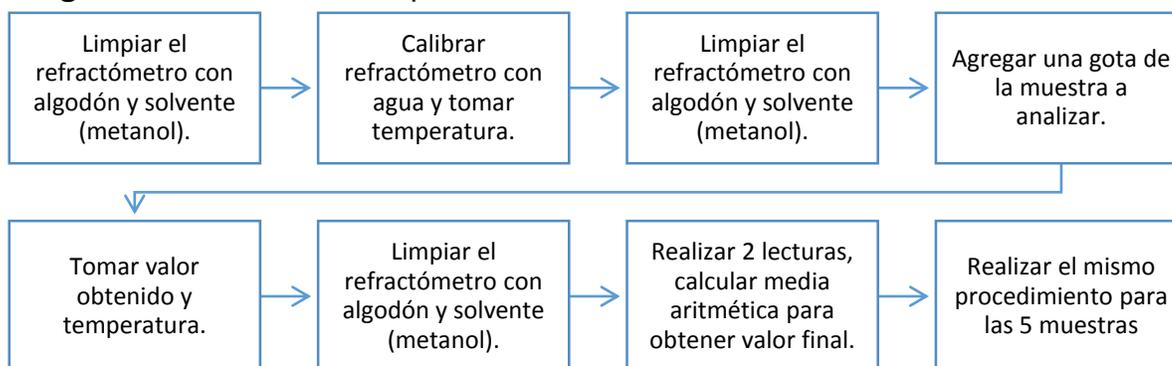


Fuente: elaboración propia.

⁹³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional), NTC 336.[en línea]. Bogotá:2016, p. 11

2.2.2 Determinación de índice de refracción. La determinación de índice de refracción se realiza de acuerdo a la *NTC 289 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de refracción*; Este ensayo varía su medición con respecto al equipo requerido y a las instrucciones establecidas por el fabricante⁹⁴. A continuación de evidencia el procedimiento para determinar el índice de refracción en el Diagrama 3.

Diagrama 3. Procedimiento para determinación de índice de refracción



Fuente: elaboración propia.

2.2.3 Determinación de índice de yodo. Los aceites usados contienen una variedad de compuestos insaturados presentes por las alteraciones de la fritura de alimentos, para este ensayo que se cuantifica el grado de insaturaciones en las muestras seleccionadas, el procedimiento se realiza con apoyo de la *NTC 283 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de yodo*⁹⁵. El paso a paso se encuentra en el Diagrama 4.

Para esta prueba se realizaron las siguientes diluciones:

Solución volumétrica de Tiosulfato de sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0,1 mol/L, que no contenga más de 7 días estandarizada.

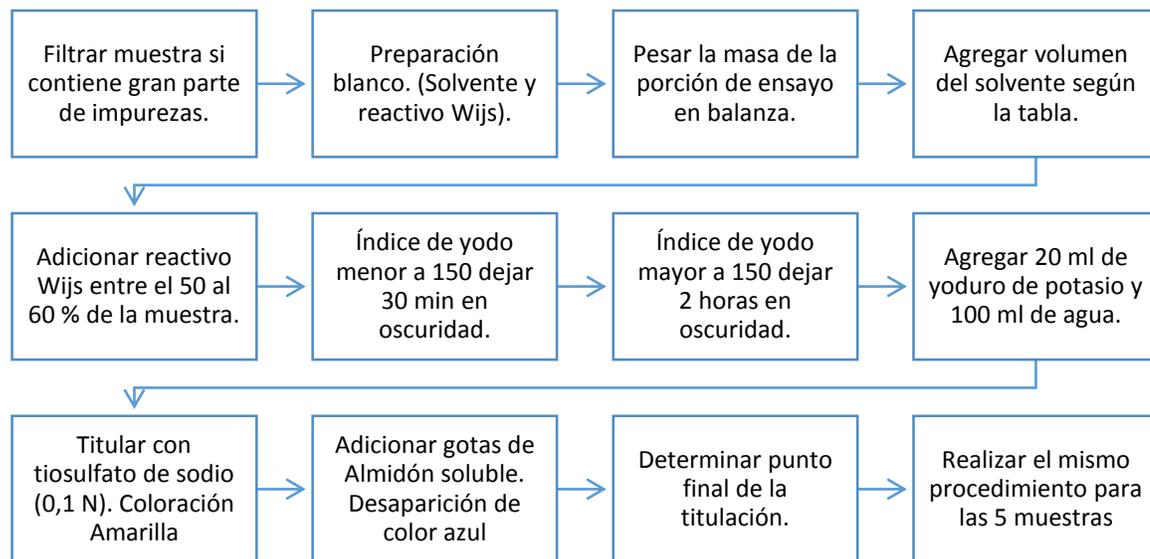
Solución de almidón, se realizó con una relación 1:100 con respecto a agua destilada, la solución se calentó por 5 minutos, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Solución de Yoduro de potasio (KI) al 15%, tener presente que no contenga yodato ni yodo libre. Esta solución se realizó el día de la prueba para mayor efectividad.

⁹⁴INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de refracción, NTC 289. Bogotá.:2019. 8 p

⁹⁵INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

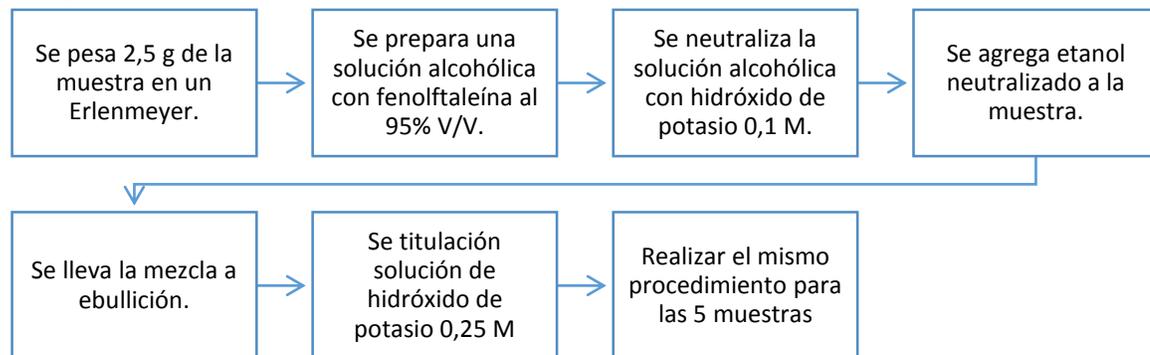
Diagrama 4. Procedimiento para determinación de índice de yodo



Fuente: elaboración propia.

2.2.4 Determinación de índice de acidez. Los aceites de cocina usados presentan ácidos grasos libres generados en el proceso de cocción o descomposición del aceite, para esta prueba se calculó la cantidad de hidróxido de potasio necesaria para neutralizar los ácidos grasos presentes en un gramo de aceite. La prueba se desarrolló con base a la NTC 218 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de acidez y de la acidez⁹⁶. El procedimiento se encuentra en el Diagrama 5.

Diagrama 5. Proceso para determinación de índice e acidez y acidez.



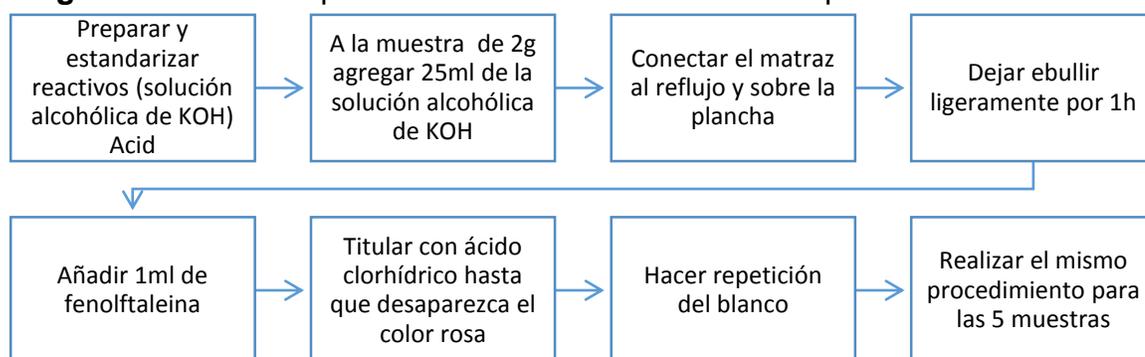
Fuente: elaboración propia.

⁹⁶INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

2.2.5 Determinación de acidez. La prueba para determinación de acidez está relacionada con la determinación de índice de acidez, debido a que presenta el mismo procedimiento descrito anteriormente. La diferencia radica en la determinación de la cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite. La prueba se efectuó con la normal *NTC 218 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de acidez y de la acidez*⁹⁷. Se utiliza el mismo procedimiento que se muestra en el Diagrama 5.

2.2.6 Determinación de índice de saponificación. Los aceites usados contienen una gran parte de triglicéridos, los cuales al mezclarse con una base álcali produce glicerina y jabón. El principio de este ensayo se encarga de saponificar en su totalidad la muestra seleccionada, por medio de una solución alcohólica de hidróxido de potasio, valorándolo con una solución alcalina con ácido clorhídrico. Esta prueba se llevó a cabo con la ayuda de la norma *NTC 335 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de saponificación*⁹⁸. El proceso para esta prueba se encuentra en el Diagrama 6.

Diagrama 6. Proceso para determinación del índice de saponificación



Fuente: elaboración propia.

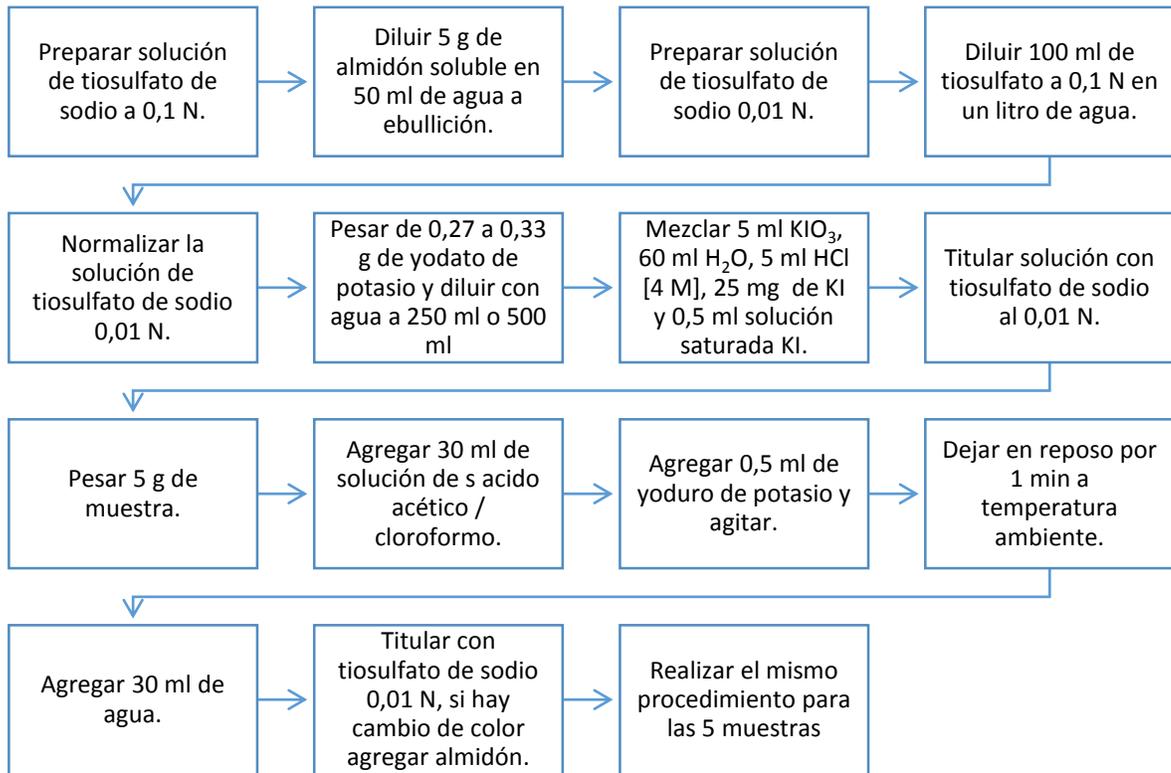
2.2.7 Determinación de índice de peróxido. La presencia de oxígeno en exceso presente en los aceites usados, permite compara la presencia de oxígenos derivados de los ácidos grasos generados durante las reacciones que ocurren en el proceso de fritura. El objetivo es identificar los miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de muestra. Esta prueba se realizó con base a la norma *NTC 236 Grasas y aceites animales y vegetales, Determinación del índice de peróxidos*⁹⁹. El procedimiento se muestra en el Diagrama 7.

⁹⁷INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

⁹⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de saponificación, NTC 335.:2019, 12 p

⁹⁹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de peróxido, NTC 236.:2011, 13 p

Diagrama 7. Procedimiento para determinación de índice de peróxidos.

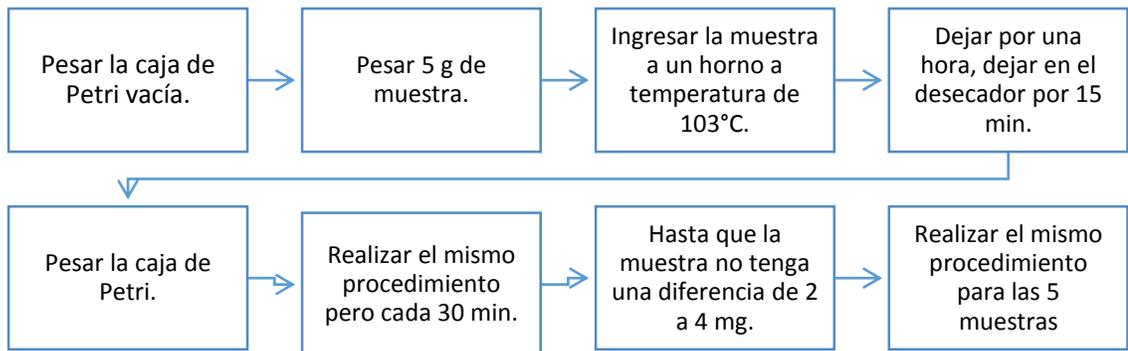


Fuente: elaboración propia.

2.2.8 Determinación de contenido humedad y compuestos volátiles. El aceite usado presenta contenido de humedad muy variable, debido a que hay alimentos que contiene agua en diferentes proporciones y durante la cocción el agua se remueve al aceite, además presentan compuestos que se evaporan a altas temperaturas y otras que se retiene en una interface. Para la identificación de humedad y compuestos volátiles se implementó la *NTC 287 Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil*¹⁰⁰. A continuación, se muestra el proceso para determinar la humedad y compuestos volátiles en el Diagrama 8.

¹⁰⁰ ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas. GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA VOLÁTIL. En: ICONTEC - INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Ago 22, .no. NTC 287:2018, p. 10

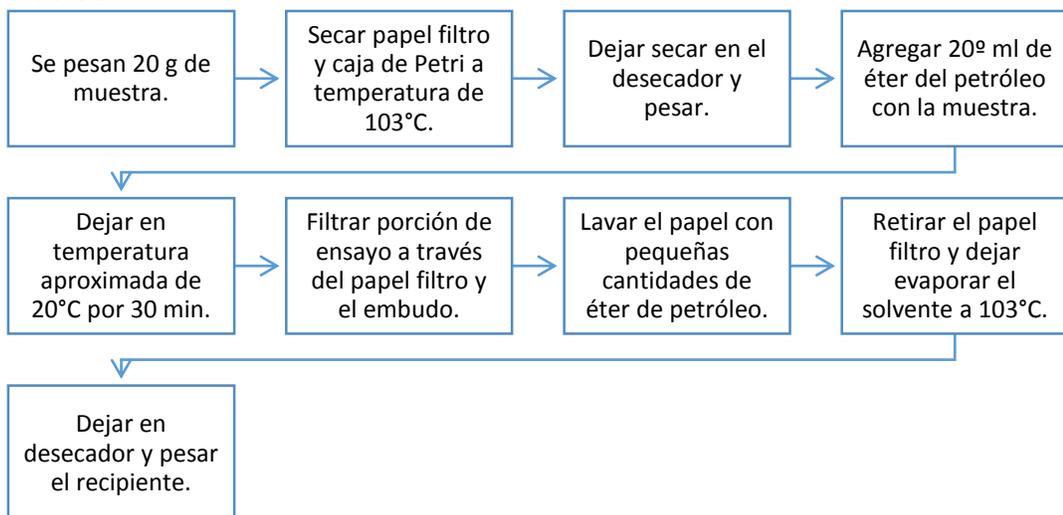
Diagrama 8. Procedimiento para determinación de la humedad y materia volátil



Fuente: elaboración propia.

2.2.9 Determinación de contenido de impurezas insolubles. El aceite adquiere impurezas miscibles e inmiscibles en el proceso de fritura, las pueden afectar el medio ambiente, para este caso se debe retirar por completo o en su mayoría el contenido de estas impurezas. Se ejecutó esta prueba por medio de la *NTC 240 Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de impurezas insolubles*¹⁰¹. El paso a paso se muestra en el Diagrama 9.

Diagrama 9. Procedimiento para determinación de contenido de impurezas insolubles



Fuente: elaboración propia.

¹⁰¹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

3. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN

Con base en las pruebas realizadas para la caracterización, se determinó la variación que presenta el aceite de cocina usado en las diferentes pruebas, donde se determinaron pruebas físicas y químicas. Para el caso de las pruebas físicas como densidad, índice refracción, impurezas insolubles y humedad y compuestos volátiles se determinaron a nivel general no presentan diversificación entre los datos, debido a que los diferentes tipos de aceites presentan características similares y sus cambios con respecto a un aceite limpio varían en menor proporción, a excepción del cambio de color y el olor que se presenta, esto ocurre debido a los cambios de temperatura y alteración mediante las reacciones que se presentan en la fritura.

En el caso de los ensayos de caracterización química, la variación de datos es afectada por la diversidad de aceites recolectados, ya que presentan una gran variedad de aceites provenientes de semillas con diferentes composiciones, además por las reacciones que ocurren durante el proceso de cocción y las condiciones extremas a las que son sometidos estos, presentando modificaciones en las cadenas carbonadas generando mayor insaturación y ácidos grasos libres. Para este caso se realizaron las pruebas de índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de yodo y acidez, donde se determinó las condiciones en las que se encuentra el aceite y observando la variación que ocurre en las diferentes tomas de muestras.

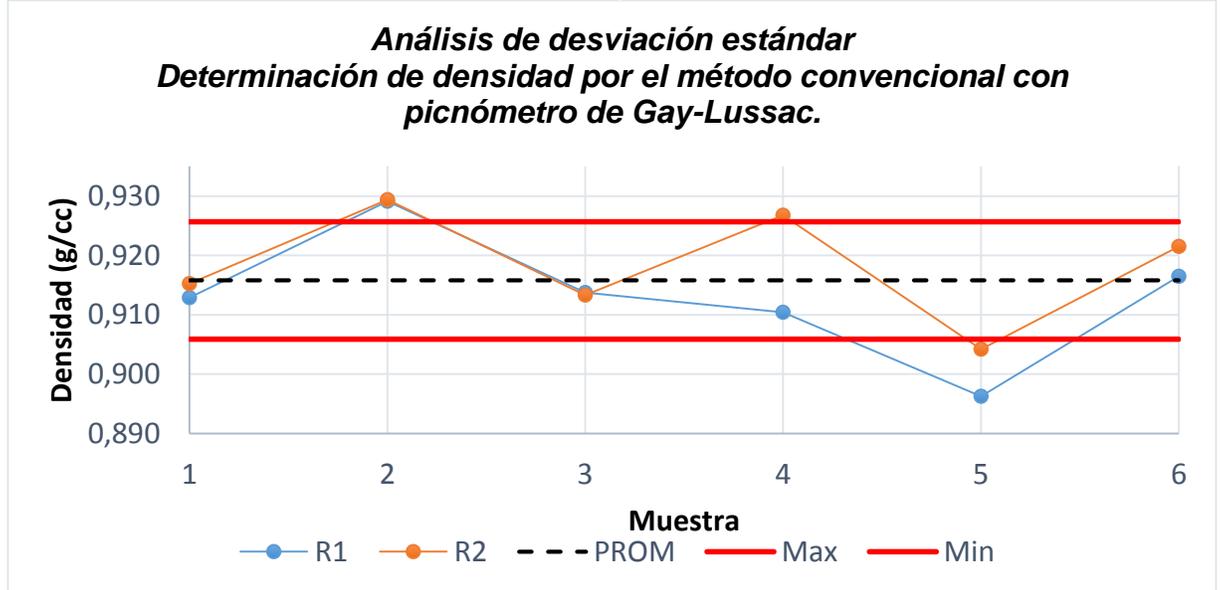
Para el análisis que se realizó en cada prueba de ensayo se presentan dos tipos de diagramas donde muestra detalladamente la distribución de los datos, en el primer diagrama se puede identificar las repeticiones, el valor promedio general de las muestras y un rango establecido a partir de la desviación estándar calculada. Para la segunda gráfica se evidencia un diagrama de boxplot para identificar la asimetría de los datos y los datos atípicos de cada prueba.

3.1 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD

La densidad es una propiedad que varía de acuerdo al tipo de aceite, en este caso el aceite analizado es una mezcla compuesta por diferentes tipos de aceites que han pasado por un proceso de calentamiento. Esta prueba se realizó a condiciones ambientales, a una temperatura de 20 °C.

Se evidencio en la Gráfica 6 que los valores obtenido en las 6 muestras con su repetición se encuentran en un promedio general de 0,9158 g/cc, comparando con el valor límite que reporta la empresa en la Tabla 23 es de 0,92 g/cc. De acuerdo a estos datos se determinó que este aceite es apto para ser implementado a nivel industrial. En cuanto a la dispersión que presentan los datos se obtuvo una desviación estándar de 0,0099 g/cc por lo que se determinó que los datos obtenidos son homogéneos.

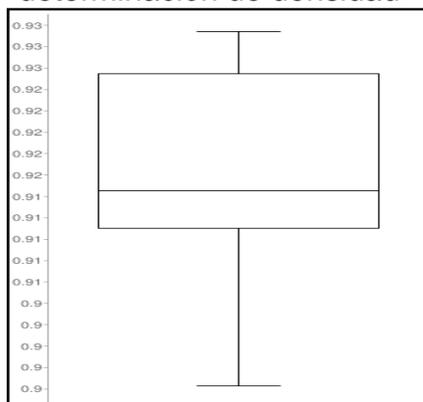
Gráfica 6. Análisis de desviación estándar para determinación de densidad



Fuente: elaboración propia.

En el Diagrama 10 se observa la distribución de los datos, lo cual presenta una asimetría positiva, donde se observa que la concentración de los datos obtenidos se encuentran por debajo de la mediana, que en este caso es de 0,9145 g/cc; en cuanto al rango de los datos el valor mínimo se encuentra a 0,896 g/cc y el valor máximo es de 0,929 g/cc, lo cual nos indica que los datos se encuentran concentrados y el rango intercuartil el cual es de 0,015 g/cc no indica que no presentan variabilidad debido a la longitud que presenta la caja.

Diagrama 10. Boxplot para determinación de densidad

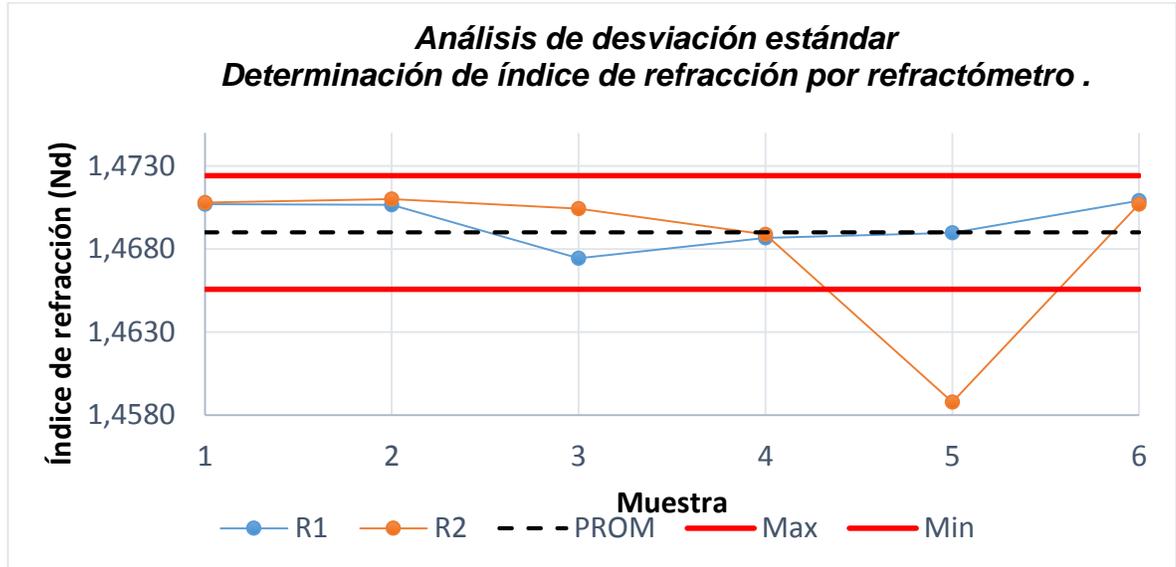


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.2 DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN

La determinación del índice de refracción es una propiedad física por la cual se identificó la pureza del aceite a una temperatura de referencia de 20 °C, Como se observa en la Gráfica 7 se presentó una mayor homogeneidad en los datos debido a que la desviación estándar obtenida fue de 0,0034 nd con un promedio general de las 6 muestras con su respectivo duplicado de 1,4690 nd. Debido a su concentración de los datos se puede observar que en la muestra 5 en la repetición 2 presenta un dato con una alta variación, la cual se explicara detalladamente en el siguiente diagrama.

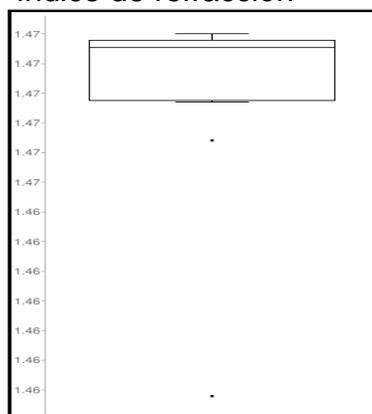
Gráfica 7. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de refracción.



Fuente: elaboración propia.

Para el Diagrama 11 se presentó una asimetría negativa, donde se observa que la concentración de los datos se encuentra por encima de la mediana que fue de 1,4705 nd; se presenta un valor mínimo del diagrama de 1,4588 nd y un valor máximo de 1,4710 nd y un rango intercuartil que presenta el 50% de los datos concentrados el cual es de 0,0020 g/cc; en este caso debido que la prueba requiere de mayor exactitud ya que nos proporciona cuatro cifras decimales, la variabilidad depende de un error de instrumento por el cambio de temperatura o ya sea un error humano al no realizar una buena limpieza, se presentan dos datos atípicos, los cuales son datos que están ubicados fuera del diagrama global, estos datos atípicos son de 1,4588 nd y 1,4674

Diagrama 11. Boxplot para determinación del índice de refracción

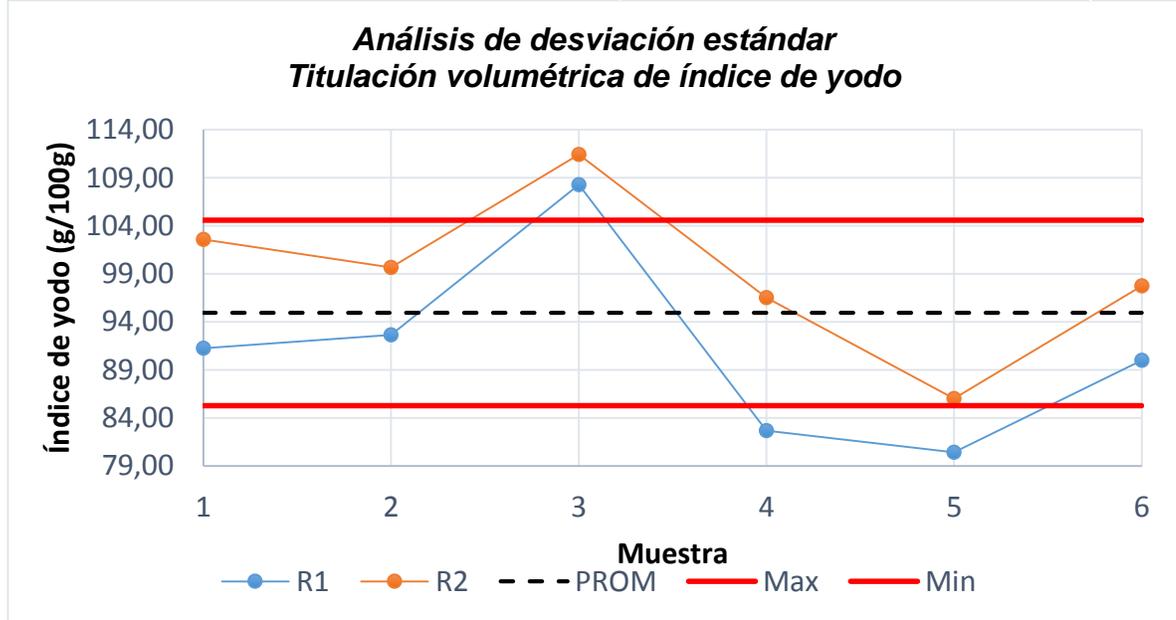


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO

Las instauraciones presentes en el aceite se identificaron por medio del índice de yodo, donde se idéntico que el aceite usado por medio a las reacciones presentadas durante la cocción de los alimentos aumenta el grado de insaturaciones comparas con respecto a un aceite limpio. Como se observa en la Gráfica 8 el promedio general para las 6 muestras con su réplica fue de 94,9397 g/100 g de grasa y los datos obtenidos en este ensayo presentan una dispersión alta, con una desviación estándar de 9,6527 g/100 g de grasa, esto se presentó por los diferentes tipos de aceites mezclados durante la recolección ya que la disposición de los usuarios es diferente durante su uso.

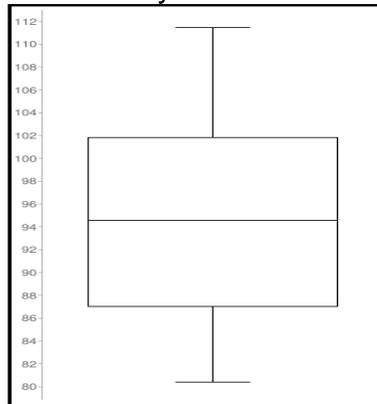
Gráfica 8. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de yodo



Fuente: elaboración propia.

En la Diagrama 12 se observó que presenta una asimetría positiva leve, debido a que el valor obtenido de la media y la mediana son muy cercano pero en este caso el valor de la media es mayor, lo cual muestra que la mayor concentración de datos se encuentra por debajo de la mediana con un valor de 94,5879 g/100 g de grasa. Por otro lado, los datos que se encuentran dentro del rango intercuartil el cual es de 14,8129 g/100g de grasa, nos muestra que en el 50% de los datos presenta una variabilidad entre ellos, esto se debe a que los aceites que se recolectan se encuentran en diferentes condiciones y además provienen de diversos tipos de aceites, donde se puede encontrar aceites con mayor cantidad de enlaces dobles u otros con menor insaturaciones. En cuanto al valor mínimo que fue de 80.42 g/100g de grasa y el valor máximo que es de 111.43 g/100g de grasa se observa que los datos presentan gran dispersión.

Diagrama 12. Boxplot para determinación del índice de yodo.



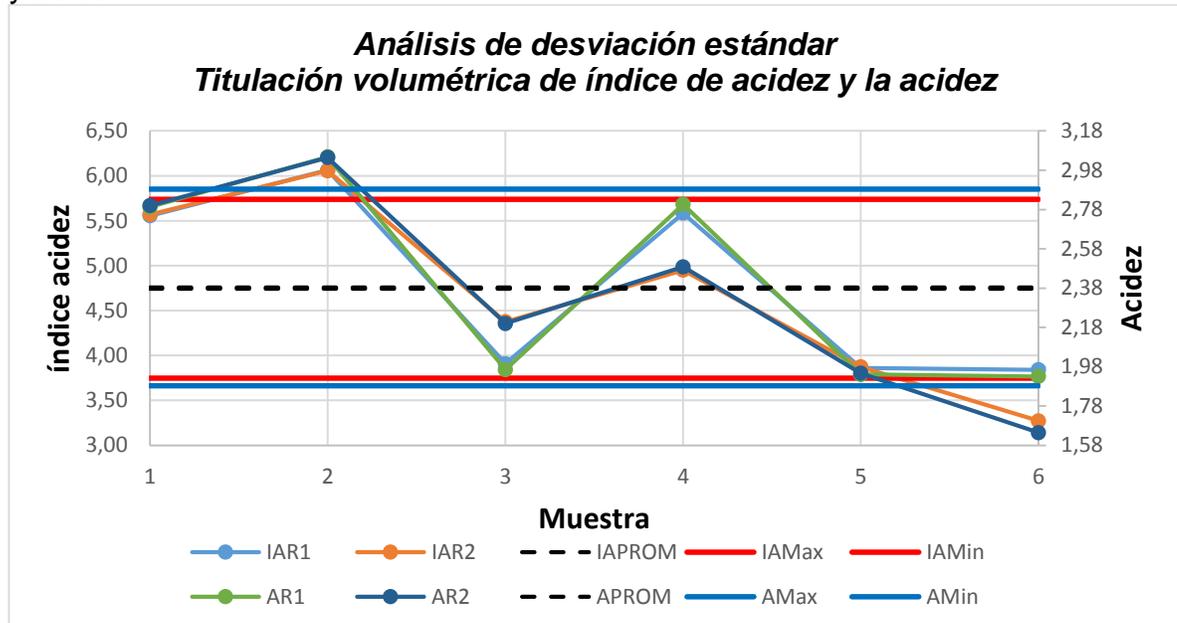
Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.4 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ Y ACIDEZ

La acidez es un factor primordial del aceite, ya que nos garantiza determinar las condiciones en las que se encuentra y que tan dañado o pasado se encuentra. Durante este tipo de ensayo se determinó la cantidad de ácidos grasos con respecto al ácido oleico y la cantidad de ácidos grasos libres presentes en un gramo de aceite, debido a que el índice de acidez y la acidez son medidas diferentes presentaron la misma tendencia durante los resultados por este motivo se determinó realizar un análisis de las dos pruebas. De acuerdo a la Gráfica 9, se evidencio que los cambios en los resultados son mínimos con respecto a las dos medidas.

Para el caso del índice de acidez el valor promedio de los datos fue de 4,7426 con una desviación estándar de 0,9954, dado estos resultados se observó que los datos no presentan tan dispersión y se consideró una muestra homogénea a medida del tiempo. En el caso de la prueba de acidez se determinó un promedio de 2,3840 % con respecto al ácido oleico con una desviación estándar de 0,5 % lo cual nos garantizó una muestra homogénea.

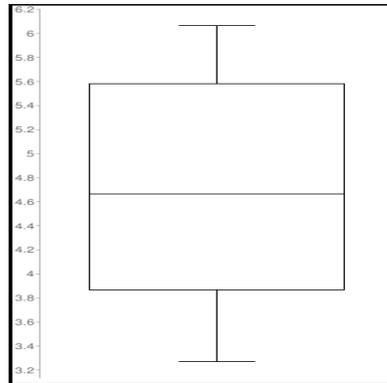
Gráfica 9. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de acidez y acidez



Fuente: elaboración propia.

En la Diagrama 13, se observó la dispersión de los datos para el índice de acidez, donde se presentó una asimetría positiva, lo cual corresponde a una presencia de datos con mayor concentración por debajo de la mediana que fue de 4,6626 %, de acuerdo al rango intercuartil el cual fue de 1,71% se determinó no presentan variabilidad en esta prueba, con respecto al valor mínimo el cual fue de 3,27% y el valor máximo de 6,06% se observa que la concentración de los datos es grande ya que no presentan mayor diferencia entre ellos.

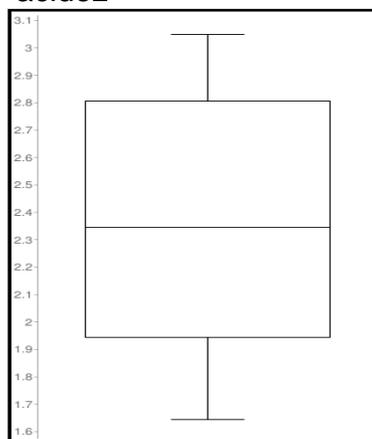
Diagrama 13. Boxplot para determinación del índice de acidez



Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

Según el Diagrama 14, se presentó del mismo modo como en la prueba de índice de acidez, una asimetría positiva lo cual nos indica la mayor presencia de datos por debajo de la mediana la cual fue de 2,3437 %, como se observó esta prueba está relacionada con el índice de acidez debido a que se encarga de determinar la degradación del aceite, en este caso el rango intercuartil es de 2,8% lo cual nos garantiza que la variabilidad de los datos es menor y con respecto a los límites obtenidos los cuales fueron el menor es de 1,6% y el mayor de 3,04% se pueden inferir que los datos obtenidos no presentan mayor dispersión por este motivo se determina que la muestra al tener diferentes tipos de aceites degradados no sobrepasa más de lo permitido según lo indica la Tabla 23.

Diagrama 14. Boxplot para determinación de la acidez

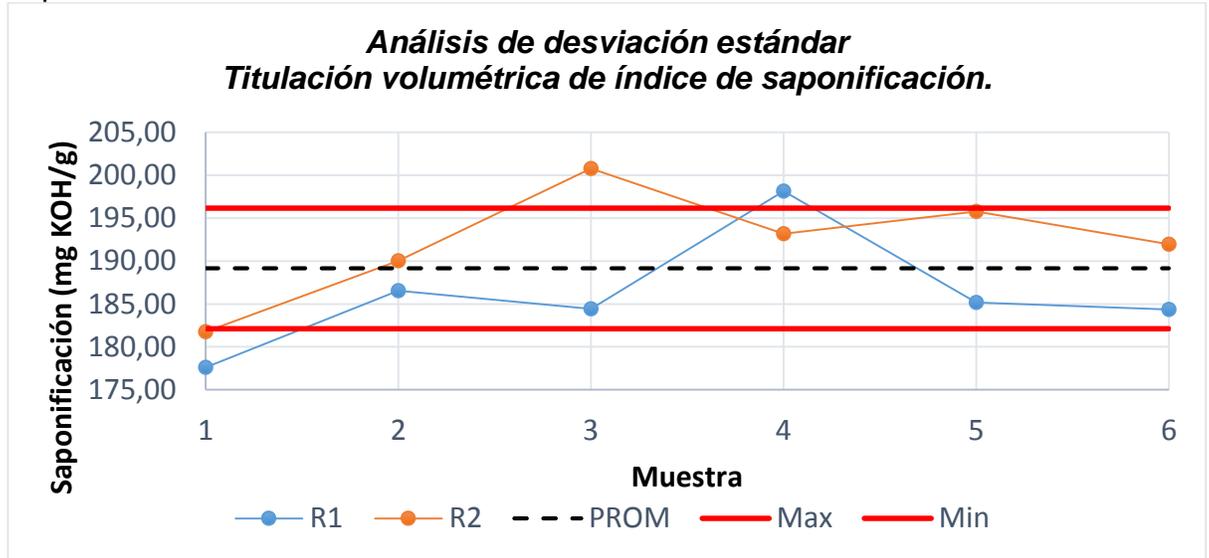


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en:
<http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>
/

3.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

El índice de saponificación es una medida que nos permite determinar la cantidad de aceite que se requiere para saponificar con ayuda de una solución alcohólica de hidróxido de potasio, esta medida nos permite identificar de forma indirecta la presencia de ácidos grasos presentes en la muestra, ya que esta medida nos relaciona que, a menor índice de saponificación, mayor longitud de cadenas carbonadas con ácidos grasos libres presentes en la molécula. Para esta prueba se observó en la Gráfica 10 que el promedio de las muestras seleccionadas se encuentran en a 189,14 mg KOH/g con una desviación estándar de 7,0157 mg KOH/g lo cual nos permite identificar que la dispersión de los datos varía debido a la composición que presenta cada muestra.

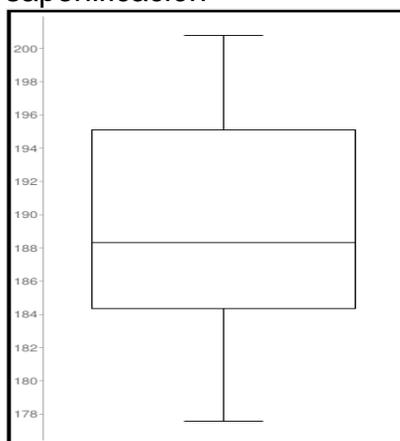
Gráfica 10. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de saponificación



Fuente: elaboración propia.

En el Diagrama 15 se observa que presentan una asimetría positiva lo cual nos permite identificar que la mayor concentración de los datos se encuentra por debajo de la mediana la cual es de 188,295 mg KOH/g, de acuerdo al rango intercuartil el cual fue de 10,76 mg KOH/g se identificó que la variabilidad de los datos es mayor debió a los ácidos grasos varían en la muestra.

Diagrama 15. Boxplot para determinación del índice de saponificación

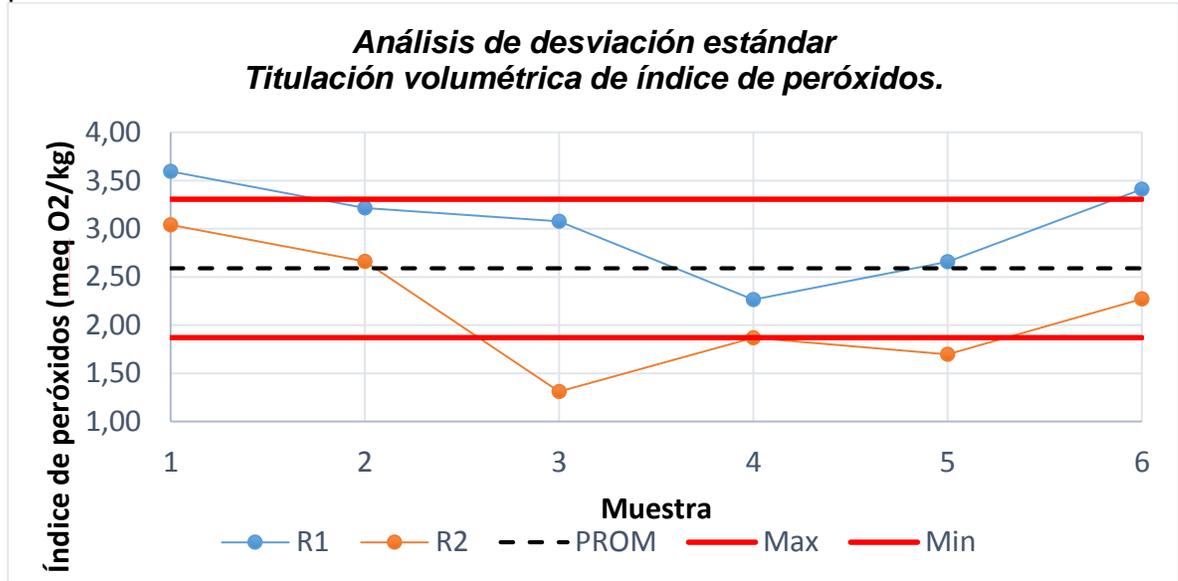


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en:
<http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDOS

La presencia de oxígenos activos en el aceite permite identificar el grado de oxidación primaria ya sea por las condiciones a las que sometió la muestra o a la interacción con otros compuestos que aceleran este proceso, el índice de peróxidos nos permitió identificar la presencia de oxígenos activos, el cual es clave para la elaboración del producto de aceites epoxidados, a mayor cantidad de peróxidos mayor es la posibilidad de obtener el enlace oxirano. En la Gráfica 11 se observó la dispersión de los datos por medio de la desviación estándar 0,7186 meq O₂ / kg y un promedio general de las muestras de 2,5890 meq O₂ / kg. Este perfil de peróxidos da un visto bueno para elaborar la alternativa de aceites epoxidados.

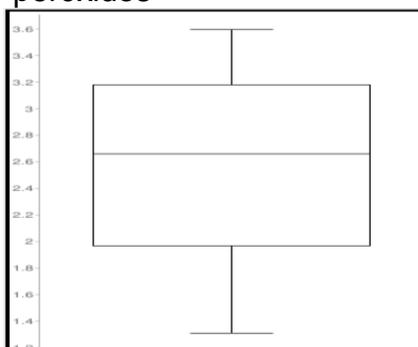
Gráfica 11. Análisis de desviación estándar para determinación del índice de peróxidos



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente Diagrama 16 se evidenció una asimetría negativa, lo cual indica que la concentración de datos se encuentran por encima de la mediana que es de 2,6592 meq O₂ / kg por consiguiente se evidencia que el valor de peróxidos es mayor a la mediana y la muestra obtenida se considera homogénea.

Diagrama 16. Boxplot para determinación del índice de peróxidos

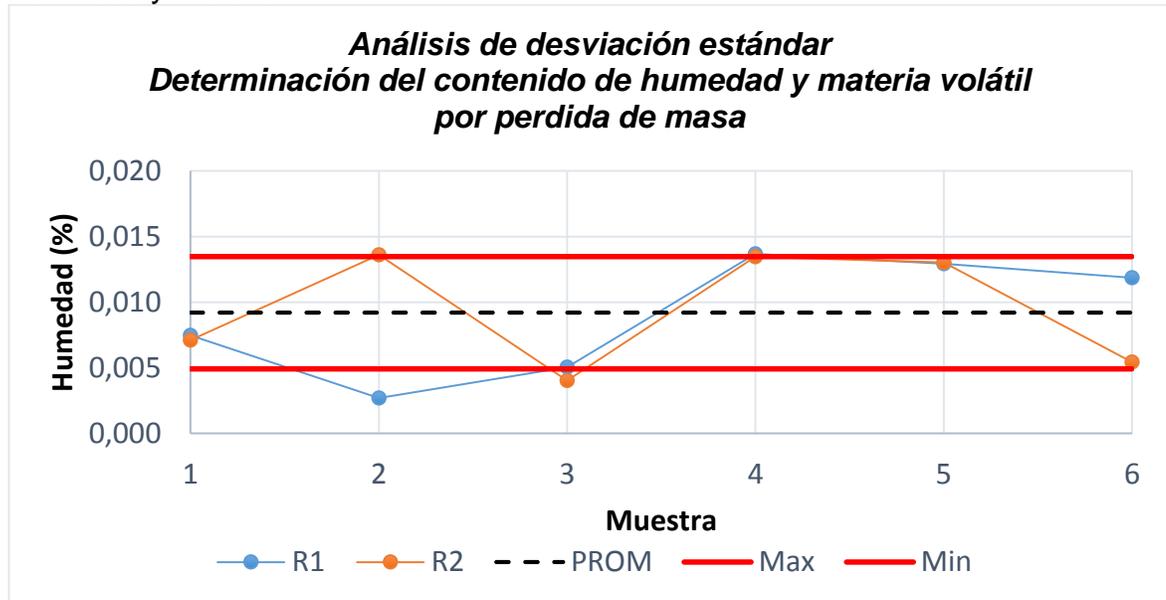


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA VOLÁTIL

La humedad y compuestos volátiles en los aceites se presentan por medio de disposición y tipo de alimento que la población durante la cocción, para este aceite usado previamente trata por la empresa, retira una mayor parte de humedad por medio de una fundidora, para este caso se realizó este análisis para corroborar que el aceite se encuentre con un porcentaje mínimo donde se llevó a temperaturas de 103 °C. En la Gráfica 12 se observó que el comportamiento de humedad en las muestras menor al 0,015 % y el promedio de las muestras se encuentran entre un rango de 0,0092 % con una desviación estándar de 0,0043 % lo cual indicia que la muestra permanece en el tiempo a condiciones menores a 0,015% de humedad.

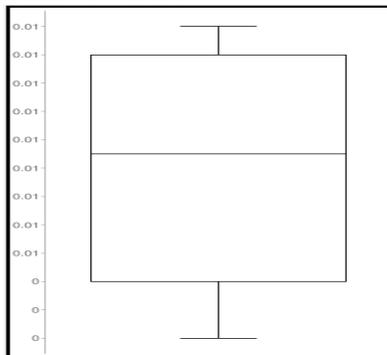
Gráfica 12. Análisis de desviación estándar para determinación del contenido de humedad y materia volátil



Fuente: elaboración propia.

El en diagrama de boxplot que se muestra en la Diagrama 17 se observa la distribución de datos que se presentaron durante este ensayo, donde se evidencio que presenta una asimetría negativa, es decir que la mayor concentración de datos se encuentran por encima de la mediana que es de 0,0095 %, a nivel estadístico los valores de la media y la media son muy cercano lo cual nos indica que la muestra es altamente homogénea en el tiempo. Como se observa el rango intercuartil es menor lo cual nos indica que la variabilidad de los datos es menor.

Diagrama 17. Boxplot de determinación del contenido de humedad y materia volátil

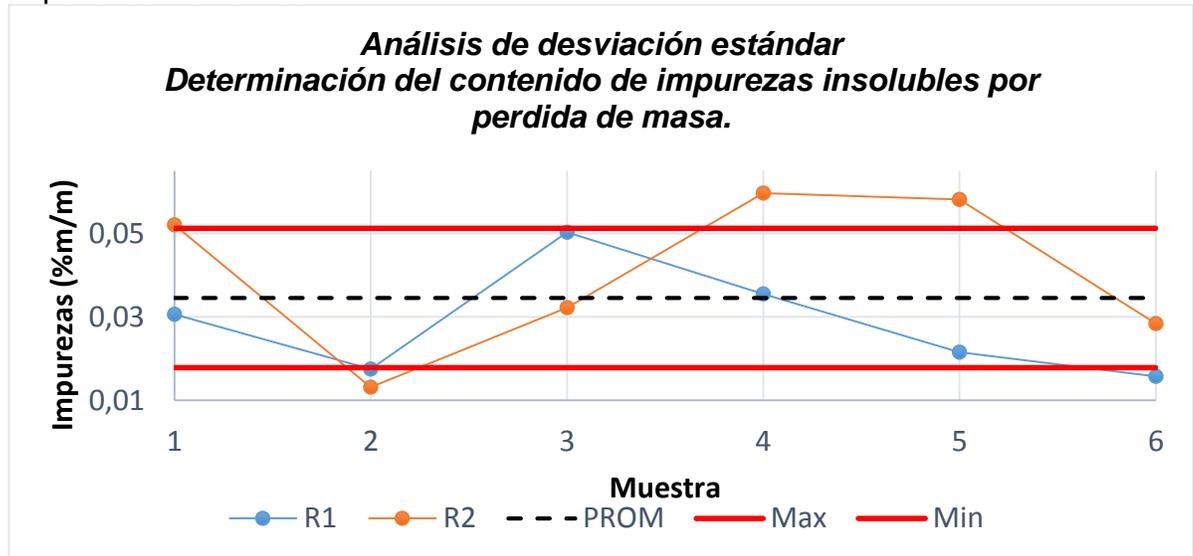


Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.8 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE IMPUREZAS INSOLUBLES

El contenido de impurezas que se presentan en el aceite hace referencia a todo tipo de mugre o material extraño que se generó durante su uso y son insolubles en solventes orgánicos en condiciones determinadas, este tipo de impurezas pueden ser sustancias como minerales, ácidos grasos oxidados, jabones alcalinos o de calcio, entre otras sustancias. En la Gráfica 13 se realizó un análisis para observar la distribución de los datos de acuerdo a las doce pruebas que se desarrollaron, el valor promedio obtenido fue de 0,0296% m/m con una desviación estándar de 0,0167% m/m, donde se observó que los datos se encuentran dentro de un rango menor al 0,06% m/m lo cual hace de este aceite bueno para la elaboración de las alternativas propuestas.

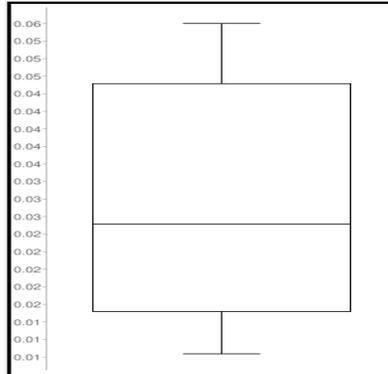
Gráfica 13. Análisis de desviación estándar para determinación del contenido de impurezas insolubles



Fuente: elaboración propia.

Según el Diagrama 18, se identificó un sesgo a la derecha, lo cual no garantiza que la concentración de los datos se encuentren por debajo de la mediana la cual se obtuvo un valor de 0.0265 % m/m y los valores obtenidos se encuentran dentro del rango intercuartil, lo cual nos garantiza que la muestra es homogénea para este tipo de ensayo.

Diagrama 18. Boxplot para determinación del contenido de impurezas insolubles



Fuente: ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

3.9 CARACTERIZACIÓN GENERAL

Teniendo en cuenta los resultados analizados anteriormente y comprobando que los datos obtenidos durante el muestreo no presentan una gran variación en el tiempo, se estableció un valor promedio para cada tipo de prueba y se comparó con los ensayos de calidad que realiza la empresa Greenfuel Colombia. Como se observa en la Tabla 24 se encuentran los resultados de cada muestra con su respectiva repetición para los ensayos realizados.

En las pruebas de acidez, humedad y materia volátil e impurezas insolubles se observó que los valores promedios obtenidos se encuentran por debajo del promedio historio que presenta la empresa, por este caso se identificó que el aceite es apto para su exportación como materia prima. En cuanto a la desviación estándar de las pruebas, se observó que para el índice de yodo y el índice de saponificación fueron muy altos, esto se debe a que la materia prima está compuesta por aceites de diferente composición y el tiempo de utilidad, en cambio para las otras propiedades que fueron analizadas presentan una desviación estándar menor a uno, lo cual nos indica que los datos no presentan variabilidad, por tal motivo se considera que los datos tendrán un límite de prudencia en caso de más estudios.

Tabla 24. Resultados generales de pruebas de caracterización de ACUs

Muestras		Índice de Yodo (g/100 g grasa)	Índice de Peróxidos (meq O ₂ /Kg)	Índice de Saponificación (mg KOH/ g de grasa)	Índice de Refracción (Nd)	Índice de Acidez (mg KOH/ g)	Acidez (%)	Humedad y Materia Volátil (%)	Impurezas insolubles (%)	Densidad (g/cm ³)
1	A	91,25	3,60	177,58	1,47	5,56	2,79	0,01	0,03	0,91
	B	102,57	3,04	181,76	1,47	5,57	2,80	0,01	0,05	0,92
2	A	92,65	3,22	186,55	1,47	6,06	3,05	0,00	0,01	0,93
	B	99,65	2,66	190,04	1,47	6,06	3,04	0,01	0,01	0,93
3	A	108,29	3,08	184,41	1,47	3,91	1,97	0,01	0,05	0,91
	B	111,44	1,31	200,78	1,47	4,38	2,20	0,00	0,03	0,91
4	A	82,68	2,27	198,14	1,47	5,58	2,81	0,01	0,03	0,91
	B	96,53	1,87	193,17	1,47	4,95	2,49	0,01	0,05	0,93
5	A	80,42	2,66	185,17	1,47	3,86	1,94	0,01	0,02	0,90
	B	86,04	1,70	195,78	1,46	3,87	1,95	0,01	0,05	0,90
6	A	90,00	3,41	184,35	1,47	3,84	1,93	0,01	0,01	0,92
	B	97,76	2,27	191,95	1,47	3,27	1,64	0,01	0,02	0,92
Promedio		94,94	2,59	189,14	1,47	4,74	2,38	0,01	0,03	0,92
Desviación Estandar Promedio Greenfuel		9,6527 8837	0,7186 754	7,015703 531	0,0034 204	0,995 375	0,500 349	0,004 276	0,0167 2	0,009 899
		-	-	-	-	-	5,00	-	0,02	0,92

Fuente: elaboración propia.

Por otro parte, se realizó una comparación de los valores obtenidos de la caracterización junto con los parámetros primordiales de la materia prima para la elaboración de los tres diferentes productos, en este caso cera para muebles y pisos laminados, jabones industriales y aceites epoxidados.

Como se observa en la Tabla 25 se encuentran los parámetros del aceite limpio que se deben cumplir para cada producto. En la elaboración de las ceras los factores claves son la densidad y las impurezas, en el caso de las densidades es importante ya que puede modificar las proporciones para formulación de la cera y en las impurezas insolubles afecta el producto final, debido a que este tipo de impurezas pueden generar compuestos abrasivos o grumos al momento de esparcir la cera sobre la superficie. Se realizó una comparación del valor experimental con respecto al valor teórico y se determinó que las seis muestras seleccionadas cumplen con los parámetros, por ende, la elaboración de ceras es apta a partir de ACUs.

Tabla 25. Comparación de aceites nuevos.

PROPIEDAD	Ceras	Jabones	Aceites epoxidados	Caracterización
	Valor recomendado	Valor recomendado	Valor recomendado	Valor obtenido promedio
Índice de refracción (Nd)	No afecta	No afecta	No afecta	1,469
Densidad (g/cc)	0,84 - 0,96	0,84 - 0,96	0,917 - 0,924	0,9158
Humedad y materia volátil (%)	No afecta	No afecta	< 0,1	0,0092
Impurezas insolubles (%)	< 0,5	No afecta	No afecta	0,0296
Índice de yodo (g/100g ACU)	No afecta	No afecta	120 - 140	94,94
Índice de saponificación (mg KOH/g ACU)	No afecta	> 150	188 - 195	189,14
Índice de acidez (mg KOH/g ACU)	No afecta	No afecta	< 0,1	4,74
Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg)	No afecta	No afecta	< 5	2,59
Acidez (% ácido oleico)	No afecta	No afecta	No afecta	2,38

Fuente: elaboración propia.

En la elaboración de jabones industriales, los parámetros de la Tabla 25 que indican si la materia prima es apta para este producto es el índice de saponificación, el cual nos indica la cantidad de aceite que se puede saponificar, con base a los resultados obtenidos y comparándolos con los teóricos, la materia prima seleccionada cumple teóricamente para la elaboración de este producto.

Por último para el producto de aceites epoxidados, el análisis de la materia prima es más complejo, como se observa en la Tabla 25 se tienen presentes los parámetros de humedad, índice de refracción, índice de yodo, índice de saponificación e índice de peróxidos. La humedad en la materia prima influye en la degradación del anillo de oxirano, como se muestra en la Figura 3 el agua reacciona con el oxirano y así mismo reduce la calidad del producto final. La prueba de índice de refracción como bien se había dicho anteriormente nos permite determinar una

medida indirecta de la presencia de ácidos grasos libres presentes en la muestra. La prueba de índice de yodo nos indica el grado de insaturaciones que tiene el aceite, ya que a mayor insaturaciones presentes en el aceite tiene mayor posibilidad de que la reacción de epoxidación se realice, debido a que el doble enlace de la cadena carbona se rompe para formar el oxirano, comparado con el aceite de soya y de acuerdo a los valores obtenidos, el ACUs presenta un índice de yodo por fuera del límite del aceite de soya, como se observó no varía mucho y además posee altas insaturaciones, para la elaboración del aceite epoxidado se garantiza la producción de oxiranos pero en menor porcentaje.

El índice de saponificación además de identificar la cantidad de jabón que se puede producir con la base ya sea hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, este ensayo nos identifica la longitud de las cadenas carbonadas del aceite, comparando el valor obtenido de los ACUs con el aceite de soya se identificó que si cumple dentro de los parámetros para la elaboración del producto. En cuanto al índice de peróxido nos indica el oxígeno activado que se encuentra en el aceite, lo cual permite que el oxígeno se forme con el doble enlace que se rompió de las insaturaciones, comparando con respecto al valor obtenido con el de soya cumple ya que debe encontrarse por debajo de 5 meq O₂/kg ya que si se encuentra por encima de este valor el anillo de oxirano se degrada y forma otro tipo de compuestos como se observa en la Figura 3. Para finalizar las pruebas de índice de acidez y acidez nos permite identificar en qué condiciones se encuentra la materia prima, ya que debido a estas pruebas se identifica la degradación del aceite.

4. ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

Una vez realizada la caracterización de los ACUs y evidenciando que, aunque estos aceites presentan un deterioro avanzado en comparación a un aceite nuevo, aún conservan propiedades químicas y físicas que se pueden aprovechar en la fabricación de gran variedad de productos.

De tal manera, y con el fin de dar un cumplimiento más amplio al segundo objetivo, en lugar de elaborar un solo producto se decidió hacer un desarrollo experimental en donde se obtuvieran tres diferentes productos, teniendo como materia prima las muestras de aceite suministradas por GreenFuel Colombia, las cuales fueron caracterizadas en capítulo anterior.

Para la elección de qué productos debíamos elaborar, se tuvo en cuenta los productos planteados en el anteproyecto (ceras, jabones y aceites epoxidados); además de una minuciosa recopilación de datos e información sobre posibles productos que se podían fabricar, de donde se encontraron como ejemplo; piensos para animales, biolubricantes y biodiesel. El cuanto a los piensos, en Colombia está prohibida la fabricación de todo tipo de alimentos y suplementos por medio de subproductos como los ACUs¹⁰², por lo que su fabricación fue totalmente descartada. Los lubricantes que, aunque presentan un gran atractivo ambiental y económico no se tuvieron en cuenta dado a las limitaciones de recursos y de tiempo; pues el proceso de estos productos es algo demorado y los reactivos tienen un costo muy elevado; razón por la cual no se realizaron en este proyecto. En cuanto del biodiesel, que es un combustible que en los últimos años ha tenido un gran crecimiento en el mercado debido al interés medioambiental y que en términos generales su producción es sencilla, no se eligió como producto debido a que la empresa ya realiza este proceso en España y no se encontraba interesada en la elaboración de ese producto en nuestro país.

Consecuentemente, se eligieron como productos, las ceras, los jabones y los aceites epoxidados. Sin embargo, con los jabones y las ceras se hicieron restricciones de uso, ya que por ningún motivo estos productos deben ir dirigidos al consumo humano como jabones de tocador o mesa, o bien sea ceras para el cabello o barba.

En el transcurso de este capítulo se abordada la metodología por la cual se obtuvieron cada uno de los productos, además su caracterización, el rendimiento y finalmente la selección de un producto al cual realizarle el escalamiento y análisis de costos.

¹⁰² COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. resolución 2154 de 2012. (Mar 8,).Bogotá 2012.

4.1 CERAS

Para darle un mayor impacto a este producto a nivel comercial, se decidió elaborar una cera que fuera destinada para el uso en muebles y pisos de madera, de tal forma asegurando que fuera de consumo masivo y fácil de comercializar; aparte de eso cumpliendo con la restricción de que esta cera no se usara para fines de belleza o cuidado personal.

La cera obtenida es ideal para el cuidado y abrillantamiento de superficies dándole una apariencia nueva y delicada. Ahora bien, para poder realizar este producto se tomaron como base publicaciones donde la materia prima eran los aceites vegetales nuevos, por lo que hubo que hacer algunas modificaciones en las proporciones de reactivos en diferentes ensayos para encontrar cual era la mejor formulación para que la cera tuviera las mejores características físicas.

Tabla 26. Materia prima para elaboración de ceras

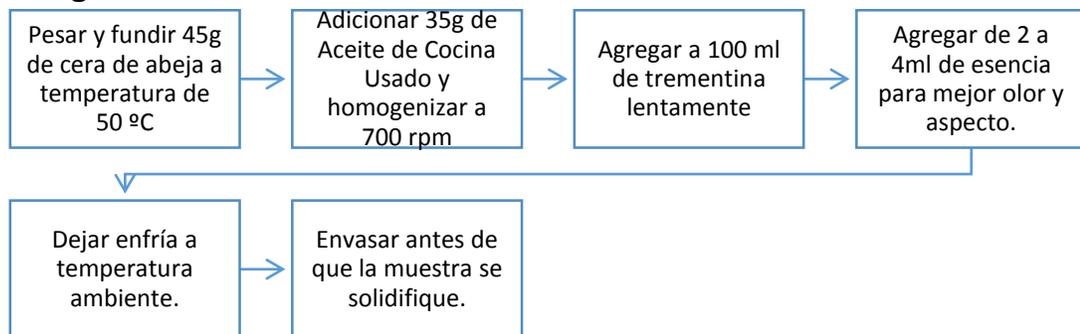
Reactivo	Primer ensayo	Segundo ensayo	Tercer ensayo
Aceite de cocina usado (g)	50	50	50
Cera de abejas (g)	40	60	21
Trementina (ml)	100	100	70
Esencia de pino (ml)	2	4	2

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 26, se aprecian los tres diferentes ensayos que se realizaron para obtener la cera de muebles. El ensayo que mejor apariencia física y consistencia fue el tercero, ya que, aunque los tres ensayos resultaron buenos, éste presentó una mezcla ideal en donde el producto no era muy líquido ni muy sólido, así mismo en el tercer ensayo se encontró un balance ideal entre la untuosidad y secado de la cera. Posteriormente se realizó la prueba por duplicado con el ensayo número tres con el fin de comprobar que el producto fuera igual y mantuviera las mismas características.

4.1.1 Proceso de elaboración. Continuando con el proceso efectuado, primero se procedió a pesar 21 gramos de cera de abejas en un beaker de 250ml; posteriormente el vaso de precipitado se llevó a una plancha de calentamiento a 50°C hasta la cera de abejas se fundió totalmente. Una vez cumplido este paso, se agregó el aceite de cocina usado y se introdujo un agitador magnético con el fin homogenizar la mezcla; la velocidad de agitación que se uso fue de 700rpm. Cuando la mezcla se había homogenizado por completo se adicionó 50 ml de trementina y posteriormente 2 ml de la esencia de pino. Se dejó la mezcla en agitación por unos minutos para luego ser retirada de la pancha de calentamiento y ser traspasada a un recipiente donde se enfrió hasta solidificarse. El resumen del proceso para el ensayo tres se evidencia en el Diagrama 19.

Diagrama 19. Procesos de elaboración de ceras

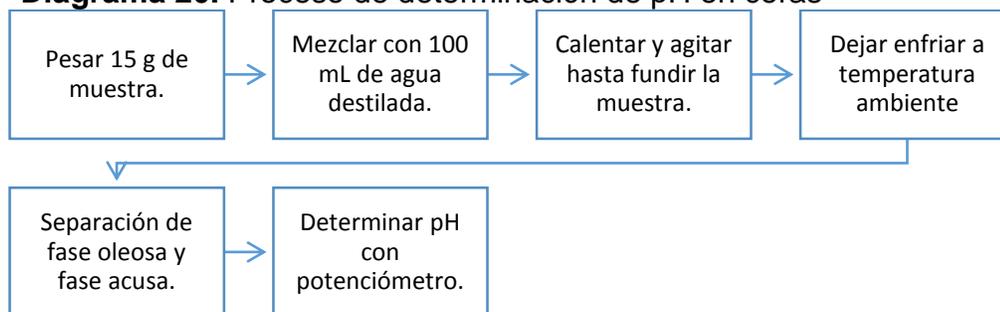


Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Caracterización de ceras para pisos. Al producto final de ceras se realizaron unas pruebas de calidad como determinación de pH, abrasividad y consistencia; con base a la norma de NTC 2111 artículos para limpieza, ceras para pisos, se desarrolló los ensayos para determinar las condiciones que *presento el producto*.

4.1.2.1 Determinación de pH. Se desarrolló este ensayo agregando en un vaso precipitado, 15 g de la muestra en 100 mL de agua destilada, se calentó con agitación hasta que la cera se haya fundido; se deja enfriar a temperatura ambiente hasta que presente la separación de la fase oleosa con la fase acuosa y se introduce el potenciómetro para determinar el valor de pH, para mejor ilustración observar Diagrama 20.

Diagrama 20. Proceso de determinación de pH en ceras



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 27, se observan los resultados obtenidos de la prueba anterior y se determinó que el valor en la escala de pH es ácido débil debido a las condiciones que se sometió el aceite.

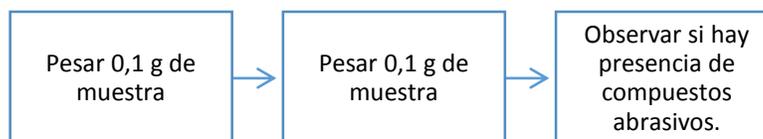
Tabla 27. Datos de pH para los tipos de ceras

Aceite	Valor de pH
ACU 1	6,2
ACU2	6,4
Aceite de Girasol	6,5

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.2 Abrasividad. Se realizó esta prueba con ayuda de la NTC 211 de artículos para limpieza, ceras para pisos. Se tomó 0,1 g de la muestra y se froto entre dos plaquetas de vidrio. Al finalizar el procedimiento se debe evaluar la presencia de compuestos abrasivos. En el Diagrama 21 se observa el procedimiento.

Diagrama 21. Proceso de determinación de abrasividad en ceras



Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 28, se determinó que las dos ceras a partir de ACU y la de aceite de girasol no presentan compuestos abrasivos, ya que este aceite contiene impurezas muy bajas.

Tabla 28. Resultados de abrasividad para ceras

Aceite	Presencia de compuestos abrasivos
ACU 1	NO
ACU2	NO
Aceite de Girasol	NO

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.3 Caracterización propia. Para complementar las pruebas de calidad se establecieron otro tipo de pruebas como olor, color, apariencia, aparecía física, brillo, secado y observaciones generales del producto como se muestra en la Tabla 29. En la parte del olor se identificó que debido que el solvente se agrega con mayor proporción al ACU reduce el olor característico de este aceite, pero en su totalidad, debido a que este aceite viene ya muy degradado. En la parte del color con ayuda del solvente y la cera la abeja reduce el color marrón oscuro y característico de ACUs para obtener un marrón claro, en cuanto al aceite de girasol se presenta el olor de la esencia de pino con leve olor a solvente. En la apariencia física se esparció la cera sobre una lámina de madera y se observó que no se requiere de mayor esfuerzo para los dos tipos de ceras. El brillo es un factor importante para este producto ya que nos permite identificar el abrillantamiento y protección muebles o pisos laminados, este aspecto presenta un brillo aceitoso y se demora en secar de 5 a 10 min para los dos tipos de productos.

Tabla 29. Caracterización propia de ceras para muebles y pisos laminados

Aceite	Olor	Color	Apariencia Física	Brillo	Secado	Observaciones (Desempeño)
ACU 1	Presencia de compuestos volátiles característicos al solvente	Marrón claro	Sólido esparcible	Buen brillo - Traslucido	Entre 5 a 10 min	Permanecen aromas de solventes, sensación grasosa característico de ceras, apariencia agradable y buena consistencia
ACU 2	Presencia de compuestos volátiles característicos al solvente	Marrón claro	Sólido esparcible	Buen brillo - Traslucido	Entre 5 a 10 min	Permanecen aromas de solventes, sensación grasosa característico de ceras, apariencia agradable y buena consistencia
Aceite de Girasol (Referencia)	Presencia de compuestos volátiles característicos al aroma	Beige	Sólido esparcible	Buen brillo	Entre 5 a 10 min	Cera de buena apariencia, consistencia y aroma de solvente.

Fuente: elaboración propia.

La obtención de cera a partir de aceites usados fue exitosa y su rendimiento fue muy cercano al 100% debido a que este producto durante la elaboración no presenta pérdidas de masas, además presenta unas buenas consistencias y no requiere de un equipo adicional para su aplicación. Por otro lado, se recomienda un tratamiento para eliminar en mayor proporción los olores característicos de los ACUs e implementar otro tipo de solventes que mejoran la consistencia y se agrega en menor cantidad, para esta investigación no se tuvieron presente este tipo de análisis debido a la limitación de recursos y tiempo para su ejecución.

4.2 JABONES

Ya que la finalidad de este producto consistía en obtener un jabón ideal para el uso industrial como agente limpiador de pisos o de maquinaria era esencial que fuera líquido, de esta manera su utilización resulta más práctica y sencilla; facilitando tanto la producción como la comercialización. De tal manera el hidróxido de sodio fue descartado como posible álcali para realizar la saponificación y se optó por usar

KOH, que es muy similar a la sosa, con la diferencia que con éste se obtienen jabones líquidos.

Para conseguir un jabón de buena calidad era necesario conocer el mejor método de obtención y a su vez las condiciones ideales para que el producto resultante tuviera la mejor calidad posible. Así pues, gracias a una recopilación de bibliografía se determinó que un proceso en caliente sería el más conveniente, pues los tiempos de producción eran menores con respecto al proceso en frío, donde la reacción completa de saponificación puede durar de 4 a 8 semanas y por lo general es usado para jabones sólidos. Para un proceso en caliente, el rango de temperaturas de operación se encuentra entre 50 y 80°C¹⁰³.

Una vez identificado el método, se encontró que para una base inicial de 50 gramos de ACU's la cantidad mínima de álcali a utilizar era de 6,7 gramos, pues en cantidades menores la saponificación no era efectiva; por lo que se recomendaba que el rango de elección debía estar entre 7 y 10 gramos de hidróxido¹⁰⁴.

Además de tener en cuenta este parámetro, se utilizó un método de cálculo para obtener la cantidad de KOH necesario para saponificar una muestra de 50g de ACU, teniendo como base los índices de saponificación obtenidos en la caracterización de las muestras. Este cálculo consistió en multiplicar el índice de saponificación obtenido en gramos de KOH/ g de aceite por la cantidad de masa de aceite que se iba saponificar. La Ecuación 12, representa este cálculo es la siguiente:

Ecuación 12. Cantidad de hidróxido de sodio necesaria para saponificar aceite

$$\text{Gramos } KOH_{necesarios} = IS \left(\frac{gKOH}{g \text{ grasa}} \right) \times \text{Masa muestra}_{(g)}$$

Con la Ecuación 12 se obtuvieron las cantidades exactas de KOH que se debían usar para que la reacción de saponificación se llevara a cabo correctamente. A continuación, se muestran en la Tabla 30 los gramos de KOH necesarios para cada una de las muestras.

Tabla 30. Cantidades de materia prima para elaboración de jabón

Muestra	IS 1 (mg)	IS 2 (mg)	IS prom (g)	ACUs (g)	KOH (g)
1	177,584	181,761	0,180	50	8,984
2	186,553	190,037	0,188	50	9,415
3	184,412	200,782	0,193	50	9,630
4	198,143	193,174	0,196	50	9,783

¹⁰³ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

¹⁰⁴ GARCIA, Marina; CERESO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El desarrollo Educativo. 2016

5	185,166	195,776	0,190	50	9,524
6	184,348	191,953	0,188	50	9,408

Fuente: elaboración propia.

Como los resultados que se obtuvieron estuvieron entre el rango de recomendación mencionado se aseguró pues que la cantidad de KOH a utilizar fuera la correcta. Debido a que la muestra 4 tenía el mayor índice de saponificación se escogió ésta para realizar el jabón.

Sin embargo, el hidróxido de potasio no podía ser agregado en estado sólido, sino que debía estar diluido en agua para facilitar la reacción; por lo que también fue necesario determinar la cual proporción de agua indicada para hacer esta solución. Según lo investigado se encontró que el mejor porcentaje de esta solución debía ser un 25% de KOH y el 75% restante debía ser de agua destilada¹⁰⁵.

Por otro lado, para mejorar algunas características del jabón que se iba a obtener era necesario contar con algunos aditivos como la esencia, el colorante y la sal potásica. Ésta última permite la separación de fases entre la glicerina y el jabón una vez termina la reacción de saponificación. Se encontró en la literatura que el porcentaje de KCl debía encontrarse entre 5 y 10% respecto al aceite de carga, la esencia debía ser aplicada entre el 0,2 y 2% respecto al ACU inicial mientras que el colorante no debía exceder el 1% del jabón terminado¹⁰⁶.

A su vez, para llevar el jabón a un pH neutro existen varios neutralizadores, entre ellos el ácido bórico, el ácido láctico, el ácido cítrico, entre otros. Para la elaboración de jabones se decidió usar el ácido cítrico ya que era el más recomendable tanto por costos como por facilidad de operación y control¹⁰⁷.

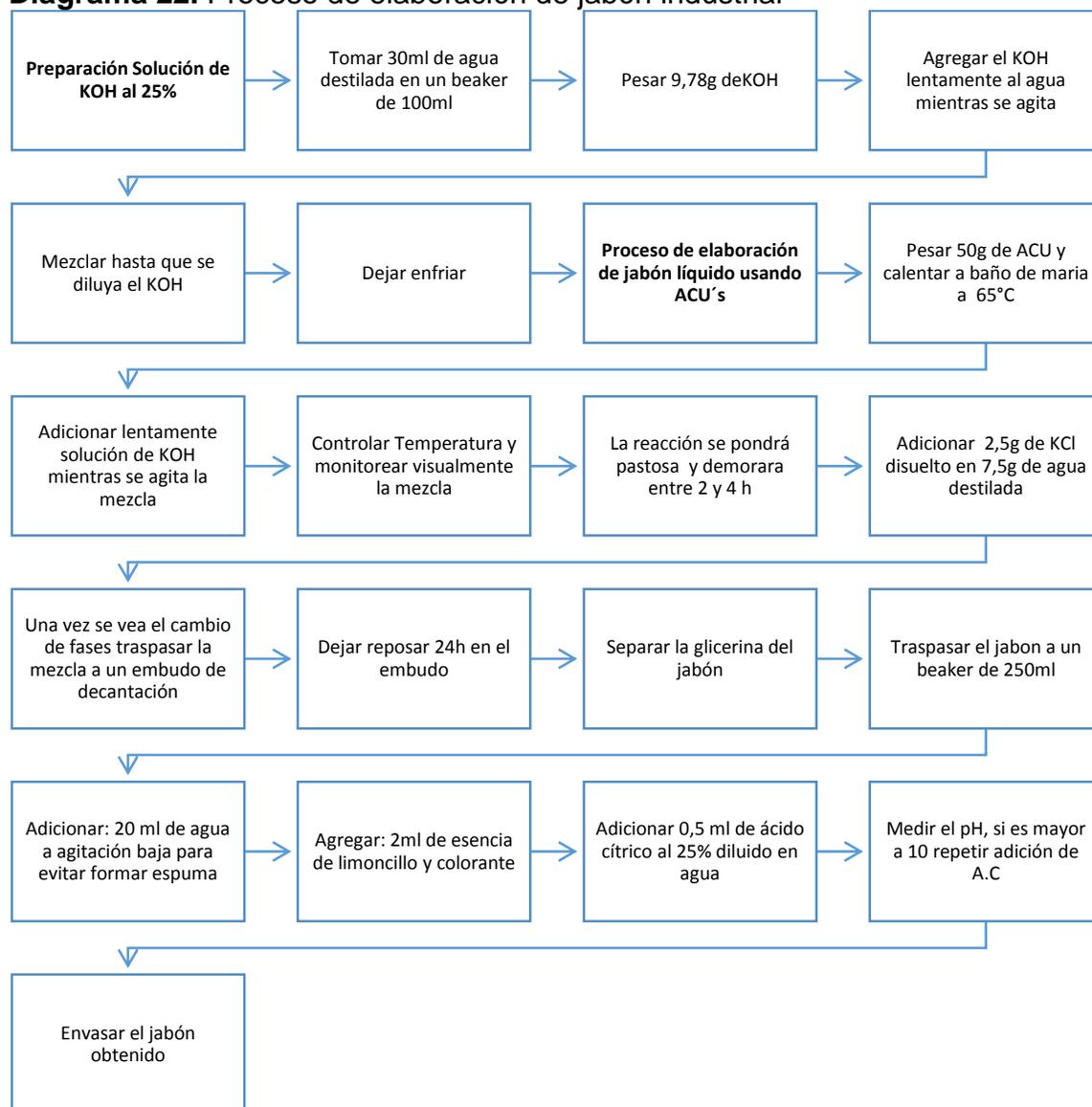
¹⁰⁵ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

¹⁰⁶ GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

¹⁰⁷ GARCIA, Marina; CERESO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El desarrollo Educativo. 2016

4.2.1 Procesos de elaboración

Diagrama 22. Proceso de elaboración de jabón industrial



Fuente: elaboración propia.

Como se habló en el Diagrama 22 se realizar el jabón se escogió la muestra 4, de la cual se tomaron 50g que fueron agregados a un beaker de 250ml; el aceite fue calentado en una plancha de agitación utilizando baño de María a una temperatura de 65°C (ya que es el punto intermedio del rango consultado), una vez el aceite alcanzó se calentó se agregó lentamente la solución de KOH fresca sin interrumpir

la agitación. La solución de KOH fue preparada disolviendo 9,783g de hidróxido de potasio en 30ml de agua destilada.

Al finalizar la adición del hidróxido, la mezcla se dejó en agitación hasta el final de la reacción de saponificación; verificando constantemente que la temperatura no cambiara y que la agitación no disminuyera mientras más viscosa se ponía la mezcla. Para la primera repetición la reacción duro alrededor de 2 horas 45 minutos; mientras que para el segundo ensayo la saponificación tardo aproximadamente 3 horas.

Terminada la saponificación se le agrego a la mezcla KCL al 25% en agua con el fin de realizar el procedimiento de sangrado al jabón, donde las fases se separan fácilmente dejando el flotando sobre la glicerina. En este momento se traspasó toda la mezcla a un embudo de decantación por 24 para que la separación fuera total y así obtener la mayor cantidad de jabón. Al cumplirse las 24 fue retirada la glicerina y se procedió a traspasar nuevamente el jabón a otro recipiente; en donde se le agregaron 20 ml de agua, 2ml de esencia de limoncillo. Todo esto para que la apariencia física del jabón mejorara, haciéndolo más fluido y eliminando el olor característico de los aceites de cocina usados. También se buscó neutralizar el jabón utilizando ácido cítrico al 25% en agua, que fue agregado en pequeñas gotas al jabón hasta conseguir un pH de 10; pues al ser un jabón de carácter industrial una alcalinidad alta puede ayudar a mejorar la eficacia de limpieza y reduce los costos de neutralización.

Cabe aclarar, que también se realizó un tercer ensayo a las mismas condiciones y con el mismo paso a paso de las dos replicas, en donde no se utilizó ACU's sino aceite limpio y nuevo de girasol de la marca Girasoli; esto con fin de tener un patrón experimental de comparación tanto para la apariencia física del jabón sino también para confrontar los rendimientos de las reacciones de saponificación obtenidos. Para el caso del aceite de girasol, la reacción tomó mucho más tiempo, casi las 4 horas; esto debido a que es un aceite nuevo y tiene mayores instauraciones que necesitan mayor tiempo para reaccionar completamente con el álcali.

4.2.2 Rendimiento de reacción. Ya que al hacer reaccionar un hidróxido con los ácidos grasos de un aceite se obtiene tanto glicerina como jabón fue necesario determinar cuanta cantidad se convirtió en el producto que habíamos elaborado. Para esto, se pesó el embudo vacío y luego de haberlo llenado con la mezcla resultante de la saponificación se volvió a pesar; después de las 24 horas en la que se dejó decantar la glicerina del jabón esta se separó y nuevamente se repitió el proceso de pesar el embudo. Con estos datos se obtuvo el rendimiento en masa de la reacción de saponificación utilizando la Ecuación 13.

Ecuación 13. Determinación de cantidad de jabón obtenido

$$M_{\text{Jabón (g)}} = M_{\text{embudo mezcla (g)}} - M_{\text{embudo vacío (g)}} - (M_{\text{embudo mezcla (g)}} - M_{\text{embudo sin glicerina (g)}})$$

Como era esperado, se obtuvo mayor cantidad de jabón con el aceite de girasol que con nuestro ACU ya que, aunque no se le midió el índice de saponificación, cabe esperar que tenga un índice mayor y por lo tanto mejor capacidad para producir jabón. En cuanto a las repeticiones con el aceite usado, ambas reacciones dieron cantidades muy similares de jabón y de glicerina variando un poco posiblemente por la pérdida de material en el traspaso al embudo de decantación. Los datos de medición se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Cantidad de jabón y glicerina obtenida.

Replica	Peso embudo vacío (g)	Peso embudo mezcla (g)	Peso embudo sin glicerina (g)	Glicerina obtenida (g)	Jabón obtenido (g)
ACU 1	234,5	333	302	31	67,5
ACU 2	212,5	310	278	33	65,5
Aceite Girasol (Referencia)	239	338	309	28,5	70

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la realización del jabón líquido con aceite de girasol nos sirvió para tomar el rendimiento de éste como el valor teórico con el cual se determinó el rendimiento de los ACUs como materia prima en la producción de jabones líquidos industriales. Para esto se tuvo en cuenta tanto la cantidad de reactivos utilizados como las cantidades de productos obtenidas al final y a su vez siguiendo la reacción de saponificación

Tabla 32. Rendimiento de jabones industriales.

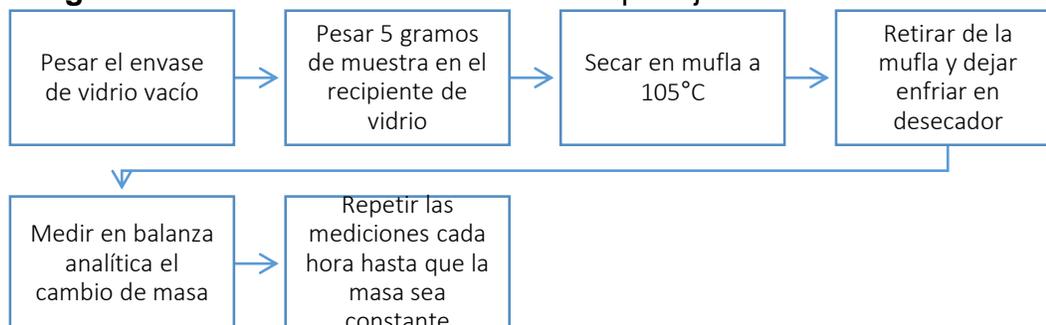
Replica	Masa inicial aceite (g)	Masa Reactivos(g)	Glicerina obtenida (g)	Jabón obtenido (g)	Rendimiento (%)
ACU 1	50	48,5	31	67,5	96
ACU 2	50	48,5	33	65,5	93
Aceite Girasol (Referencia)	50	48,5	28,5	70	-

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Caracterización. Se realizaron algunas pruebas para caracterizar el jabón obtenido, algunas de ellas como la medición de pH, Humedad y Control de espuma; basadas en la NTC 5604 que habla sobre los métodos de ensayo para la toma de muestras y el análisis fisicoquímico de jabones, productos de jabón y detergentes.

4.2.3.1 Humedad. Para este procedimiento se usó el método A o método al horno a 105°C de la NTC 5604. El paso a paso de ésta determinación consistió en tomar en un recipiente de vidrio 5 gramos de muestra y someterla a calentamiento en una mufla a 105°C, revisando cada hora el cambio de masa hasta que no hubiera una ganancia o pérdida de masa mayor al 1%. Tal como lo muestra el proceso en el Diagrama 23.

Diagrama 23. Determinación de humedad para jabones industriales



Fuente: elaboración propia.

Al sacar el porcentaje de humedad se encontró que los jabones obtenidos no tenían gran contenido de agua, por lo que se puede decir que para futuros ensayos la cantidad de agua puede aumentar para mejorar un poco más la fluidez sin dañar el jabón. El jabón realizado con el aceite de girasol tuvo un poco menos de humedad, este comportamiento pudo ocurrir debido a la diferencia entre las materias primas. Los resultados de humedad se expresan en la Tabla 33.

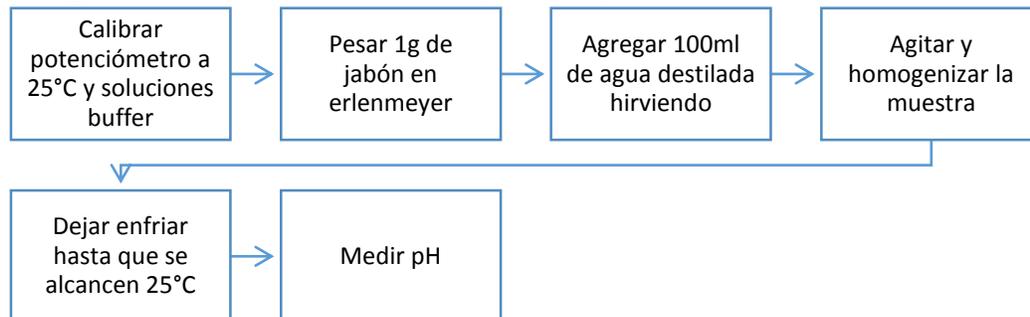
Tabla 33. Resultados de humedad para el jabón industrial

Aceite	Cápsula vacía (g)	Capsula (g) t=0	Capsula (g) t=4h	Contenido de Humedad (%)
ACU 1	41,0312	46,0605	44,1632	0,377
ACU 2	40,4705	45,4991	43,5691	0,384
Aceite Girasol (Referencia)	42,8156	47,8094	46,5203	0,258

Fuente: elaboración propia.

4.2.3.2 Determinación de pH. Para la medición de pH primero se calibró el potenciómetro a 25°C y con soluciones buffer alcalinas, tal como lo indicaba la NTC 5604; una vez calibrado se procedió a pesar 1 gramo de jabón en un Erlenmeyer, posteriormente se agregó 100ml agua destilada hirviendo, se homogenizó la mezcla y se dejó enfriar hasta alcanzar 25°C, en este momento se midió el pH. El diagrama de flujo muestra en el Diagrama 24.

Diagrama 24. Determinación de pH para jabones industriales



Fuente: elaboración propia.

Los valores de pH son muy similares, todos manteniendo una alcalinidad de 10 la cual era la que se buscaba para un aceite de tipo industrial, como se observa en la Tabla 34.

Tabla 34. Datos de pH para jabones industriales

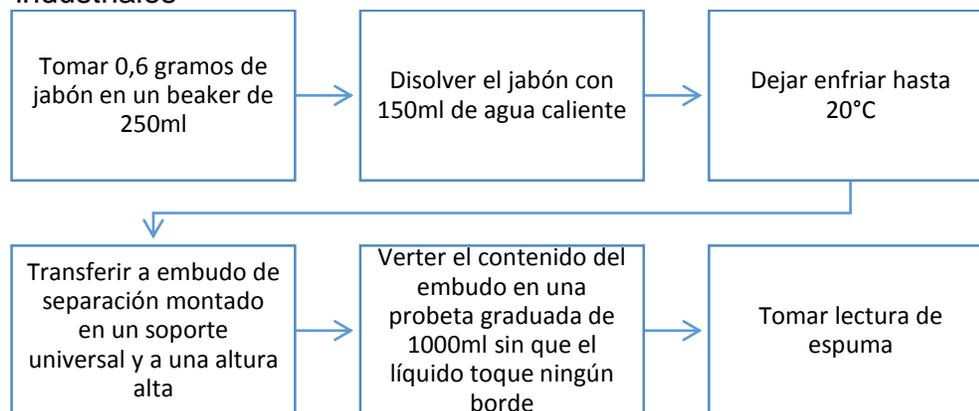
Aceite	Valor de pH
ACU 1	9,8
ACU2	10,1
Aceite Girasol (Referencia)	9,5

Fuente: elaboración propia.

4.2.3.3 Control de espuma

El ensayo nos permitió conocer que tanta espuma formaba el jabón realizado para esto, se siguió el procedimiento ilustrado en el Diagrama 25.

Diagrama 25. Determinación de control de espuma para jabones industriales

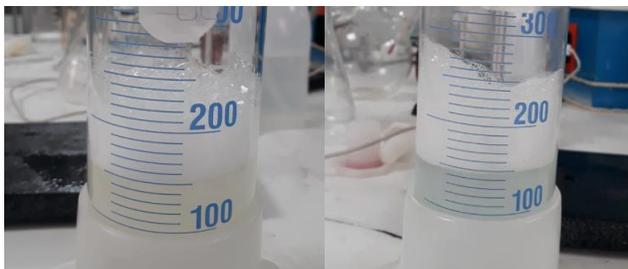


Fuente: elaboración propia.

Como lo mostró el anterior diagrama, se tomaron 0,6 del jabón para después adicionarle 150ml de agua caliente, posteriormente la mezcla se dejó enfriar a hasta

20°C; se transfirió la porción de ensayo a un embudo de decantación que había sido montado en un soporte universal a una altura elevada con el fin de vaciar su contenido en una probeta de 1000ml, cuando se vertió el líquido se hizo sin tocar las paredes para que se formara la espuma. La imagen muestra la formación de espuma de cada una de las pruebas realizadas.

Imagen 5. Control de espuma para jabones industriales



Fuente: elaboración propia.

Una vez todo el contenido del embudo se depositó en la probeta se tomó la medida del volumen total y el volumen del líquido que no formó espuma; sacándose de esta diferencia el volumen total de espuma formada. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Resultados de control de espuma

Aceite	Volumen total (ml)	Volumen de jabón (ml)	Volumen de espuma formada (ml)
ACU 1	240	150	90
ACU2	240	150	90
Aceite Girasol (Referencia)	250	140	110

Fuente: elaboración propia.

Para los ensayos con los jabones de aceite de cocina usados la formación de espuma fue buena presentando burbujas homogéneas, sin embargo, comparada con la espuma que se formó con el jabón de girasol se evidencia que el jabón de ACUs tiene una calidad inferior.

4.2.3.4 Caracterización propia. Por otra parte, se realizó una caracterización propia de los productos, donde se determinó otros ítems de calidad que son importantes a la hora de identificar las virtudes de los jabones.

Tabla 36. Caracterización propia para jabones industriales

Aceite	olor	color	Apariencia Física	densidad (g/cm ³)	poder de limpieza	observaciones
ACU 1	Esencia limoncillo/ amargo al final, olor característico de aceite rancio	Amarillo crema	espeso, grumoso y opaco	0,917	débil, con poca adherencia a la suciedad	Permanecen aromas de los ACUs, sensación grasosa, apariencia no agradable
ACU 2	Esencia limoncillo/ amargo al final, olor característico de aceite rancio	Amarillo crema	espeso, grumoso y opaco	0,890	débil, con poca adherencia a la suciedad	Permanecen aromas de los ACUs, sensación grasosa, apariencia no agradable
Aceite Girasol (Referencia)	Esencia limoncillo	amarillo transparente	Fluido, textura suave	0,949	Buena, limpieza sencilla	Jabón de buena calidad y apariencia

Fuente: elaboración propia.

De la Tabla 36 es necesario decir que si bien se logró realizar un jabón por medio de ACUs, este producto no es muy bueno, pues presenta olores desagradables incluso después de agregada la esencia; además la consistencia y la apariencia no son llamativas y que para un producto que tiene una gran competencia en el mercado éstos parámetros resultan claves para el éxito de su comercialización. Sumado a esto, los jabones que se obtuvieron con la materia prima de estudio son jabones de bajo poder de limpieza, y que, aunque se realizaron siguiendo la teoría e investigaciones pasadas no cumplen con las expectativas que se tenían siendo productos de baja calidad que claramente deben ser mejorados si se desean producir a mayor escala.

Por otra parte, tanto el rendimiento como la reacción de saponificación fueron exitosas; lo que deja la sensación que, aunque el producto no fue totalmente bueno si es posible realizarlo y que se pueden adoptar nuevas medidas para eliminar olores y mejor la apariencia física del jabón como un blanqueo por arcillas o un desgomado profundo de los ACUs, que en esta investigación no se tuvieron en cuenta dada la limitación de recursos y de tiempo que representaba su implementación.

4.3 ACEITES EPOXIDADOS

Como ya mencionamos antes, el aceite epoxidado es un plastificante que ayuda a mejorar las propiedades de resistencia de los polímeros como el PVC, y como la industria de polimérica es muy grande, la realización de un aceite epoxidado de ACUs resultaba de bastante interés; no sólo por la parte comercial si no por el reto experimental que representaba, ya que a diferencia de la cera y los jabones la obtención de este producto es un poco más complicada y con mayor número de condiciones de operación que deben ser controladas rigurosamente, razón por la cual antes de hablar del procedimiento llevado a cabo se deben recapitular los parámetros de control que se deben monitorear en la reacción de epoxidación de aceites usados.

Tabla 37. Condiciones seleccionadas de reacción de epoxidación

Parámetro / Materia prima	Temperatura (°C)	Velocidad de Agitación (RPM)	ACUs (g)	Ácido Acético (ml)	Peróxido de hidrógeno (ml)	Catalizador A. Sulfúrico (ml)	Tiempo de reacción (h)
ACU 1	50	400	50	2,9	2,2	0,5	6
ACU 2	50	400	50	2,9	2,2	0,5	6
Aceite de Soya	50	400	50	2,9	2,2	0,5	6

Fuente: elaboración propia.

Los datos presentados en la Tabla 37 hacen referencia a los parámetros seleccionados para obtener el aceite epoxidado. En cuanto a la temperatura a pesar que entre mayor fuera el valor de temperatura menor sería el tiempo de reacción se usó el valor mínimo entre el rango de 50 a 80°C para evitar la descomposición del anillo oxirano. El tiempo de reacción elegido fue de 6h para hacer un seguimiento más profundo a la reacción por medio de titulaciones de yodo y de índice de oxirano.

La velocidad de agitación fue tomada según lo investigado en la teoría¹⁰⁸ para así promover la formación correcta del epóxido. Se eligió el ácido sulfúrico al 97% como catalizador, ya que en bibliografía este ácido era el que mejor se acomodaba a la reacción; cabe mencionar que el catalizador no se recuperó. Para formar in situ el ácido peracético se usó ácido acético al 99% y peróxido de hidrogeno al 50%. Los valores de volumen para los reactivos fueron tomados según la cantidad de aceite inicial.

¹⁰⁸ Luz Angela Rincón Vija. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados.

4.3.1 Procedimiento de elaboración. Como primera medida, se realizó un procedimiento de blanqueo suave antes de que se diera inicio a la etapa de epoxidación. La técnica de blanqueo utilizada fue basada en lo encontrado en la literatura y consistió en calentar una porción de ACU con 2% de peróxido de hidrógeno respecto al ACU utilizado a una temperatura de 70°C; esto con el fin atenuar el color característico de los aceites usados y eliminar a su vez algunos compuestos como los fosfolípidos que pueden ocasionar reacciones secundarias y/o evitar la formación del grupo oxirano¹⁰⁹.

Antes de comenzar la reacción se prepararon las soluciones necesarias para hacer el seguimiento de la reacción por medio de las titulaciones de índice yodo y de oxiranos de acuerdo a la NTC 2366 y se realizó la medición de oxiranos iniciales tanto para el aceite de soya como para las muestras de ACU's. Se midió también el índice de yodo inicial para el aceite de soya, mientras que para los aceites usados fue tomado de la caracterización.

Como primer paso, se pesó 50 gramos de Aceite en un balón de fondo plano de 3 bocas de 1000 ml; este balón fue llevado a calentamiento al baño de María y con sistema de reflujo con el fin de mantener la temperatura a 50°C durante el transcurso de la reacción. A su vez se introdujo un agitador magnético el cual fue programado para girar a 400 RPM. Cuando el aceite en el balón alcanzó la temperatura indicada se procedió a agregar 2,9 ml de ácido acético, en seguida 0,5 ml de ácido sulfúrico y lentamente 2,1 ml de peróxido de hidrogeno.

Al transcurrir la primera hora y media de reacción se tomó 5 ml del contenido del balón que fueron depositados en un tubo Falcon de 50ml al que se le agregó agua destilada a 70°C para completar un volumen de 15 ml en el tubo¹¹⁰. El tubo Falcon se agitó hasta que se formara una sola fase, luego fue llevado a la centrífuga durante 5 minutos a 6000 RPM; una vez retirado se habían formado 2 fases, la fase acuosa fue retirada del aceite y se le midió el pH. Este procedimiento de lavado se hizo para neutralizar el aceite que se iba obteniendo, retirándole el exceso de ácidos y una vez neutralizado poder hacer la medición de yodo y de oxiranos. Los lavados realizados se hicieron 5 veces, ya que al quinto no hubo un cambio significativo del pH en la fase acuosa.

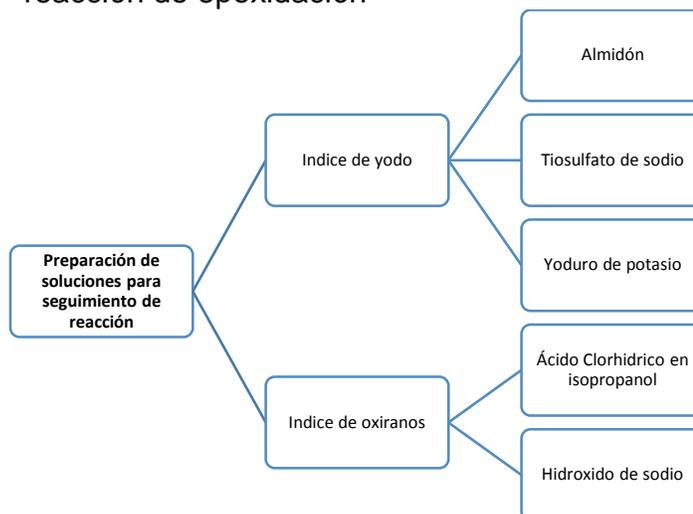
Luego cuando la reacción cumplió la tercera hora y la cuarta hora y media se repitió la toma de aceite, el proceso de lavado y la posterior medición de yodo y oxiranos; al igual que cuando la reacción tuvo su final en la sexta hora, en este momento se

¹⁰⁹RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química

¹¹⁰RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química

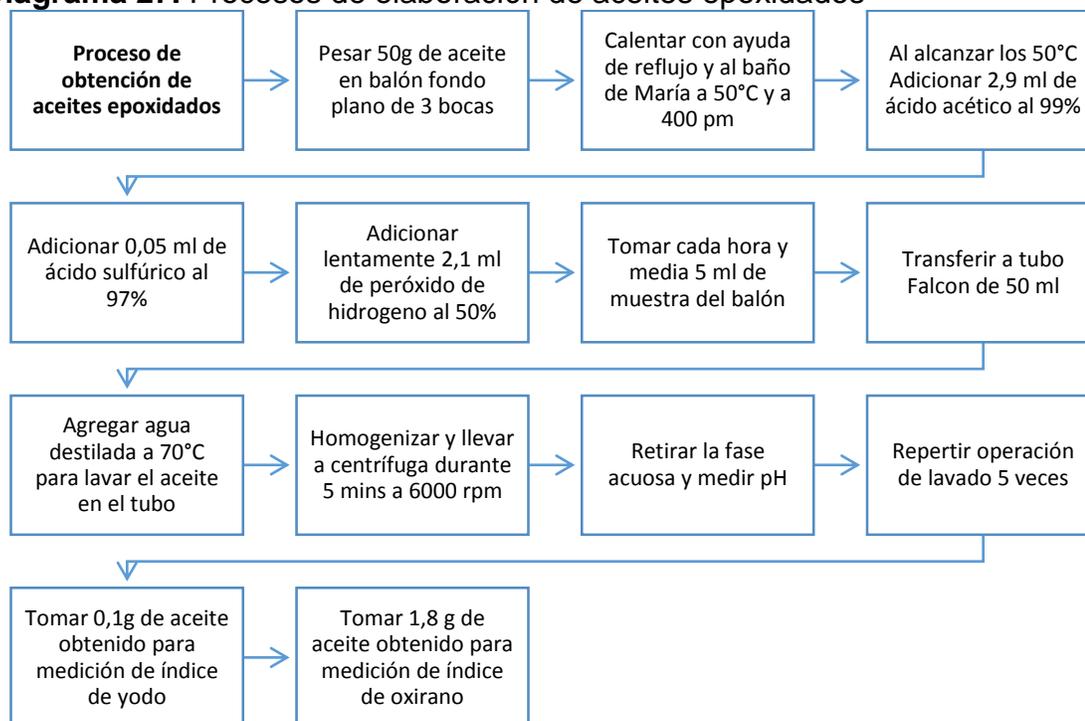
hizo el lavado total del aceite obtenido. El resumen del paso a paso se muestra en el Diagrama 27, para la elaboración de las soluciones que se deben tener presentes para el seguimiento de la reacción se encuentran en el Diagrama 26.

Diagrama 26. Soluciones para el seguimiento de reacción de epoxidación



Fuente: elaboración propia.

Diagrama 27. Procesos de elaboración de aceites epoxidados



Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Rendimiento. Con el fin de conocer que tan buena era la reacción, así como la elaboración de aceites epoxidados antes de empezar el proceso se sacó el peso inicial de los reactivos (teniendo en cuenta que los ácidos y el peróxido son líquidos y que es más fácil trabajar con unidades de masa, se utilizó la densidad de cada uno de ellos para tener su equivalente en gramos). Al final de todo el procedimiento y se determinó el rendimiento del proceso.

En la Tabla 38 se muestra el rendimiento del proceso; en donde para todos los ensayos hubo pérdidas de aceite. Esto se debe a que en los lavados la fase acuosa arrastra parte del aceite y como esta técnica de neutralización se realizó en 5 oportunidades, en cada una de ella el aceite se iba perdiendo. Éstas pérdidas fueron bastante altas, ya que representan casi el 30% en masa del producto obtenido, lo que hacen a la etapa de neutralización un punto crítico del proceso de epoxidación de aceites.

Por otra parte, los porcentajes obtenidos en las repeticiones con ACUs fueron similares, sin embargo, la segunda corrida presentó mejores resultados pues se tuvo mayor cuidado en la etapa de neutralización. Los aceites epoxidados obtenidos con ACU's dieron un rendimiento alto; con respecto al aceite epoxidado de soya obtenido, que en este caso fue nuestro valor teórico y con el cual se sacó el porcentaje de rendimiento.

Tabla 38. Rendimiento del proceso de epoxidación de aceites

Aceites	Masa inicial aceite (g)	Masa reactivos (g)	Pérdidas + Muestreo (g)	Aceite epoxidado obtenido (g)	Rendimiento (%)
ACU 1	50	6,515	18,412	38,103	87,5
ACU 2	50	6,515	14,750	41,765	96
Aceite de Soya (Referencia)	50	6,515	12,969	43,546	-

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 38, el rendimiento nos mostró que tan efectivo fue el procedimiento que realizamos, pero fue necesario profundizar más acerca de lo que había ocurrido químicamente en la epoxidación. Por tal razón se determinó la selectividad de las reacciones; la selectividad resulta de la relación entre el índice de oxiranos final y la diferencia del índice de yodo en el tiempo inicial y final. En términos más simples, la selectividad nos permitió determinar cuantitativamente que tantos anillos oxiranos se formaron de la descomposición de los dobles enlaces de los aceites.

Tabla 39. Selectividad de reacción de epoxidación

Aceite	ACU 1	ACU 2	Aceite de Soya
Selectividad (IO/IY)	12,555	14,801	8,197
Promedio	13,678		

Fuente: elaboración propia.

Como muestra la Tabla 39, los aceites epoxidados elaborados con la matriz de investigación presentaron una selectividad similar entre ellos, siendo buena ya que se partía de aceites usados que presentaban una elevada degradación química. El dato de selectividad para el aceite epoxidado de soya fue desconcertante, ya que se esperaba que fuera mejor que el de los dos anteriores; pero teniendo en cuenta que este aceite presentaba un índice de yodo mucho mayor que el de los ACUs el denominador de la ecuación de selectividad es más grande y se necesitaría que el índice de oxiranos final fuera mayor para contrarrestarlo. Esta es la otra razón por la cual la selectividad en el ensayo con aceite de soya fue menor, por el índice de oxiranos obtenido. Aunque el índice medido fue mayor en cuanto al valor mínimo de la NTC 2366¹¹¹, la formulación de reactivos se hizo para los aceites de cocina usados no para el aceite de soya, y al ser materias primas muy diferentes la cantidad de reactivos utilizados deben ser mayores para que hagan reacción con el aceite de soya y así obtener un número mayor de oxiranos en el epoxidado de soya.

Ahora bien, como se habló al principio, el seguimiento de la reacción se realizó en paralelo a la reacción, esta discusión junto a las demás técnicas de caracterización se abordará a continuación.

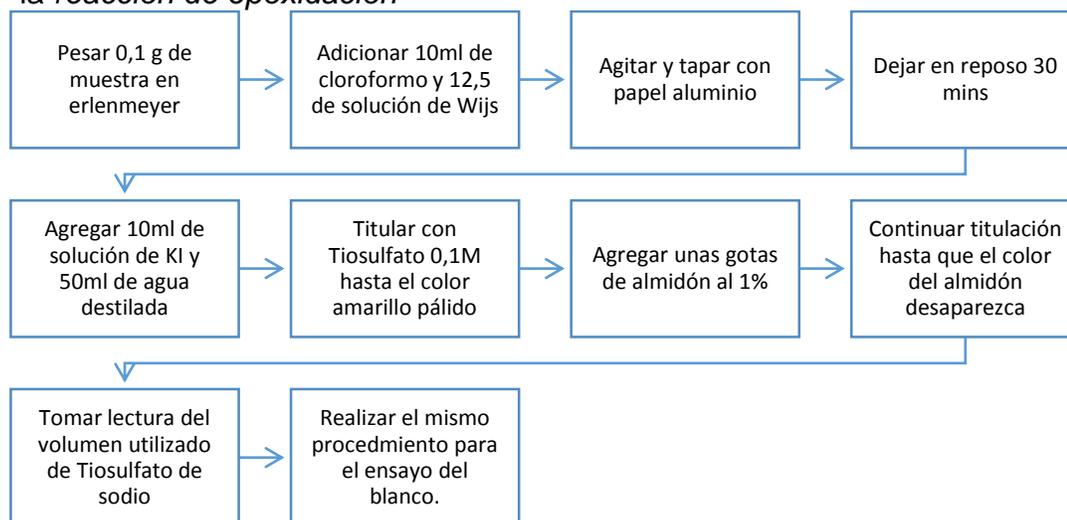
4.3.3 Caracterización. Al igual que en los jabones y las ceras, para hacer una caracterización del producto nos basamos tanto NTC 2366 y 3305 como en una caracterización propia para identificar el aceite epoxidado obtenido en los ensayos con ACUs y con aceite de soya.

Las pruebas más importantes para la determinación de calidad son el índice de yodo y el índice de oxiranos. El primer índice permite hacer un seguimiento de la reacción, pues a medida que la reacción avanza el índice va disminuyendo hasta que en un punto se vuelve constante. Algo similar ocurre con el índice de oxiranos, en donde el valor de esta técnica aumenta con el paso del tiempo y se hace constante cuando la reacción se ha completa; sin embargo, la cantidad de oxiranos puede disminuir si la reacción no se finaliza en el tiempo correcto, ya que el peróxido, el agua y otros compuestos que se forman en el proceso pueden descomponer el anillo oxirano. Esto ya fue mencionado en el marco teórico.

¹¹¹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. plásticos. aceites vegetales epoxidados de soya y linaza, NTC 2366.: 2000, 11 p

4.3.3.1 Índice de Yodo. Esta técnica fue realizada siguiendo la metodología de la NTC 2366. Para su medición, primero en un erlenmeyer se tomaron 0,1 gramos de muestra previamente neutralizada con los lavados de agua destilada a 70°C. Se le agregó a la muestra 10 ml de Cloroformo y 12,5 ml de solución de Wijs; el erlenmeyer fue tapado con papel aluminio y se dejó en reposo después de agitar la mezcla por 30 minutos. Una vez cumplido este tiempo se le agregaron 10 ml de yoduro de potasio al 15% y 50 ml de agua. Se realizó luego la titulación con el Tiosulfato de sodio al 0,1M previamente estandarizado hasta que el color del líquido contenido en el erlenmeyer se tornó amarillo pálido. Se le agregó unas cuantas gotas de la solución fresca de almidón al 1%, posteriormente se continuó la titulación hasta que la coloración del almidón desapareció. En el Diagrama 28 se muestra el procedimiento para la titulación yodométrica del aceite epoxidado.

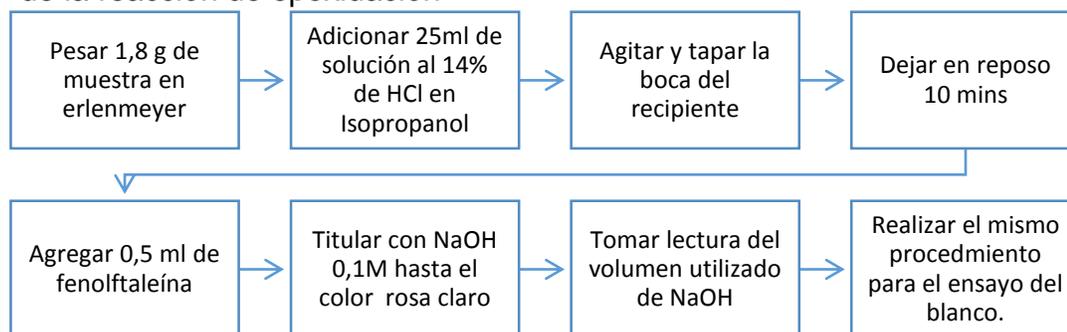
Diagrama 28. Determinación de índice de yodo durante el seguimiento de la *reacción de epoxidación*



Fuente: elaboración propia.

4.3.3.2 Índice de Oxiranos. Para la medición de éste índice, se usó el procedimiento de la NTC 2366. La técnica consistió en tomar 1,8 gramos de muestra en un erlenmeyer al cual se le agregó después 25 ml de la solución de ácido clorhídrico en isopropanol, se tapó el recipiente y se agitó por 1 minuto, luego se dejó en reposo durante 10 minutos tiempo en el cual se le agregaron 0,5 ml de fenolftaleína en solución y se tituló con NaOH 0,1M hasta que la solución en el erlenmeyer se tornara rosa claro. El resumen del procedimiento se muestra en el Diagrama 29.

Diagrama 29. Determinación de índice de oxiranos durante el seguimiento de la reacción de epoxidación



Fuente: elaboración propia.

Un ensayo de adicional para la determinación de oxígeno de oxirano, es el número de ácido, el cual se realiza con respecto a la NTC 3305, Plásticos. Muestreo y evaluación de plastificantes utilizados en plásticos. Se determinó que el número ácido es muy bajo es un valor que no aporta un cambio significativo en el cálculo de índice de oxiranos, los resultados del número ácido de encuentran en la Tabla 40.

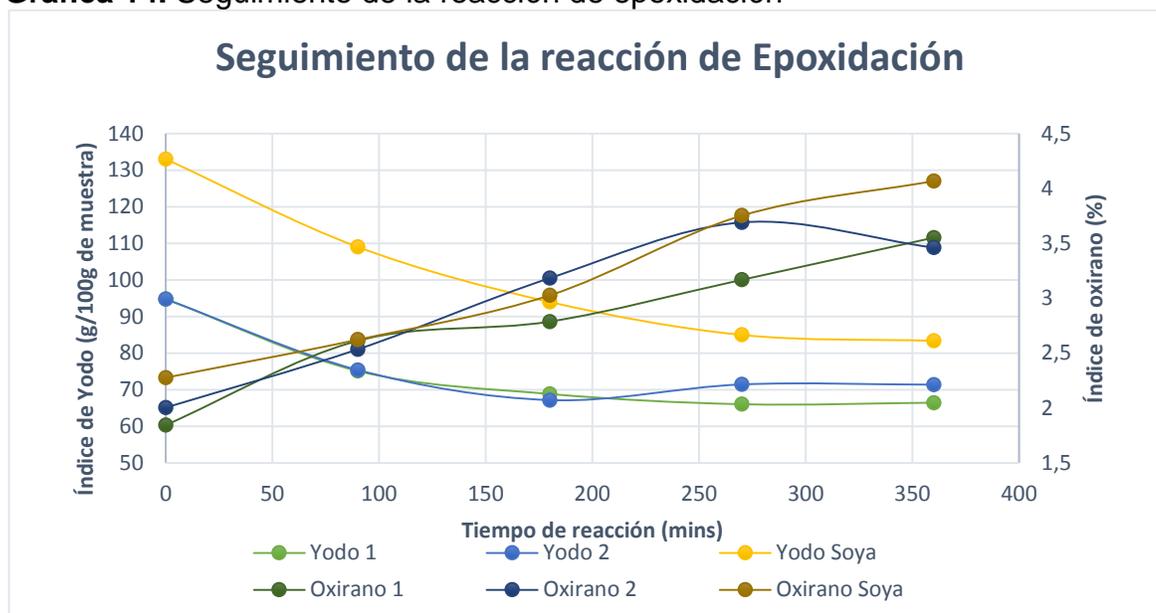
Tabla 40. Numero ácido de aceites epoxidados.

Muestra	Numero Acido
ACUs 1	0,7
ACUs 2	0,6
Aceite de soya (referencia)	0,2

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del seguimiento de índice de oxiranos y de yodo se evidencian en la Gráfica 14, en donde se muestran los dos comportamientos de las titulaciones en los 3 aceites; demostrando así que el procedimiento para epoxidación fue exitoso. El comportamiento que presentan en la gráfica los aceites epoxidados de ACU's concuerdan tanto con la teoría como en el ensayo de parámetro realizado; pues hay una disminución de los dobles enlace a medida que se aumenta la cantidad de oxiranos presentes en la reacción.

Gráfica 14. Seguimiento de la reacción de epoxidación



Fuente: elaboración propia.

4.3.3.3 Características propias. Finalmente, para determinar otras características que a nuestro concepto eran necesarias determinar para verificar la calidad de los productos obtenidos se realizó la Tabla 41 resumen, donde se encuentran algunos parámetros que fueron definidos cualitativamente como el olor, color y apariencia física; mientras que la densidad fue medida utilizando el método del picnómetro de Gay- Lussac.

Tabla 41. Caracterización propia de aceites epoxidados

Aceite	Olor	Color	Apariencia Física	Densidad (g/cc)	Observaciones
ACU 1	Acido suave, sin presencia de olor característico de ACU	Caramelo	Líquido espeso y turbio	0,94	Permanecen aromas suaves de ácidos; opaco y viscoso
ACU 2	Acido suave, sin presencia de olor característico de ACU	Caramelo	Líquido espeso y turbio	0,93	Permanecen aromas suaves de ácidos; opaco y viscoso
Aceite de Soya	Acido suave	Amarillo pálido	Líquido espeso sin turbidez	0,94	Permanecen aromas suaves de ácidos; opaco y viscoso

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien para tener un aspecto más grande de los resultados que obtuvimos realizando los aceites epoxidados con los aceites de cocina usados, en la Tabla 42 se presenta una comparación de algunos parámetros de los aceites epoxidados, donde se evidencia que nuestros productos alcanzaron el requisito de la NTC2366 sobre el índice de oxiranos mínimo para el aceite epoxidado de soya y en donde se compara algunos parámetros con la tesis de maestría de la ingeniera Luz Ángela Rincón.

Tabla 42. Comparación de resultados de aceites epoxidados

Parámetro	Resultado Propio (Aceite epoxidado de ACUs)	Tesis de maestría Aceite epóxidos de ACUs ²	NTC 2366 (Aceite epoxidado de soya grado industrial) ³
Índice de Yodo (g /100g de muestra)	71 - 66	51,71	Max 40
Índice de Oxiranos (%)	3,5 - 3,4	3,4	≥ 3,5
Índice de Acidez	0,7 – 0,6	0,1	≤ 0,7

Fuente: elaboración propia¹. Luz Angela Rincón Vija. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados². ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas. PLASTICOS. ACEITES VEGETALES EPOXIDADOS DE SOYA Y LINAZA. En: ICONTEC - INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Ago 30,.no. NTC 2366:2000, p. 113³.

De este cuadro y de los demás resultados obtenidos en el transcurso de la discusión del aceite epoxidado, podemos concluir que nuestro producto alcanzó los estándares mínimos de calidad y que, si bien se tuvieron en cuenta todas recomendaciones de operación, el proceso se puede mejorar si se replica con mayor cuidado la etapa de reacción para que el índice de yodo disminuya a los niveles que obliga la NTC 2366 y para que la selectividad en el aceite obtenido aumente. Otra parte del proceso que se puede mejorar es la neutralización, en donde se pierde gran material por la transferencia de masa entre la fase acuosa y la fase orgánica, de tal forma se obtendrá mayor cantidad de producto lo cual representa una mayor ganancia si se pretende vender a futuro este producto.

Es así que la investigación y el desarrollo experimental de los aceites epoxidados por medio de ACU's resulta a nivel laboratorio una alternativa buena para darle un nuevo uso a los aceites de cocina usados, ya que presenta comportamientos similares en contraste al producto rival que se comercializa en mayor medida, como lo es aceite epoxidado de soya. También, se puede decir que al ser un aditivo que se usa en la industria de los polímeros su salida comercial puede generar buenas utilidades si se llegase a comercializar este aceite epoxidado.

4.4 SELECCIÓN DE PRODUCTO A ESCALAR

Para seleccionar el producto al cual se le iba a realizar el escalamiento se tuvieron en cuenta diferentes parámetros, cada uno tiene una calificación propia según lo obtenido en el desarrollo experimental de cada alternativa, pero a su vez cada parámetro tiene una calificación de importancia, que indica que tanto afecta el parámetro a nivel general. Las calificaciones de importancia de los parámetros van de 1 a 5 siendo 1: muy bajo, 2: bajo, 3: medio, 4: alto y 5: muy alto.

Así mismo los parámetros que se encuentran en la matriz fueron escogidos teniendo en cuenta las variables críticas que se deben tener en cuenta a la hora de elaborar un producto con el fin de comercializarlo. Cada uno cuenta con una calificación numérica y un valor cualitativo; siendo 5 el valor más alto y que menor riesgo tiene, y 1 siendo el más bajo y que tiene más dificultades o mayor riesgo.

- ✓ Costos de reactivos: este parámetro es decisivo a la hora de elaborar un producto, debido a que si las materias primas son de costo alto es difícil ajustar el precio de venta del producto, comprometiendo el retorno de inversión o haciéndolo inviable; por tal razón este ítem se catalogó como de importancia media. En el caso de los aceites epoxidados y de los jabones el costo de reactivos es elevado debido a su pureza y su restricción de venta.
- ✓ Peligrosidad de reactivos y manipulación: este punto se tuvo en cuenta ya que es un gran riesgo para la salud la manipulación de químicos y por lo tanto hay que analizar que tantos los cuidados, procedimientos e instrumentos de seguridad se deben tener a la hora de manipular los reactivos necesarios para la elaboración de los tres productos y evitar accidentes. Este parámetro es influyente porque puede reflejarse en un sobre costo por parte de la empresa al tener que adecuar las instalaciones para utilizar químicos fumantes como el ácido sulfúrico o la solución de wijs.
- ✓ Facilidad de control y operación: Este parámetro debe estar presente en todos los planes de elaboración de productos, porque un proceso que sea fácil de realizar y su control no sea tan minucioso generará costos menores. El proceso de elaboración de ceras es el más sencillo, ya que los dos únicos parámetros a controlar claves son la temperatura y la agitación de la mezcla; mientras que en los jabones y los epoxidados entrar a jugar otras condiciones como la refrigeración, el control de vapores y el control sobre la reacción.
- ✓ Rendimiento: el rendimiento determina que tan eficiente es el proceso y que tanta merma hubo en el proceso; de tal forma un producto que tenga mayor merma será el que requiere más control e investigación para disminuir el impacto de esta variable. Por este motivo este parámetro tiene una influencia considerable en la matriz de selección.

- ✓ Calidad del producto: es una variable que va dirigida principalmente al comprador; si un producto no cuenta con ciertas propiedades o características que sean buenas, será fácilmente remplazado en el mercado o no podrá entrar a competir en él. Este argumento nos sirvió para determinar el rendimiento como parte fundamental a la hora de escoger el producto a escalar; pues los jabones no alcanzaron una calidad física buena.
- ✓ Toxicidad del producto: la toxicidad del producto hace referencia a el grado de nocividad que posee el producto y el peligro que representa para la salud humana y el medio ambiente; esta variable es importante en los aceites epoxidados y en los jabones ya que tienen compuestos tanto ácidos como básicos que pueden ser dañinos para la salud.
- ✓ Desecho o aprovechamiento de subproductos o residuos: ya que esta investigación plantea una alternativa para reutilizar los ACU's que son residuos, es importante que los productos que se elaboren a partir de estos no produzcan los mismos o mayores residuos peligrosos; de tal forma este parámetro nos permite definir qué producto tiene residuos más difíciles de desechar o de poco aprovechamiento.
- ✓ Valor agregado del producto: este ítem es muy crucial a la hora de vender una idea de negocio, por tal razón tiene un peso significativo en la matriz de selección. El valor agregado de los jabones no es mucho, porque son productos que tienen una oferta muy grande en el mercado y que no poseen una innovación. Con respecto a las ceras se puede decir que son artículos que no tienen un consumo muy alto pero que pueden ocupar un lugar en el mercado dado a la calidad que se encontró en la experimentación. Finalmente, el aceite epoxidado es el que tiene mayor valor agregado, porque es un compuesto que se usa en gran volumen en la industria del PVC y de otros polímeros, por lo que resulta innovador con una proyección a futuro interesante.
- ✓ Impacto industrial del producto: este se refiere como la elaboración de cada producto influye en el campo industrial, en la generación de empleo, en el desarrollo de nuevas tecnologías y como abre nuevas líneas de investigación. Es Así, que los aceites epoxidados son los que más peso tienen en esta categoría.
- ✓ Beneficio económico del producto: es el ítem más importante en la matriz de selección. Su importancia se puede argumentar basándose en que la industria y en general el comercio se mueve por las ganancias que genera elaborar y vender un artículo, por esta razón, nosotros planteamos que posiblemente el producto que puede dar mayor utilidad es el aceite epoxidado dado a la calidad y el impacto industrial que este puede tener, mientras que los jabones por sus propiedades que se obtuvieron en el laboratorio no suelen ser de confianza para que en esas condiciones tenga una acogida buena en el mercado; y las ceras,

que tuvieron una calidad buena por su poca demanda no tienen el perfil de generar las mismas ganancias que los epoxidados.

De tal forma, el producto a escalar iba a ser el cual tuviera el mayor puntaje de entre los 3, teniendo en cuenta que el resultado final de cada producto era la suma de todos los parámetros multiplicados cada uno por su valor de importancia. En la Tabla 43 se detalla más a fondo los puntajes y selección del producto.

Tabla 43. Matriz de selección para el producto

Parámetro		Importancia del parámetro	Producto		
			Jabones	Aceites Epoxidados	Ceras
Costo de reactivos	valor cuantitativo	3	3	2	4
	valor cualitativo	medio	medio	Alto	bajo
Peligrosidad de reactivos y manipulación	valor cuantitativo	2	3	2	4
	valor cualitativo	bajo	media (bases fuertes)	alta (ácidos corrosivos)	baja (solventes volátiles)
Facilidad de control y operación	valor cuantitativo	3	4	2	5
	valor cualitativo	medio	Sencilla (T y agitación)	Difícil (T, A, C reactivos, lavados)	Sencillo (T)
Rendimiento	valor cuantitativo	4	4	4	5
	valor cualitativo	alto	medio	bueno	muy bueno
Calidad del producto	valor cuantitativo	3	2	4	4
	valor cualitativo	medio	bajo (mala apariencia)	Bueno (puede mejorar)	Bueno (puede mejorar)
Toxicidad del producto	valor cuantitativo	3	3	3	4
	valor cualitativo	medio	media (pH >9, no apto para consumo humano)	media (pH<5, tóxico)	media (nocivo)
Desecho o aprovechamiento de subproductos o residuos	valor cuantitativo	4	5	5	5
	valor cualitativo	alto	ninguno (glicerina)	ninguno (aguas ácidas)	ninguno (ceras grasas)
Valor agregado del producto	valor cuantitativo	4	2	4	2
	valor cualitativo	alto	bajo (producto común)	muy alto (novedoso)	bajo (simple)

Tabla 43. (Continuación)

Parámetro		Importancia del parámetro	Producto		
			Jabones	Aceites Epoxidados	Ceras
Impacto industrial del producto	valor cuantitativo	4	1	5	2
	valor cualitativo	alto	muy bajo (proceso conocido y gran competencia)	muy alto (posible remplazo a A. Epoxidados de soya)	bajo (proceso conocido)
Beneficio económico del producto	valor cuantitativo	5	2	5	3
	valor cualitativo	muy alto	bajo (con respecto a la calidad obtenida)	muy alto (valor comercial de los A. Epoxidados)	bajo (poca comercialización)
Puntaje Total			100	134	130

Fuente: elaboración propia.

Aunque evidentemente, los reactivos que se utilizan para la elaboración de aceites epoxidados tienen un costo más elevado y su peligrosidad a la hora de manipularlos es mayor dada su alta corrosividad y daños a la salud; los aceites epoxidados pueden proporcionar una mayor ganancia económica a diferencia de los jabones, ya que tienen un valor agregado mucho más alto que los jabones, que son productos que ya se ubican ampliamente en el mercado y que su proceso a diferencia del realizado en este proyecto, dan como resultado un producto de calidad muy buena; pues la industria de los detergentes y jabones tiene estándares muy altos en sus procesos.

Por otro lado, aunque las ceras obtuvieron un puntaje muy similar al de los aceites epoxidados y que fueron el producto que mayor rendimiento generó debido a que su elaboración consistía en hacer únicamente procesos unitarios de mezcla en donde la única pérdida era debido al traspaso de la cera de un recipiente a otro; los aceites epoxidados resultaron mejor porque son el producto que mayor impacto tiene y que tiene mayores cualidades para hacerse un espacio en la industria dada la gran aplicación que tiene como plastificante en las tuberías de PVC.

Es así que, a pesar de tener grandes desventajas como la facilidad de operación y el precio de sus reactivos, los aceites epoxidados constituyen la alternativa más interesante como materia de estudio para el aprovechamiento de aceites de cocina usados.

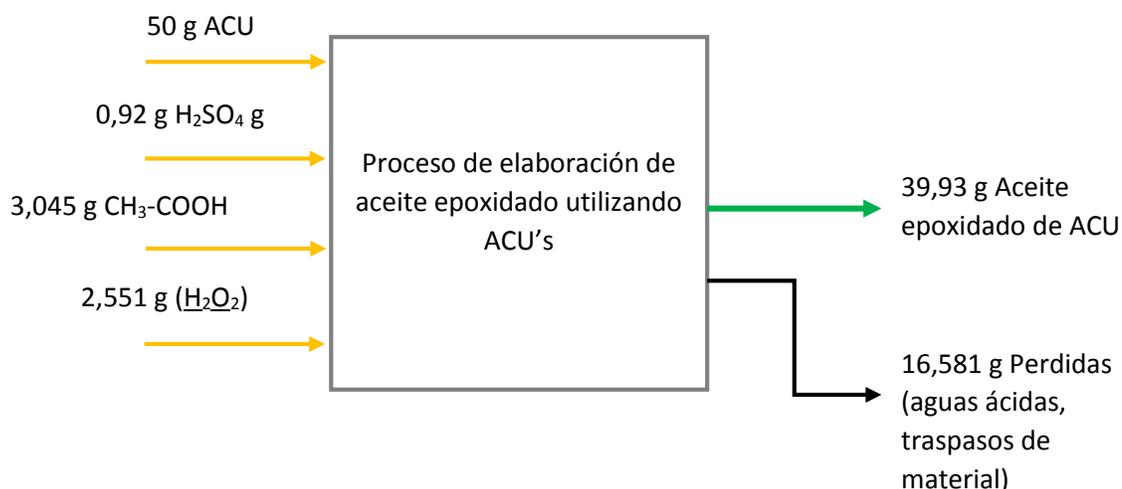
5. ESCALAMIENTO A NIVEL BANCO

La meta del escalamiento fue proponer teóricamente, las condiciones, cantidades, equipos e instrumentos necesarios para obtener 1000g de aceite epoxidado por medio de la epoxidación In Situ de los ACUs. Estas condiciones y demás variables de escalamiento serán mostradas y discutidas en el transcurso de éste capítulo.

5.1 BALANCE DE MATERIA

Una vez se seleccionó el aceite epoxidado de ACUs como producto a escalar, se tomaron las medidas de reactivos utilizados en la reacción de epoxidación y teniendo en cuenta el promedio de pérdidas y de obtención final del aceite epoxidado se planteó el balance de masa del proceso de epoxidación de 50 gramos de ACUs, el cual se muestra en el Diagrama 30.

Diagrama 30. Balance de masa para el proceso de aceites epoxidados nivel *laboratorio*.



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, para llegar a los 1000 gramos de aceite epoxidado fue necesario realizar un factor de escala que se multiplicaría por cada una de las corrientes de proceso en el primer balance de masa. Este factor de escala se obtuvo dividiendo los 1000 gramos a los cuales se quería llegar entre el promedio de las masas finales de aceite epoxidado en las dos repeticiones que se hicieron. El factor de escala hallado mediante ésta premisa fue de 25,041. La Tabla 44 muestra la determinación del factor de escala.

Tabla 44. Determinación del factor de escala.

Repetición	Masa final epoxidado (g)	aceite	Masa objetivo de epoxidado (g)	Factor de escala
Acu 1	38,10			
Acu 2	41,77		1000	25,041
promedio	39,93			

Fuente: elaboración propia.

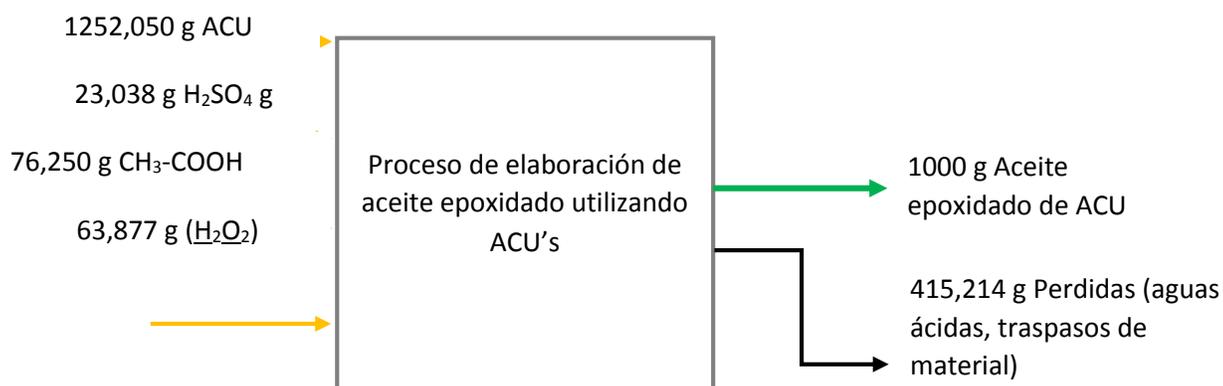
Como se mencionó anteriormente, el factor de escala hallado se multiplicó por las 4 entradas de reactivos del primer balance y al conocer la masa final de aceite epoxidado que se obtendría con el factor, se procedió a saber la cantidad de pérdidas que el proceso tendría utilizando la Ecuación 14.

Ecuación 14. Balance de masa global.

$$\begin{aligned}
 Masa_{p\acute{e}rdidas} &= Masa_{ACU} + Masa_{H_2SO_4} + Masa_{CH_3-COOH} \\
 &+ Masa_{H_2O_2} - Masa_{aceite\ Epox} \\
 Masa_{p\acute{e}rdidas} &= 425,214\ g
 \end{aligned}$$

Teniendo todas las corrientes de entradas y salidas pertinentes al proceso de elaboración de 1000 g de aceites epoxidados de ACUs, se planteó el balance de masa general que se muestra en el Diagrama 31.

Diagrama 31. Balance de masa para el proceso de aceites epoxidados a nivel banco.



Fuente: elaboración propia.

5.2 BALANCE DE ENERGÍA

Teniendo en cuenta los factores térmicos que afectan el proceso de elaboración de aceite epoxidado por medio de ACUs, se realizó un balance energético con el fin de identificar el intercambio de calor durante la reacción de epoxidación a escala banco. Para este proceso se realizó un baño termostatado a nivel laboratorio con el

fin de mantener la temperatura a 50°C, para evitar que el anillo de oxirano se degrade como se mencionó en la Figura 3. Respecto a las condiciones de operación, se planteó un balance de energía a escala banco para determinar la transferencia de calor en el proceso¹¹².

En la Ecuación 15 se observa el balance de energía propuesto para este proceso teniendo que no hay flujo de entrada y salida; se considera que es un proceso adiabático debido a que la temperatura ambiente no va a intervenir en el proceso, ya que posee un baño termostático el cual controla la temperatura adquiriendo calor que se produce de la reacción, cabe aclarar que la reacción es exotérmica¹¹³.

Ecuación 15. Balance de energía para escalamiento

$$Q = m \times Cp \times \frac{dT}{dt}$$

Con base a la literatura la capacidad calorífica de un aceite y el ácido implementado en la reacción es considerado 1,98 kJ/kgK, la masa implementada para la elaboración del aceite epoxidado es de 0,056 kg, la temperatura de operación para la reacción es de 50°C, la temperatura del líquido refrigerante es de 17°C, durante 6 horas.

De acuerdo a la Ecuación 15 se determinó el calor transferido el cual fue de 0,554 kJ/h a escala laboratorio, también se tuvo presente la transferencia de calor a nivel laboratorio, ya que es un factor importante para el desarrollo del capítulo de costos a nivel banco.

El calor transferido a nivel banco para obtener 1 kg de aceite epoxidado fue de 9,9 kJ/h el cual se determinó por medio de la Ecuación 15.

5.3 INSUMOS Y EQUIPOS PARA EL ESCALAMIENTO

Teniendo las cantidades de reactivos y de productos que se podrían obtener del escalamiento era necesario conocer que en que equipos e instrumentos se puede elaborar este proceso. Para esto, se tomaron de base los materiales e instrumentos que utilizamos en la etapa de experimentación, a algunos de los utensilios de laboratorio se pueden seguir utilizando con su mismo volumen, pero en algunos, como en el balón fondo plano de tres bocas se debe aumentar su volumen. En la Tabla 45 se lista los materiales y equipos necesarios para el escalamiento.

¹¹²DE QUADROS, Jacyr V; GIUDICI JR. Reinaldo. Epoxidation of soybean oil at maximum heat removal and single addition of all reactants. En: Journal Science Direct. Nov 14,.

¹¹³ SALZANO, Ernesto; GARCÍA AGREDA, Anita. Safety Criteria for the Epoxydation of Soybean Oil in FedBatch Reactor p. 1-6

Tabla 45. Materiales y equipos para el escalamiento.

Instrumento/ Equipo	Función de instrumento	Capacidad	Cantidad requerida
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja	Multiuso	2000 ml	1
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja	Caracterización y calidad	50 ml	2
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja	Caracterización y calidad	100 ml	2
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja	Caracterización y calidad	250 ml	2
Erlenmeyer de vidrio cuello angosto	Caracterización y calidad	250 ml	4
Barra magnética de 20 x 6 mm en teflón	Reacción de epoxidación	-	1
Balón volumétrico de vidrio. con tapón, clase A	Caracterización y calidad	50 ml	1
Balón volumétrico de vidrio. con tapón, clase A	Caracterización y calidad	100 ml	1
Balón volumétrico de vidrio. con tapón, clase A	Caracterización y calidad	250 ml	1
Balón volumétrico de vidrio. con tapón, clase A	Caracterización y calidad	500 ml	2
Balón 3 bocas paralelas con esmerilado 29/32, din12392. Con esmerilados central 29/32 y laterales 19/26 Fabricado en vidrio borosilicato 3.3. DIN 12392 & USP Standard	Reacción de epoxidación	2000 ml	1
Vidrio de reloj de 80 mm	Caracterización y calidad	-	2
Condensador en vidrio esmerilado 29/32 macho y hembra, long. 300 mm. RECTO	Reacción de epoxidación	-	1
pipeta graduada clase b	Reacción de epoxidación	5 ml	2
pipeta graduada clase b	Caracterización , calidad y reacción	10 ml	2
pipeta graduada clase b	Caracterización , calidad y reacción	25 ml	2
bureta clase a. llave de teflón	Caracterización y calidad	50 ml	1
picnómetro sin termómetro	Caracterización y calidad	25 ml	1

Tabla 45. (Continuación)

Instrumento/ Equipo	Función de instrumento	Capacidad	Cantidad requerida
probeta graduada de vidrio clase b base hexag, vidrio	Caracterización , calidad y reacción	50 ml	2
probeta graduada de vidrio clase b base hexag, vidrio	Caracterización , calidad y reacción	100 ml	2
pera pipeteadora universal de caucho, 3 vias	Caracterización , calidad y reacción	-	2
soporte universal en hierro 13 x 21 cm varilla de 70 cm	Caracterización , calidad y reacción	-	3
Aro metálico. 8 cm diámetro.	Calidad	-	2
Indicador pH 0 - 14 varilla plástica	Caracterización , calidad y reacción	-	1
embudo de separación en vidrio, graduado, llave teflón)	Calidad	2000 ml	1
Balanza de mesa de precisión	Multiuso	-	1
Balanza analítica	Multiuso	-	1
Plancha de calentamiento con agitación magnetica	Multiuso	-	1
Centrifuga	Neutralización	-	1
Potenciómetro (pHmetro)	Multiuso	-	1

Fuente: elaboración propia

Así mismo, se presenta a continuación, en la Tabla 46 la totalidad de reactivos y de sustancias necesarias en la elaboración de aceites epoxidados con ACU's.

Tabla 46. Reactivos necesarios para elaboración y control de calidad de aceite epoxidado.

Reactivo	Función de reactivo
Sodio hidróxido	índice de acidez y oxiranos
Potasio hidróxido en lentejas	índice de saponificación
Almidón soluble p.a.	Índice de yodo , índice de peróxidos
Sodio tiosulfato 5-hidrato	Índice de Yodo, Índice de peróxidos
Fenolftaleína solución (1%)	Índice de oxiranos, índice de acidez
cloroformo	Índice de yodo
Solución de wijs 0.1M	Índice de yodo
Alcohol etílico absoluto 99.5%	Índice de acidez
Ácido acético glacial 99.5%	Reacción epoxidación
Potasio yoduro	Índice de yodo
Alcohol isopropílico (2- propanol) 99.5%	Índice de oxiranos
Hidrogeno peróxido 50%.	Reacción epoxidación
Agua destilada	Multiuso
Acetona	Multiuso
ACU Greenfuel Colombia	Reacción epoxidación

Fuente: elaboración propia.

5.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones requeridas para la elaboración del aceite epoxidado se observan en la Tabla 47, donde se especifica la temperatura a la cual debe encontrarse controlada la reacción, la velocidad de agitación, la proporción de la materia prima y los reactivos escalados para la obtención de 1 kilogramo de aceite epoxidado y el tiempo de reacción.

Tabla 47. Condiciones de operación para la elaboración de aceites epoxidados a nivel banco.

Parámetro / Materia prima	Temperatura (°C)	Velocidad de Agitación (RPM)	ACUs (g)	Ácido Acético (g)	Peróxido de hidrógeno (g)	Catalizador A. Sulfúrico (g)	Tiempo de reacción (h)
ACUs	50	400	1252	76,3	63,8	23	6

Fuente: elaboración propia.

6. ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se abordará los costos de la elaboración de aceite epoxidado a nivel banco, en donde se tuvo en cuenta factores como el coste de equipos e instrumentos, de reactivos, servicios, mano de obra y otros cargos que son intrínsecos del proceso. Para comenzar cabe aclarar que los valores presentados tanto de los reactivos como de los equipos y materiales fueron suministrados por varios proveedores en la ciudad de Bogotá en el mes de octubre del presente año y que están sujetos a cambios debido a que algunos de ellos son importados y su precio se ve influenciado por la variación de TMR y de costos de importación; por lo que respecta a este capítulo puede tener cambios en el tiempo. Además, es necesario mencionar que al final de este capítulo se presentará una cifra promedio, ya que al haber varias cotizaciones se decidió manejar un valor que las incluya a todas, la elección de cada uno de los ítems queda a libertar del interesado en replicar ésta investigación.

En la Tabla 48 se muestra en análisis de costos referente a los reactivos, donde se muestran todas sustancias presentadas en el capítulo de escalamiento.

Tabla 48. Análisis de costos para reactivos

Reactivo	CAT	Función de reactivo	Cantidad	Valor	Valor promedio
Sodio hidróxido 'sne'	SH-1000 CHEMI	Índice de acidez y oxiranos	1 kg	\$ 83.300	\$ 94.150
Sodio hidróxido en lentejas 'sne'	141687.12 11 PANREAC	Índice de acidez y oxiranos	1 kg	\$ 105.000	
Potasio hidróxido en escamas 90%	PH90- 1000 CHEMI	Índice de saponificación	1 kg	\$ 94.010	\$ 124.005
Potasio hidróxido en lentejas	141515.12 11 PANREAC	Índice de saponificación	1 kg	\$ 154.000	
Almidón soluble p.a.	121096.12 10 PANREAC	Índice de yodo, indica de peróxidos	0,5 kg	\$ 316.000	\$ 316.000
Sodio tiosulfato 5-hidrato acs	131721.12 11 PANREAC	Índice de Yodo, Índice de peróxidos	1 kg	\$ 142.800	\$ 119.807
Sodio tiosulfato 5-hidrato	STP-1000 CHEMI	Índice de Yodo, Índice de peróxidos	1 kg	\$ 116.620	

Tabla 48. (Continuación)

Reactivo	CAT	Función de reactivo	Cantidad	Valor	Valor promedio
Sodio tiosulfato 5-hidrato	Sin referencia	Índice de Yodo, Índice de peróxidos	1 Kg	\$ 100.000	
Fenolftaleína a solución (1%)	FS-1000 CHEMI	Índice de oxiranos, índice de acidez	1 L	\$ 98.770	\$ 77.335
Fenolftaleína a solución (1%)	Sin referencia	Índice de oxiranos, índice de acidez	1 L	\$ 55.900	
Cloroformo 99% 'sne'	141252.16 11 PANREAC	Índice de yodo	1 L	\$ 142.800	\$ 129.710
Cloroformo 'sne'	CL-1000 CHEMI	Índice de yodo	1 L	\$ 116.620	
Solución de wíjs 0.1M	281590.16 11 PANREAC	Índice de yodo	1 L	\$ 184.000	\$ 184.000
Alcohol etílico absoluto 99.5%	141086.12 11 PANREAC	Índice de acidez	1 L	\$ 91.000	\$ 91.000
Ácido acético glacial 99.5%	131008.12 11 PANREAC	Reacción epoxidación	1 L	\$ 105.000	\$ 88.200
Ácido acético 99.5-100%	AA-1000 CHEMI	Reacción epoxidación	1 L	\$ 71.400	
POTASIO YODURO ACS	131542.12 09 PANREAC	Índice de yodo	0,25 Kg	\$ 335.000	\$ 280.000
Potasio yoduro	PY-250 CHEMI	Índice de yodo	0,25 Kg	\$ 225.000	
Alcohol isopropílico 99.5% 'sne'	141090.12 11 PANREAC	Índice de oxiranos	1 L	\$ 73.000	\$ 73.000
Hidrogeno peróxido 50%.	141076.12 11 PANREAC	Reacción epoxidación	1 L	\$ 240.000	\$ 131.000
Hidrogeno peróxido 50%.	Sin referencia	Reacción epoxidación	1 L	\$ 22.000	

Tabla 48. (Continuación)

Reactivo	CAT	Función de reactivo	Cantidad	Valor	Valor promedio
agua destilada	ADST-5000 CHEMI	Multiuso	1 L	\$ 20.400	\$ 15.100
agua destilada	Sin referencia	Multiuso	1 L	\$ 9.800	
Acetona	Sin referencia	Multiuso	1 L	\$ 86.000	\$ 86.000
ACU Greenfuel Colombia	Greenfuel Colombia	Reacción epoxidación	2 L	\$ 4.200	\$ 4.200
TOTAL					\$ 1.813.507

Fuente: Labins - Laboratorio e instrumentacion S.A.S. Cotización de reactivos, equipos e instrumentos. [0]. Nov 10,. Disponible en: <https://labins.com.co/>

La Tabla 49 se observa los costos de los instrumentos que se requieren desde la etapa de caracterización del aceite hasta la elaboración del aceite epoxidado y su control de calidad.

Tabla 49. Análisis de costos para instrumentos.

Instrumento	Capacidad	Valor unidad	Valor promedio	Cantidad requerida	Valor Total
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 1101-2000 Labscientific	2000 ml	\$ 34.500	\$ 36.250	1	\$ 36.250
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 5010663 BOECO	2000 ml	\$ 38.000			
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 1101-50 Labscientific	50 ml	\$ 7.200	\$ 8.450	2	\$ 16.900
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 5010617 Boeco	50 ml	\$ 9.700			
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 1101-100 Labscientific	100 ml	\$ 7.200	\$ 8.600	2	\$ 17.200

Tabla 49. (Continuación)

Instrumento	Capacidad	Valor unidad	Valor promedio	Cantidad requerida	Valor Total
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 5010624 Boeco	100 ml	\$ 10.000			
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 11101-250 Labscientific	250 ml	\$ 8.000	\$ 9.000	2	\$ 18.000
Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja 5010636 Boeco	250 ml	\$ 10.000			
Erlenmeyer de vidrio cuello angosto 5021636 boeco	250 ml	\$ 110.000	\$ 110.000	4	\$ 440.000
Barra magnética de 20 x 6 mm en teflón	-	\$ 7.100	\$ 7.100	1	\$ 7.100
Balón volumétrico de vidrio. Con tapón, clase A 61319523 LMS (ALE)	50 ml	\$ 41.800	\$ 41.800	1	\$ 41.800
Balón volumétrico de vidrio. Con tapón, clase A 61319524 LMS (ALE)	100 ml	\$ 47.500	\$ 47.500	1	\$ 47.500
Balón volumétrico de vidrio. Con tapón, clase A 61319526 LMS (ALE)	250 ml	\$ 62.000	\$ 62.000	1	\$ 62.000
Balón volumétrico de vidrio. Con tapón, clase A 61319527 LMS (ALE)	500 ml	\$ 83.100	\$ 83.100	2	\$ 166.200

Tabla 49. (Continuación)

Instrumento	Capacidad	Valor unidad	Valor promedio	Cantidad requerida	Valor Total
Balón 3 bocas paralelas con esmerilado 29/32, din12392. Con esmerilados central 29/32 y laterales 19/26 Fabricado en vidrio borosilicato 3.3. DIN 12392 & USP Standard 061.202.12 GLASSCO	2000 ml	\$ 342.800	\$ 342.800	1	\$ 342.800
Vidrio de reloj de 80 mm 3012080 PETRIQ	-	\$ 4.900	\$ 4.900	2	\$ 9.800
Condensador en vidrio esmerilado 29/32 macho y hembra, Long. 300 mm. SERPENTIN	-	\$ 88.500	\$ 99.000	1	\$ 99.000
Condensador en vidrio esmerilado 29/32 macho y hembra, long. 300 mm. Bola	-	\$ 88.500			
Condensador en vidrio esmerilado 29/32 macho y hembra, long. 300 mm. Recto	-	\$ 120.000			
Pipeta graduada clase b 63336157 LMS (ALE)	5 ml	\$ 7.500	\$ 7.500	2	\$ 15.000
Pipeta graduada clase b 63336158 LMS (ALE)	10 ml	\$ 7.800	\$ 7.800	2	\$ 15.600
Pipeta graduada clase b 63336160 LMS (ALE)	25 ml	\$ 24.000	\$ 24.000	2	\$ 48.000

Tabla 49. (Continuación)

Instrumento	Capacidad	Valor unidad	Valor promedio	Cantidad requerida	Valor Total
Bureta clase a. Llave de teflón 61346545 lms (ale)	50 ml	\$ 228.500	\$ 228.500	2	\$ 457.000
Picnómetro sin termómetro 61372104 LMS (ALE)	25 ml	\$ 121.000	\$ 205.000	1	\$ 205.000
Picnómetro sin termómetro (calibrado) 61372114-C LMS (ALE)	25 ml	\$ 289.000			
Probeta graduada de vidrio clase b base hexag, vidrio 61321234 LMS (ALE)	50 ml	\$ 28.500	\$ 28.500	2	\$ 57.000
Probeta graduada de vidrio clase b base hexag, vidrio 61321234;5 LMS (ALE)	100 ml	\$ 31.500	\$ 31.500	2	\$ 63.000
Pera pipeteadora universal de caucho, 3 vías	-	\$ 28.100	\$ 28.100	2	\$ 56.200
Soporte universal en hierro 13 x 21 cm varilla de 70 cm	-	\$ 62.000	\$ 62.000	3	\$ 186.000
Aro metálico. 8 cm diámetro. Fabricado en acero cold - rolled y zincado	-	\$ 21.500	\$ 23.250	2	\$ 46.500
Aro metálico. 8 cm diámetro. Fabricado en acero cold - rolled y zincado		\$ 25.000			
Indicador ph 0 - 14 varilla plástica 524164.1826 PANREAC	-	\$ 90.000	\$ 90.000	1	\$ 90.000
embudo de separación en vidrio, graduado, llave teflón 61165606 LMS (ALE)	2000 ml	\$ 349.000	\$ 384.000	1	\$ 384.000
embudo de separación en vidrio, graduado, llave teflón 149.209.06 Glassco	2000 ml	\$ 419.000			
TOTAL					\$ 2.927.850

Fuente: Labins - Laboratorio e instrumentacion S.A.S. Cotización de reactivos, equipos e instrumentos. [0]. Nov 10,. Disponible en: <https://labins.com.co/>

En la Tabla 50 se encuentran los equipos con descripción y el precio del mercado, los cuales serán utilizados para el proceso general del aceite epoxidado, teniendo en cuenta desde su materia prima hasta el producto final.

Tabla 50. Análisis de costos de equipos de laboratorio.

Equipo	Capacidad	Valor unidad	Valor promedio	Cantidad requerida	Valor Total
Balanza de mesa de precisión	Capacidad máxima 600gr, división de escala 0,01gr, Escala de verificación 0,1gr, unidad (gr, ct, dr, ozt,dwt)	\$654.550	\$654.550	1	\$654.550
Balanza analítica	Capacidad 220gr, cagar mínima 10mg, rango de tara 220g, Linealidad $\pm 0,2$ mg, tiempo de estabilización	\$7.500.000	\$7.500.000	1	\$7.500.000
Agitador magnético con plancha de calentamiento	Agitador magnético con plancha de calentamiento digital de 1 puesto en aluminio de 15x15 cm, 2000 r.p.m., 325°C, capacidad de agitación de 15 Lts	\$2.608.000	\$2.608.000	1	\$2.608.000
Centrifugadora	Capacidad de rotor 28 tubos de 15 mL, velocidad máxima 6000, voltaje de 100 a 127 v, rotor intercambiable/ oscilante.	\$13.717.130	\$13.717.130	1	\$13.717.130
Potenciómetro (pH-metro)	Interface Mini USB-B, Rango de pH -2 a 20 $\pm 0,1$, rango de temperatura -5 a 105 °C $\pm 0,1$ °C	\$5.512.080	\$5.512.080	1	\$5.512.080
				TOTAL	\$29.991.760

Fuente: LABINS - LABORATORIO E INSTRUMENTACION S.A.S. Cotización de reactivos, equipos e instrumentos. Nov 10. Disponible en: <https://labins.com.co/>

En la Tabla 51 se observa los costos de los servicios industriales necesarios para la elaboración del aceite epoxidado, son costos estimados obtenidos a partir de zonas industriales, estos valores fueron datos aproximados del lugar donde se estaba realizando la experimentación.

Tabla 51. Costos de servicios industriales en la elaboración de aceite epoxidado.

Servicios industriales	Valor mensual.
Agua (calentamiento/enfriamiento)	\$200.000
Energía	\$300.000

Fuente: elaboración propia.

Por último, se realizó un análisis de costos de la producción de aceite epoxidado a nivel banco, teniendo presente la materia prima, los reactivos necesarios y servicios industriales; donde se determinó el costo neto de producción de aceite epoxidado de un kilogramo el cual fue de \$19.642. Con base a las cotizaciones realizadas de los reactivos del valor del mercado se calculó la cantidad requerida para la elaboración del producto de acuerdo al balance de materia a nivel banco.

Tabla 52. Costo de elaboración de aceite epoxidado.

Material	Cantidad mercado (kg)	Precio mercado	Cantidad proceso	Valor final
ACUs	1	\$ 1.800	1252,05	\$ 2.450
Peróxido de Hidrogeno	1	\$ 20.000	63,877	\$ 881
Ácido Sulfúrico	2,5	\$ 800.000	23,038	\$ 4.007
Ácido Acético	1	\$ 75.000	67,25	\$ 4.804
Servicios industriales	N/A	N/A	N/A	\$ 7.500
Costo neto				\$ 19.642

Fuente: elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima, se consideró que los aceites de cocina usados tratados por la empresa Greenfuel Colombia se encuentran en condiciones adecuadas para elaborar los tres tipos de productos escogidos. Ya que aunque poseen una degradación avanzada debido a su uso, aún conservan propiedades útiles y que se pueden aprovechar en la elaboración de ceras para muebles, aceites epoxidados y jabones industriales; aunque en estos se debe tener en cuenta que no se consiguió una calidad ni un desemepeño alto debido a que fue muy difícil eliminar los olores rancios de los ACU's.
- ✓ Si bien, a nivel laboratorio todos los productos propuestos se lograron realizar, por medio de la matriz de selección se encontró que los aceites epoxidados junto a las ceras fueron los productos que mejor se acomodaron tanto a las necesidades futuras de la empresa como a los requerimientos de calidad.
- ✓ El proceso de epoxidación in situ de los ACU's utilizado en esta investigación nos permitió determinar la factibilidad de elaboración de este aditivo para el PVC; ya que el índice de oxiranos hallado cumplió el nivel mínimo para un aceite epoxidado de soya acorde a la NTC 2366. Sin embargo, en este método de elaboración la etapa de neutralización no es eficiente, porque los lavados que son necesarios para los ensayos de seguimiento y para neutralizar el epoxidado aumentan de gran manera la pérdida de la fase oleosa.
- ✓ Finalmente, el análisis de costos de producción de aceites epoxidados a nivel laboratorio resultó ser muy elevado con respecto los precios consultados para un kilogramo de aceite epoxidado de soya, por lo cual en esta escala no resulta económicamente viable.

8. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones sobre las temáticas abordadas en el trascurso de este proyecto, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- ✓ En primero lugar, los aceites de cocina usados son sustancias que tienen una gran variabilidad en sus propiedades físicas y químicas, debido a que es difícil controlar el número de procesos de fritura y cocción al cual se sometieron y a su vez los ACU's pueden cambiar debido a que el aceite vegetal de origen no siempre se encuentra en la misma proporción de muestra a muestra. Por tal razón es necesario hacer un muestro más amplio y minucioso con fin de obtener una mayor cantidad de datos y realizar un análisis estadístico más detallado. A su vez se aconseja tener en cuenta otras técnicas de caracterización como la determinación de compuestos polares, punto de humo y análisis cromatográfico, índice de anizidina, etc. Que en esta investigación no se realizaron por falta de recursos económicos, pero que pueden ser de gran ayuda a la hora de caracterizar y cuantificar la degradación de los aceites que se vayan a utilizar.
- ✓ Sumado a la recomendación anterior, también se deben hacer procesos de tratamiento más rigurosos; algunos como el blanqueamiento y el desodorizado, que jugaron un papel muy influyente en la elaboración de los tres productos presentados en nuestra investigación. De tal forma se necesario hacer ensayos con agentes de blanqueamiento más eficientes como tierras de blanqueo y desarrollar una etapa de desodorizado con el fin de retirar el olor característico de los ACU's.
- ✓ Otro punto para analizar en futuras investigaciones es un análisis financiero. Para tal análisis se requiere llevar los ensayos a una escala piloto, para así determinar si el costo de producción para aceites epoxidados disminuye y puede ser competitivo en el mercado.
- ✓ Por último, se recomienda estudiar nuevos productos a elaborar con los ACU's como biopolímeros o lubricantes, que también pueden ser productos de gran interés económico y de atractivo alto a nivel industrial y comercial.

BIBLIOGRAFÍA

ACEITE DE LAS VALDESAS. Propiedades y composición de aceite de oliva. [en línea]. [Consultado:05 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.aceitedelasvaldesas.com/faq/propiedades-composicion-aceite-oliva/acido-oleico/>

ÁCIDO CLORHÍDRICO. Ácido Linoléico - Usos, Aplicaciones, Beneficios Y Peligros. [en línea]. [Consultado: 05 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://acidoclorhidrico.org/acido-linoleico/>

AGROINDUSTRIAL. Jun 1, .vol. 11, no. 1, p. 235-244

ALIBABA [sitio web] Alibaba [Consultado:06 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/good-quality-pvc-plasticizer-epoxidized-soybean-oil-price-from-china-60650814164.html?spm=a2700.8699010.normalList.2.595a2e91Z4oT3b&s=p>.

AMAZON. [Sitio web] Amazon.com [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: https://www.amazon.es/dp/B06VYJJZF6/ref=sspa_dk_detail_4?psc=1&pd_rd_i=B06VYJJZF6&pd_rd_w=2AEBE&pf_rd_p=f0815c89-d195-4bd5-89fe-99dc61984993&pd_rd_wg=HtEZZ&pf_rd_r=P650C2X3R4TD1GQJ63HB&pd_rd_r=42779f66-f628-4a74-b538-d00a3ca436b2&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUPFWNEc2U1JPUUhQTVMmZW5jcnlwdGVkSWQ9QTA4MDQ4NTNERklFM0ZERzZGTEkmZW5jcnlwdGVkQWRJZD1BMDM5NzI1MDFSVlc5T0M4VVIVSUsmd2lkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhaWwWmYWN0aW9uPWNsaWNrUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl

ARANDA VILLAMAYOR, Carlos. Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento de depuradoras.

ARCIDIACONO, Giorgio. Calculadora estadística: Diagrama de caja. [Sitio web]. [Consultado: 07 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.alcula.com/es/calculadoras/estadistica/diagrama-de-caja/>

ARIAS, Martha. Evaluación de técnicas de saponificación artesanal de aceites de cocina usados provenientes del municipio de charalá. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2017

BARROSO MORENO, Mario. Titulación ácido base. [Sitio web] [consultado: 05 de abril de 2019], Disponible en: <http://ciencia-basica-experimental.net/titulacion.htm>

BASICFARM. JabónClean. [Sitio web] Basicfarm [consultado: 06 de agosto de 2019] Disponible en: <https://basicfarm.com/project/jabonclean/>

BEST, Rosie, DUARTE, Monica. Optimización del proceso de epoxidación para la producción de polioles a partir de aceite de palma. Universidad de los Andes, 2005.

BIOLUBRICANTES. Biolubricantes protegiendo el medio ambiente.

BOYACÁ, Luis Alejandro, BELTRÁN, Ángela Aurora. Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado in situ mediante catálisis homogénea. En: Revista de ingeniería e investigación. Apr 1, vol. 30, no. 1, p. 136-140².

BUENO FERRER, Carmen. Bio-compuestos termoplásticos basados en aceites vegetales: estudio de su aplicabilidad al envasado de alimentos. Universidad de Alicante, 2012

CAMPANELLA, Alejandrina, BALTANÁS, Miguel A. Degradation of the oxirane ring of epoxidized vegetable oils with hydrogen peroxide using an ion exchange resin. En: Journal catalysis today. vol. 107, p. 208-214

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 316 de 2018

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2154 de 2012. (Mar 8,).Bogotá 2012

DOCENCIA UDEA. Análisis metrífico.[en línea]. Universidad de Antioquia [Consultado: 05 de noviembre de 2019 2019]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/cen/QuimicaAnalitica/volu.htm>

DOCENCIAUDEA. Índice de Acidez [sitio web] DocenciaUdea [Consultado: 01 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/qf/grasas/acidez.html>

ECURED. Cera [sitio Web] EcuRed [Consultado: 15 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Cera>

ECURED. Saponificación [sitio web] EcuRed [consultado: 11 de marzo de 2019] Disponible en: <https://www.ecured.cu/Saponificaci%C3%B3n>

EDUCATIVA. Valoración indicador, [sitio web] Educativa [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4858/html/12_valoracin_e_indicadores.html

ESPAÑA. MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA.[sitio web] Aceites de cocina Usados. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/en/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>

EUNOK Choe, BS MIN David. Química de los aceites para freír con mucha grasa. [En línea]. [Consultado: 15 de abril de 2019] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>

FEDEBICOMBUSTIBLES. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>

GARCÍA COLOMER, Albert. Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. Universidad Ramón Llull, 2011.

GARCÍA MARTÍNEZ, *et al.* Determinación del enranciamiento hidrolítico de un aceite de oliva mediante el Grado de Acidez. [En línea]:2014.

GARCIA, Marina; CEREZO, Estela. Elaboración de jabón en gel para manos utilizando aceite vegetal reciclado. En: Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo. 2016

GOOGLE MAPS, Google maps. . [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps>

GUALPA TIPÁN, Paúl Fernando. Proyecto de factibilidad para la fábrica de ceras para la empresa Lux Ecuador S.A. empresa dedicada a la comercialización de equipos de limpieza ubicada en la ciudad de Quito. Pregrado de Ingeniería Química. Quito. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, 2013.

GUERRERO GONZALEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Universidad de Almería, 2014

GUTIÉRREZ SORIA, Luis Roberto. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de desinfectante líquido de piso para empresas o negocios en la ciudad de Guatemala.Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.

HEMCEMTER, [sitio web] Hemcenter [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: https://www.hemcenter.com.co/hemcenter-co/landing/cat4220001/?kid=bnext962934&utm_source=GOOGLE-

SEM&utm_content=PERFORMANCE&utm_medium=SEARCH&utm_term=GENERAL&utm_campaign=PREVIA-BLACK-FRIDAY--SEM-BRAND-EXACT&gclid=CjwKCAiAws7uBRAkEiwAMlbZjkGy8ojic2yuLUaCBEVmcqnZD7aN Od0ekXlxomCL4AY1rYnOOBFH7hoCgl0QAvD_BwE

INDIAMART [sitio web] Indiamart [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/epoxydised-soyabean-oil-1816117312.html>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de saponificación, NTC 335.:2019, 12 p

_____. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de refracción, NTC 289. Bogotá.:2019. 8 p

_____. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

_____. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil, NTC 287.:2018, 10 p

_____. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

_____. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo, NTC 283.:2012, 12 p

_____. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de peróxido, NTC 236.:2011, 13

_____. Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez, NTC 218.:2011, 16 p

_____. Plásticos. Aceites vegetales epoxidados de soya y linaza, NTC 2366.:2000, 11 p³.

_____. Artículos de limpieza. Cera para pisos, NTC 2111.:1990, 16 p

LAS CERAS [sitio web] LasCeras [Consultado: 19 de abril de 2019]. Disponible en: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/07/02/las-ceras/>

LAZARICK,Kelsey. Cause of color component formation in oils during frying. ProQuest Dissertations Publishing, 2012

MEDINA M, Gilma Beatriz. Aceites y grasas comestibles. [En línea].

MERCADO LIBRE. [Sitio web] Mercado Libre [Consultado: 05 de noviembre de 2019] Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480365014-desengrasante-liquido-industrial-1-gln-forte-_JM?quantity=1#position=8&type=item&tracking_id=391fe856-5cff-4be3-90de-c43d69183bfb(colombia).

MinAmbiente. Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país. [Consultado el Mar 01,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO COLOMBIANO. Sello Ambiental Colombiano | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [En línea]. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla->

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [sitio web]. Bogotá. Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país. [Consultado: 01 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

MURCIA ORDOÑEZ, Betselene; CHAVES, Luis Carlos. Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Jun 22.

NERI, Adrian Cristobal; REGLA, Ignacio. La química del jabón y algunas aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/>

PORCEL, Baltasar. Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados. 1. ed. ed. Barcelona: Planeta, 1996. ISBN 8408017357

QUADIS. Diferencias entre lubricantes minerales y sintéticos, [sitio web] [consultado: 17 de junio de 2019] Disponible en: <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/lubricantes/diferencias-entre-lubricantes-minerales-y-sinteticos/>

QUÍMICA GENERAL. Refractómetro » TP - Laboratorio Químico [sitio web]. [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/refractometro.html>

QUIMICANET [sitio web] Qumicanet [Consultado:06 de noviembre de2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/aceite-epoxidado-de-soya-30140529/precios.htm>.

QUIMINET.COM. ¿Cómo se obtiene el aceite de soya epoxidado? [En línea]. [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/como-se-obtiene-el-aceite-de-soya-epoxidado-2720809.htm>

RINCÓN VIJA, Luz Angela. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Trabajo de Maestría Ingeniería Química. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

SOLOPULIDORAS.COM, Ceras para suelos [sitio web] Solopulidoras [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://solopulidoras.com/ceras-para-suelos/>

SUATERNA HURTADO, Adriana Cecilia. La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. En: PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA. vol. 11, no. 1, p. 39-53

SUPER USER. Sello Ambiental Colombiano | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [0]. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla->

TITULACIÓN ACIDO BASE, Ciencias-básicas-experimentales. [Consultad: 05,2019]. Disponible en: <http://ciencia-basica-experimental.net/titulacion.htm>
TPLABORATORIOQUIMICO. Materiales e instrumentos de un laboratorio quimico, [sitio web] Tplaboratorioquimico [Consultado: 05 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/phmetro.html>

Vix, Como hacer cera para pisos casera. [Consultado el Nov 05,2019]. Disponible en:<https://www.vix.com/es/imj/hogar/4700/como-hacer-cera-para-pisos-casera>

XAVIER,Elías. Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora (2a. ed.). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2009.

ZULETA S, Ernesto; MANTILLA M, Mariel, AVENDAÑO, Indira. Epoxidación de oleína de palma con ácido peroxiacético formado in situ. En: Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Jun 1, .vol. 11, no. 1, p. 235-244

ANEXOS

**ANEXO A.
COTIZACIÓN DE LABINS LABORATORIOS E INSTRUMENTACIÓN SAS**

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
Juan David Munar
Cel: 3183767362
Ciudad



COTIZACION 1910-687

Item	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
1	SH-1000 CHEMI SODIO HIDROXIDO 'SNE' 1.0 kg	1 a 2	70.000	13.300	83.300
2	141687.1211 PANREAC SODIO HIDROXIDO EN LENTEJAS 'SNE' 1.0 kg	1 a 2	88.235	16.765	105.000
3	PH90-1000 CHEMI POTASIO HIDROXIDO EN ESCAMAS 90% 1.0 kg	Por confirmar	79.000	15.010	94.010
4	141515.1211 PANREAC POTASIO HIDROXIDO EN LENTEJAS 1.0 kg	1 a 2	129.412	24.588	154.000
5	121096.1210 PANREAC ALMIDON SOLUBLE P.A. 500.0 g	1 a 2	265.546	50.454	316.000
6	131721.1211 PANREAC SODIO TIOSULFATO 5-HIDRATO ACS 1.0 kg	1 a 2	120.000	22.800	142.800
7	STP-1000 CHEMI SODIO TIOSULFATO 5-HIDRATO 1.0 kg	Por confirmar	98.000	18.620	116.620
8	FS-1000 CHEMI FENOLFTALEINA SOLUCION (1%) 1.0 L	1 a 2	83.000	15.770	98.770
9	141252.1611 PANREAC CLOROFORMO 99% 'SNE' 1.0 L	1 a 2	120.000	22.800	142.800
10	CL-1000 CHEMI CLOROFORMO 'SNE' 1.0 L	Por confirmar	98.000	18.620	116.620
11	281590.1611 PANREAC SOLUCION DE WIUS 0.1M (0.2N) CERTIFICADO 1.0 L	1 a 2	154.622	29.378	184.000
12	141086.1211 PANREAC ALCOHOL ETILICO ABSOLUTO 99.5% 1.0 L	1 a 2	76.471	14.529	91.000
13	131008.1211 PANREAC ACIDO ACETICO GLACIAL 99.5%. 1.0 L	1 a 2	88.235	16.765	105.000
14	AA-1000 CHEMI ACIDO ACETICO 99.5-100% 1.0 L	1 a 2	60.000	11.400	71.400
15	131315.0314 PANREAC BENCINA DE PETROLEO 40-60°C. 'SNE' 5.0 L	1 a 2	352.941	67.059	420.000
16	BP40-1000 CHEMI BENCINA DE PETROLEO 40-60°C 'SNE' 1.0 L	1 a 2	60.000	11.400	71.400

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
Juan David Munar
Cel: 3183767362
Ciudad

Labins
Laboratorios e Instrumentación SAS
NIT 900090654-6

COTIZACION 1910-687

Ítem	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
17	131542.1209 PANREAC POTASIO YODURO ACS 250.0 g	1 a 2	281.513	53.487	335.000
18	PY-250 CHEMI POTASIO YODURO 250.0 g	Por confirmar	189.076	35.924	225.000
19	131494.1211 PANREAC POTASIO CLORURO ACS 1.0 kg	1 a 2	121.849	23.151	145.000
20	PCL-500 CHEMI POTASIO CLORURO 500.0 g	1 a 2	60.000	11.400	71.400
21	141090.1211 PANREAC. ALCOHOL ISOPROPILICO (2- PROPANOL) 99.5% 'SNE' 1.0 L	1 a 2	61.345	11.656	73.001
22	HP3-500 CHEMI HIDROGENO PEROXIDO 3%. (AGUA OXIGENADA) 500.0 ml	Por confirmar	52.941	10.059	63.000
23	141076.1211 PANREAC HIDROGENO PEROXIDO 30%. (AGUA OXIGENADA) 1.0 L	1 a 2	201.681	38.319	240.000
24	ADST-5000 AGUA DESTILADA 5.0 L CHEMI	1 a 2	85.714	16.286	102.000
25	1101-2000 Labscientific Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, línea económica, 2000 ml	1 a 2	28.992	5.508	34.500
26	5010663 BOECO VASO DE PRECIPITADO DE VIDRIO, F. BAJA, DE 2000 mL	1 a 2	31.933	6.067	38.000
27	1101-5000 Labscientific Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, línea económica, 5000 ml	Por confirmar	84.034	15.966	100.000
28	1101-50 Labscientific Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, línea económica, 50 ml	1 a 2	6.050	1.150	7.200
29	1101-100 Labscientific Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, línea económica, 100 ml	1 a 2	6.050	1.150	7.200
30	1101-250 Labscientific Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, línea económica, 250 ml	1 a 2	6.723	1.277	8.000

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
 Juan David Munar
 Cel: 3183767362
 Ciudad



COTIZACION 1910-687

Item	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
31	5010617 Boeco Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, 50 ml	1 a 2	8.151	1.549	9.700
32	5010624 Boeco Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, 100 ml	1 a 2	8.403	1.597	10.000
33	5010636 Boeco Beaker en vidrio, o vaso de precipitado, forma baja, 250 ml	1 a 2	8.824	1.676	10.500
34	417119950 SIMAX (ALE) ERLENMEYER DE VIDRIO CUELLO ANGOSTO DE 2000 ml	1 a 2 Por confirmar	47.899	9.101	57.000
35	5021636 BOECO ERLENMEYER DE VIDRIO CUELLO ANGOSTO DE 250 ml	1 a 2	9.244	1.756	11.000
36	110620 BOECO BARRA MAGNETICA DE 20 X 6 mm EN TEFLON 1UD	1 a 2	5.966	1.134	7.100
37	W-730 BOECO VARILLA AGITADORA EN VIDRIO 7 x 300 mm 1 UD	1 a 2	2.017	383	2.400
38	61319523 LMS (ALE) BALON VOLUMETRICO DE VIDRIO. CON TAPON, CLASE A, DE 50 mL. CERT.POR LOTE. 1.0 UD	1 a 2	35.126	6.674	41.800
39	61319524 LMS (ALE) BALON VOLUMETRICO DE VIDRIO. CON TAPON, CLASE A, DE 100 mL. CERT.POR LOTE. 1.0 UD	1 a 2	39.916	7.584	47.500
40	61319526 LMS (ALE) BALON VOLUMETRICO DE VIDRIO. CON TAPON, CLASE A, DE 250 mL. CERT.POR LOTE. 1.0 UD	1 a 2	52.101	9.899	62.000
41	61319527 LMS (ALE) BALON VOLUMETRICO DE VIDRIO. CON TAPON, CLASE A, DE 500 mL. CERT.POR LOTE. 1.0 UD	1 a 2	69.832	13.268	83.100
42	061.202.10 GLASSCO BALON 3 BOCAS PARALELAS CON ESMERILADO 29/32, DIN12392. 1000ml Con esmerilados central y laterales 29/32 Fabricado en vidrio borosilicato 3.3. Base redonda con espesor de pared gruesa. DIN 12392 & USP Standard	Por confirmar	187.395	35.605	223.000
43	061.202.12 GLASSCO BALON 3 BOCAS PARALELAS CON ESMERILADO 29/32, DIN12392. 2000ml Con esmerilados central 29/32 y laterales 19/26	Por confirmar	288.067	54.733	342.800

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
 Juan David Munar
 Cel: 3183767362
 Ciudad



COTIZACION 1910-687

Item	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
	Fabricado en vidrio borosilicato 3.3. Base redonda con espesor de pared gruesa. DIN 12392 & USP Standard				
44	3012080 PETRIQ VIDRIO DE RELOJ DE 80 mm 1.0 UD	1 a 2	4.118	782	4.900
45	SE-989 CONDENSADOR EN VIDRIO ESMERILADO 29/32 MACHO Y HEMBRA, Long. 300 mm. SERPENTIN	1 a 2	74.370	14.130	88.500
46	BO-987 CONDENSADOR EN VIDRIO ESMERILADO 29/32 MACHO Y HEMBRA, Long. 300 mm. BOLA	1 a 2	74.370	14.130	88.500
47	RE-988 CONDENSADOR EN VIDRIO ESMERILADO 29/32 MACHO Y HEMBRA, Long. 300 mm. RECTO	1 a 2	100.840	19.160	120.000
48	63336157 LMS (ALE) PIPETA GRADUADA CLASE B DE 5 ml (0.100) 1.0 UD	1 a 2	6.303	1.197	7.500
49	63336158 LMS (ALE) PIPETA GRADUADA CLASE B DE 10 ml (0.100) 1.0 UD	1 a 2	6.555	1.245	7.800
50	63336160 LMS (ALE) PIPETA GRADUADA CLASE B DE 25 ml (0.100) 1.0 UD	1 a 2	20.168	3.832	24.000
51	61346545 LMS (ALE) BURETA CLASE A. LLAVE DE TEFLON DE 50 ml (0.10) CERTIFICADO POR LOTE 1.0 UD	1 a 2	192.017	36.483	228.500
52	61372104 LMS (ALE) PICNOMETRO SIN TERMOMETRO DE 25 mL 1.0 UD	1 a 2	101.681	19.319	121.000
53	61372114-C LMS (ALE) PICNOMETRO SIN TERMOMETRO DE 25 mL (CALIBRADO) 1.0 UD Con Certificado de Trabajo Individual DIN 12797	1 a 2	242.857	46.143	289.000
54	61321234 LMS (ALE) PROBETA GRADUADA DE VIDRIO CLASE B BASE HEXAG, VIDRIO 50 mL (1.0 mL) 1.0 UD	1 a 2	23.950	4.550	28.500
55	61321235 LMS (ALE) PROBETA GRADUADA DE VIDRIO CLASE B BASE HEXAG, VIDRIO 100 mL (1.0 mL) 1.0 UD	1 a 2	26.471	5.029	31.500

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
Juan David Munar
Cel: 3183767362
Ciudad

Labins
Laboratorios e Instrumentación SAS
NIT 900090654-6

COTIZACION 1910-687

Item	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
56	101/200 PERA PIPETEADORA UNIVERSAL DE CAUCHO, 3 VIAS	1 a 2	23.613	4.487	28.100
57	SU . SOPORTE UNIVERSAL EN HIERRO 13 x 21 cm VARILLA DE 70 cm	1 a 2	52.101	9.899	62.000
58	40110.11 Aro metálico. 8 cm diámetro. Fabricado en acero cold - rolled y zincado, para aferrar a un soporte universal por medio de la nuez incorporada.	1 a 2	18.067	3.433	21.500
59	40110.12. Aro metálico. 10 cm diámetro. Fabricado en acero cold - rolled y zincado, para aferrar a un soporte universal por medio de la nuez incorporada.	1 a 2	21.008	3.992	25.000
60	40110.13. Aro metálico. 12 cm diámetro. Fabricado en acero cold - rolled y zincado, para aferrar a un soporte universal por medio de la nuez incorporada.	1 a 2	21.008	3.992	25.000
61	524164.1826 PANREAC. INDICADOR PH 0 - 14 VARILLA PLASTICA (NO DESTIÑE).. 100 xPQ	1 a 2	75.630	14.370	90.000
62	61165605 LMS (ALE) EMBUDO DE SEPARACION EN VIDRIO 1000 ml, GRADUADO, LLAVE TEFLON 1.0 UD	1 a 2	325.210	61.790	387.000
63	61165606 LMS (ALE) EMBUDO DE SEPARACION EN VIDRIO 2000 ml, GRADUADO, LLAVE TEFLON 1.0 UD	1 a 2	350.420	66.580	417.000
64	149.209.06 Glassco EMBUDO DE SEPARACION GRADUADO, EN VIDRIO 1000 ml, GRADUADO, LLAVE TEFLON 1.0 UD	1 a 2	293.277	55.723	349.000
65	149.209.06 Glassco EMBUDO DE SEPARACION GRADUADO, EN VIDRIO 2000 ml, GRADUADO, LLAVE TEFLON 1.0 UD	1 a 2	352.101	66.899	419.000
66	 Trumax Balanza de Mesa de Precisión MIX-H. Clase III CAPACIDAD MÁXIMA 600gr DIVISION DE ESCALA 0,01gr ESCALA DE VERIFICACION 0,1gr UNIDADES gr, ct, lb, oz, dr, gr, ozt, dwt DISPLAY 6 dígitos, 2cm de altura (H), tipo LCD con luz de respaldo	4 a 5	550.000	104.500	654.500

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

Bogotá, Octubre 28 de 2019

Señor
Juan David Munar
Cel: 3183767362
Ciudad

Labins
Laboratorios e Instrumentación SAS
NIT 900090654-6

COTIZACION 1910-687

Item	CAT./ DESCRIPCIÓN /PRESENT	PLAZO ENTREGA (DÍAS)	VALOR ANTES DE IVA	IVA	P.TOTAL
67	 AS 220 X2 RADWAG BALANZA ANALITICA, CAPACIDAD 220g, LEGIBILIDAD 0.0001g carga mínima 10 mg La legibilidad [d] 0,1 mg rango de tara -220 g repetibilidad 0,1 mg linealidad ± 0,2 mg Peso mínimo (USP) 200 mg Peso mínimo (T=1%,k=2) 20 mg tiempo de estabilización 3,5 s Ajuste / Calibración interna (automática)	Por confirmar	6.302.521	1.197.479	7.500.000
68	 US152D STUART (UK) AGITADOR MAGNETICO CON PLANCHA DE CALENTAMIENTO DIGITAL DE 1 PUESTO EN ALUMINIO DE 15 X 15 cm, 2000 r.p.m., 325°C, CAPACIDAD DE AGITACION DE 15 Lts	1 en stock. Por confirmar	2.191.597	416.403	2.608.000

CONDICIONES COMERCIALES

TIEMPO DE ENTREGA: el especificado en cada ítem, salvo venta previa antes de recibir su orden de compra.

FORMA DE PAGO: 50% anticipado, 50% con el aviso de entrega. Cuenta de ahorros Bancolombia a nombre de LABINS SAS

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días fecha de cotización.

NOTA: precios válidos por compra mínima de 450.000 antes de IVA

Cordialmente,

LILIANA BERMUDEZ A
LABINS SAS

Bogotá. Telefax 4725717. Cel 316-5281874
gerencia@labins.com.co labins-sas@outlook.com
www.labins.com.co

ANEXO B.
CALIBRACIÓN DE BALANZA ANALÍTICA.
NBL 214i Presupuesto

Capacidad	210g
Capacidad De Repetición	0.0002g
Tiempo De Estabilización	3.0
Fuente De Alimentación	Adaptador 18VDC 50/60Hz 830mA
Interface	RS-232, USB
Peso Neto	12.9lb / 5.85kg
Marca De Seguridad Eléctrica	CE, cUL
Lectura	0.0001g
Unidades De Pesaje	g, mg, ct, GN, N, oz, ozt, dwt, Unidad personalizada
Calibración	Calibración Interna Automática
Tamaño Del Sartén	3.5" ø / 90mm ø
Linealidad	0.0002g
Construcción	Base de aluminio extruido con una caja de aluminio fundido
Temperatura De Funcionamiento	15° a 35°C
Dimensiones	8.7"x0"x13.5" / 220x340 x344mm (apxa)
Approvals	No Disponible
Mostrar La Altura De Dígitos	0.8" / 20mm