

**FACTIBILIDAD DE PRODUCTO A PARTIR DE ACEITES DE COCINA USADOS  
(ACUs)**

**MARÍA FERNANDA GARZÓN CASTELLANOS**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental**

**Orientador  
Oscar Chamarraví Guerra  
Ingeniero Metalúrgico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director de la Especialización

---

Firma del calificador

Bogotá D.C. Febrero del 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claústro  
Dr. Mario Posada García-Peña

Consejo institucional  
Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrector Académico y de Investigación  
Dra. María Claudía Aponte Gonzáles

Vicerrector Administrativo y Financiero  
Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaría General  
Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad  
Dr. Julio César Fuentes Arismendí

Directora del Programa  
Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	11
1.1. Objetivo General	11
1.2. Objetivos Específicos	11
2. CAPITULO 1: MARCO REFERENCIAL	12
2.1. Aceite vegetal y sus usos	12
2.2. Aceites de cocina usados	12
2.3. Alteraciones de los aceites vegetales en el proceso de cocción y fritura	13
2.4. Propiedades de los ACUs	15
2.5. Afectaciones al medio ambiente	16
2.5.1. Fuentes hídricas	16
2.5.2. Afecciones de los aceites vegetales en el proceso de cocción y fritura	17
2.6. Marco legal	17
2.7. Pretratamiento de los ACUs	18
2.7.1. Filtración.	18
2.7.2. Decantación y segunda filtración.	18
2.7.3. Purificación.	18
2.7.4. Centrifugación.	19
2.7.5. Floculación y coagulación.	19
2.8. Productos a partir de ACUs	19
2.8.1. Aceites epoxidados	19
2.8.2. Jabones	22
2.8.3. Ceras	24
2.8.4. Lubricantes	26

2.8.5. Biodiesel	28
3. CAPITULO 2: CASOS ACTUALES DE PRODUCTOS A PARTIR DE LOS ACUs	31
3.1. Aceites epoxidados	31
3.1.1. Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado in situ mediante catálisis homogénea.	31
3.1.2. Modelo cinético de dos fases para la epoxidación de aceite de soya.	36
3.1.3. Epoxidación de aceite de soja a máxima eliminación de calor y adición única de todos los reactivos.	40
3.1.4. Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma.	44
3.2. Jabones Industriales.	46
3.2.1. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados.	46
3.2.2. Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la universidad nacional de la Amazonia Peruana – Iquitos.	50
3.3. Biolubricantes.	53
3.3.1. Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados.	53
3.4. Biodiesel	57
3.4.1. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.	57
4. CAPITULO 3: MATRIZ DE SELECCIÓN	63
4.1. Matriz de selección.	63
4.2. Resultados y análisis de la matriz de selección.	68
5. CAPITULO 4: CRITERIOS PARA LA IMPLMENTACIÓN DE UN PROYECTO SOSTENIBLE A PARTIR DE LOS ACUS	70
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Composición media de ácidos grasos de los aceites reciclados	14
<b>Tabla 2.</b> Características físicoquímicas del aceite vegetal de cocina	15
<b>Tabla 3.</b> Normas y decretos de disposición de los ACUs	17
<b>Tabla 4.</b> Requisitos para los aceites epoxidados de soja	21
<b>Tabla 5.</b> Propiedades físicoquímicas de aceites epoxidados	22
<b>Tabla 6.</b> Plantas productoras de biodiesel en funcionamiento a nivel nacional	29
<b>Tabla 7.</b> Condiciones reportadas para la epoxidación de aceite de soja	32
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los ensayos experimentales	34
<b>Tabla 9.</b> Parámetros utilizados en la resolución del modelo cinético	39
<b>Tabla 10.</b> Matriz de Diseño Experimental para un Sistema Factorial 2 <sup>3</sup>	50
<b>Tabla 11.</b> Parámetros de Control en la Reacción de Saponificación	51
<b>Tabla 12.</b> Proporciones de Agua y Pasta Jabón	52
<b>Tabla 13.</b> Resultados Porcentaje de Rendimiento del Biolubricante por el Método de Transesterificación	55
<b>Tabla 14.</b> Parámetros Evaluados a los Aceites Residuales	58
<b>Tabla 15.</b> Resultados de la Caracterización de los Aceites Reciclados	58
<b>Tabla 16.</b> Factores de Interés del Diseño y Sus Niveles	59
<b>Tabla 17.</b> Parámetros Evaluados al Biodiesel Obtenido	60
<b>Tabla 18.</b> Resultados de la Caracterización del Biodiesel	60
<b>Tabla 19.</b> Rendimiento en la Producción de Ciertos Productos a Partir de los ACUs	62
<b>Tabla 20.</b> Matriz de Pares (Criterios)	64
<b>Tabla 21.</b> Matriz de Pares Innovación	65
<b>Tabla 22.</b> Matriz de Pares Rendimiento	65
<b>Tabla 23.</b> Matriz de Pares Complejidad del Proceso	66
<b>Tabla 24.</b> Matriz de Pares Cantidad de Agua Consumida	66
<b>Tabla 25.</b> Matriz de Pares Costo de Operación	67
<b>Tabla 26.</b> Matriz de Pares Cumplimiento del ODS #12	67
<b>Tabla 27.</b> Matriz de Pares Final	68



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Consumo de productos que incorporan compuestos epoxidados en su formulación, según encuesta anual manufacturera colombiana	20
<b>Figura 2.</b> Estructura química modelo para A) Biolubricantes de la generación B)Biolubricantes de 2ª generación	28
<b>Figura 3.</b> Producción de Biodiesel a nivel nacional en los últimos dos años	30
<b>Figura 4.</b> Metodología del desarrollo experimental	36
<b>Figura 5.</b> Reacción y fases involucradas en la epoxidación del aceite	36
<b>Figura 6.</b> Reacciones químicas para la obtención de aceites epoxidados	37
<b>Figura 7.</b> Metodología del desarrollo experimental	40
<b>Figura 8.</b> Metodología del desarrollo experimental	43
<b>Figura 9.</b> Estructura característica de un anillo epoxi	44
<b>Figura 10.</b> Reacción de síntesis de AEP a partir del ARP	45
<b>Figura 11.</b> Metodología del desarrollo experimental	46
<b>Figura 12.</b> Reacción de saponificación con KOH	48
<b>Figura 13.</b> Reacción de neutralización con KOH	48
<b>Figura 14.</b> Metodología del desarrollo experimental	49
<b>Figura 15.</b> Metodología del desarrollo experimental	53
<b>Figura 16.</b> Proceso obtención del lubricante por transesterificación diseño CCD	56
<b>Figura 17.</b> Metodología del desarrollo experimental	61
<b>Figura 18.</b> Producción y demanda sector aceites y grasas	72
<b>Figura 19.</b> Departamentos más poblados	72
<b>Figura 20.</b> Ciudades más pobladas	73
<b>Figura 21.</b> Consumo anual del aceite de palma	73

## RESUMEN

Durante el último siglo, el deterioro del planeta tierra ha sido bastante notorio, por lo cual, varios países del mundo han tomado medidas que disminuyan dicho impacto; pero no solo los gobernantes sino también, las personas naturales han sido más conscientes con los daños diarios que ocasionan al entorno. Es por esto que a lo largo de los años se ha venido investigando y aplicando diferentes propuestas para productos, ya sean existentes o en tal casos nuevos; además, se han modificado modelos de procesos productivos; ambos con el fin de disminuir la contaminación y en consecuencia el impacto al medio ambiente. El trabajo que se presenta a continuación, se desarrolla con el fin de mostrar alternativas de productos a partir de los aceites de cocina usados (ACUs) que puedan ser empleados en la industria Colombiana y así poder ampliar el mercado, obtener productos amigables con el medio ambiente y ser un producto rentable en dicha región.

En primer lugar, se seleccionaron productos novedosos fabricados a partir de ACUs como materia prima, posterior a esto se recopilaron documentos y fueron estudiados a cabalidad para presentar al lector la información importante y relevante para futuras investigaciones.

Por consiguiente, se realizó una matriz de selección para establecer el producto con mayor impacto, evaluando desde su rendimiento, costos de producción, facilidad de elaboración, cantidad de agua consumida e innovación; los criterios anteriormente mencionados se crearon teniendo en cuenta su potencial de uso.

Finalmente, se realizó un análisis de cuales serían los criterios necesarios para la implementación de un proyecto sostenible en Colombia, esto teniendo en cuenta las necesidades y las cualidades geográficas de dicha región; además, se propuso un modelo productivo general como base para una futura implementación de dicha alternativa.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el aceite de cocina usado (ACUs) sigue siendo uno de los residuos más desechados incorrectamente, lo cual trae consecuencias tanto ambientales como de salubridad; es por este motivo que en los últimos años se ha visto un creciente interés por parte de la población y de las naciones, de darle un manejo adecuado tanto a los residuos que se generan a diario por las distintas actividades, como por el uso sostenible de los recursos naturales que hoy en día existen en el planeta tierra.

El consumo anual de aceite de origen vegetal en Colombia es aproximadamente 1062 miles de toneladas (fedepalma, 2020) y cerca del 30% es vertido por sifones y desagües (MinAmbiente, 2017); lo que causa una contaminación en fuentes hídricas y en el suelo; y la obstrucción en sistemas de cañerías y en consecuencia se generan malos olores, propagación de plagas, afectación al ecosistema e inundación en épocas de lluvia.

En el siglo XXI en el país se empezó a promover políticas públicas, direccionadas a la implementación de los aceites de cocina usados como materia prima para la elaboración de un producto; sin embargo, estas en un principio fueron direccionadas a las energías alternativas. Quince años después de haber implementado las primeras leyes, el estado colombiano se dio cuenta que este tipo de residuos no solo servía para la producción de biocombustibles, sino que tenía un mayor potencial, por lo que en el 2015 crean el primer acuerdo en donde se establecen regulaciones para la generación, recolección y tratamiento o aprovechamiento adecuado del aceite vegetal usado.

El presente trabajo busca estudiar los diferentes procesos que existen en la actualidad para la generación de productos a partir de los ACUs, mediante una matriz de selección con los casos de estudios recientes y así poder encontrar el o los criterios convenientes para que un proyecto sea sostenible y viable en el país (Colombia).

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1.Objetivo General**

Determinar las alternativas de productos sostenibles, fabricados a partir del aceite de cocina usado

### **1.2. Objetivos Específicos**

- 1.2.1. Identificar los tipos de productos que se pueden elaborar a partir de los ACUs. Y apropiar la información actualizada de estos casos de estudio.
- 1.2.2. Elaborar una matriz de priorización de productos, considerando el potencial de uso, basado en factores ambientales de sostenibilidad.
- 1.2.3. Seleccionar los criterios necesarios para la implementación de un proyecto sostenible de aprovechamiento de ACU.

## **2. CAPITULO 1: MARCO REFERENCIAL**

### **2.1. Aceite vegetal y sus usos**

Desde hace siglos el ser humano usaba técnicas antiguas para la producción de combustibles y para la producción de cierto tipo de cosméticos utilizando productos grasos. Los aceites y las grasas son sustancias de origen vegetal o animal que consiste en una mezcla de ésteres de glicerina con ácidos grasos; la diferencia entre estas dos radica en que una se encuentra en estado sólido y la otra se encuentra en estado líquido respectivamente.

Las sustancias a partir de las cuales se producen los aceites son semillas o frutos, todas estas contienen aceite, pero solo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite. La composición química del aceite vegetal corresponde a la mayoría de los casos a una mezcla de 95% triglicéridos y 5% de ácidos grasos (Abud y León, 2014).

El aceite es una sustancia grasosa de origen vegetal el cual tiene una presentación líquida, se encuentra en diversos tipos: oliva, palma, soja, girasol, cacahuete, argán, colza, entre otros. A partir de estos componentes, el aceite vegetal se obtiene mecánica o químicamente, o por una combinación de ambos procesos. El aceite de oliva, cuando es de poca calidad, y los aceites de girasol, soja, colza, obtenidos por extracción con disolventes, tienen que someterse al proceso de refinación antes de ser enviados al mercado. El proceso de todas las grasas y aceites comerciales están compuestos por sustancias diferentes a la de los glicéridos, lo que quiere decir que son insolubles al agua e incoloros, por ello después de pasar por un proceso de refinación de aceite bruto, la refinación permite que el aceite sea comestible con las características deseadas por los consumidores, como el sabor, olor suave, aspecto limpio, color claro, estabilidad frente a la oxidación e idoneidad para freír. Por esto, pueden ser comestibles y no perjudiciales para el ser humano (Bailey, 1984).

### **2.2. Aceites de cocina usados**

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, donde su poseedor desecha o tiene la necesidad de desecharlas porque no cuenta con conocimientos para la correcta disposición de estos (Ministerio para la transición ecológica, 2019). 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 servicios (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

En este sentido ambas definiciones se quedan cortas al tratar de explicar la definición de estos aceites, ya que la mayoría de los ACUs son la mezcla de diferentes tipos de aceites vegetales. Es importante mencionar que estos contienen distintos grados de uso y que pueden contener gran cantidad de proteínas y restos de alimentos adquiridos durante su empleo en la cocina; además de esto, los ACUs pierden sus instauraciones y se originan posibles productos de descomposición (Rincón, 2018).

En el transcurso de los últimos años el Ministerio de Ambiente Colombiano ha hecho campañas para concientizar a los diferentes sectores de la sociedad, de que a pesar que los ACUs son residuos no peligrosos, si es una fuente de contaminación para las fuentes hídricas; Además de contaminar ríos, mares, lagos, etc. perjudican los suelos haciéndolos menos fértiles y erosivos. Por este motivo, lo que hoy en día busca el Ministerio es que se tengan alternativas para la fabricación de productos a partir de estos aceites, 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 Biodiesel (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2019).

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 (Eunok y Bs Min 2019).

### **2.3. Alteraciones de los aceites vegetales en el proceso de cocción y fritura**

La función de los aceites vegetales en la mayoría de hogares y restaurantes es la de poder dar cocción a cierto tipo de alimentos. Cuando se hace un alimento frito, es necesario utilizar grandes cantidades de aceite, este por lo general no es utilizado una sola vez, sino que es empleado más de 2 veces para la misma función; en consecuencia, al número de veces empleado, este sufre diferentes tipos de reacciones, en las que por lo general se pueden formar compuestos como: polímeros, monómeros de ácidos grasos cíclicos y compuestos polares; los cuales pueden resultar

tóxicos y nocivos para la salud. Estos productos se generan debido a las altas temperatura a la cual los alimentos son preparados (175-185°C) (Hurtado & Cecilia,2008).

El deterioro de los aceites depende de diferentes aspectos, como: el grado de instauración, su pureza, su manejo, el tipo de alimento que se fritará, la cantidad de comida que se le agregue al aceite y el origen de la materia prima de estos; sin embargo, se debe tener en cuenta que siempre habrá una degradación. Lo anteriormente mencionado puede ocurrir por 3 tipos de reacciones, las cuales son: la hidrólisis, esta es 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 gástricas (Hurtado & Cecilia, 2008); y, por último, la tercera reacción se da por la temperatura elevada que hace que los dobles enlaces de las cadenas sean atacados saturando los aceites y oligomerizándolos (Rincón, 2018).

En consecuencia, los ACUS debido a los diferentes tipos de reacciones que sufren y a las numerosas veces que son empleados en la cocina, se puede determinar que es una materia prima variable, esto quiere decir que una muestra de un aceite no es químicamente y físicamente igual a otra. Por lo que es necesario establecer unos parámetros característicos, dependiendo del tipo de producto que se desee fabricar.

**Tabla 1**

*Composición Media de Ácidos Grasos de los Aceites Reciclados.*

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

Fuente: Elías, 2012. Reciclaje de residuos industriales. 2da. Ed. Madrid.

En la tabla 1 se puede observar la composición de ácidos grasos de los aceites vegetales después de su uso de fritura; esto sucede a que, durante la fritura de comida, el aceite sufre reacciones (hidrolítica, Termo oxidativas y de Isomerización) debido a las altas temperaturas a la

que fue sometido y a la interacción con el alimento de fritura, ocasionando cambios en su composición.

## 2.4. Propiedades de los ACUs

Las propiedades físicas y químicas de los ACUs dependen de las condiciones de fritura y de cocción durante su vida útil como aceite para freír, esto hace que las muestras de un aceite y otro sean muy heterogéneas.

Algunas características pueden ser analizadas físicamente como el color, sabor, olor, viscosidad, densidad y apariencia; mientras que otras como el punto de humo, los índices de yodo, saponificación peróxidos, impurezas insolubles y contenido de humedad requieren de estudios químicos más específicos para determinar su valor.

Según Murcia *et al.*, (2013) indican que las características fisicoquímicas del aceite vegetal usado son las que se presentan a continuación:

**Tabla 2**

*Características Fisicoquímicas del Aceite Vegetal de Cocina (Desechado, Usado, Fresco).*

Parámetros	Desechos	Usados	Frescos
Peso específico (20°C) (34°C)	0,911	0,9593	0,858
Índice de yodo (%m/m)	107,76	99,585	93,95
Índice de saponificación (mg KOH/g)	201,5	185,6	160,1
Índice de refracción (50°C)	1,4605	1,459	1,456
Humedad y material 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
K232	0,126	0,075	0,015
K270	0,156	0,076	0,03

Parámetros	Desechos	Usados	Frescos
Calor (%T550nm)	95	99	100
Kreis (Interface)	Rojo intenso	Rojo claro	Amarillo claro

Nota: Murcia, Chaves, Rodríguez, Andredy, & Alvarado (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. Bogotá-Colombia. Revista Colombiana de Biotecnología, vol. XV, núm. 1. p. 61-70

En la Tabla 2 se observan el resultado de estudios físicos y químicos de tres tipos de ACUs de diferente origen; donde, los aceites recolectados provienen de asaderos de pollos, los aceites usados de hogares y los aceites frescos de tiendas de mercado. Con los resultados obtenidos del estudio, se puede decir que los aceites procedentes de asaderos presentan un mayor daño en cuanto a sus propiedades y esto sucede debido al alto índice de acidez presente mayor cantidad de enlaces insaturados y contiene mayor cantidad de humedad y compuesto volátiles, con respecto a los aceites usados y los aceites fresco.

Además, la temperatura es un factor muy importante para el color del aceite usado, ya que indica 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 descomposición.

## **2.5. Afectaciones al medio ambiente**

### **2.5.1. Fuentes hídricas**

Los aceites son sustancias hidrofóbicas, es decir que no son miscibles en agua; por lo tanto, si son vertidos en una fuente hídrica, los contaminantes en estos aumentaran, incluyendo el índice de DQO; además, el aceite se difunde por la superficie del agua reduciendo la oxigenación a través de la interfaz aire-agua y la actividad fotosintética, ya que disminuye la producción interna de oxígeno disuelto porque absorbe la radiación solar (González & Gonzales, 2017).

En diferentes artículos publicados, se cita que un litro de aceite contamina mil litros de agua. Para cuantificar realmente cuántos litros de agua se contaminarían, se realiza un ejercicio teórico de calcular cual es el grado de dilución que sería necesario para cumplir con las limitaciones habituales de vertido al medio natural en tres parámetros físico-químicos: DQO, Sólidos Suspendidos Totales (en adelante SST) y Aceites & Grasas (González & Gonzáles, 2017).

## 2.5.2. Afecciones del aceite usado de cocina en la red de alcantarillado y saneamiento

La unión de aceites con jabones o detergentes forma las denominadas “bolas de grasas”, esta formación se da en zonas de los colectores donde la velocidad de vehiculación es baja. Estas bolas generan obstrucción en colectores y elementos anexos, roturas y puestas en carga de los mismos. Además, dificultan el intercambio gaseoso entre agua residual y aire en contacto con ella aumentando la progresiva anoxia del agua residual a lo largo de los colectores, con lo que aquélla llega a la EDAR con mínimos contenidos en oxígeno, cuando no en anaerobiosis (González & Gonzáles, 2017).

## 2.6. Marco legal

Los aceites de cocina usados son considerados como residuos no peligrosos, sin embargo algunos pueden contener compuestos tóxicos para la salud humana y fuentes de contaminación para cualquier cuerpo hídrica resulta. Es por esto que en Colombia existen normas y decretos que garantizan el buen manejo de estas sustancias; y agentes de control que vigilan la correcta manipulación y la disposición de los ACUs para garantizar el buen manejo de estos residuos. A continuación, en la tabla 3 se muestra las normas más relevantes de Colombia.

**Tabla 3**

*Normas y Decretos de Disposición de ACUs*

Ley	Contenido	Referencia
Resolución 316 del 2018	Promueve el aprovechamiento del residuo ACUs como materia prima para la producción de nuevos productos en todo el país, a través de gestores de AVU	Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible
Acuerdo 634 del 2015	Se implementan regulaciones para la generación, recolección y tratamiento o aprovechamiento adecuado del aceite vegetal usado.	Secretaría Distrital de Ambiente
Resolución 2154 del 2012	En el capítulo 13 se prohíbe la comercialización de	Ministerio de salud y protección social

Ley	Contenido	Referencia
Resolución 1188 del 2003	aceites ya utilizados en consumo humano, así como la reutilización en cualquier industria de alimentos para consumo humano. Es un manual de normal el cual contiene los procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito capital	Secretaria Distrital de Ambiente

Nota: Jaime Alfonso, Andrés Felipe & Munar Orjuela, Juan David. Desarrollo de una alternativa de producto utilizando aceites de cocina usados tratados por la empresa Greenfuel Colombia. trabajo de grado de ingeniería química. Bogotá. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química.

## **2.7.Pretratamiento de los ACUs**

Es ineludible hacer un tratamiento físico a los aceites de cocina usados, ya que estos vienen del proceso de fritura con sólidos o partículas suspendidas; además, de agua y de humedad. Los procesos que normalmente se emplean para la eliminación de este tipo de elementos, son:

### **2.7.1. 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 remover el exceso de agua (Porcel, 1996).

### **2.7.2. 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. Después, 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 pureza (Porcel, 1996).

### **2.7.3. 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 condensador (Porcel, 1996).

#### **2.7.4. Centrifugación.**

A pesar de que es un proceso costoso debido al consumo energético de las máquinas, este es efectivo a la hora de sedimentar y filtrar el aceite; sin embargo, se hace más efectivo cuando las revoluciones de la máquina aumentan. Este método puede ser utilizado si la diferencia de densidades que presentan las dos fases es pequeña (alrededor de 10 kg/m<sup>3</sup>) o bien si los productos en mezcla presentan un alto valor económico (Guerrero,2014).

#### **2.7.5. Floculación y coagulación.**

Ambos procesos pueden resultar con costos elevados. 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 polielectrólitos 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.

### **2.8.Productos a partir de ACUs**

#### **2.8.1. Aceites epoxidados**

Los aceites epoxidados se obtienen a escala industrial a partir de aceite vegetal insaturado, mediante la reacción de Prileschajewl; en la cual un aceite insaturado reacciona con un ácido peroxycarboxílico para dar origen al correspondiente epóxido (Ríos, Weckes, Schuster & Hoelderich, 2005). 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 oxirano. Como la velocidad de reacción es lenta, se requiere de un catalizador para reducir tiempos, este puede ser homogéneo o heterogéneo. Es importante que la velocidad del reactor no sea lenta ni rápida (velocidad adecuada = 300-400rpm), ya que no se favorece la formación del anillo oxirano.

Este producto es de gran importante en la industria oleoquímica, debido a que tiene una amplia variedad de uso en diferentes materiales, modificando sus propiedades de manera económica y fácil; un ejemplo de esto, es la aplicación en resinas de PVC para modificar las propiedades, aportando flexibilidad, elasticidad, tenacidad y estabilidad a estos. Otro uso, es para

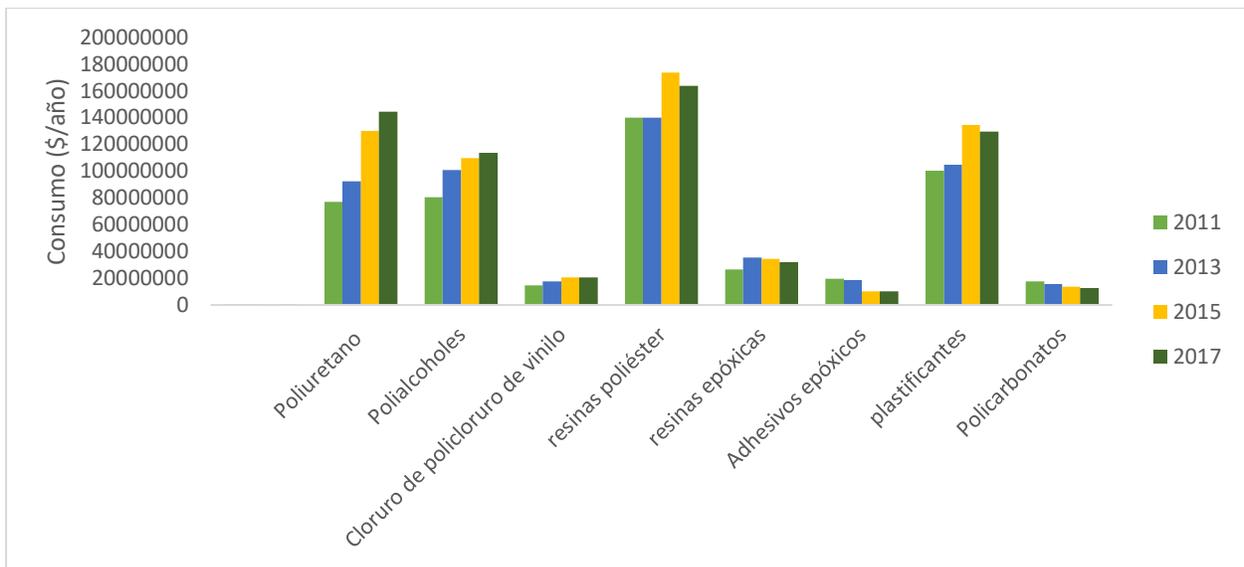
la producción de alcoholes, glicoles, alcanosaminas, lubricantes, compuestos, carbonílicos, olefinas y polímeros como poliuretanos, poliésteres y resinas epóxicas (Rincón, 2018) (Boyacá & Beltrán, 2010).

En la actualidad, la producción industrial de estos aceites está constituido por aceite de soya, girasol y linaza, estos pueden estar crudos o desodorizados. La materia prima a utilizar, depende de los requerimientos de la demanda. Brasil y Argentina son los países que están liderando el comercio de este material en América Latina, ya que cuentan con alta producción de aceites insaturados debido a la gran cantidad de área sembrada de castaña, soja, linaza y girasol.

En Colombia, como se puede observar en la figura 1., se ha presentado un incremento en el consumo de derivados de los aceites epoxidados; entre estos se destacan los poliuretanos, los polialcoholes, las resinas poliéster y los plastificantes. En la actualidad, la mayoría de estos compuestos tienen un origen petroquímico, por lo cual el uso de los ACUs como materia prima se convierte en una oportunidad para impulsar el consumo de productos bioderivados.

**Figura 1**

*Consumo de productos que incorporan compuestos epoxidados en su formulación, según encuesta anual manufacturera colombiana*



Nota: autor propio.

La norma para aceites epoxidados es la NTC 2366, la cual está basada en la norma ISO 1043-3. En esta se establecen los requisitos para los aceites epoxidados de soya y linaza, para aplicaciones en grado alimenticio e industrial (tabla 4). En el caso de los ACUs epoxidados, se espera que solo puedan ser empleados como grado industrial debido a las trazas de productos tóxicos que queden remanentes en el producto final.

**Tabla 4**

*Requisitos Para Los Aceites Epoxidados De Soja*

Requisitos	Aceites epóxidados de soja		Aceite epóxidado de linaza	
	Grado alimenticio o farmacéutico	Grado industrial	Grado alimenticio o farmacéutico	Grado industrial
Número de ácido máximo	0,7	0,7	1,0	0,7
Contenido de agua máximo	0,1	0,1	0,1	0,1
Oxígeno oxirano mínimo	6,0	3,5	9,0	8,0
Índice de yodo máximo	3,5	4,0	5,0	5,0
Densidad relativa a 25°C	0,985-1,002	0,978-1,002	1,000-1,040	1,000-1,040
Color Gardner máximo	3	3	3	3

Nota: Rincón, 2018. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Química.

En la tabla 5 se puede evidenciar algunas propiedades físicas y químicas de 3 aceites epoxidados (linaza, palma y soya), para comprobar que los valores están dentro de los límites permitidos por la norma que se rige en Colombia a los aceites epoxidados. Es por esta razón que se usa como materia prima el aceite de soya y de linaza para la elaboración del aceite.

**Tabla 5***Propiedades Físico-Químicas de Aceites Epoxiadados*

Propiedad	Aceite epoxidado de linaza	Aceite epoxidado de palma	Aceite epoxidado de soya
Apariencia	Líquido	Líquido	Líquido
Índice de acidez (mgKOH/g)	<1	0,7-0,8	<=0,8
Índice de oxirano (%)	<8	6,4	<=6,7
Índice de refracción a 20°C	1,475	1,472	No reporta
Densidad a 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,005	0,993-0,997	No reporta
Viscosidad	Aprox 8 Ps	No reporta	300-400cPs a 25°C

Nota: 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. 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. 136-140. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Plásticos. Aceites vegetales epoxidados de soya y linaza, NTC 2366.:2000, 11 p.

**2.8.2. Jabones**

Un jabón es el compuesto químico que se obtiene cuando se hace reaccionar un ácido graso con un álcali como el hidróxido de sodio (NaOH). Se caracteriza por ser soluble en agua, y por sus propiedades detergentes, y cuyo objetivo es que sirva para la higiene personal, lavar objetos o tejidos específicos. El aspecto para resaltar de este producto es que tiene una parte que es hidrofóbica y otra hidrofílica, esto se da con la capacidad de tener afinidad tanto con las grasas como con el agua; y de ahí su capacidad para retirar suciedad de las superficies que se someten a lavado (Regla, Vásquez, Cuervo & Neri, 2014).

Los jabones son tensioactivos aniónicos, debido a que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en disoluciones acuosas originando iones con carga negativa, los cuales

son los responsables de la actividad superficial; sin embargo, el agua es indispensable para que ocurra la reacción de saponificación.

Los jabones se obtienen a partir de la reacción de saponificación, la cual ocurre por medio de la hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en el material orgánico produciendo glicerina y una sal (Guerrero, 2014). Hoy en día a pesar de que el modelo de producción no ha cambiado, existen diversos tipos de jabones y los cuales tienen en común la reacción que permite su obtención. 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 seguro (Arias, 2017).

El proceso de producción consiste 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 de reacción, la glicerina (Guerrero, 2014). Es importante saber escoger la base del jabón ya que de esto dependerá la consistencia del producto; dentro de las bases se encuentra el NaOH y el KOH, donde se obtendrá el producto sólido o líquido respectivamente.

Existen dos procesos básicos para la elaboración de jabones un proceso frío y uno en 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 usados (Guerrero, 2014). Por otra parte, el proceso en caliente es más rápido (2h a 3h), siempre y cuando, se mantengan temperaturas mayores a 50°C a baño maría o en el horno, estas condiciones hacen que la reacción de saponificación sea efectiva.

En el mercado, existen diferentes tipos de jabones dependiendo del uso final de este. Los jabones vigentes en la industria son:

- a. 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 (García & Cerezo, 2016).

- b. 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 dañadas.
- c. Jabones suaves: Están compuestos por aguas termales y son recomendados para pieles sensibles (García & Cerezo, 2016).
- d. Jabones líquidos: Se presentan como una loción de limpieza, su poder efectivo varía y no todos tienen la misma eficacia (García & Cerezo, 2016).
- e. 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 descama (García & Cerezo, 2016).
- f. 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 comunes (García & Cerezo, 2016).
- g. Jabones terapéuticos: Son recetados por los médicos, algunos se recomiendan para psoriasis, para micosis cutáneas y otros para limpieza profunda de cutis (García & Cerezo, 2016).
- h. 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 emolientes (Basicfarm, consultado 2020).

### **2.8.3. 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 éster (Bueno, 2012). A temperatura ambiente se caracterizan por ser sólidas, cristalinas y solubles en agua; además, las moléculas de estas son polares, lo que las hace sustancias hidrofóbicas, esta última permite ser utilizadas como impermeabilizantes y protector natural (Las ceras, 2019). Una cera la podemos encontrar en 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 oveja (Ecured, 2019).

Por otro lado, están las ceras de pisos que 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. Existen 3 tipos de ceras para pisos, las cuales son:

*6.6.3.1. 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 mercado (Gutiérrez, 2019).

*6.6.3.2. 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 personas (Gutiérrez, 2019).

*6.6.3.3 Ceras auto brillante:* 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 esfuerzo (Gutiérrez, 2019).

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 público (Gualpa, 2013).

El producto debe pasar por una serie de ensayos cualitativos o cuantitativos de calidad para garantizar si se encuentra dentro de los valores establecidos por la normatividad vigente; estas son:

- a. Abrasividad: Este ensayo se encarga de identificar el esfuerzo que se emplea al aplicar la cera sobre la superficie (ICONTEC NTC 2111, 1990).
- b. Consistencia: Durante esta prueba se identifica la firmeza y la facilidad de deformación de la cera para pisos, al aplicar una fuerza mecánica (ICONTEC NTC 2111, 1990).

- c. 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 (ICONTEC NTC 2111, 1990).
- d. Determinación de pH: En este ensayo se identifica el grado de acidez o basicidad del producto final (ICONTEC NTC 2111, 1990).

#### **2.8.4. Lubricantes**

Los aceites lubricantes están conformados por un aceite base, el cual se mezcla con compuestos y aditivos para mejorar el producto final. Estos aceites en un principio estaban conformados por aceites vegetales y grasas animales; sin embargo, cuando se hicieron los hallazgos del petróleo y las propiedades de este, el 90% de los lubricantes empezaron a ser producidos a partir de estos. En la actualidad existe una gran variedad de aceites base, los cuales se clasifican dependen de su origen, ya sean minerales, naturales o sintéticos (García, 2011).

Como se mencionó anteriormente los aceites lubricantes se pueden producir a partir de petróleo, aceites naturales; sin embargo, también pueden generarse de manera sintética por medio de químicos en un laboratorio. La producción mediante petróleo se lleva a cabo 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 propiedades (Quadis,2019). Por otro lado, están los lubricantes fabricados a partir de aceites naturales. Para su producción, inicialmente se lleva a cabo la extracción del aceite de las semillas principalmente por procesos mecánicos, y para facilitar la eficiencia de este proceso a veces se hace necesario implementar solventes para adquirir una mayor cantidad de aceite base y así agregar aditivos para mejorar las propiedades para una mejor lubricación (Garcia,2011). Por último, están los lubricantes sintéticos que 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 propiedades (Quadis,2019).

Los países a nivel mundial para hacerle frente al problema de contaminación ambiental han tomado ciertas medidas para contrarrestar este efecto; una de ellas es crear alternativas para el reciclaje de los residuos que se generan a diario por la actividad humana dándole así un valor agregado a cada producto. Han creado iniciativas para aprovechar los diferentes residuos y

aprovecharlos como materia prima para la fabricación de otros productos, es decir, darle un valor agregado a cada producto.

Un producto fabricado a partir de los ACUs son los biolubricantes, los cuales son lubricantes que se caracterizan por su rápida degradabilidad y no son tóxicos para el medio ambiente; estos pueden estar conformados por un aceite base vegetal o basado a partir de esteres sintéticos de origen mineral (Biolubricantes) y pueden ser utilizados para disminuir el rozamiento, reducir el desgaste, facilitar el lavado, sellar y demás funciones que garantizan extender la vida útil de las máquinas. Existe en la industria 2 tipos de biolubricantes los cuales son:

a. Biolubricantes de primera generación.

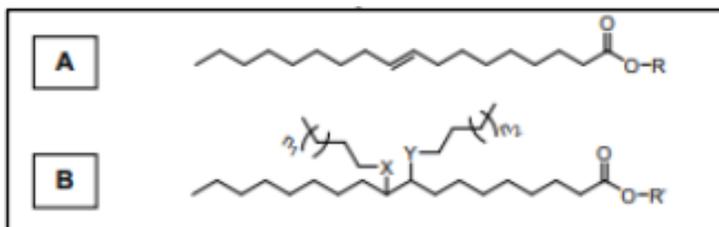
Si se examinan detenidamente los tipos de compuestos usados en la actualidad como aceites base de lubricación, se puede observar que muchos de ellos no cumplen todos los requisitos de baja toxicidad, elevada biodegradabilidad y alta renovabilidad, necesarios para la obtención de la etiqueta ecológica de la EU. Por este motivo, El desafío es la mejora de su rendimiento en usos industriales; específicamente en lo relativo a su estabilidad oxidativa y punto de fluencia, que en general no cumplen los requerimientos (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, 1999).

b. Biolubricantes de segunda generación.

La obtención de biolubricantes de segunda generación consiste en la sustitución de las instauraciones presentes en los biolubricantes de primera generación por ramificaciones. La Figura 2 muestra la estructura química modelo de los biolubricantes de primera y segunda generación. Los biolubricantes de segunda generación se caracterizan por tener una ramificación R1 con una funcionalidad X con una longitud de cadena n1 y una ramificación R2 con una funcionalidad Y con una longitud de cadena n2. La estructura primaria de biolubricante de segunda generación viene dada por el alcohol R' que no tiene que ser el mismo que R, que es el que forma la estructura primaria del biolubricante de primera generación.

## Figura 2

Estructura química modelo para A) Biolubricantes de la generación B) Biolubricantes de 2a generación.



Nota: León & Pinzón, 2020.

### 2.8.5. Biodiesel

Los biocombustibles son mezclas entre esterés monoalquílicos de ácidos grasos, los cuales se obtienen a partir de aceites vegetales y grasas animales de primera o segunda generación; sin embargo, a pesar de que son amigables con el medio ambiente porque reducen las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y hasta un 89% de emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero; estos no pueden ser implementados al 100% como biocombustible, ya que pueden alterar la vida útil del equipo, generando obstrucciones o deteriorando las partes del equipo en menor tiempo (Fedebiocombustibles, consultado: 10 de Septiembre del 2020).

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 esterés alquílicos de ácidos grasos y glicerina.

En la actualidad, el biodiesel es un tema de relevancia 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 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 mundial. Incluso hasta el año 2019, Colombia cuenta con 13 empresas productoras de biodiesel (Delgado, Salgado, & Pérez, 2015).

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 número indica el porcentaje que se implementa para la mezcla. En el país se desarrolla en mayor proporción la elaboración de biodiesel B10, este se produce más que todo en región Caribe y Andina, en cuanto a la producción

de B2 solo se realiza en el departamento de La guajira, Norte de Santander y Arauca (Delgado, Salgado, & Pérez, 2015).

En Colombia, se utiliza como materia prima el aceite de palma para la producción de biodiesel, debido a que es el país con mayor producción en Latino América. Para 2008 empezaron a salir las primeras producciones. Hoy en día, el país se cuenta con 13 empresas productoras de biodiesel como se puede observar en la tabla de abajo.

**Tabla 6**

*Plantas Productoras de Biodiesel en Funcionamiento a Nivel Nacional.*

Región	Empresa	Capacidad (T/año)	Fecha entrada 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
Facatativá, 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.

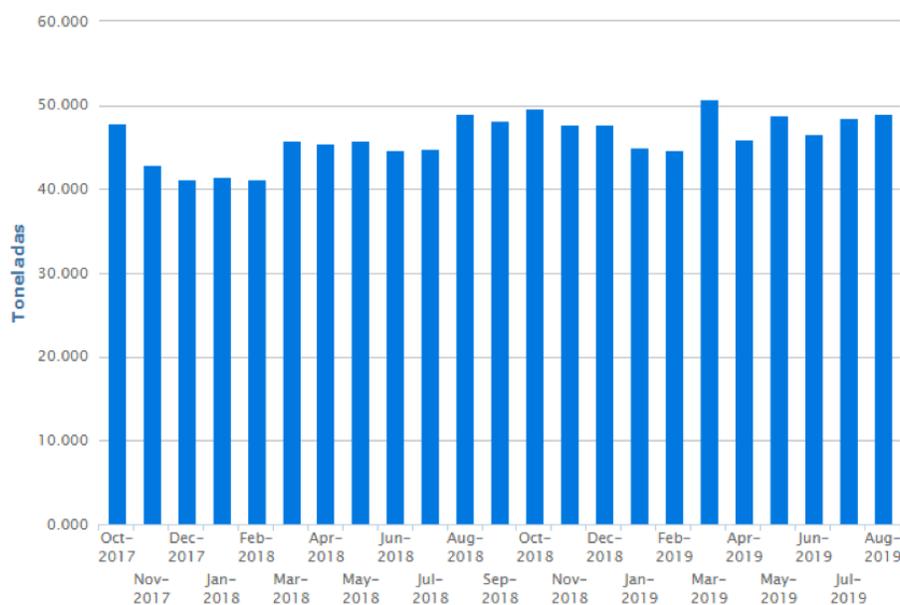
Santa Marta, Magdalena.	Biocosta Green Energy	70.000	No hay información.
Total		844.000	

Nota: Fedebicombustibles. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.fedebicombustibles.com/nota-web-id-923>.

En la figura 3 se puede observar como 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 futuro (Fedebicombustibles, consultado: 10 de septiembre del 2020).

### Figura 3

*Producción de Biodiesel a nivel nacional en los últimos dos años*



Nota: Fedebicombustibles. Biocombustibles [sitio web] Fedecombustibles [Consultado: 05 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.fedebicombustibles.com/nota-web-id-923>

### 3. CAPITULO 2: CASOS ACTUALES DE PRODUCTOS A PARTIR DE LOS ACUs

#### 3.1. Aceites epoxidados

##### 3.1.1. Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado *in situ* mediante catálisis homogénea.

La reacción de Prileschajewl es utilizada para producir aceites epoxidados; la reacción se lleva a cabo utilizando como reactivos el aceite vegetal insaturado y un ácido percarboxílico, este último se obtiene a partir de la reacción del ácido correspondiente con peróxido de hidrógeno. Los ácidos percarboxílicos pueden obtenerse *in situ* o prepararse previamente. En la mayoría de casos el proceso más adecuado para obtenerlo es mediante el proceso *in situ*, ya que este es más seguro para el tipo de reactivos que se necesitan en el proceso. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

En la actualidad para la producción de aceites epoxidados se utiliza como catalizador un ácido fuerte; sin embargo, estos son poco selectivos, la disposición de las sales que se producen durante la neutralización final se ve afectado por condiciones ambientales y, además, se generan problemas asociados al uso (por ejemplo: la corrosión y operaciones de separación). Por este motivo, el interés por los catalizadores heterogéneos ha incrementado. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

Otro posible tipo de catalizador puede ser las resinas de intercambio iónico, las cuales facilitan la generación de los epóxidos, sin embargo, no es conveniente utilizarlo a nivel industrial ya que genera desgaste mecánico, hinchamiento, formación de puntos calientes, se desactiva muy rápido, su alto costo y altos tiempos de reacción. Por otro lado, presenta grandes ventajas en comparación con otros catalizadores, las cuales son: condiciones intermedias de reacción (temperaturas bajas, pH neutro para la fase acuosa); no hay necesidad de adicionar ácidos percarboxílicos; alta estereoselectividad; disminución considerable de reacciones colaterales y elevada conversión. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

Como se puede observar en la tabla 7, el ácido sulfúrico es la mejor opción de catalizador para este tipo de reacción ya que su costo es bajo y presenta una excelente actividad catalítica; por lo que se espera un contenido de oxígeno oxirano entre 4-6%. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

**Tabla 7***Condiciones Reportadas para la Epoxidación de Aceite de Soya.*

Catalizador	Perácido	In situ	Solvente	Conversión de reacción %	Contenido de oxígeno oxirano %
Ninguno	Fórmico	si	Benceno	99	5.9
Catalizador Homogéneo					
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acético	No	No	97.7	6.68
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acético	Si	No	----	4.3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acético	Si	No	----	4.6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acético	Si	No	----	6.07
Catalizador Resinas de Intercambio Iónico					
Lewatit ® Sc 108	Acético		No		6.6
Dowex ® 50x	Acético	Si	No	89.7	5.94
Amberlite ® IR- 120	Acético	Si	No	91.1	5.99
Amberlite ® IR- 120	Acético	Si	Benceno	97.7	5.88
Amberlite ® IR- 120	Acético	Si	Tolueno	----	6.8
Amberlite ® IR- 120	Fórmico	Si	Tolueno	----	6.5

Catalizador	Perácido	In situ	Solvente	Conversión de reacción %	Contenido de oxígeno oxirano %
Lewatit ® k2431	Acético	Si	No	----	4.74
Resina Catiónica KU-2x8	Peopanóico	Si	Tolueno	88.8	7.2
Catalizador Metales de Transición					
Acrilamida/ ácido itacónico/ peroximolibdatos	-----	----	No	----	6.08
Bisacrilamida/ ácido itacónico/Mo	----	----	No	---	7.0
Metiltrioxo-Re	----	----	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	97.9	----
Catalizador Enzimático					
Novozyme ® 435	Acético	Si	Tolueno		----
Novozyme ® 435/ Lewatit ®	Oleico	Si	Tolueno		6.98

Nota: 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. 136-140.

Para este estudio, el reactor (de 500 ml, enchaquetado, con tapa de vidrio de 5 bocas, una central para agitación mecánica y 4 periféricas) lo cargaron con aceite de soya y fueron aumentando la temperatura gradualmente hasta llegar a las temperaturas requeridas. La reacción comienza por agregar los catalizadores (ácido acético glacial (CH<sub>3</sub>COOH, 98% p/p) y ácido

sulfúrico ( $H_2SO_4$ , 96% p/p)) al reactor, disolviendo previamente el ácido sulfúrico en el oxidante (peróxido de hidrógeno) para evitar un color pardo en el aceite si se adiciona directamente el catalizador al medio de reacción. Dicha solución se alimenta en su totalidad durante los 10 primeros minutos de reacción, de forma automática, mediante una bomba peristáltica con un caudal de 8.8 ml/min. El control de temperatura mediante la inmersión del serpentín (refrigerado con agua) en el baño con termostato debe continuarse por intervalos durante la primera hora y media de reacción para mantener isotérmico el reactor. Las muestras obtenidas del reactor se lavan 4 veces con agua fría en relación de 3:1 volúmenes y posteriormente se centrifugan a 3200 r.p.m. por un intervalo de 20 minutos. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

Para medir y hacer comparación de valores máximos de contenido de oxígeno oxirano en cada uno; para esto seleccionaron 4 factores principales: temperatura y concentraciones de peróxido de hidrógeno, ácido acético y ácido sulfúrico, tomando como parámetro la velocidad de agitación (150 r.p.m.). La Tabla 8. presenta los valores máximos de contenido de oxígeno oxirano obtenidos en cada uno de los 16 ensayos de epoxidación propuestos. (Boyacá, L.A & Beltrán, A.A, 2010).

**Tabla 8**

*Resultados de los Ensayos Experimentales*

Ensayo N°	Temperatura °C	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> % exceso	CH <sub>3</sub> COOH %P/P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %P/P	COO %
1	60	25	5	2	5.7
2	80	25	5	2	6.4
3	60	75	5	2	5.6
4	80	75	5	2	4.6
5	60	25	10	2	5.6
6	80	25	10	2	5.4
7	60	75	10	2	4.8
8	80	75	10	2	5.5

Ensayo N°	Temperatura °C	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> % exceso	CH <sub>3</sub> COOH %P/P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %P/P	COO %
9	60	25	5	4	5.6
10	80	25	5	4	4.9
11	60	75	5	4	3.7
12	80	75	5	4	6.1
13	60	25	10	4	4.0
14	80	25	10	4	5.7
15	60	75	10	4	5.5
16	80	75	10	4	5.1

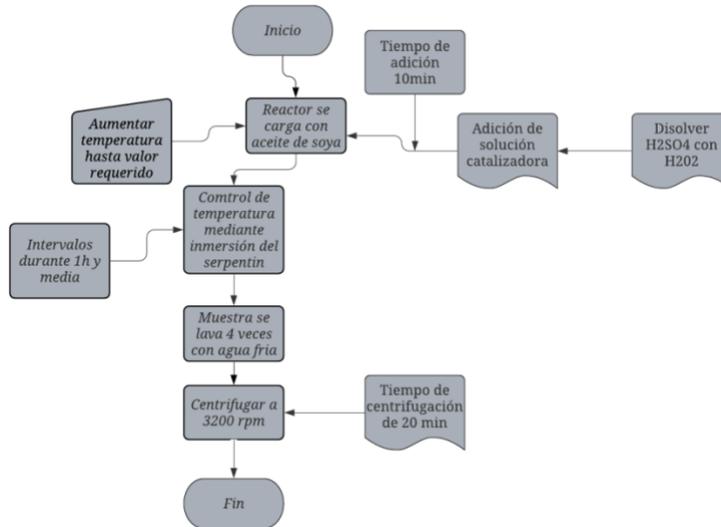
Nota: Boyacá, Luis Alejandro & Beltrán, Ángela Aurora. Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado in situ mediante catálisis homogénea. En: Revista de Ingeniería e Investigación. Apr 1, vol. 30, no. 1, p. 136-140.

En la tabla 8 se observa que en ensayo 2 el cual está a una temperatura de 80°C con 5% p/p de CH<sub>3</sub>COOH y 2% p/p de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, presenta en mayor contenido de oxígeno oxirano (6,4%), son las condiciones más óptimas para trabajar.

La síntesis del procedimiento que los autores manejaron durante el desarrollo de la investigación, se puede ver en la figura 4.

## Figura 4

Metodología del desarrollo experimental.



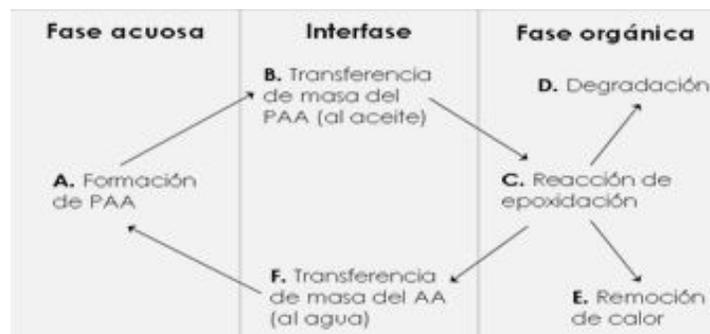
Nota: Autor propio

### 3.1.2. Modelo cinético de dos fases para la epoxidación de aceite de soya.

Normalmente la producción de los aceites epoxidados se lleva a cabo mediante catálisis homogénea, la cual se da en dos fases (fase acuosa y fase orgánica) como se observa en la figura 5.

## Figura 5

Reacción y fases involucradas en la epoxidación del aceite.



Nota: Beltrán y Boyacá, 2010.

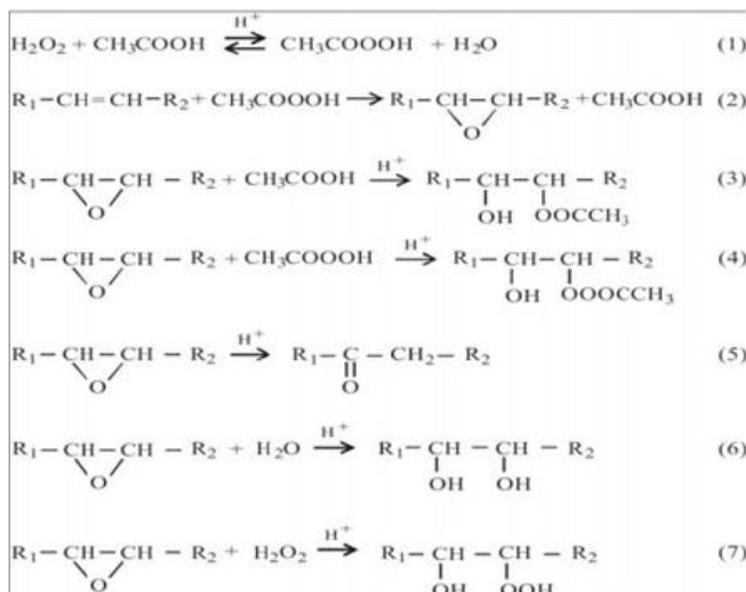
La formación del perácido (PAA) se da en la fase acuosa, por lo que este tiene que llevarse a la fase orgánica para poder obtener el aceite deseado; sin embargo, gracias a la reactivación del anillo oxirano, pueden presentarse varias reacciones de degradación. Las condiciones de reacción se deben escoger de acuerdo al fin último del producto y también con el propósito de alcanzar el máximo rendimiento hacia el epóxido. (Beltrán y Boyacá, 2010).

Para lograr encontrar un modelo cinético apropiado para la producción de aceites epoxidados, se han realizado varios estudios alrededor del mundo; los cuales han tenido como objetivo, obtener las constantes cinéticas, los coeficientes de transferencia de masa y las energías de activación correspondientes a las reacciones involucradas. En lo mencionado anteriormente, se debe tener en cuenta, el tipo de catalizador, la solubilidad de las especies presentes en cada una de las fases y los problemas difusionales propios del sistema en consideración. (Beltrán y Boyacá, 2010).

El modelo cinético de dos fases que utilizaron en el estudio, tiene en cuenta fenómenos de transferencia de masa y calor inherentes al sistema de reacción. En la figura 6. se puede observar las etapas de reacción que ocurren durante el modelo. (Beltrán y Boyacá, 2010).

**Figura 6**

*Reacciones químicas para la obtención de aceite epoxidado.*



Nota: Beltrán y Boyacá, 2010.

Estas reacciones químicas que se dan, incluyen: la formación del ácido paracético en la fase acuosa, catalizada por ácido sulfúrico (reacción 1.); transferencia del ácido paracético de la fase acuosa; reacción del ácido paracético sobre las insaturaciones del aceite para formar los anillos oxiranos y liberar ácido acético (reacción 2.); degradación del anillo oxirano formado por la reacción con ácido acético, agua o peróxido de hidrógeno en medio ácido (reacciones 3, 4, 5, 6 y 7). En el modelo utilizan concentraciones locales y volúmenes individuales ya que cada reacción ocurre en una fase individual. Las suposiciones que hicieron en la solución del sistema son: 1) el volumen de cada fase permanece constante durante la reacción; 2) las reacciones ocurren en el seno de la fase correspondiente; 3) no se consideran fenómenos de transferencia de calor; 4) se considera la presencia de las especies  $[\text{CH}_3\text{COOOH}]$  y  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  en ambas fases y se asume insolubilidad de las especies  $[\text{H}_2\text{O}_2][\text{H}_2\text{SO}_4][\text{H}_2\text{O}]$  en la fase orgánica; 5) la degradación del oxirano se lleva a cabo en la fase orgánica, dada la insolubilidad del triglicérido en la fase acuosa; 6) se asume como única reacción de degradación la debida al ácido carboxílico entre todas las posibles (reacciones 3-7) requiriendo el uso de un coeficiente de rendimiento,  $Y_{AA}$ ; 7) se supone igualdad de valores entre los coeficientes  $k_{t,PAA} = k_{t,AA}$  para las especies  $[\text{CH}_3\text{COOOH}]$  y  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ , en un sistema no limitado por la transferencia de masa. 8) Se supone adición total de la solución catalizadora al inicio de la reacción. (Beltrán y Boyacá, 2010).

Se utiliza como único parámetro de ajuste el coeficiente de rendimiento ( $Y_{AA}$ ), obteniendo en promedio un coeficiente de correlación de 0,88 mediante el método de mínimos cuadrados.

El modelo predice el máximo COO obtenido para el mejor ensayo (No. 2) (obtenido en el primer estudio realizado por los mismos autores). En especial, el modelo predice correctamente la cinética de reacción cuando la concentración de oxígeno va en aumento; al alcanzar el COO máximo las curvas se alejan de los datos experimentales, indicando que las reacciones de degradación no se ven representadas apropiadamente por la cinética propuesta. Algunos ensayos predicen una velocidad inicial mayor, aun cuando una limitación del modelo es la suposición de adición total del catalizador al inicio de la reacción. Por otra parte, la constante de equilibrio para la reacción de formación *in situ* (en la fase acuosa) del ácido peracético a partir del ácido acético está dada por la siguiente expresión:  $K_1^W = (k_{+1}^W)/(k_{-1}^W) = (C_P^W C_{\text{H}_2\text{O}}^W)/(C_A^W C_{\text{H}_2\text{O}_2}^W)$ .

**Tabla 9***Parámetros Utilizados en la Resolución del Modelo Cinético.*

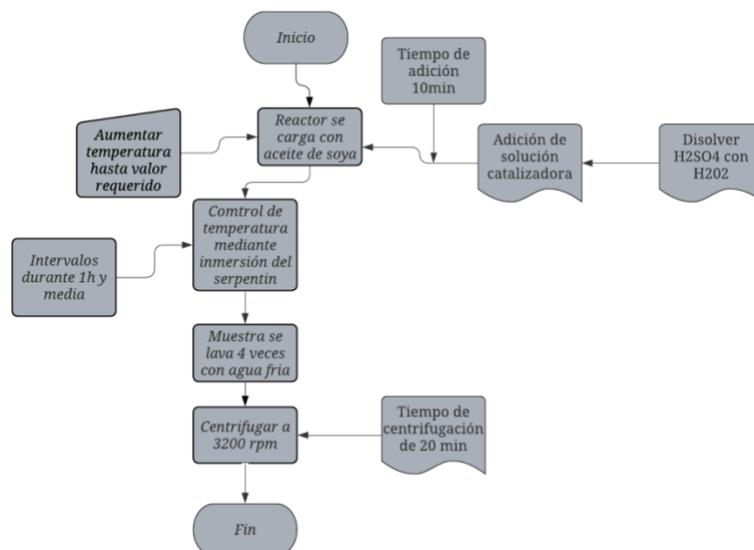
Símbolo	Constante	Condiciones
$k^W + 1$	$(0.0025-0.0045) \text{ L}^2 / \text{mol}^2 / \text{min}$	T: (60-80)°C
$k^W - 1$	$0.5^{k^W - 1} - 5^{k^W - 1} \text{ L}^2 / \text{mol}^2 / \text{min}$	T: (60-80)°C (H <sub>2</sub> O): (30-70)% p/p
$k^0 + 2$	2.02 L/mol/min	T: 80°C
$k^0 + 3$	0.28-0.68 L <sup>2</sup> / mol <sup>2</sup> / min	T: (60-80)°C
$k_{t,PAA} = k_{t,AA}$	30min <sup>-1</sup>	500rpm
$k_{PAA}$	0.02-0.04	T: (60-80)°C
$k_{AA}$	0.1	T: (60-80)°C
$Y_{AA}$	0.5-2.0	-----

Nota: Beltrán y Boyacá, 2010.

En esta investigación, Beltrán y Boyacá, se basaron en la metodología del desarrollo experimental del primer trabajo que llevaron a cabo sobre los aceites epóxido, solo que esta vez están desarrollando la cinética para el mejor resultado obtenido en un comienzo. En la figura 7. Se muestra la metodología desarrollada por los autores.

**Figura 7**

*Metodología del desarrollo experimental.*



Nota: Autor propio

### **3.1.3. Epoxidación de aceite de soja a máxima eliminación de calor y adición única de todos los reactivos.**

El aceite de soja epoxidado es utilizado en la industria como coestabilizante, plastificante secundario del PVC y como componente básico de otros productos químicos de base biológica ha ido en aumento en los últimos años, debido a la mejor calidad de los productos epoxidados y al aumento de la competitividad (costo) respecto de los materiales tradicionales basados en el petróleo.

Como era de esperar, la mezcla desempeña un papel importante en la cinética efectiva, ya que el tamaño de la gota depende del cizallamiento, y por lo tanto de la velocidad de agitación, determinando la magnitud del área de contacto entre las dos fases y la longitud de difusión en el interior de las gotas. La transferencia de masa se ve directamente afectada por la superficie. La mezcla también desempeña un papel importante en la transferencia de calor entre el medio de reacción y el sistema de refrigeración del reactor. La viscosidad aparente de la mezcla de reacción está determinada por el tamaño de las gotas, la temperatura y la velocidad de agitación (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

En la mayoría de los estudios considera el sistema de dos fases como un sistema pseudohomogéneo, simplificando así la descripción de la cinética de reacción efectiva al pasar por alto los complejos fenómenos de transferencia de masa involucrados (He, Fang, Chen, Wan, Gan, Tang, Zhang & Guo, 2013). En la literatura no se cuenta con suficientes datos para aclarar las posibles optimizaciones y el desbloqueo de los procesos, a fin de maximizar la conversión, reducir los tiempos de reacción y mejorar la seguridad (Santacesaria, Tesser, Di Serio, Turco, Russo & Verde, 2011). Estos documentos también han cubierto el uso de diferentes catalizadores (Abdullah & Salimon, 2010) y agentes complejantes (de Quadros Jr. & Giudici, 2015), buscando una mejor conversión. Sin embargo, en la producción actual no se emplean catalizadores ya que adoptan un proceso simplificado en el cual utilizan ácido fórmico, debido a su reactividad y rentabilidad, considerando cantidades y procesos de separación optimizados. Por otra parte, el uso de ácido inorgánico como catalizador es posible, pero puede contribuir a reacciones secundarias no deseadas de ruptura de anillos de oxirano (Campanella & Baltanás, 2006), reduciendo así el índice general de oxirano del producto final. El peróxido de hidrógeno también puede contribuir a la apertura indeseada del anillo de oxirano (Campanella & Baltanás, 2005). En estudios anteriores del proceso (Santacesaria, Renken, Tesser, Di Serio, Turco & Russo, 2011) emplearon la alimentación gradual de peróxido para imitar la práctica industrial y controlar el aumento de la temperatura debido a la reacción exotérmica. En diferentes artículos publicados describen procesos que mejoran la reacción, como el ultrasonido (Han, Li & Liu, 2011), la agitación y la formación de una microemulsión (Rethwisch, Jain, Rasmussen, Rethwisch, Peebles & Scranton, 2005). También se han basado sobre todo en modelos teóricos, y se han centrado en la cascada de reactores de tanque agitado continuo, el reactor tubular de lecho compacto y los microreactores de flujo continuo. Los procesos de alimentación por lotes y por pulsos fueron estudiados tanto experimentalmente como utilizando un modelo matemático (Santacesaria, Renken, Tesser, Di Serio, Turco & Russo, 2011).

En el trabajo emplearon el aceite de soja debido a su relevancia comercial, consecuencia de su índice de yodo bastante alto y su bajo costo y utilizaron el ácido fórmico (y el peróxido de hidrógeno) debido a su uso actual en los procesos industriales. El ácido lo emplearon como catalizador, y la adición de peróxido se estudió con la adición de pulsos cambiando el número de estos (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

Con lo expuesto por los autores se pudo comprender mejor el proceso de epoxidación en

condiciones de máxima remoción de calor; también, se pudo ver el resultado de la división de la carga de peróxidos en diferentes adiciones para comprender que tan factible es utilizar una sola inyección de peróxido a la vez como un proceso eficiente y seguro. Además, se conoció la viabilidad de añadir todos los componentes de la reacción de una sola vez en la epoxidación del aceite de soja con peróxido de hidrógeno y ácido fórmico (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

El proceso con adición de todo el peróxido al principio es factible, con la ventaja de que el proceso es sencillo y da como resultado una calidad de producto igual o mejor, alcanzando conversiones comparables a las normas industriales. La adición completa de todos los componentes también proporciona una reacción mucho más rápida, lo que indica un potencial de aumento de la productividad. El pico de temperatura observado fue muy inferior a la temperatura máxima permitida para evitar situaciones de desbordamiento (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

También se observó que el proceso de adición total presentaba un pico de temperatura que se alcanzaba en menos de 17min, cuando se enfriaba por un baño termostático a la temperatura de reacción deseada. Si el enfriamiento puede realizarse a temperaturas más bajas, es razonable esperar que la temperatura máxima se alcance en menos de 17 min. en las condiciones de intercambio de calor intensificado. Esto sugiere lógicamente que un reactor de flujo continuo podría ser factible si se pueden diseñar las condiciones de intercambio de calor apropiadas para los primeros minutos de la reacción. precediendo fases menos extremas del proceso. La adición total también sugiere que se producirá una menor apertura de anillo de oxirano no deseada porque el tiempo total es más corto y el aceite epoxidado sufrirá una exposición más corta al medio ácido y al exceso de peróxido de hidrógeno (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

Los autores además expusieron un modelo simplificado del proceso, que considera una cinética pseudohomogénea y eficaz. Las predicciones del modelo presentaron las mismas tendencias cualitativas de los datos del proceso, pero con un comportamiento cuantitativo ligeramente diferente de los resultados experimentales (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

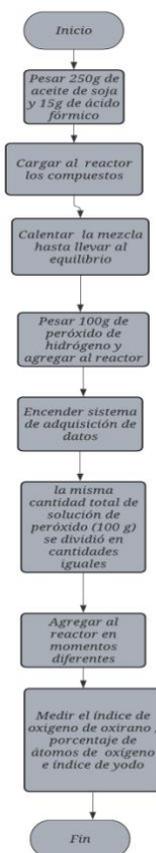
Los resultados pueden ser útiles en el diseño de aplicaciones industriales, sugiriendo un enfoque de optimización de la eliminación del calor, en lugar del actual enfoque de la intensificación de la reacción, que se aplica actualmente como práctica en la industria. Los datos experimentales pueden ser útiles para diseñar reactores o series de reactores en los que se pueda

maximizar la remoción de calor mediante zonas de interfaz más elevadas entre el refrigerante y el medio de reacción o mediante el uso de fluidos refrigerantes de menor temperatura. La optimización de los costos de inversión podría tener en cuenta la reducción del tiempo de reacción y, por lo tanto, la reducción de los volúmenes de equipo, para compensar el aumento de la eficiencia de los sistemas de remoción de calor (de Quadros Jr. & Giudici, 2015).

Se realizó un diagrama de flujo con la información brindada en el documento sobre el desarrollado experimental ejecutado; el cual se evidencia en la figura 8.

### Figura 8

*Metodología del desarrollo experimental.*



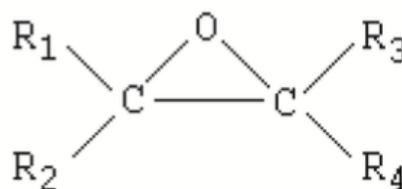
Nota: Autor propio

### 3.1.4. Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma.

Normalmente, este producto se consigue mediante reacciones de condensación en presencia de hidróxido de sodio, entre la epichlorhidrina (1-cloro-2,3-epoxi-propano) y el bisfenol A [2,2-bis (4'- hidroxifenil) propano], el cual es obtenido a partir del fenol y la acetona. En la figura 7, se puede observar la estructura de un anillo epoxi, el cual a partir de 3 de ellos se conforma la estructura de una resina epóxica. (Alfonso Moreno, 2010).

#### Figura 9

*Estructura característica de un anillo epoxi*



. Nota: Alfonso & Moreno, 2010.

Esta resina se caracteriza por encontrarse en estado líquido o sólido dependiendo del peso molecular que tengan y generan productos finales con muy buenas propiedades de resistencia a la abrasión química, dieléctrica, flexibilidad y adherencia (Alfonso Moreno, 2010).

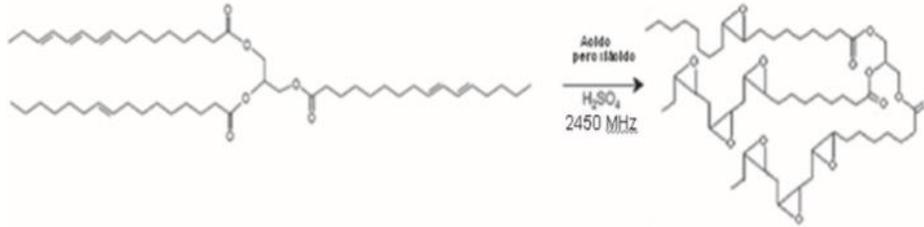
En Norteamérica debido a la creación de una norma de emanaciones volátiles orgánicos al medio ambiente por parte del gobierno en el año 1967, las industrias se vieron con la necesidad de estudiar y desarrollar materiales y procesos para la fabricación y aplicación de resina epóxicas (Alfonso Moreno, 2010).

Hoy en día cuentan con un desarrollo significativo y debido a esto, existe una variedad de productos con características excelentes como es el desempeño químico-mecánico de resistencia a la temperatura, deformaciones, tracción, etc., por encima de los recubrimientos tradicionales. Es por esto, que son utilizadas en diversos campos, como en aquellos mercados en donde necesitan de un recubrimiento para una alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, humedad y agentes químicos agresivos tales como ácidos, bases y disolventes orgánicos. (Alfonso Moreno, 2010).

En este estudio utilizaron aceite epoxidado de aceite de palma (AEP) para la fabricación de la resina expuesta en el documento. En la figura 10. se muestra la reacción de síntesis de AEP a partir de aceite refinado de palma (ARP).

**Figura 10**

*Reacción de síntesis de AEP a partir del ARP.*



Nota: Alfonso Moreno, 2010.

El proceso se lleva a cabo, primero (primera etapa), mediante la reacción del AEP con bisfenol A; luego en una segunda etapa se adiciona el poliestireno reciclado (vasos y botellas desechables) y por último se agrega un agente activador o acelerante de óxido de cobalto (III), (Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que luego favorecerá el proceso de endurecimiento o curado que ocurre al aplicar el catalizador de peróxido de metilo, provocando la polimerización final de la mezcla obtenida (relación: 1:2) (Alfonso Moreno, 2010).

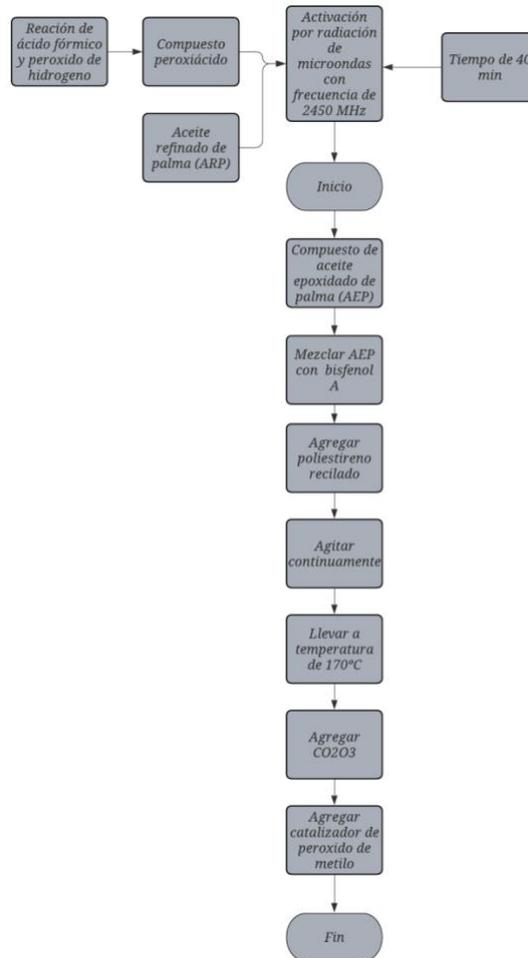
Esta resina se caracteriza por tener cadenas poliméricas entrecruzadas que forman una estructura tridimensional que no se funde. Polimeriza irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura. Ésta es la diferencia básica entre los polímeros termoplásticos y los termofijos. Antes de la aplicación del catalizador es conveniente la aplicación de otros aditivos y sustancias utilizadas para mejorar las propiedades fisicoquímicas, brillo, dureza y resistencia como es el dibutilftalato. Es un material de refuerzo más usado en la industria de la fibra de vidrio y la cascarilla de arroz. Ésta se usa en proporciones que varían entre 20 y 30% (Alfonso Moreno, 2010).

En la figura de abajo se puede observar el proceso del desarrollo experimental que Alfonso

Moreno llevo a cabo durante su investigación.

## Figura 11

*Metodología del desarrollo experimental.*



Nota: Autor propio.

## 3.2. Jabones Industriales.

### 3.2.1. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados.

El jabón clásico es fabricado mediante el proceso de saponificación, por el cual los triglicéridos (grasas y aceites) o ácidos grasos se transforman en las correspondientes mezclas de sal de álcali de ácidos grasos (Guerrero, 2014).

Después de que hicieron un recorrido por la producción, el mercado mundial, ventajas y desventajas del tipo de materia prima (aceite o grasa) para la producción de jabón, decidieron utilizar los aceites de cocina usados debido a 3 factores decisivos que fueron: el medioambiental, el social y el económico. El primer factor porque suponen un foco importante de contaminación para las aguas urbanas; Además, estos aceites se recogen en cantidades suficientes para la producción, sin necesidad de tener que hacer plantaciones específicas de oliva y/o girasol para obtener el aceite; el segundo porque en los últimos años en España se está promoviendo el procedimiento para la recolección de estos ACUs y su legislación, garantizándose de esta manera la fuente de materia prima necesaria a costos relativamente bajos con respecto al aceite no usado. En cuanto al último factor es porque el precio medio del aceite de oliva de todos los tipos posibles (virgen, virgen extra, lampante y de calidad inferior) es de 2.399 €/Tm, frente a los 400-750 €/Tm de los ACUs. (Guerrero, 2014).

El aceite como materia prima se escoge dependiendo del producto final que se desee adquirir. Por ejemplo, el aceite de coco confiere al jabón unas burbujas grandes y mullidas. Sobre todo, se usa en América del sur mezclándolo con sebo para obtener jabones en barra, o los llamados de tocador. Por otro lado, en Europa, utilizan el aceite de oliva para elaborar la mayoría de jabones ya que le confiere característica como: unas burbujas muy finas y sedosas; además, las propiedades del aceite de oliva son muy buenas para la piel por sus propiedades cicatrizantes y suavizantes (Guerrero, 2014).

El autor en el trabajo decidió trabajar con jabón líquido potásico, debido a que posee en su estructura características (la parte hidrocarbonada está saturada y poseen una longitud de ocho, diez, doce o más átomos de carbono) que los hace blandos, generan mayor cantidad de espuma, son solubles en agua y junto con los jabones sódicos son los que más se emplean para uso doméstico y comercial; y se suelen emplear en cremas de afeitado y jabones líquidos (Guerrero, 2014).

El agua tiene una importancia considerable en la fabricación del jabón, constituye un intermedio activo saponificación de los triglicéridos del aceite o bien por neutralización de los ácidos grasos libres presentes en el mismo. La presencia del agua en la reacción, favorece la saponificación, que es lo que interesa para este proceso, reduciendo el rendimiento de la

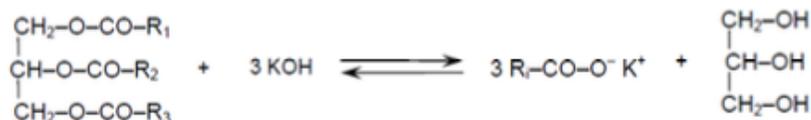
transesterificación. Por tanto, compiten las dos reacciones químicas, saponificación y transesterificación, lo que hace que las condiciones de la reacción sean tan importantes para favorecer una u otra (Guerrero, 2014).

En la figura 12 y 13 se observan las reacciones que ocurre si se usa hidróxido potásico como catalizador, y en presencia de agua, las dos reacciones anteriores (saponificación y neutralización) se escriben así: para la unión de los cuerpos grasos y los álcalis en la formación del jabón. Sin el agua esta combinación sería imposible. El agua para fabricar jabones, por tanto, tiene la función de disolver el álcali y ser el medio donde se produce la saponificación. Se comporta como una especie de catalizador. En el estudio, el autor escogió el agua desionizada para la producción de dicho jabón, debido a que evita que los iones disueltos en el agua produzcan reacciones secundarias no deseadas en contacto con el jabón y el KOH y KCl (Guerrero, 2014).

En la producción se utilizó un catalizador básico, el KOH, para que forme jabones mediante

### Figura 12

*Reacción de saponificación con KOH.*



Nota: Guerrero, 2014.

### Figura 13

*Reacción de neutralización con KOH.*



R: Cadena carbonada del ácido graso.

Nota: Guerrero, 2014.

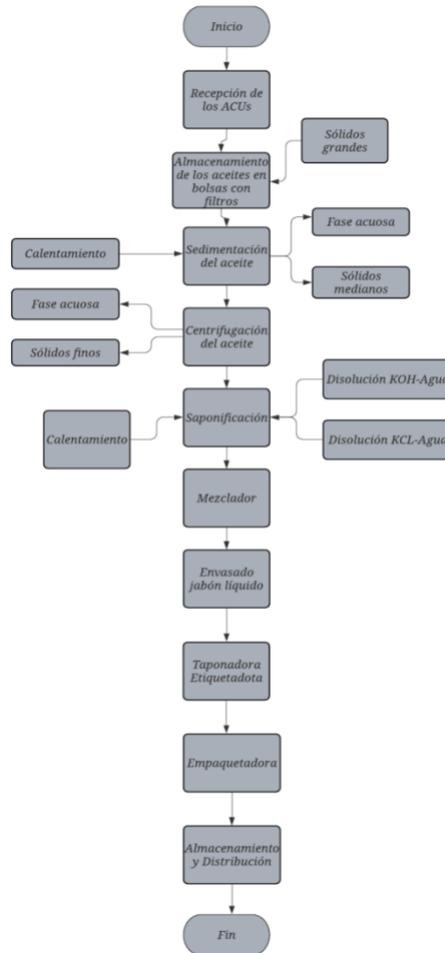
Por otro lado, la elección del tipo de reactor debe de hacerse con el objetivo de evitar reacciones peligrosas no deseadas, maximizando la selectividad (rendimiento) del producto deseado y alcanzando una velocidad de producción elevada. En general, para producciones pequeñas, lo más adecuado es utilizar un reactor discontinuo. En este caso, los autores plantean

un pretratamiento para los ACUs, los cuales son: desbaste, sedimentación y centrifugación. Además, en la fabricación del jabón líquido implementaron proceso en caliente discontinuo o por lotes. La constante cinética aparente tiene un valor de  $k' = 1,43 \cdot 10^{-2} \text{ (min}^{-1}\text{)}$ , mientras que la constante cinética real tiene un valor de  $k = 4,07 \cdot 10^{-3} \text{ (L/mol} \cdot \text{min)}$ . Además, si se quiere favorecer una saponificación más efectiva, se tendrán que aplicar temperaturas mayores, a partir de 50°C. Por eso se ha seleccionado el rango de 90-100°C (Guerrero, 2014).

En la siguiente figura, Se representan todas las etapas del proceso de fabricación del jabón que se llevará a cabo en la planta de proceso que diseñaron.

**Figura 14**

*Metodología del desarrollo experimental.*



Nota: Guerrero, 2014.

### 3.2.2. Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la universidad nacional de la Amazonia Peruana – Iquitos.

Es una investigación de tipo descriptiva y experimental la que manejaron durante el estudio; es descriptiva porque se determinó las características físicas y químicas que presenta el aceite vegetal reciclado. Es del tipo experimental porque se manipularon las condiciones de operación en la reacción de saponificación, (Proporción de aceite reciclado/aceite de coco, gramos de KOH en exceso, temperatura de reacción), para obtener la pasta jabonosa, que posteriormente fue diluida hasta obtener el jabón líquido. En este trabajo los autores, trabajaron con los aceites recolectados del comedor universitario de la Universidad de la Amazonia Peruana y cocina del taller del diplomado de Chef Profesional ubicada en los ambientes del FUNDESAB (Leyva y Torres, 2016).

El diseño de la investigación, realizado en la reacción de saponificación, involucra un diseño totalmente al azar con un arreglo factorial  $2^3$ , con tres repeticiones, se realizan 8 corridas con tres repeticiones. Los dos niveles de los factores se representan con los signos (-) y (+), el signo (-) representa al factor en su nivel bajo y el signo (+), en su nivel alto. En la tabla 10. se muestra la matriz de diseño empleada en el trabajo (Leyva y Torres, 2016).

**Tabla 10**

*Matriz de Diseño Experimental para un Sistema Factorial  $2^3$*

Exp	% aceite de coco sustituido al aceite reciclado	% de exceso de KOH usado en la reacción.	T°
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Nota: Leyva y Torres, 2016. obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana – Iquitos.

Para la preparación del aceite recolectado lo que hicieron fue filtrarlo con un tamiz fino, para separar las partículas de mayor tamaño. Luego se procedió a calentar y volver a filtrar en papel filtro para eliminar partículas más pequeñas. El aceite filtrado fue colocado en unos envases de vidrio y refrigerado para su conservación. Además, le realizaron pruebas físico-químicas como: Determinación de ácidos grasos, Índice de peróxido, Índice de saponificación, Densidad, para evaluar las condiciones del aceite reciclado (Leyva y Torres, 2016).

En cuanto a la formulación del jabón líquido, lo que hicieron fue realizar pruebas de saponificación al aceite vegetal usado, variando la composición de la mezcla de aceite de coco/aceite reciclado (%AC), el %KOH en exceso y la temperatura de reacción, para observar el tiempo que tarda la reacción, el rendimiento y el pH de la pasta jabonosa obtenida. Los parámetros de control que se combinaran en el proceso de saponificación se muestran en la tabla de abajo (Leyva y Torres, 2016).

**Tabla 11**

*Parámetros de Control en la Reacción de Saponificación.*

Corridas	%AC	%KOH	T°C
1	0	5	70
2	10	5	70
3	0	10	70
4	10	10	70
5	0	5	90
6	10	5	90
7	0	10	90
8	10	10	90

Nota: Leyva y Torres, 2016. Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la universidad nacional de la Amazonía peruana – Iquitos.

Para las corridas, prepararon soluciones alcalinas al 45% para cada corrida, teniendo en cuenta el índice de saponificación del aceite reciclado y aceite de coco, previamente determinados utilizando el KOH que ha de emplearse en el proceso, de saponificación. Además, se tuvo en consideración el porcentaje de exceso para cada una. Por otro lado, para la saponificación, la realizaron en un vaso de precipitado con agitación constante y control de temperatura, Se colocó 100 g. de aceite, calentando hasta alcanzar la temperatura establecida para cada corrida según el diseño experimental, luego se procedió a agregar poco a poco la solución de KOH al 45%,

calentando sin dejar de agitar, hasta observar la formación de una pasta homogénea, que poco a poco va endureciendo, entonces agregamos 30 ml de agua para diluir un poco la pasta jabonosa y nos permita continuar con la agitación, tomamos un poco de muestra y disolvimos en agua caliente, para observar si formaba gotitas de grasa. Si existía presencia de grasa continuábamos con el calentamiento hasta completar la saponificación (Leyva y Torres, 2016).

La dilución de la pasta jabonosa la realizaron con agua destilada caliente. Hicieron pruebas de dilución con diferentes proporciones de agua versus pasta jabonosa, hasta encontrar una proporción adecuada, que nos permitió obtener un jabón líquido con una textura similar a los jabones líquidos comerciales. En tabla 12. se pueden ver las proporciones de agua y pasta jabón que utilizaron.

**Tabla 12**

*Proporciones de Agua y Pasta Jabón.*

Agua (g.)	90	80	75	72
Pasta jabón (g.)	10	20	25	28

Nota: Leyva y Torres, 2016. Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana – Iquitos.

Para poder determinar cuál era la proporción ideal se evaluaron las diluciones obtenidas, mediante la prueba del hilo y la prueba de espuma persistente.

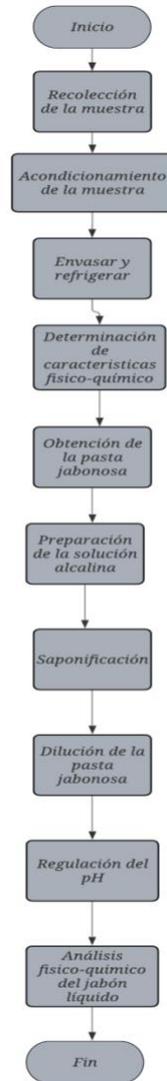
Para regular el pH del jabón líquido, usaron una solución de ácido cítrico (60 g de ácido cítrico disuelto en 230 g de agua). La cantidad de ácido cítrico en solución para regular el pH, la determinaron mediante una titulación potencio métrica de 20 g de jabón líquido con solución de ácido cítrico (Leyva y Torres, 2016).

Por último, hicieron pruebas de análisis físico-químico como: material insoluble en agua, material insoluble en alcohol, alcalinidad libre, materias grasas insaponificada e saponificables, cloruros y pH; para comprobar que el jabón que habían elaborado cumplía con la Norma Técnica Ecuatoriana 1983 (Leyva y Torres, 2016).

Para poder conocer a fondo el proceso que desarrollaron para la obtención del producto, se hizo un diagrama de flujo, el cual se encuentra plasmado en la siguiente figura.

**Figura 15**

*Metodología del desarrollo experimental.*



Nota: Autor propio.

### **3.3. Biolubricantes.**

#### **3.3.1. Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados.**

Para escoger el diseño experimental a seguir durante su estudio, los autores, primero hicieron un recorrido por las dos posibles alternativas para la obtención de lubricantes, las cuales son: doble etapa de transesterificación e hidrólisis enzimática. En este primer paso, observaron que el proceso mediante transesterificación (izquierda) permanece líquido, estable estructuralmente y sin turbiedad; en cambio, el proceso mediante hidrólisis enzimática (derecha) muestra un comportamiento totalmente contrario, la turbiedad del proceso enzimático se debe a que se realizó separación de ácidos grasos libres. Inicialmente, la muestra de aceite contenía una cantidad equivalente del 76% de ácido oleico, el cual tiene un punto de fusión de 16°C, dado el caso, en Bogotá se presentan cambios de temperatura desde 4°C hasta 23°C (Climate date. Org, consultado el 14 de septiembre, 2020).

Como los cambios en su viscosidad y consistencias debido al aumento o disminución de la temperatura son muy drásticos; tomaron este argumento como fundamento principal para determinar que el mejor proceso de síntesis del lubricante fue el proceso de doble transesterificación (León & Pinzón, 2020).

Para el desarrollo experimental emplearon un diseño central compuesto CCD que posee puntos centrales ampliados por un grupo de puntos axiales que permiten estimar la curvatura en cada diseño; este tipo de arreglo minimiza la variación en los coeficientes de regresión. Apoyado con una metodología de superficie respuesta para modelar y analizar como una variable de interés está influenciada por otras (León & Pinzón, 2020).

Tanto para la selección de variables independientes y dependientes, se basaron en el artículo “Optimization of the operating parameters for the extractive synthesis of biolubricant from sesame seed oil via reponse Surface methodology”; para las primeras el autor mencionan la temperatura, el tiempo y la relación molar (TMP: FAMES) y para las segundas solo menciona el rendimiento (relación entre la masa de los FAMES y la masa del aceite empleado; sin embargo consultaron en otro artículo “Manufacturing of environment friendly biolubricants from vegetable oils” para ampliar la cantidad de variables independientes y en este, se menciona la viscosidad como una propiedad fisicoquímica muy influyente a la hora de elaborar lubricantes (esta variable se empleó a temperaturas de 40°C y 100°C; ya que, según la norma ASTM D2270, la viscosidad para los aceites se debe calcular a esas temperaturas) (León & Pinzón, 2020).

Para la realización de cada una de las corridas para la obtención del biolubricante por medio del proceso de síntesis de doble transesterificación utilizaron como reactivos el Biodiesel, TMP, KOH y acetato de etilo; y siguieron los pasos mostrados en la figura 14.

En la tabla 13. Se evidencian los datos obtenidos del porcentaje de rendimiento para cada corrida ejecutado por el diseño de experimentos. Como se puede evidenciar, la corrida 13 es la que presenta el mejor rendimiento (82.45%) con 5 unidades arriba del promedio.

**Tabla 13**

*Resultados Porcentaje de Rendimiento del Biolubricante por El Método de Transesterificación.*

Run	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Relación molar	%RE	Viscosidad 40°C (cSt)
1	130	160	4	73.54	31.84
2	130	160	6	72.62	31.29
3	130	200	4	75.75	37.92
4	130	200	6	74.50	33.03
5	150	160	4	76.79	30.1
6	150	160	6	70.98	32.38
7	150	200	4	77.67	37.1
8	150	200	6	80.93	32.16
9	123.2	180	5	73.62	32.92
10	156.8	180	5	76.50	35.2
11	140	146.4	5	70.54	33.25
12	140	213.6	5	75.43	34.33

Run	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Relación molar	%RE	Viscosidad 40°C (cSt)
13	140	180	3.3	82.45	40.74
14	140	180	6.7	77.62	31.51
15	140	180	5	76.88	34.33
16	140	180	5	77.62	34.12
17	140	180	5	78.10	31.84
18	140	180	5	77.82	32.92
19	140	180	5	76.70	33.03
20	140	180	5	76.12	31.73

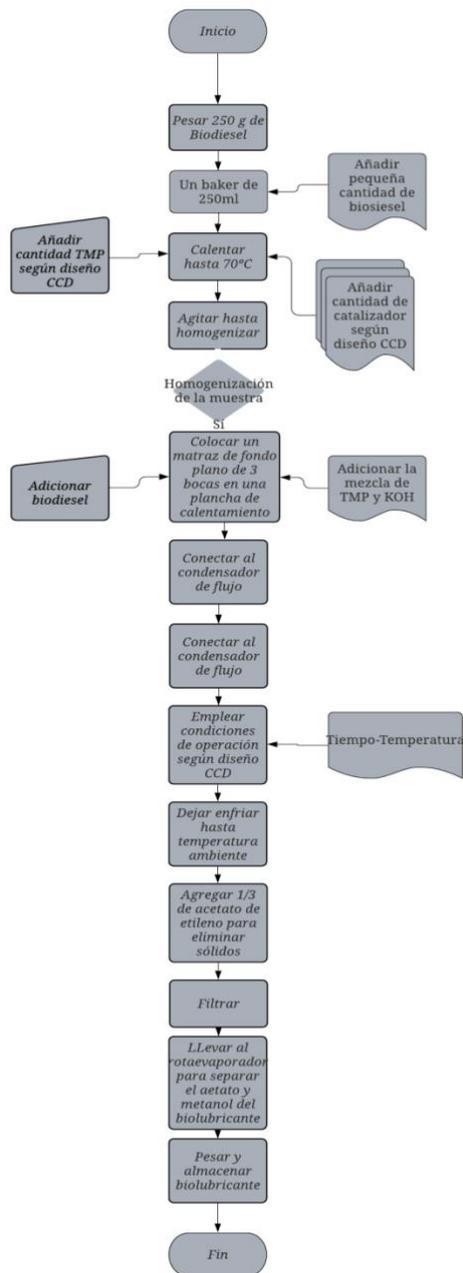
Nota: León y Pinzón, 2020. Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados.

Para concluir, se observó en el trabajo que las mejores condiciones de operación corresponden a un tiempo de 200 minutos, una temperatura de 155 °C y una relación TMP: biodiesel de 5:1, este da un comportamiento similar al obtenido por la corrida 13, el cual tuvo el mejor rendimiento equivalente a 82.45% y la mejor viscosidad tanto a 40°C como a 100°C equivalente a 40,74 cST y a 8,88 cST respectivamente, lo que indica que es menos probable que pierda sus propiedades al aumentar la temperatura (León & Pinzón, 2020).

En la Figura 16. se evidencia el proceso que se llevó a cabo durante el proceso, esto en un diagrama de flujo de proceso.

### Figura 16

*Proceso obtención del lubricante por transesterificación diseño CCD.*



Nota: Autor propio.

### 3.4. Biodiesel

#### 3.4.1. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

La investigación que hicieron fue a partir de la recolección entre 5 y 20lt de aceite en cuatro restaurantes de la ciudad de Cartagena; estos fueron sometidos a un pretratamiento, el cual

consistió en una filtración al vacío para eliminar impurezas y un secado a 120°C con agitación suave durante 75 minutos para remover la humedad.

Posteriormente, evaluaron el índice de acidez y densidad relativa de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y el contenido de agua y el color según las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), como se muestra en la tabla 9 (Medina, Ospina & Tejada, 2014).

**Tabla 14**

*Parámetros Evaluados a los Aceites Residuales.*

Norma	Propiedad
NTC 218	Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación de índice de acidez.
NTC 236 NTC 432	Determinación de índice de peróxido. Densidad relativa (peso aceite/peso agua) y densidad absoluta (peso aceite/volumen del picnómetro).
ASTM D-4377. Ed.2006 ASTM D-1500. Ed. 2007	Agua por Karl Fisher Coulométrica, %p/p. Color ASTM.

Nota: Medina, Ospina & Tejada, 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

Los resultados obtenidos en la caracterización de los aceites se muestran en la tabla 10. y en ella se observó que el índice de peróxido promedio fue de 4,325, indicando que el biodiesel obtenido permitirá una combustión más completa reduciendo principalmente emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemado; además, tanto el índice de acidez, como la densidad relativa están dentro de los límites establecidos por la norma. Sin embargo, el % de agua se encuentra fuera de especificaciones por lo que deber ser deshidratado antes del proceso de transesterificación (Medina, Ospina & Tejada, 2014).

**Tabla 15**

*Resultados de la Caracterización de los Aceites Reciclados.*

Parámetro	Media	Valor menor	Valor mayor	Desviación
Índice de acidez	1,643	1,084	2,701	0,726
Densidad relativa	0,924	0,918	0,928	0,004
% Agua	1,173	1,096	1,292	0,084

Parámetro	Media	Valor menor	Valor mayor	Desviación
Color	2,250	2,000	3,000	0,500
Índice de peróxido	4,325	5,437	3,242	2,195

Nota: Medina, Ospina & Tejada, 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

En este trabajo se llevó a cabo el proceso de esterificación y transesterificación por catálisis ácida y alcalina como tecnologías combinadas para mejorar el rendimiento de la obtención de biodiesel a partir de aceites residuales y disminuir los costos de operación debido a menores tiempos de reacción y menor energía requerida. La esterificación ácida fue realizada usando ácido sulfúrico de calidad analítica durante 90 minutos a 60°C; mientras que la transesterificación básica se realizó con hidróxido de sodio de alta pureza. Emplearon un diseño de experimentos factorial 2<sup>3</sup>, en el cual los factores de interés estudiados fueron la relación aceite-ácido (A), concentración de hidróxido de sodio (B) y relación aceite-metanol (C). Los niveles evaluados para cada factor se muestran en la tabla 10. Cada tratamiento se realizó por duplicado, es decir, se realizaron 2x2<sup>3</sup>=16 corridas experimentales (Medina, Ospina & Tejada, 2014).

**Tabla 16**

*Factores de Interés del Diseño y Sus Niveles.*

Factores	Aceite / H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH (g/L)	Aceite / CH <sub>3</sub> OH
Concentración mínima (-)	30:1	1,875	6:1
Concentración máxima (+)	20:1	2,075	5:1

Nota: Medina, Ospina & Tejada, 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

Para analizar el biodiesel obtenido en desarrollo del trabajo, utilizaron las normas ASTM; además, el análisis estadístico del diseño de experimentos se efectuó por medio del análisis de varianza, que permitió identificar los factores estadísticamente significativos y sus niveles más favorables en el incremento del rendimiento de la reacción. La caracterización del producto final se basó en los parámetros mostrados en la tabla 12 (Medina, Ospina & Tejada, 2014).

**Tabla 17***Parámetros Evaluados al Biodiesel Obtenido.*

Normas ASTM	Análisis
D-1298. Ed. 2005.	Gravedad API, a 15°C Densidad a 15°C, Kg/m <sup>3</sup>
D-93. Ed. 2010.	Gravedad específica Punto de chispa, °C
D-2500. Ed. 2009.	Punto de nube, °C
D-97. Ed. 2009.	Punto de fluidez, °C
D-445. Ed. 2009.	Viscosidad cinemática a 40°C, cSt Viscosidad dinámica, P
D-1500. Ed. 2007.	Color ASTM
D-4294. Ed. 2010.	Azufre por rayos X, %p/p
D-6304. Ed. 2007.	Agua por Karl Fisher Coulométrica, ppm
D-664. Ed. 2009.	Acidez método AP, mg KOH/g

Nota: Medina, Ospina & Tejada, 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

En la tabla de abajo se muestran los resultados de la caracterización. El biodiesel producido a partir de los aceites residuales tiene una buena calidad; sin embargo, algunos parámetros como gravedad API, punto de chispa, la viscosidad cinemática y el contenido de agua no cumplieron los estándares, lo cual se puede evitar realizando un eficiente pretratamiento del aceite antes de su uso en la esterificación (Medina, Ospina & Tejada, 2014).

**Tabla 18***Resultados de la Caracterización del Biodiesel.*

Parámetro	Media	Valor menor	Valor mayor	Desviación
Gravedad API, a 15°C	23,688	24,400	22,600	1,800
Densidad a 15°C, Kg/m <sup>3</sup>	910,913	917,330	906,740	10,590
Punto de chispa, °C	78,750	95,000	60,000	35,000
Punto de nube, °C	3	3	3	
Punto de fluidez, °C	-3	-3	-3	
Viscosidad cinemática a 40°C, cSt	20,656	22,580	16,730	5,850

Parámetro	Media	Valor menor	Valor mayor	Desviación
Viscosidad dinámica, P	188,183	205,800	151,990	53,810
Color ASTM	2,625	3,000	2,500	0,500
Azufre por rayos X, %p/p	0,034	0,089	0,021	0,068
Agua mg/kg	3,712	4,978	3,332	1,645
Acidez método AP, mg KOH/g	0,331	0,425	0,139	0,286

Nota: Medina, Ospina & Tejada, 2014. Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

Es importante tener en cuenta que para obtener biodiesel a partir de aceites residuales es necesario que los reactivos sean anhidros y de alta pureza. El no cumplimiento de esta condición dará como resultado un biodiesel con bajos grados API y principalmente alto contenido de agua, por consiguiente, muy lejos de la norma, como se notó en los análisis llevados a cabo.

En la siguiente figura se observa el proceso que llevaron a cabo durante la investigación de manera resumida y concreta.

### Figura 17

Metodología del desarrollo experimental



Nota: Autor propio.

Para terminar con este capítulo, se hizo una revisión bibliográfica y posterior a esto se construyó la tabla 19; en ella se puede ver el rendimiento que tiene cada producto seleccionado, este es un criterio muy importante para llevar a cabo el desarrollo del siguiente capítulo.

**Tabla 19**

*Rendimiento en la Producción de Ciertos Productos a Partir de los ACUs.*

Producto	Rendimiento (%)
Aceite epoxidado	50,9-89,3
Biolubricantes	65-98
Jabón	3-10
Biodiesel	83-99

Nota: León & Pinzón, 2020. Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados. Rincón, 2018. Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. Guijarro, 2016. Aprovechamiento del aceite residual y las cenizas provenientes de restaurantes en el sector de Carapungo de la Ciudad de Quito, para la obtención de aseo de productos personal.

## 4. CAPITULO 3: MATRIZ DE SELECCIÓN

### 4.1. Matriz de selección.

En este capítulo, se crearon 8 matrices de pares para las cuales se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

- a. Establecer el objetivo principal a alcanzar, y las opciones que ayuden a lograrlo.
- b. Generar los criterios por los que se juzgarán las opciones; estas opciones surgieron a partir de lluvia de ideas generadas por cuatro profesionales en ingeniería química, en un panel referente a los aceites de cocina usados.
- c. Juzgar cada criterio contra todos los demás. Crear una matriz de pares, es decir hacer una tabla en la que se nombren las filas y columnas con cada uno de los criterios. Comparar la importancia de cada uno de ellos contra los demás por medio de la siguiente escala:

10: Muy importante

5: Importante

1: Igual

1/5: Menos importante

1/10: Mucho menos importante

- d. Comparar cada opción contra todas las demás. Crear una matriz de pares para cada criterio que se tiene; nombrar las filas y columnas de cada matriz con las opciones a evaluar. Hacer la comparación y evaluación según la escala implementada
- e. Por último, construir la matriz final. Etiquetar las filas con las opciones y las columnas con los criterios de evaluación. Multiplicar el Factor de Ponderación (FP) por el Peso de la Opción (PO) respectivo. Luego se sumó cada fila para obtener el puntaje final para cada opción para poder seleccionar la opción de mayor puntaje.

A continuación, se muestran las 8 matrices elaboradas, de las cuales, la primera corresponde a la matriz de pares de los criterios, las siguientes 6 corresponde a la matriz donde se evalúan los artículos estudiados por criterio implementado; y la última matriz corresponde a la final.

**Tabla 20***Matriz de Pares (Criterios)*

	Innovador	Rendimiento.	Complejidad del proceso.	Cantidad de agua consumida.	Costo.	Cumplimiento del ODS #12.	Suma	Factor de Ponderación (FP)
Innovador.	0	1/5	1	1/10	1/5	1	2.5	0.044
Rendimiento	10	0	1	1/5	1	1/5	12.4	0.22
Complejidad del proceso	1	1	0	1/5	1/10	1/5	2.5	0.044
Cantidad de agua consumida.	5	5	1	0	1	1	13	0.23
Costo.	1	1	5	1	0	1	9	0.16
Cumplimiento del ODS #12.	5	1	5	1	5	0	17	0.30
Total							56.4	

Nota: Autor propio.

Para las siguientes 6 matrices se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos: artículo 1: Producción de epóxido de soya con ácido peracético generado in situ mediante catálisis homogénea. Artículo 2: al modelo cinético de dos fases para la epoxidación de aceite de soya. Artículo 3: Epoxidación de aceite de soja a máxima eliminación de calor y adición única de todos los reactivos. Artículo 4: Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma. Artículo 5: Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Artículo 6: Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la universidad nacional de la Amazonía Peruana – Iquitos. Artículo 7: Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados. Artículo 8: Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel.

**Tabla 21***Matriz de Pares Innovación.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1	1	1/5	5	1	1/5	5	13.4	0.12
Artículo 2	1	0	5	1/5	5	1/5	1/10	5	16.5	0.14
Artículo 3	1/5	1/5	0	1/10	1	1/5	1/10	1	2.5	0.02
Artículo 4	10	5	1	0	5	5	1	10	37	0.31
Artículo 5	1/5	1/10	1	1/10	0	1/5	1/10	1	2.7	0.023
Artículo 6	1	1/5	5	1/5	5	0	1/10	5	16.5	0.14
Artículo 7	1	1	1/10	1	5	10	0	10	28.1	0.24
Artículo 8	1/5	1/5	1/10	1/10	1	1/5	1/10	0	1.9	0.016
Total									118.6	

Nota: Autor propio.

**Tabla 22***Matriz de Pares Rendimiento.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1/5	1	1	10	10	1	10	33.2	0.21
Artículo 2	5	0	1/5	1	10	10	1/5	10	36.4	0.23
Artículo 3	1/5	1/5	0	1	5	5	1	10	21.4	0.13
Artículo 4	1/5	1/5	1	0	5	5	1	10	22.4	0.14
Artículo 5	1/5	1/10	1/5	1/10	0	1	1/5	1/5	2	0.013
Artículo 6	1/5	1/5	1/5	1/5	1	0	1/5	1/5	2.2	0.014
Artículo 7	1	1	1	1	10	10	0	5	29	0.18
Artículo 8	1/5	1/10	1/5	1/5	5	5	1/5	0	10.9	0.07
Total									157.5	

Nota: Autor propio.

**Tabla 23**

*Matriz de Pares Complejidad del Proceso.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1	1	1/5	5	1	1/5	1	9.4	0.09
Artículo 2	1	0	1/5	1/5	5	5	1/5	1	12.6	0.12
Artículo 3	1/5	1/5	0	1/5	1	1/5	1/10	1	2.9	0.03
Artículo 4	5	5	1	0	10	5	1	5	32	0.30
Artículo 5	1/5	1/5	1	1/5	0	1	1/5	1	3.8	0.04
Artículo 6	1/5	1/10	1	1/10	1	0	1/5	1	3.6	0.03
Artículo 7	5	5	10	1	10	5	0	1	37	0.35
Artículo 8	1/5	1/5	1	1/5	1	1/10	1	0	3.7	0.03
Total									105	

Nota: Autor propio.

**Tabla 24**

*Matriz de Pares Cantidad de Agua Consumida.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1	1	1/5	1/10	1/10	1/5	1/10	2.7	0.017
Artículo 2	1	0	1	1	1/5	1/5	1/5	1/10	3.7	0.023
Artículo 3	1	1	0	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	3	0.019
Artículo 4	5	5	5	0	10	10	1	5	41	0.26
Artículo 5	5	5	5	5	0	1	1	5	27	0.17
Artículo 6	5	5	5	5	1	0	1	1	23	0.15
Artículo 7	5	5	5	1	1	1	0	1	19	0.12
Artículo 8	10	10	5	5	5	1	1	0	37	0.24
Total									156.4	

Nota: Autor propio.

**Tabla 25**

*Matriz de Pares Costo de Operación.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1	1/5	1/10	1	1	1/10	1/5	3.6	0.024
Artículo 2	1	0	1/5	1/5	1	1	1/10	1/5	3.7	0.025
Artículo 3	5	5	0	1/10	1	1	1/5	1/5	12.5	0.08
Artículo 4	10	5	10	0	5	5	1/5	1/5	35.4	0.24
Artículo 5	1	1	1	1/5	0	1	1/10	1/10	4.4	0.03
Artículo 6	1	1	1	1/5	1	0	1/5	1/5	4.6	0.031
Artículo 7	10	10	5	5	10	5	0	1	46	0.31
Artículo 8	5	5	5	5	10	5	1	0	36	0.24
Total									146.2	

Nota: Autor propio.

**Tabla 26**

*Matriz de Pares Cumplimiento del ODS #12.*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7	Artículo 8	Suma	Peso de la opción (PO)
Artículo 1	0	1	1/5	1	5	5	1	1	14.2	0.11
Artículo 2	1	0	1/5	1	10	5	1	1	19.1	0.15
Artículo 3	5	5	0	5	5	5	1	1/10	26.1	0.21
Artículo 4	1	1	1/5	0	1	1	1	1	6.2	0.05
Artículo 5	1/5	1/10	1/5	1	0	1/5	1	1/10	4.5	0.03
Artículo 6	1/5	1/5	1/5	1	5	0	1/5	1	7.8	0.06
Artículo 7	1	1	1	1	1	5	0	1/10	11	0.09
Artículo 8	1	1	10	1	10	1	10	0	34	0.28

Nota: Autor propio.

**Tabla 27**

*Matriz de Pares Final*

	Innovador.	Rendimiento.	Complejidad del proceso.	Cantidad de agua consumida.	Costo.	Cumplimiento del ODS #12.	Puntaje Final
Artículo 1	0.044 x 0.12 = 0.005	0.22 x 0.21=0.046	0.044 x 0.09= 0.004	0.23 x 0.017=0.0039	0.16 x 0.024=0.0038	0.30 x 0.11=0.033	0.096
Artículo 2	0.044 x 0.14=0.006	0.22 x 0.23=0.05	0.044 x 0.12=0.005	0.23 x 0.023=0.005	0.16 x 0.025=0.004	0.30 x 0.15=0.045	0.115
Artículo 3	0.044 x 0.02=0.0008	0.22 x 0.13= 0.02	0.044 x 0.027=0.0001	0.23 x 0.019=0.004	0.16 x 0.08=0.013	0.30 x 0.21=0.063	0.101
Artículo 4	0.044 x 0.31=0.014	0.22 x 0.14=0.03	0.044 x 0.30=0.001	0.23 x 0.26=0.06	0.16 x 0.24=0.038	0.30 x 0.05=0.015	0.158
Artículo 5	0.044 x 0.023=0.001	0.22 x 0.013=0.002	0.044 x 0.04=0.00016	0.23 x 0.17=0.04	0.16 x 0.03=0.004	0.30 x 0.03=0.009	0.056
Artículo 6	0.044 x 0.14=0.006	0.22 x 0.014=0.003	0.044 x 0.03=0.00012	0.23 x 0.15=0.03	0.16 x 0.031=0.005	0.30 x 0.06=0.018	0.062
Artículo 7	0.044 x 0.24=0.01	0.22 x 0.18=0.04	0.044 x 0.35=0.0014	0.23 x 0.12=0.02	0.16 x 0.31=0.05	0.30 x 0.09=0.027	0.148
Artículo 8	0.044 x 0.016=0.0007	0.22 x 0.07=0.02	0.044 x 0.035=0.00014	0.23 x 0.24=0.06	0.16 x 0.24=0.03	0.30 x 0.28=0.084	0.194

Nota: Autor propio.

#### 4.2. Resultados y análisis de la matriz de selección.

En la última matriz, se observa el puntaje final, resultado de la relación entre los artículos y los criterios seleccionados previamente. El artículo 8 el cual corresponde a la esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel obtuvo el mayor puntaje, una vez evaluado cada criterio, sin embargo, como actualmente es el tema más estudiado y más implementado a la hora de reutilizar los aceites de cocina usados, esto debido a su buen rendimiento y buenas propiedades para ser empleado en este campo, no se tendrá en cuenta como primera opción para trabajar el siguiente capítulo; debido a que este proyecto busca ser diferenciador y encontrar buenas y nuevas alternativas para el uso de estos residuos.

Los artículos siguientes que presentaron buena ponderación, fueron: 4, 7, 2 y 3; los cuales corresponden respectivamente a: Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma; Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo de residuos de

aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de aceites usados; Modelo cinético de dos fases para la epoxidación de aceite de soya; y Epoxidación de aceite de soja a máxima eliminación de calor y adición única de todos los reactivos.

En la siguiente tabla se evidencia los artículos con los mejores puntajes finales y su respectivo valor con base a la matriz final trabajada anteriormente.

**Tabla 28**

*Puntaje Final.*

Artículo	Puntaje final
4	0.158
7	0.148
2	0.115
3	0.101

Nota: Autor propio.

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo, se procede a trabajar con la síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma pues este artículo obtuvo buen puntaje. A partir de este se hará el desarrollo del siguiente capítulo teniendo en cuenta los criterios considerados en este bloque.

## **5. CAPITULO 4: CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO SOSTENIBLE A PARTIR DE LOS ACUS**

Desde su introducción comercial, hace más de 40 años atrás, las resinas epoxi se han establecido como uno de los más versátiles grupos de materiales de alto ingenio. Fue desarrollada durante la guerra y, con el avance de las tecnologías y capacidades de producción, pasó de tener un uso exclusivo a encontrarse hoy en día al alcance de todos.

El objetivo de un estudio de mercado es principalmente conocer el tamaño del mercado Resina epoxi, las tendencias recientes y el estado de desarrollo, así como las oportunidades de inversión, la dinámica del mercado (como factores impulsores, factores de restricción) y las noticias de la industria (como fusiones, adquisiciones e inversiones). La innovación y el avance tecnológicos optimizarán aún más el rendimiento del producto, haciéndolo más ampliamente utilizado en aplicaciones posteriores. Además, el Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter (posibles participantes, proveedores, sustitutos, compradores, competidores de la industria) proporciona información crucial para conocer el mercado Resina epoxi.

Las posibles preguntas que se pueden plantear para llevar a cabo un buen estudio de mercado pueden ser las siguientes: ¿Cuánto cuesta la industria de las resina Epoxi?; ¿Quién es el mayor exportador de Resina Epoxi?; ¿Cuál es el consumo global de Resina Epoxi?; ¿Cuáles son las compañías de Resina Epoxi más importantes en Colombia?; ¿Por qué el marketing es tan importante en el negocio actual de Resina Epoxi?; ¿Cuál es el propósito y la importancia del análisis de mercado global de la Resina Epoxi?; ¿Cuales son los factores clave que impulsan el mercado de Resina epoxi ?; ¿ Qué región se espera que tenga la mayor cuota de mercado en el mercado Resina epoxi?; ¿Qué tendencias, desafíos y barreras tendrán un impacto en el desarrollo y dimensionamiento del mercado global Resina epoxi?; Cuáles son el volumen de ventas, los ingresos y el análisis de precios de los principales fabricantes del mercado Resina epoxi?;¿Cuáles son las oportunidades de mercado Resina epoxi y las amenazas que enfrentan los proveedores en la industria global Resina epoxi?

Se espera que el aumento de proyectos y actividades de investigación y desarrollo por parte de los principales actores del mercado, y los avances en la tecnología para la creación de resinas modificadas, creen nuevos usos de resinas epoxi en diversas aplicaciones. Así mismo, El estudio de mercado, se sugiere realizarlo cumpliendo la siguiente estructura definida:

**Fuentes de información.** las primarias (encuestas, entrevistas, grupos de discusión, etc., es decir, las que llevas tú mismo a cabo);

*Las secundarias* (artículos, informes, páginas webs, estadísticas de empresa, fuentes gubernamentales, etc., es decir, fuentes de terceros).

**Diseño y tratamiento de los datos.** cómo vas a recopilar los datos que necesitas, qué herramientas o técnicas vas a utilizar.

**Procesamiento y análisis de los datos.** Examine los datos obtenidos.

**Informe final.** Un reporte que aclare las conclusiones finales.

Esto con el fin de que, si se llega a realizar estudios sobre este tema, queda la base para hacer un mejor estudio de mercado teniendo en cuenta varios factores de interés tanto para el país como para las empresas productoras de este tipo de resinas.

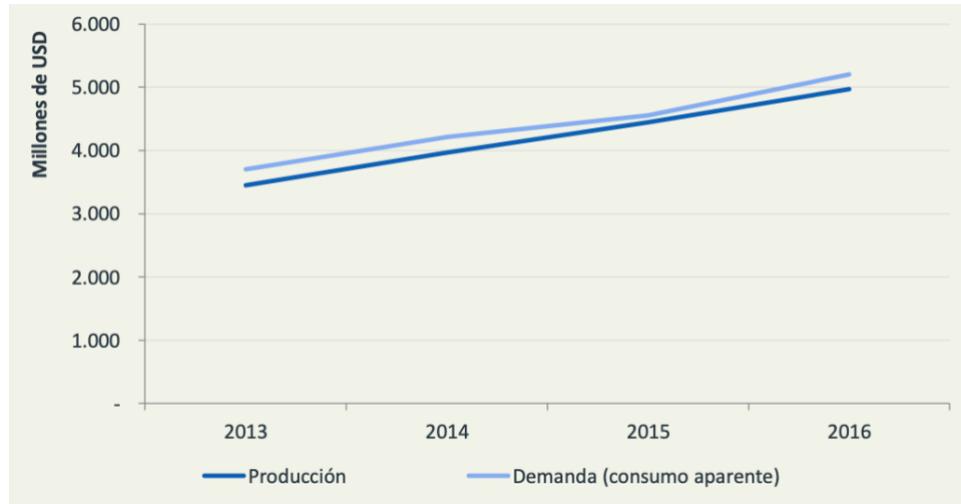
Está demostrado, que en la actualidad la tendencia por consumir alimentos saludables es cada vez mayor, por lo que las grasas de origen animal han sido desplazadas por el consumo de las grasas de origen vegetal. Hecho que favorece al país. En Latinoamérica, Colombia es el principal productor de aceite de palma y además a nivel mundial ocupa el quinto lugar con más de 350.000 hectáreas cultivadas y cerca de 1.200.000 toneladas producidas (Procolombia, N.A).

El sector aceites y grasas colombiano ha venido presentando una evolución creciente tanto en su componente de demanda como en la oferta. Entre 2013 y 2016, aumentó la producción en un 44,2%, hasta lograr USD \$4.973 millones. Mientras tanto, aumentó la demanda en un 40,6%, alcanzando los USD \$5.205 millones.

Adicionalmente, se observa que la producción colombiana estaría en capacidad de cubrir una parte sustancial de la demanda nacional si esta se orientara en su totalidad al mercado interno: 93,2% en 2013, 94,2% en 2014, 97,6% en 2015 y 95,5% en 2016.

**Figura 18**

*Producción y demanda sector aceites y grasas.*

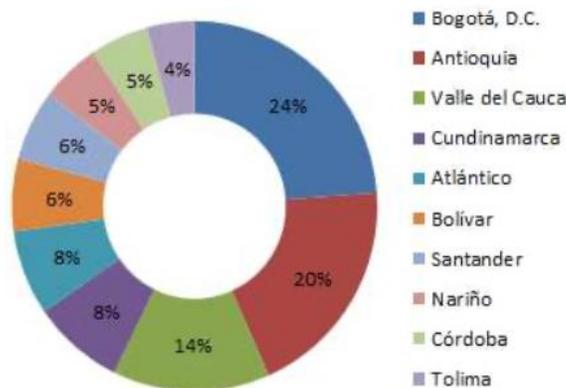


Nota: WiserTrade (DANE) y Encuesta Anual Manufacturera 2016.

En cuanto al consumo de aceite a nivel nacional se da de la siguiente manera: Bogotá ocupa el primer lugar en el consumo de aceite con un volumen de 33,5%, seguido de Medellín con el 12,6%, Atlántico con el 22,8%, Pacífico con el 13,7%, región centro con 9,2% y por último el oriente con el 8,4% (Latinpyme, 2020). Este comportamiento puede explicarse debido a que estos departamentos son los más poblados en Colombia. En las siguientes Figuras se puede comprobar lo anteriormente mencionado.

**Figura 19**

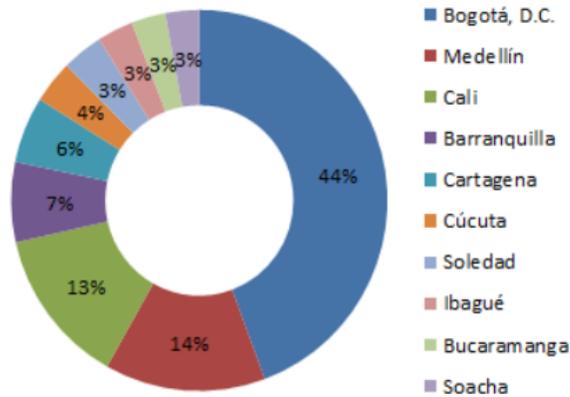
*Departamentos más poblados.*



Nota: DANE

### Figura 20

*Ciudades más pobladas.*

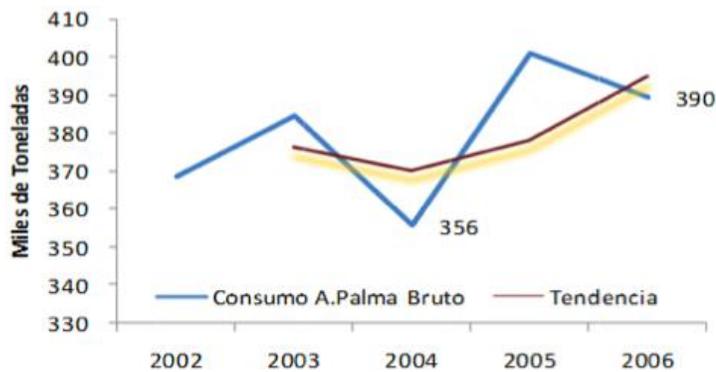


Nota: DANE

En el estudio realizado por Julio Alejandro Ortiz y Carlos Daniel Ramírez, se puede ver el comportamiento de consumo anual entre el año 2002 y 2006 del aceite de palma en el país. En la siguiente gráfica se puede observar detalladamente lo anteriormente mencionado; además se evidencia que el crecimiento promedio fue del 2% (Ortiz & Ramírez, 2010).

### Figura 21

*Consumo anual del aceite de palma.*



Nota: DANE, EAM

Esta información mostrada sirve para delimitar y seleccionar las regiones dependiendo del consumo de los ACU's, para lo cual en este caso se trabajará solo con el aceite de cocina de palma usado ya que fue la mejor materia prima para implementar nacionalmente según los resultados del capítulo anterior.

El siguiente criterio está relacionado con la factibilidad del acopio de los ACUs. Estos, a pesar de las altas cifras de consumo, solo hasta el año 2003 el Ministerio de Ambiente creó un procedimiento para reciclar este residuo correctamente. A partir de este mes, los productores, distribuidores y comercializadores de aceites vegetales comestibles, así como los generadores y gestores de Aceite de Cocina Usado (ACU), deberán cumplir una serie de obligaciones para que este material se recoja y se reutilice de manera adecuada (Revista Semana, 2020).

Los productores y comercializadores deberán liderar una campaña informativa para que sus compradores dispongan adecuadamente el aceite de cocina usado. En las casas, los ciudadanos simplemente tendrán que dejar enfriar el aceite, envasarlo en botellas de plástico y llevarlo a los puntos autorizados para su recolección.

En distintas ciudades capitales como Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla; son varias las alternativas existentes para llevar y, en algunos casos, recibir algo de dinero entregando el aceite de cocina usado.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que no solo las empresas productoras y comercializadoras son las encargadas de hacer gestión; sino también las ciudades más generadoras de estos residuos; algunas de ellas han adoptado técnicas en sitios estratégicos con el fin de que se haga la correcta disposición de este.

Por otra parte, es importante mencionar que las entidades reguladoras les hacen falta cumplir a cabalidad sus funciones, ya que a diario en todos los sectores sociales se sigue viendo la incorrecta disposición de estos residuos y ellos no hacen nada al respecto, esto para hacer cumplir la normatividad vigente.

En este trabajo también se analizó como criterio importante el tipo de mano de obra necesario. Para el proceso, por un lado, se necesita tipo de mano de obra especializada para controlar y

verificar las reacciones químicas que se presentan durante el proceso y también que las materias primas si estén en condiciones optimas necesarias para la correcta producción del producto; y por el otro lado, existen procesos más sencillos donde se necesita mano de obra común, como, por ejemplo, estar chequeando que los equipos si estén a las condiciones previamente establecidas por los expertos.

Por otra parte, es importante conocer el equipo necesario para llevar a cabo el proceso productivo; en este caso, son necesarios equipos industriales en la planta de producción del producto deseado; es decir, se necesitan equipos como: Reactores, mezcladores, intercambiadores de calor y controladores de temperatura. Los equipos mencionados anteriormente son básicos, por lo que son indispensables en cualquier tipo de proceso a nivel industrial y por consiguiente de fácil acceso; los costos pueden variar según las dimensiones, el material primario y si necesitan algunos con especificaciones diferentes (Montenegro & Perneth, 2019).

Otro criterio importante considerado en este documento fue la distribución en planta que este proceso requiere. Este consiste en el orden físico de los elementos que constituyen una instalación sea industrial o de servicios. Esta ordenación comprende los espacios necesarios para los movimientos, el almacenamiento, los colaboradores directos o indirectos y todas las actividades que tengan lugar en dicha instalación. Una distribución en planta puede aplicarse en una instalación ya existente o en una en proyección.

Es necesario que la planta se encuentre ubicada cerca de la principal fuente generadora de materia prima necesaria para el proceso productivo (aceite de palma); que en este caso es la Ciudad de Bogotá D.C., Lugar donde más se origina el aceite de palma usado. Es importante este factor ya que existen otros como el transporte, las condiciones de este y la gestión de la recolección que hace que se incremente los precios de solo la materia prima.

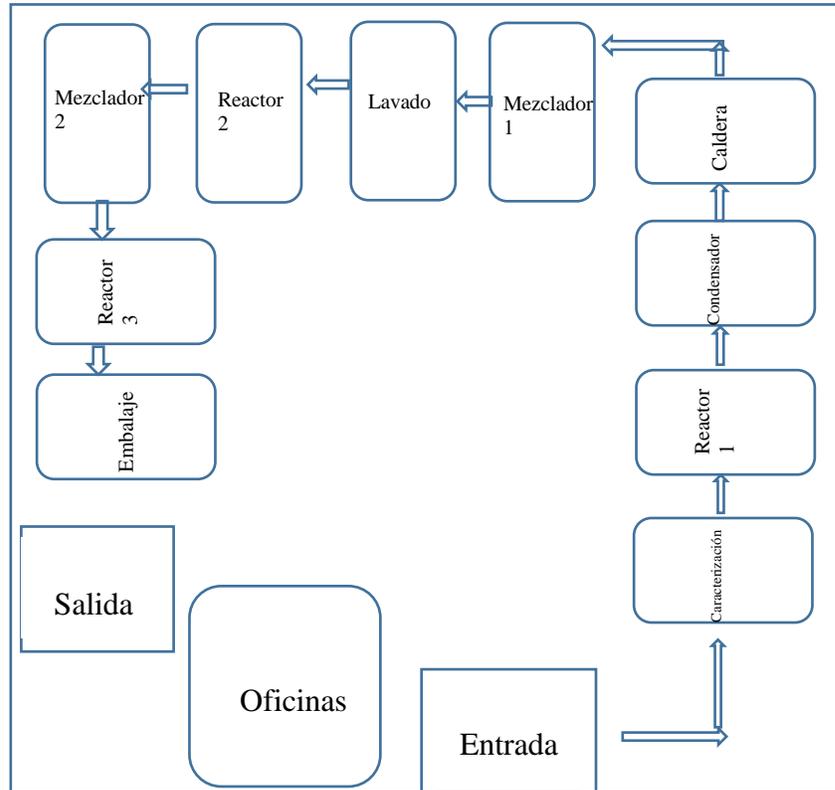
Además, es importante mencionar que los equipos para el proceso de producción no requieren de grandes espacios; por lo cual, la planta no necesita de gran área para la ejecución de las resinas.

El proceso productivo básicamente se divide en 2 etapas importantes, las cuales son:

1. La síntesis del aceite epoxidado de palma. y,

## 2. La producción de la resina epoxica.

La siguiente distribución de planta puede ser considerada para la implementación de este proyecto. La planta puede tener aproximadamente 60 m<sup>2</sup> considerando los equipos necesarios para el proceso y se distribuye como se observa en la siguiente imagen



Para el escalamiento es necesario modelar el proceso industrial para hacer una evaluación de este con base a una representación, dicho esquema se logra con el uso de softwares especialmente diseñados para este fin, o, con cálculos manuales de los parámetros del proceso.

Para esto, es necesaria la obtención de los datos cinéticos de la reacción de obtención de la resina a escala laboratorio, de esta manera, es posible obtener un modelo mucho más cercano al comportamiento real del proceso. La cinética es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los mecanismos mediante los cuales estas tienen lugar, estudia el tiempo y la ruta por la cual los reactivos se convierten en productos (Montenegro & Perneth, 2019).

Al intervenir el tiempo, se puede hablar de velocidad de reacción, que se refiere a la velocidad con la que varía la concentración de un producto o reactivo a lo largo del tiempo de reacción y que se puede ver afectada por varios factores como son: el estado de los reactivos, la temperatura, la concentración de los reactivos y el uso de catalizadores (Montenegro & Perneth, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, el proceso puede ser automático o semiautomático, esto ya depende si se quiere hacer un control más exhaustivo en cada etapa del proceso o no.

El proceso se organizará de manera integral, donde se aproveche al máximo todos los recursos entre estos están la materia prima, la distribución y la energía empleada; esto con el fin de que no se generen residuos representativos en cada subproceso del proceso productivo. A pesar de lo anteriormente mencionado, los polímeros termofijos como es el caso del producto escogido en este trabajo, no puede ser trabajado una vez procesado; por esta razón es importante formar el pre-polímero, para así poder pasar este por una transformación química, llamada endurecimiento o curado, la cual, forma las uniones de reticulación (Todo en polimeros, 2017).

Cuando la resina es utilizada, esta cambia su estructura química, en consecuencia, de esto si un polímero termofijo se moliera y se volviera a procesar, se carbonizaría, es por esto que las resinas termofijas no son reciclables (Todo en polimeros, 2017).

Sin embargo, en la actualidad, ha habido muchos esfuerzos para utilizar el remolido de resinas termofijas como carga de resinas termoplásticas para aprovechar su rigidez y resistencia térmica.

El empaque de este producto es sencillo ya que, a nivel industrial, la resina epoxi viene envasada en tambores metálicos estándar de 200 litros, equivalente a 220 kilogramos de producto (Cristo; Fernandez; Niro; Parés y Tamolonis, 2018). Estos recipientes son todavía en la actualidad los más utilizados a escala industrial como contenedores de productos químicos peligrosos y en especial de los líquidos inflamables (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 1993). Dos factores inciden principalmente en el grado de seguridad que pueden presentar los recipientes metálicos: Fabricación del recipiente: proceso de fabricación, exactitud y cuidado en la ejecución, dimensiones y su regularidad, forma del envase del que dependerá un equilibrio mas o menos

estable, número y tipos de dispositivos de cierre etc., control de calidad de recipientes y homologación. Y el empleo de recipientes: normas de llenado, limitación del tamaño, manutención, trasvase, almacenamiento y exposición a agentes externos, rotación de existencias, naturaleza y peligrosidad del contenido etc. (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 1993).

Sin embargo, también pueden encontrarse este tipo de producto en plásticos técnicos, ya que estos ofrecen un mayor rendimiento que los materiales estándar, y son ideales para aplicaciones técnicas que requieren plásticos duros. Los plásticos técnicos ofrecen mejor rendimiento en ámbitos como la resistencia al calor, la resistencia a los productos químicos, la resistencia al impacto, la no propagación de la llama y la fuerza mecánica (PlasticsEurope, 2020). Estos materiales en el mercado se encuentran fácilmente y su precio es asequible para cualquier empresa Colombiana.

Por último, es necesario conocer la facilidad de distribución y almacenamiento del producto. Este proceso se desarrolla de la siguiente manera: tanto la resina como el endurecedor se comercializan con instrucciones independientes para una manipulación segura que informan al usuario acerca de los problemas potenciales para su salud en caso de exposición indebida. Además, el fabricante de los componentes es el encargado de proporcionar las directrices de transporte del sistema epoxi, que deberán seguirse en todo momento (EPOXY tomorrow's technology, 2018).

Los componentes deben almacenarse en recipientes herméticos, en un lugar fresco y seco, dentro de una zona designada como almacén de materiales. Los recipientes no deben almacenarse en lugares inapropiados, como baños o alojamientos temporales de la obra (EPOXY tomorrow's technology, 2018).

## CONCLUSIONES

- En Colombia existen normas y decretos que garantizan el buen manejo de estos residuos; además, existen agentes de control que vigilan la correcta manipulación y la disposición de los ACUs. Sin embargo, todavía existe la falta de compromiso por cumplir con la normatividad vigente por parte de las entidades reguladoras y por los generadores de estos.
- En Colombia, se ha presentado un incremento en el consumo de derivados de los aceites epoxidados; entre estos se destacan los poliuretanos, los polialcoholes, las resinas poliéster y los plastificantes. En la actualidad, la mayoría de estos compuestos tienen un origen petroquímico, por lo cual el uso de los ACUs como materia prima se convierte en una oportunidad para impulsar el consumo de productos bioderivados.
- En la actualidad, los ACUs están siendo empleados como materia prima para diferentes productos; Sin embargo, después de ser investigados y calificados a partir de una matriz de selección, él que tiene mejor desempeño y se acopla mejor a la región escogida es : “la resina epóxica a partir de aceite epoxidado de palma”.
- Comercialmente los éteres son los más importantes, ya que el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epíclorhidrina con el bisfenol A (2-2-bis(p-hidroxifenil)propano) con formación de una molécula de diglicil éter de bisfenol.
- Las resinas por sí mismas no presentan ninguna propiedad técnica útil hasta que son endurecidas efectivamente mediante reacciones químicas de doble enlace. Su estructura química ha de ser transformada en un entramado o red tridimensional, constituida por enlaces covalentes en todas las direcciones
- El elevado número de resinas epoxi y endurecedores dan lugar a una amplia gama de propiedades en los distintos productos. No obstante, se puede lograr ampliar esta gama con la incorporación de los llamados modificadores, que van a potenciar la versatilidad y utilidad de las resinas epoxi.
- El sector aceites y grasas colombiano ha venido presentando una evolución creciente tanto en su componente de demanda como en la oferta. Entre 2013 y 2016, aumentó la producción en un 44,2%, hasta lograr USD \$4.973 millones. Mientras tanto, aumentó la demanda en un 40,6%, alcanzando los USD \$5.205 millones. La mayor participación de estos valores fue por parte de ciudades grandes como: Bogotá, Medellín, Barranquilla entre otras; debido a su grande población y por consiguiente gran consumo de aceite de palma.

## RECOMENDACIONES

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

- Las propiedades físico-químicas de los ACU's son muy importantes a la hora de emplearlos como materia prima para sus diferentes fines; sin embargo, las muestras que se recolectan de los diversas fuentes generadoras de estos residuos pueden llegar a ser muy variadas unas de las otras y esto se debe basicamente al número de veces que fueron empleadas para fritura o cocción de alimentos; además, como provienen de diferentes fuentes, es muy probable que el aceite vegetal de origen no sea el mismo entre las muestras. Es por esto, que es importante emplear otras técnicas de caracterización además de las mencionadas en el trabajo con el fin de caracterizar y cuantificar la degradación de los ACU's que se vayan a utilizar. Sumado a esto, es de interes hacer un muestreo muy completo, con el objetivo de obtener mayor cantidad de datos para lograr un análisis estadístico detallado.
- Se recomienda estudiar nuevos productos a elaborar con los ACU's como lubricantes, que también puede ser productos de gran interés económico y de atractivo alto a nivel industrial y comercial en la industria Colombiana.
- Se recomienda como opción de grado de estudios de posgrado, establecer una propuesta particular de la ingeniería de proceso de esta u otras alternativas presentes en el documento.
- Adoptar políticas de control de los residuos ACU's en los hogares o conjuntos multifamiliares.
- Reglamentar de forma institucional el control de los residuos ACU's en los hogares o conjuntos multifamiliares.

## BIBLIOGRAFÍA

- Boyacá, L. &. (04 de 2010). Producción de epóxido de soya con ácido paracético generado in situ mediante catálisis homogénea . *Ingeniería e investigación* , 30(1), 136-140.
- sostenible, M. d. (01 de 03 de 2018). *Gobierno de Colombia*. Obtenido de Minambiente : <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/7d-res%20316%20de%202018.pdf>
- Bailey, A. (1984). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Abud, L. &. (2004). *El libro de jabones*. Buenos Aires: Albatros.
- demográfico, M. p. (s.f.). *Gobierno de España*. Recuperado el 01 de 08 de 2020, de Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>
- sostenible, M. d. (01 de 03 de 2018). *Gobierno de Colombia*. Recuperado el 20 de 07 de 2020, de Andi: <http://www.andi.com.co/Uploads/Resolución%20316%20de%202018-.pdf>
- Rincón, L. (2018). Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. *Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- sostenible, M. d. (s.f.). *Gobierno de Colombia*. Recuperado el 22 de 07 de 2020, de Ministerio de ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-deambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>
- Murcia, B. ., (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista colombiana de biotecnología*, 15(1), 61-70.
- Guerrero, C. (06 de 2014). Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. *Proyecto fin de carrera de ingeniería química*. Almería, España: Universidad de Almería.
- Regla, I. V. (01 de 05 de 2014). La química del jabón y algunas aplicaciones. *Revista digital universitaria UNAM*, 15(5), 38.

- Arias Rodríguez, M. &. (2018). Saponificación artesanal de aceites de cocina usados, provenientes del municipio de Charalá. *ECAPMA*, 7.
- Pineda Rodríguez, C. &. (2011). Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restaurantes y comidas rápidas de Pereira. *Scientia et Technica*, 1(47).
- Erickson, B. N. (2012). Perspective on opportunities in industrial biotechnology in renewable hemicals. *Biotechnology* , 7(2), 176-185.
- Fedepalma. (2019). *Palmicultura colombiana aumentó 6% sus ventas locales, mantuvo alto consumo y logró participación de 62% frente a mercado total de aceites y grasas*. Recuperado el 27 de 06 de 202, de Fedepalma : <http://web.fedepalma.org/palmicultura-colombiana-2019-aumento-6-ventas%20locales-participación-mercado-total-aceites>
- MinAmbiente. (2017). *Documento de soporte técnico preliminar* . Obtenido de MinAmbiente: <http://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20Soporte%20Tecnico%20ACU%20Ajustes%20-29-09-17.pdf>
- Jaime Alfonso, A. &. (2020). Desarrollo de una alternativa de producto utilizando ceites de cocina usados tratados por la empresa Greenfuel Colombia. *Proyecto integral de trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico* . Bogotá D.C., Colombia .
- González Canal, I. G. (2015). Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras . *Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras* . Vizkaia, España.
- Cárdenas, R. &. (s.f.). *Estudio de Mercado- Aceites y Grasas* . Bogotá: Ronderos & Cárdenas.
- Colombia, K. d. (2020). *Google*. Obtenido de LatinPyme: <https://www.latinpymes.com/kantar-datos-sobre-consumo-de-aceite-de-cocina-en-colombia/>
- Ortiz Sarmiento, J. &. (11 de 2010). Caracterización de la etapa de distribución de la cadena de abastecimiento en la industria de aceites y grasas en Bogotá. *Tesis*. Bogotá, Bogotá D.C, Colombia : Universidad Javeriana.
- usados, ¿. y. (2017). *Google*. Obtenido de Semana Sostenible: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/aceite-de-cocina-usado-como-botarlo-y-reciclarlo-en-colombia/38474>
- León, G. &. (02 de 2020). Evaluación del proceso para la obtención de un biolubricante partiendo deresiduos de aceites de cocina para una empresa dedicada al tratamiento de

- aceites usados. *Tesis*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia : Fundación Universidad de América.
- Rincón, L. (2018). Reutilización de aceites de cocina usados en la producción de aceites epoxidados. *Tesis Magister*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
- De Quadros, J. &. (2015). Epoxidation of soybean oil at maximum heat removal and single addition of all reactants. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 7.
- Beltrán, A. &. (2010). Modelo cinético de dos fases para la epoxidación de aceite de soya. *Ingeniería e Investigación*, 1-9.
- Montes, M. &. (2016). *El mercado de la alimentación en Colombia*. Bogotá: España Exportación e Inversión.
- Cenincal. (11 de 10 de 2017). *Google*. Obtenido de Cenincal : <https://cenincal.com/matriz-de-seleccion/>
- Alfonzo, F. (2010). Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma. *Revista de investigación* , 3(2), 19-24.
- Polímeros, T. e. (24 de abril de 2017). *Google*. Obtenido de Todo en polímeros: <https://todoenpolimeros.com/2017/04/24/3209/>
- Gomez, C. (2 de Junio de 2017). *Google*. Obtenido de Issuu: [https://issuu.com/carolinagomez926/docs/empaque\\_y\\_polimeros\\_1](https://issuu.com/carolinagomez926/docs/empaque_y_polimeros_1)
- PlasticsEurope. (2020). *Google*. Obtenido de PlasticsEurope: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>
- EPOXI. (2018). *Google*. Obtenido de EPOXI : [https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2018/10/EPOXY\\_Brochure\\_2018\\_ES\\_FINAL.pdf](https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2018/10/EPOXY_Brochure_2018_ES_FINAL.pdf)
- inflamables, R. m. (1993). *Google*. Obtenido de Ministerio de trabajo y asuntos sociales : [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_378.pdf/cfcb6226-949f-462a-8ea2-2538da5ca788](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_378.pdf/cfcb6226-949f-462a-8ea2-2538da5ca788)

