

**EVALUACIÓN DE INSUMO HOMÓLOGO EN LA ETAPA DE REFINACIÓN
QUÍMICA DEL ACEITE DE SOYA**

CAMILO ANDRÉS PADILLA RANGEL

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO**

Director:

**JUAN CARLOS OJEDA TORO
DOCTOR (PHD) EN INGENIERÍA - INGENIERÍA QUÍMICA.**

Codirector:

**JULIANA MARCELA SARMIENTO ORJUELA
ESPECIALISTA (ESP) EN GERENCIA FINANCIERA.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ DC**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. César Augusto Sánchez Correa

Ing. Javier Alexander Mancera Apolinar

Bogotá D.C. Julio de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decana de la Facultad de Ingenierías

Dra. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Programa de Ingeniería de Química

Dra. NUBIA LILIANA BECERRA

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan esperado e importante en mi formación profesional. A mis padres por siempre mostrarme el buen camino y su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi familia que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos tanto académicos como personales. Ellos son los que me han impulsado a perseguir mis metas y nunca abandonarlas.

Agradezco a la universidad, la **FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**, a todo el cuerpo directivo y docentes por brindarnos los espacios, y los conocimientos.

Agradezco a la empresa **DUQUESA S. A BIC** por brindarme el apoyo económico, y de infraestructura para llevar a cabo este proyecto, el cual me ha enseñado mucho para mi vida profesional y personal.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos la Ingeniera **JULIANA MARCELA SARMIENTO ORJUELA** por aceptarme para realizar este proyecto de grado bajo su dirección. Su apoyo y confianza en este trabajo me han permitido orientar mis ideas, y desarrollar mi capacidad profesional en el ámbito de aceites y grasas vegetales, además de su rigurosidad, la cual ha sido clave para el buen trabajo realizado.

Agradezco al profesor e ingeniero **JUAN CARLOS OJEDA TORO** por orientar la redacción y organización del presente trabajo de grado, sin sus consejos profesionales, no hubiese sido posible llegar al resultado tan esperado.

Por último, agradezco a todas las personas involucradas directa o indirectamente dentro de la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	13
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.1. Antecedentes	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo general	22
4.2. Objetivos específicos	22
5. MARCO TEÓRICO	23
5.1 Generalidades de los aceites y grasas vegetales	23
5.1.1 <i>Tipos de Aceites Vegetales</i>	25
5.2 <i>Aceite de Soya</i>	28
5.2.1 <i>Extracción</i>	30
5.2.2 <i>Desgomado</i>	36
5.2.3 <i>Neutralización</i>	44
5.2.4 <i>Blanqueo</i>	45
5.2.5 <i>Desodorización</i>	55
6. METODOLOGÍA	58
6.1 Investigación bibliográfica	58
6.2 Investigación experimental	58
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	64
7.1 Caracterización de materia prima	64
8. ANÁLISIS	73
9. ANÁLISIS FINANCIERO	83

9.1 Costo anual uniforme equivalente (insumo convencional VS insumo homólogo)	83
<i>9.1.1 Alternativa A</i>	84
<i>9.1.2 Alternativa B</i>	86
9.2 Análisis financiero 2	89
10. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área, Producción y Rendimiento de soya en Colombia	19
Figura 2. Importaciones de soya en Colombia	20
<i>Figura 3: Grasa saturada</i>	23
<i>Figura 4: Grasa insaturada</i>	24
<i>Figura 5: Aceite de Linaza</i>	25
<i>Figura 6: Aceite de Sésamo y su semilla</i>	25
<i>Figura 7: Aceite de girasol y su semilla</i>	26
<i>Figura 8: Aceite de maíz y su semilla</i>	27
<i>Figura 9: Aceite de soya y su semilla</i>	27
Figura 10 Taxonomía de la semilla de Soya	28
Figura 11: Productos y subproductos del haba de soya	29
Figura 12: Célula de soya	30
Figura 13: Desolventizador – Tostador (DT) para extracción de Harina	31
Figura 14: Desolventizador – Tostador (DT) para extracción de Harina con sus partes	33
Figura 15: Extracción de Aceite de soya	35
Figura 16: Estructura de los principales fosfolípidos presentes en el aceite de soya	37
Figura 17: Desgomado con agua	38
Figura 18: Separación del fosfolípido de la molécula de glicerol	39
Figura 19: Desgomado Ácido	39
Figura 20: Desgomado Alcalino	41
Figura 21: Desgomado Enzimático	43
Figura 22: Neutralizador para aceites comestibles	44
Figura 23: Reacción de saponificación de ácidos grasos	45

Figura 24: Capa tetraédrica	47
Figura 25: Capa octaédrica	48
Figura 26: Estructura de la montmorillonita	48
Figura 27: Diagrama de Blanqueo continuo	51
Figura 28: Diagrama Blanqueo silicato/arcilla de filtración simple	52
Figura 29: Diagrama Blanqueo silicato/arcilla de filtración doble	53
Figura 30: Diagrama Blanqueo contra corriente	54
Figura 31: Desodorizado mediante columna de bandejas	56
Figura 32: Desodorizado mediante columna de lecho empacado	57
Figura 33: Termobalanza	60
Figura 34: Refractómetro	61
Figura 35: Colorímetro	62
Figura 36: Muestra de aceite crudo de Soya	64
Figura 37: Muestra de aceite neutralizado de Soya	65
Figura 38: Muestra de aceite desgomado de Soya	66
Figura 39: Tolvas de dosificación para insumos de blanqueo	67
Figura 40: Toma de muestra (Aceite blanqueado)	68
Figura 41: Toma de muestra (Aceite Desodorizado)	71
Figura 42: Datos tomados para el análisis de color rojo después del blanqueo	78
Figura 43: Posición de la media para los datos de color rojo después del blanqueo	78
Figura 44: Comparación de la media para color rojo después del blanqueo mediante Minitab 18	79
Figura 45: Datos tomados para el análisis de color rojo final	81
Figura 46: Posición de la media para los datos de color rojo final	81
Figura 47: Comparación de la media para color rojo final mediante Minitab 18	81
Figura 48: Filtro Niágara	82

Figura 49: Gráfica para el %Acidez bimestral del año 2022	98
Figura 50: Gráfica para el %Humedad bimestral del año 2022	99
Figura 51: Gráfica para el índice de refracción bimestral del año 2022	99
Figura 52: Gráfica para el color rojo bimestral del año 2022	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Condiciones operativas típicas para el intercambiador de calor de pre acondicionamiento	34
Tabla 2 Composición en peso de fosfolípidos de varias lecitinas	36
Tabla 3 Parámetros finales del aceite blanqueado	45
Tabla 4 Parámetros estándar para la soya cruda	64
Tabla 5 Caracterización de la soya cruda	65
Tabla 6 Resultados fisicoquímicos de neutralización	66
Tabla 7 Resultados fisicoquímicos de desgomado	67
Tabla 8 Resultados fisicoquímicos del blanqueo utilizando insumo homólogo e insumo convencional	68
Tabla 9 Resultados fisicoquímicos del blanqueo utilizando insumo homólogo e insumo convencional	70
Tabla 10 Resultados fisicoquímicos de desodorizado	72
Tabla 11 Media calculada para insumo convencional y homólogo	74
Tabla 12 Desviación estándar calculada para insumo convencional y homólogo	74
Tabla 13 Varianza muestral individual calculada para insumo convencional y homólogo	75
Tabla 14 Datos estadísticos para determinar el resultado de la comparación de medias	76
Tabla 15 Tabla t-student	77
Tabla 16 Datos estadísticos calculados para la acidez final	79
Tabla 17 Datos estadísticos para determinar el resultado de la comparación de medias (color rojo final)	80
Tabla 18 Datos recolectados para el análisis financiero	83
Tabla 19 Comparación costos insumo convencional vs insumo homólogo	89

RESUMEN

La soya es ampliamente utilizada en la industria alimentaria debido a su capacidad para producir varios subproductos, como la lecitina de soya, la leche de soya, la salsa de soya y el aceite de soya crudo. Este último, es la materia prima de interés en el presente trabajo, el cual, debe ser refinado mediante métodos fisicoquímicos para cumplir con ciertos estándares de calidad y posteriormente pueda ser comercializado. El proceso de refinación química se lleva a cabo convencionalmente utilizando soda cáustica, ácido fosfórico, sílice y arcillas adsorbentes. Los cuales eliminan impurezas (v.g., metales, fosfolípidos, carotenoides, etc.) que afectan las características organolépticas del aceite. Sin embargo, este proceso es costoso debido a los elevados precios de los insumos requeridos (por lo general son importados). Por esta razón, el objetivo de este proyecto de grado fue realizar un análisis tecno-económico de un nuevo proceso de refinación de aceite de soya. Mediante el reemplazo de la sílice utilizada actualmente en esta etapa por un agente “homólogo” de menor precio. Teniendo en cuenta esto, se realizaron pruebas experimentales en las instalaciones de la compañía financiadora del proyecto (Duquesa S. A. BIC) y se evaluó la eficiencia de este agente mediante la determinación de las propiedades fisicoquímicas del aceite refinado, tales como: acidez, humedad, índice de refracción y color. Posteriormente, se realizó una comparación cualitativa y cuantitativa de ambos procesos (el convencional y usando el homólogo). Obteniendo como resultado, el requerimiento de una mayor dosificación de insumo homólogo (0,25% por cada 20 Ton de aceite de Soya) en comparación del proceso convencional (0,10% por cada 20 Ton de aceite de Soya) para cumplir los estándares mínimos de calidad del aceite. Sin embargo, con esta sobre dosificación se evidenció una mejora en el color rojo según la comparación estadística que se realizó por medio del software Microsoft Excel y Minitab 18. Por último, mediante una encuesta a los operadores de la planta sobre cuáles serían los posibles cambios en la infraestructura de la planta si se usará el agente homólogo, se llegó a la conclusión de que una sobre dosificación de este agente podría causar un taponamiento en los filtros de la etapa posterior de la refinación (como también en las tuberías y las bombas centrífugas), lo cual operacionalmente no es viable.

Cabe resaltar, que en este documento se estableció una metodología sistemática guiada por los documentos Icontec y la norma colombiana (Resolución 2154 de 2012) con el fin de cumplir con las características fundamentales de un aceite comestible.

Palabras clave: Aceite vegetal, proceso de blanqueo de aceite, desgomado de aceite, aceite de soya.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado un aumento en la producción y exportación de diversos aceites vegetales, especialmente para uso alimentario, destacando el aceite de soya como uno de los más versátiles y rentables en la industria, ya sea para uso alimentario o para aplicaciones oleo químicas. El aceite de soya es uno de los aceites más demandados en el mercado debido a sus características fisicoquímicas y nutricionales, ya que los consumidores finales buscan obtener ácidos grasos esenciales, omega 3 y 6, minerales, vitaminas y antioxidantes que los aceites vegetales brindan.

Sin embargo, para que los aceites vegetales sean comestibles, es necesario un proceso de refinación que involucra etapas cruciales, como la neutralización, desgomado, blanqueo y desodorización. Estos procesos requieren el uso de varios insumos importados que aumentan el costo de producción cuando se cambian a la moneda local. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de grado es describir los procesos a los que se somete el aceite de soya, desde la extracción hasta la desodorización, y evaluar la posibilidad de disminuir los costos de producción en la etapa de blanqueo.

En este documento se llevó a cabo un estudio riguroso de la etapa de blanqueo en la refinación química, estableciendo parámetros para comparar el insumo convencional el cual es un hidrogel de sílice con una superficie específica adecuada para la refinación de aceite de soya, que le permite una mayor eficiencia de remoción en el proceso de blanqueo, y un insumo homólogo el cual es una arcilla adsorbente con diferente superficie específica y volumen de poro, que prometen adsorber los jabones, fosfolípidos no hidratables, y complejos metálicos, con una dosificación igual o menor que la que se utiliza actualmente con el insumo convencional buscando así determinar si el insumo homólogo ofrecía la misma efectividad en la eliminación de impurezas del aceite. Además, se realizó un estudio técnico económico para evaluar la viabilidad del reemplazo del insumo y determinar si era una opción rentable para la empresa. En resumen, este trabajo busca ofrecer una solución para reducir los costos de producción del aceite de soya y mejorar la rentabilidad del producto

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Duquesa S. A BIC es una empresa colombiana de producción y comercialización a nivel nacional, de productos alimenticios, en las líneas de margarinas y aceites vegetales [1]. Entre sus procesos productivos se encuentra la refinación de aceite de soya por medio de procesos químicos y físicos, en donde se obtienen diferentes subproductos (Soapstock y Ácidos Grasos), los cuales son recolectados y procesados para luego ser comercializados como materia prima para diferentes industrias, entre ellas la industria del cuidado personal.

Dentro de los procesos que se manejan en la compañía, se resalta la refinación química, la cual está diseñada para remover los fosfolípidos, los cuales son compuestos naturales del aceite que influyen en la calidad del producto terminado; y los ácidos grasos libres, que son los responsables del olor en el aceite crudo. La refinación se realiza en 3 procesos. El primero es el desgomado, el cual consiste en convertir los fosfolípidos no hidratables en hidratables, para su consecuente eliminación. Posteriormente, el aceite entra al segundo proceso llamado neutralización o refinación cáustica, en donde al aceite se le adiciona una solución alcalina (usualmente de hidróxido de sodio) y ésta reacciona con los ácidos grasos libres para producir jabón. Este jabón es insoluble en el aceite y es fácilmente removido mediante un lavado con agua. La solución alcalina también neutraliza cualquier ácido remanente de la etapa de desgomado y reacciona con los triglicéridos en el aceite, por lo tanto, los parámetros de neutralización deben ser optimizados para minimizar las pérdidas de productividad (tipo de álcali, concentración de la solución, temperatura, agitación y tiempo) [2], y por último el blanqueo, el cual es un proceso importante ya que permite remover impurezas en los aceites comestibles por medio de tierras de blanqueo (Arcillas y/o Silica), las cuales son adsorbentes activados como los aluminosilicatos hidratados. Estos minerales son purificados y activados por medio de tratamientos ácidos, originando un cambio en la estructura cristalina y un aumento en su área superficial y capacidad de adsorción [3]. La eliminación de estas impurezas mejora la calidad sensorial y la estabilidad oxidativa del aceite desodorizado.

La técnica común de blanqueo de aceite en una planta de refinería de aceite comestible se basa en aplicar la arcilla por medio de una tolva, a la que posteriormente se le aplica la silica. Estas se mezclan por separado con el aceite y se trabaja el proceso en condiciones de vacío para eliminar

los efectos del aire y así consumir menos arcilla y/o sílica. Seguido de esto, se administra una dosis de tierras de acuerdo con el color requerido. Posteriormente, el aceite blanqueado se lava a través de discos de acero inoxidable de filtración para eliminar los residuos de arcillas y/o sílices presentes en el aceite, ya que es importante obtener un aceite blanqueado, de buena calidad y sin sedimentos. Por otro lado, se habla de la sílica y la arcilla, insumos importados que son cruciales para la refinación, dado que son los encargados de eliminar las impurezas y blanquear el aceite.

En el mercado existen varias arcillas y sílica para blanqueo de aceites, entre las que se encuentran el Pureflo B80, Pureflo B81, Tonsil, entre otros. La sílica para refinación de aceite comestible se puede utilizar en las diferentes operaciones como lo son la refinación de todos los aceites, grasas animales y vegetales, la eliminación de forma selectiva los fosfolípidos, los metales traza asociados y los jabones en el proceso, permitiendo así mejorar directamente la calidad del producto terminado con un costo aproximado de 2,88 USD por Kg.

Según lo anterior, se encuentra un homólogo, el cual también es importado y su precio en el mercado es de aproximadamente 1,55 USD por Kg. Por lo tanto, se propone en este proyecto la posibilidad de disminuir los costos en aproximadamente un 61% en el proceso de refinación y blanqueo del aceite de soja, utilizando la arcilla homóloga.

De acuerdo con lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Cuáles son los efectos que genera el reemplazo de la sílica, en las propiedades fisicoquímicas del aceite de soja refinado y blanqueado?

Para solucionar el problema principal de este trabajo es necesario responder las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Qué parámetros fisicoquímicos tiene el aceite de soja antes de ser refinado químicamente?
- ¿Qué características debe tener el aceite de soja después de ser blanqueado?
- ¿Cuál es la variación de las características fisicoquímicas utilizando el producto homólogo y la sílica?
- ¿Cuáles son los costos de producción al reemplazar la sílica?

2.1. Antecedentes

Existen varias investigaciones, las cuales estudian la etapa de blanqueo, y como llegar a hacerla más eficiente en cuanto a costos, métodos, y tiempos. Además, existen documentos que estudian alternativas para el desarrollo del proceso, tales como:

- En el proyecto de grado *“Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo la filtración de un aceite comestible”* [4], se exhiben posibles métodos para el aprovechamiento del subproducto que se genera después de la etapa de blanqueo, además muestra detalladamente como se puede implementar dicho método, con un análisis de costos, y dimensionamiento de equipos. Según lo anterior, es posible recurrir a este documento, para estimar valores en cuanto a costos de producción e implementación.
- En el documento *“Estado del arte sobre producción de tierras de blanqueo: inteligencia tecnológica aplicada”* [5], las arcillas que se utilizan en la etapa de blanqueo de la industria oleaginosa, describiendo cada uno de los tipos que existen y su modo de obtención. Este artículo recomienda las características de arcilla en cuanto a composición, para obtener los resultados más adecuados en la etapa de blanqueo de aceites.
- En el documento *“Optimization of Bleaching Parameters for Soybean Oil”* [6], muestra el blanqueo de aceite de soya en escala laboratorio, y compara los resultados a diferentes tiempos y temperaturas, además explica detalladamente los métodos utilizados para la determinación de los valores de color, índice de peróxido, ácidos grasos, entre otros. Según lo anterior, este artículo nos brinda información sobre normativas, en las cuales se debe soportar el proyecto para su realización.
- En el documento *“Quality assessment and safety measurement of different industrial processing stages of soybean oil”* [7], describe los métodos estándar (IUPAC & AOCS) para la obtención de los parámetros fisicoquímicos al momento de realizar las pruebas en un laboratorio, además de esto, muestra valores de estos parámetros, los cuales se pueden tomar como punto de partida para la experimentación.

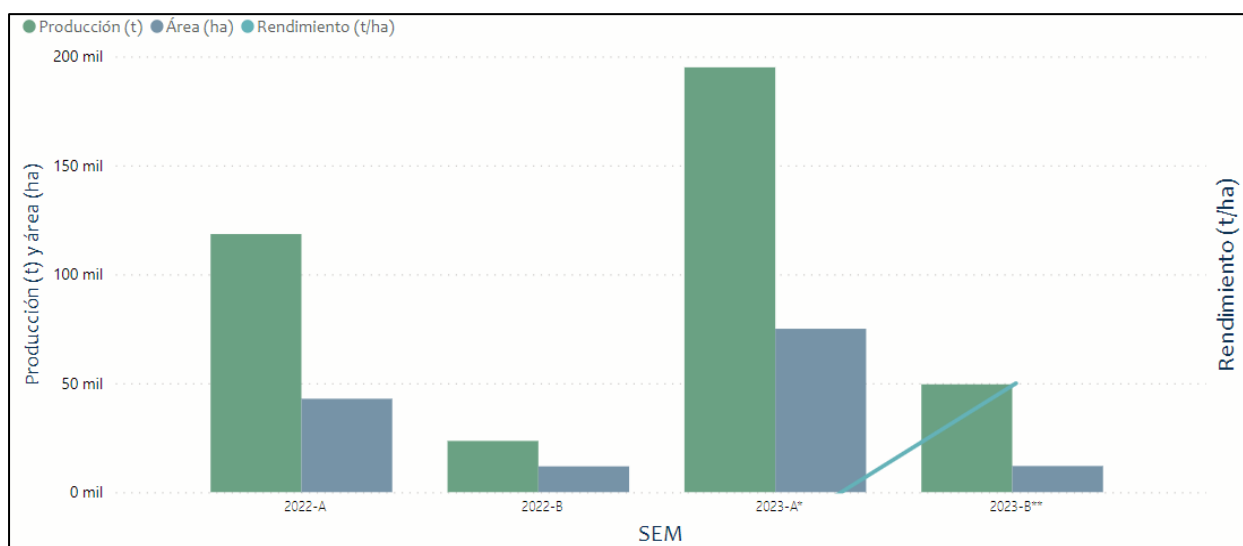
3. JUSTIFICACIÓN

La industria oleaginosa en Colombia ha tenido un constante crecimiento durante los últimos años, según datos de la Dian en años anteriores se exportaron un total de USD \$299 millones en 2021, y los tres productos más vendidos fueron el aceite de palma RBD, por USD \$ 106 millones; Refinados (Soya, Girasol y otros), por USD \$ 84 millones, y mezclas de aceites por USD \$ 42 millones [8].

Según un estudio de Fenalce, se analiza el panorama de producción de soya cruda en Colombia, y según las estadísticas, se observa que en Colombia dicha producción es baja, como se observa en la Figura 1, con respecto a otros países como Argentina y Estados Unidos. Por lo tanto, es necesario importar el aceite de soya cruda para posteriormente refinarlo y exportarlo. En Colombia existen varias empresas que importan esta materia prima entre las que se encuentran: Grasas S.A, Qbco S.A, C I Carhill de Colombia LTDA, entre otras (Figura 2)

Figura 1.

Área, Producción y Rendimiento de soya en Colombia



Nota. La figura representa la producción y rendimiento de soya en Colombia. Tomado de Fenalce "Estadísticas - Fenalce," 2021. Available: <https://fenalce.co/estadisticas/>. [9]

Figura 2.

Importaciones de soya en Colombia



Nota. La figura representa las importaciones de soya en Colombia en el primer semestre del año. Tomado de Fenalce "Estadísticas - Fenalce," 2021. Available: <https://fenalce.co/estadisticas/>. [9]

Según lo anteriormente descrito, la refinación de soya en un país como Colombia, estaría incrementando dado que las importaciones de soya cruda seguirán aumentando, y por consiguiente se eleva la importación de insumos para lograr dicha refinación.

La industria para la cual se desarrolla este proyecto tiene un meta de refinación de soya de 800 Ton/Mes, en donde se utilizan 2.000 Ton de silica, dosificando la cantidad sugerida por el proveedor. Es posible evaluar un insumo homólogo dentro del proceso productivo, sin afectar la calidad del producto final, esperando que este insumo reduzca la cantidad de kilogramos que se utiliza para el blanqueo mensualmente de la refinación de aceite de soja.

Al reemplazar el insumo actual utilizado para el blanqueo, se reduce el costo de producción, dado que el precio del homólogo es mucho más bajo, según el proveedor también es posible que las

características fisicoquímicas del aceite mejoren, por lo tanto, esta alternativa es sostenible económicamente cuando se compara con el proceso actual.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

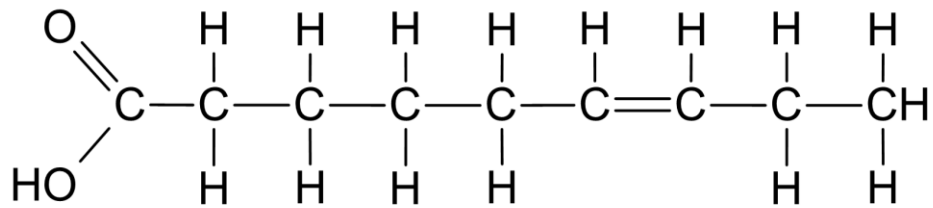
Evaluar el uso de un adsorbente homólogo en la etapa de blanqueo para la refinación de aceite de Soya

4.2. Objetivos específicos

- 1.** Diagnosticar el estado del aceite de soya antes de la etapa de refinación química.
- 2.** Determinar los parámetros fisicoquímicos del blanqueo a nivel industrial.
- 3.** Comparar los parámetros fisicoquímicos del blanqueo con el producto homólogo frente a la sílica.
- 4.** Determinar el rendimiento técnico y financiero del proceso de blanqueo con el producto homólogo frente a la sílica.

Figura 4.

Grasa insaturada



Nota. La figura muestra la cadena carbonada de la grasa insaturada. Tomado de Alimentos con grasas saturadas – Lista de ejemplos. Available: <https://nutricion360.es/alimentos/grasas-aceites/alimentos-con-grasas-saturadas-lista-ejemplos>. [11]

Extracción: Los aceites vegetales se pueden obtener mediante diferentes procesos de extracción, dentro de los cuales se encuentran la prensa en frío, la extracción con solventes, la hidrogenación y la extracción con CO₂ supercrítico. El proceso de extracción puede afectar la calidad y el perfil de ácidos grasos del aceite debido a que cada método presenta sus ventajas y sus desventajas. La elección de cualquier proceso de extracción depende de las características específicas del producto a obtener.

Uso culinario: Los aceites se utilizan comúnmente para cocinar y preparar alimentos. Se utilizan en la cocina para freír, saltear, hornear y aderezar alimentos en su mayoría. Todos los aceites poseen un punto de humo diferente, lo que afecta su capacidad para soportar altas temperaturas sin descomponerse y generar sustancias tóxicas, que pueden ser perjudiciales para la salud humana.

Beneficios para la salud: Los aceites vegetales son una fuente importante de ácidos grasos insaturados que se han asociado con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, mejora del sistema inmunológico, prevención de ciertos tipos de cáncer, entre otros problemas de salud. Además, algunos aceites vegetales contienen antioxidantes y demás compuestos bioactivos que pueden traer beneficios como la absorción de vitaminas liposolubles que contribuyen al mejoramiento de la salud de la piel y el cabello.

Impacto ambiental: La producción de aceites vegetales ha sido asociada con la deforestación y la pérdida de hábitats naturales, lo que ha generado preocupación por su impacto ambiental. Es importante considerar el origen y la sostenibilidad de los aceites vegetales a la hora de elegirlos

para su debido uso en las diferentes industrias. El transporte y manejo de los mismos también puede provocar derrames en suelos o aguas, causando contaminación en el entorno.

5.1.1 Tipos de Aceites Vegetales

Existen una gran variedad de aceites de tipo vegetal en las que se encuentran aceites de linaza, sésamo, girasol, maíz, soya, palma, entre otros.

5.1.1.a Aceite de Linaza. El aceite de linaza proviene de las semillas de lino, como se observa en la Figura 5. Este está compuesto principalmente por ácidos grasos insaturados, con una predominación del ácido oleico en un rango de entre 20 a 27%, ácido alfa-linolénico en un rango de entre 53 a 57% que produce Omega-3 y es esencial para el ser humano. Además, puede contener hasta un 22 % de ácido linoleico, productor de Omega-6 que es otro ácido esencial. [12]

Figura 5.

Aceite de Linaza



Nota. La figura muestra el aceite de linaza y su semilla. Tomado de Mr. Batatacolombia "aceite-linaza-2.jpeg (640×408)." Available: <https://mrbatatacolombia.com/wp-content/uploads/2022/06/aceite-linaza-2.jpeg>. [13]

5.1.1.b Aceite de sésamo. El aceite de sésamo proviene de las semillas de sésamo como se puede observar en la Figura 5 Este tiene un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados, siendo 35% ácido oleico y 35% ácido linoleico. Se distingue de los demás aceites comunes por un aporte importante de E y minerales como el Zinc, Calcio, Magnesio y Fósforo. [12]

Figura 6.

Aceite de Sésamo y su semilla



Nota. La figura muestra el aceite de sésamo y su semilla. Tomado de Gadis.com "Propiedades y contraindicaciones del aceite de sésamo," 2019. Available: <https://www.gadis.es/saludable/propiedades-y-contraindicaciones-del-aceite-de-sesamo/>. [14]

5.1.1.c Aceite de girasol. El aceite de girasol proviene de las semillas de girasol, mostradas en la Figura 7 Este aceite es el más utilizado en España y en Francia, después del aceite de oliva, ya que contiene una alta proporción de ácido linoleico y vitamina E. No es recomendable utilizarlo para freír, ya que posee una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, pero sí es recomendable para ensaladas o mayonesas, ya que les da un toque suave a las comidas.[12].

Figura 7.

Aceite de girasol y su semilla



Nota. La figura muestra el aceite de girasol y su semilla. Tomado de Dieta saludable. Available: <https://www.hola.com/estar-bien/20200306162488/dieta-saludable-aceite-girasol-lb/>. [15]

5.1.1.d Aceite de maíz. El aceite de maíz se obtiene de los granos de maíz, como se observa en la Figura 8 Es un aceite muy utilizado debido a su precio asequible por su baja proporción de grasas saturadas, aunque en su composición predominan las grasas poliinsaturadas. Se utiliza erróneamente para freír, cuando por su sabor poco pronunciado es ideal para ensaladas, salsas o mayonesas.[12]

Figura 8.

Aceite de maíz y su semilla



Nota. La figura muestra el aceite de maíz y su semilla. Tomado de Beneficios aceite de maíz. Available: <https://www.cocinadelirante.com/tips/beneficios-aceite-de-maiz>. [16]

5.1.1.e Aceite de soya. El aceite de soja proviene de las semillas de soja, como se observa en la Figura 9 Este aceite se destaca por su riqueza en ácido alfa— linolénico. Posee una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados frente a los monoinsaturados, lo que puede relacionar los ácidos grasos poliinsaturados Omega-6, como el linoleico, con problemas cardiovasculares.

Figura 9:

Aceite de soya y su semilla



Nota. La figura muestra el aceite de soya y su semilla. Tomado de El aceite de soja Available: <https://www.eldiariomontanes.es/cantabria-mesa/nuevo-aceite-entra-20200123155715-nt.html>. [17]

5.2 Aceite de Soya

La palabra glycine deriva del griego - glykys (dulce) fue introducida originalmente por Linnaeus en 1737 que se refiere al dulzor de los tubérculos comestibles con forma de pera. La soja, o soya cultivada, apareció por primera vez en Species Plantarum, bajo el nombre de Phaseolus Max L. La combinación, Glycine Max (L.), fue propuesta por Merrill en 1917 y ha llegado a ser el nombre válido para esta planta. [18], su taxonomía se puede apreciar en la **Figura 10**.

Figura 10

Taxonomía de la semilla de Soya

Categoría Taxonómica	Ubicación de Categoría
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabácea
Subfamilia	Faboideae
Género	Glycine
Especie	Max
Nombre Científico	Glycine Max

Nota. La figura muestra la taxonomía de la semilla de soya. Tomado de. E. F. Piñares Murillo. Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de glycine max L. merr. var. nacional, en la zona de satipo – Perú. 2016 Available:[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4023/Pi% c3% b1 ares% 20Murillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4023/Pi%c3%b1ares%20Murillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [18].

La soja es nativa del norte y centro de China, aproximadamente en el siglo XI AC. En América fue introducida por Estados Unidos en 1765, pero su gran expansión se inició en 1840. En Brasil fue introducida en 1882, pero su difusión se produjo a principios del siglo XX [18].

El proceso de producción de soya comienza con la selección de las semillas adecuadas y la preparación del suelo. Se siembra la semilla en el suelo, y luego se suministran los cuidados adecuados para asegurar su crecimiento saludable. Esto incluye riego, fertilización y control de malezas y plagas.

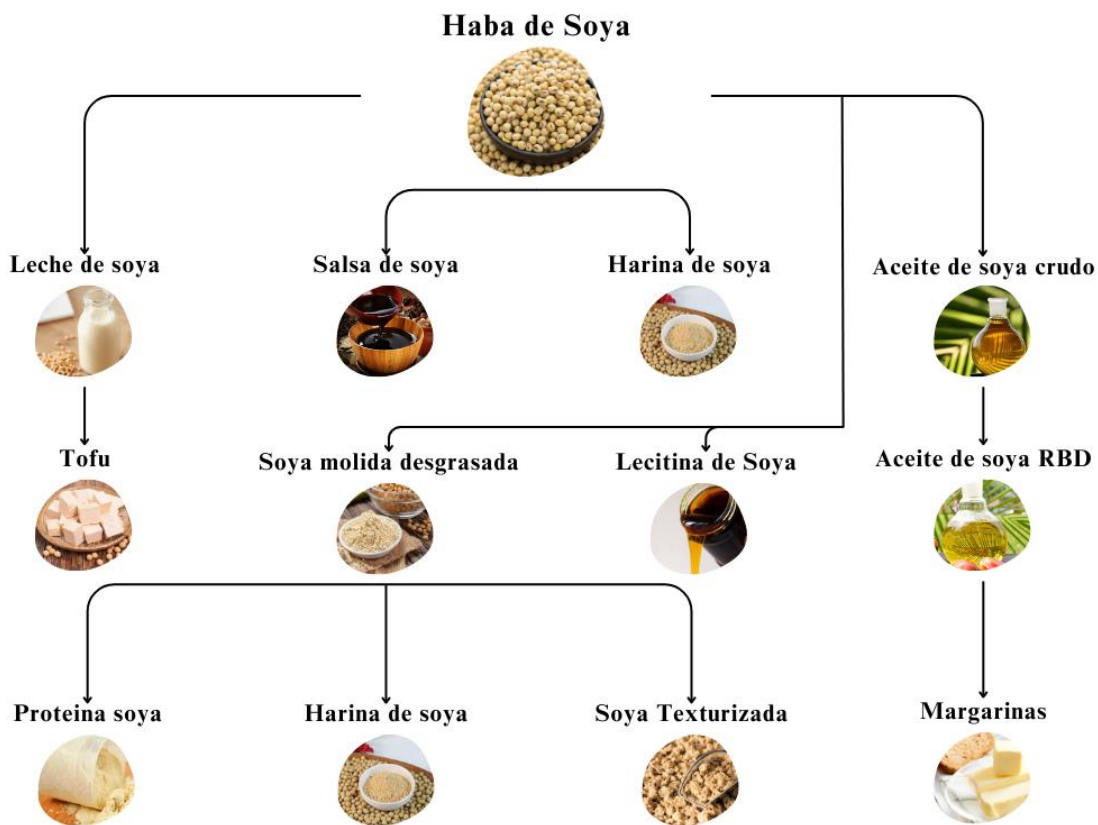
Una vez que la planta de soya alcanza la madurez, se lleva a cabo la cosecha. La soya se puede cosechar a mano o con maquinaria especializada. De la cosecha se obtienen las vainas, de las que se separan las semillas de la planta y se procesan para la extracción.

Los granos de soya se pueden utilizar para una variedad de productos, incluyendo alimentos para humanos y animales, aceite de soya, lecitina de soya, proteína de soya entre otros (Figura 11) También se utilizan en la producción de biocombustibles y otros productos industriales.

En resumen, la producción de soya es un proceso agrícola importante que involucra el cultivo, cuidado, cosecha y procesamiento de la planta de soya para su uso en una variedad de productos.

Figura 11.

Productos y subproductos del haba de soya



Nota. La figura muestra los subproductos del haba de soya. Adaptado de. SaboresalMaximo.com "Sabores al Maximo." Available: <https://saboresalmaximo.com/guia-soja-calidad-nutricional/>. [19]

El proceso de producción del aceite de soja está dividido en varios procesos, tales como: La extracción, el desgomado, la neutralización, el blanqueo y la desodorización son las etapas por las cuales se debe someter el aceite crudo para ser un producto apto para el consumo humano. Este tipo de aceites son catalogados como RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado), lo que significa que se pueden utilizar de diversas maneras dentro de la industria alimentaria.

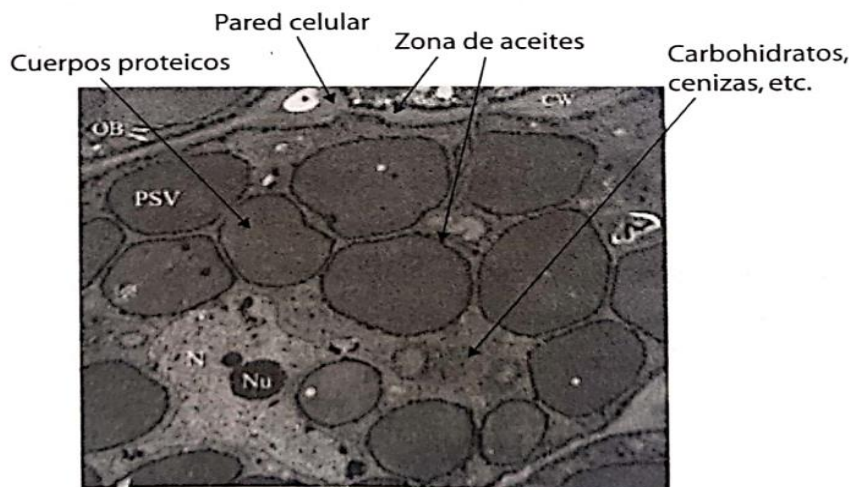
5.2.1 Extracción

Previo al proceso de extracción, los granos de soja son limpiados y acondicionados, reduciendo su tamaño por medios mecánicos, con el fin de aumentar la superficie de contacto y facilitar la siguiente operación, la cual consiste en utilizar hexano como solvente, para extraer el aceite de soja de las hojuelas (Figura 12) [20].

El material a extraer se pone en contacto con el solvente que inunda los poros intra-partícula y disuelve el aceite formando la micela cuya composición queda establecida por el equilibrio logrado con el aceite contenido en el sólido. A través de esta micela el aceite difunde hacia el exterior de la partícula y, posteriormente, es transportado hacia la salida del lecho por la corriente global. [21]

Figura 12.

Célula de soja



Nota. La figura muestra la célula de soja con las partes más importantes en cuanto a la extracción de aceite crudo de soja. Tomado de. J. M. B. Daniel Barrera-Arellano, Temas Selectos En Aceites Y Grasas - Vol. 2. (1ª ed.) Blucher, 2013.27(3). [21]

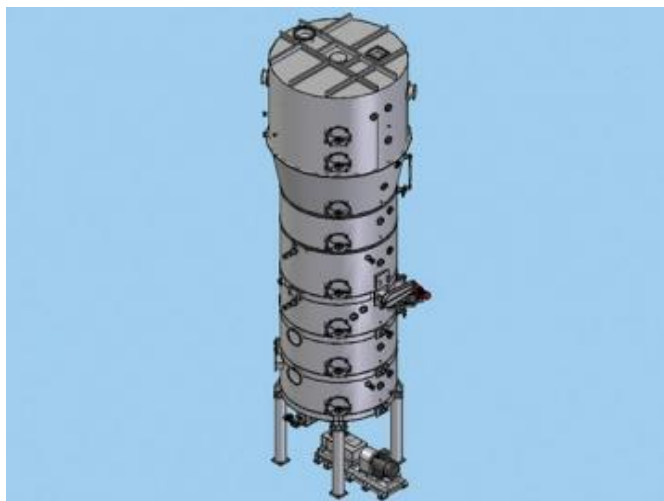
En la Figura 12, existe una zona de extracción simple del aceite, debido a que se encuentra cerca de la pared celular. Esta parte de la extracción se realizará en un tiempo de contacto muy corto

entre el solvente y el material a extraer. Sin embargo, hay otra parte del aceite que deberá recorrer una distancia mayor para llegar a la pared celular y poder ser transportada por el solvente hacia la corriente de micela. En cada uno de los movimientos del aceite se encontrará con diferentes “obstáculos” como los que se observan en la Figura 12, a los que tomará tiempo poder superar. Por lo tanto, el tiempo de extracción es una variable muy importante en este proceso que está limitado por la transferencia de masa, y es independiente del tipo de extractor [21].

5.2.1.a Extracción de solvente en la harina. El proceso de recuperación del solvente se requiere dentro del proceso de extracción del aceite de soja, ya que en el momento en el que sale del extractor, este se encuentra mezclado con harina de las semillas de soja. Luego que la fracción de aceite es extraída con solvente de la fracción de harina, ambas corrientes del proceso quedan con alto contenido de solvente el cual debe ser retirado, el solvente en la fracción de aceite es posible eliminarlo en su totalidad utilizando una destilación. El solvente en la fracción de harina es más complicado de eliminar, y generalmente se retira en un equipo Desolventizador – tostador en contra corriente, que normalmente en la industria se denomina como DT [21] (Figura 13)

Figura 13.

Desolventizador – Tostador (DT)



Nota. La figura muestra el equipo Desolventizador – tostador. Tomado de. Desolventizador tostador secador enfriador(. . Available: <http://mx.etwinternational.com/2-10-desolventiser-toaster-dryer-cooler-24815.html>. [22]

La harina entra al equipo por la parte superior del DT a una temperatura de 57 °C, el cual contiene aproximadamente un 30% de solvente en peso. El DT está diseñado para aportar la suficiente

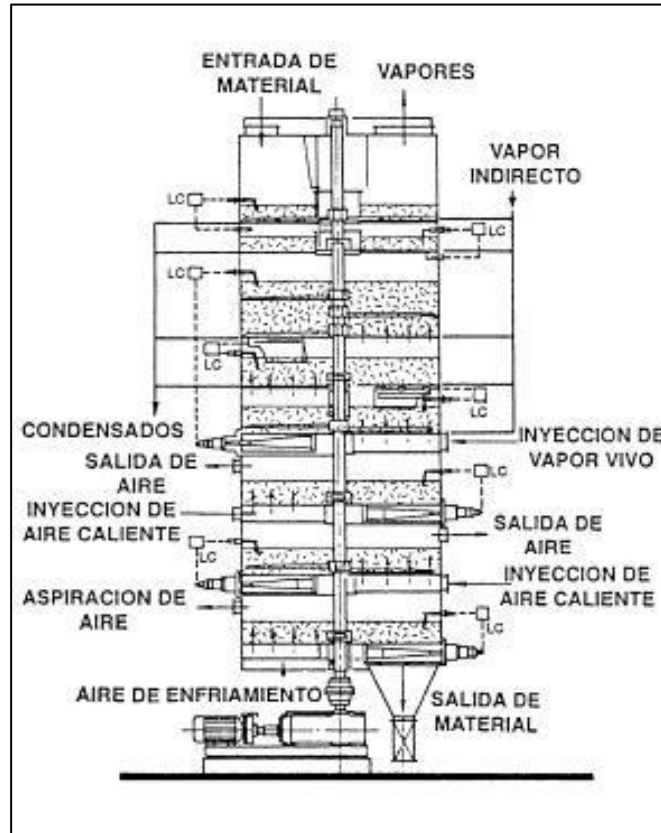
energía en forma de calor con el propósito de evaporar el solvente llevándolo a una temperatura de 107 °C por medio de vapor sobrecalentado, el cual se aplica de forma directa como indirecta.

Para realizar la transferencia de calor de forma indirecta, se aplica el vapor por medio de bandejas calientes (Figura 14). El calor latente del vapor es transmitido por el fenómeno de conducción térmica, por medio de la bandeja de acero a la harina, la cual es agitada permanentemente para facilitar la evaporación del solvente[21]. Posteriormente y por efecto de la transferencia de energía en forma de calor, el vapor se condensa totalmente dentro de la bandeja, el cual es devuelto a la caldera por medio de un tanque de condensado. En un DT común, aproximadamente un 25 % del calor total es suministrado por el vapor indirecto.

Por el contrario, el vapor indirecto se aplica a la harina mediante una bandeja distribuidora que se encuentra en la parte inferior del DT (Figura 14). Este vapor está sobrecalentado al momento de su ingreso. El vapor inyectado se eleva por medio del equipo atravesando varias capas de harina y realizando una acción de contra corriente al tiempo que la harina se desliza hacia abajo pasando de una bandeja a otra. El vapor funciona como agente de desorción para eliminar los rastros finales del solvente, y este aporta el 75 % del calor total para lograr la extracción del solvente de la Harina, el cual pasa de 30% de solvente en peso a un 0,025% de solvente en peso [21]

Figura 14.

Desolventizador – Tostador (DT) para extracción de Harina con sus partes



Nota. La figura muestra el equipo Desolventizador – tostador con sus partes. Tomado de. Extracción: Algunos términos (). Available: <https://docplayer.es/55113042-Extraccion-algunos-terminos.html>. [23]

5.2.1.b Destilación de la micela. El proceso de destilación de la micela y recuperación de solvente se inicia después de la salida del extractor, desde el cual la micela es enviada al tanque de micela que cumple su trabajo como un tanque pulmón [21]

Esta micela se bombea hacía unos intercambiadores de calor en donde se concentra la micela debido a la evaporación del solvente, la cual se lleva a cabo en condiciones de vacío (Tabla 1) y utilizando como fluido de transferencia de calor los gases que provienen de los DT, para aprovechar la energía, y no utilizar vapor de agua de caldera con el fin de disminuir costos.

Tabla 1*Condiciones operativas típicas para el intercambiador de calor de preacondicionamiento*

Condiciones	Verano	Invierno
Vacío de planta (mm Hg)	410 – 450	550
Concentración micela salida (% p/p)	70% - 80% (Aprox.)	85% - 90% (Aprox.)

Nota. La tabla muestra las condiciones típicas del intercambiador de preacondicionamiento. Tomado de. J. M. B. Daniel Barrera-Arellano, Temas Selectos En Aceites Y Grasas - Vol. 2. (1ª ed.) Blucher, 2013.27(3). [21]

La micela concentrada es tomada del domo separador mediante una bomba y es enviada hacia un segundo intercambiador (aceite – micela), en donde la micela se precalienta aprovechando la energía el aceite proveniente de la columna de despojamiento, también conocida como “*Stripper*” de aceite vegetal, y luego de completar la transferencia de calor, la micela pasa a un evaporador de segunda etapa del cual la micela saldrá a la temperatura final de calentamiento y un vacío adecuado.

La micela de salida de este evaporador (concentrada hasta aproximadamente 96%) es dirigida hacia la columna de despojamiento de aceite vegetal [21].

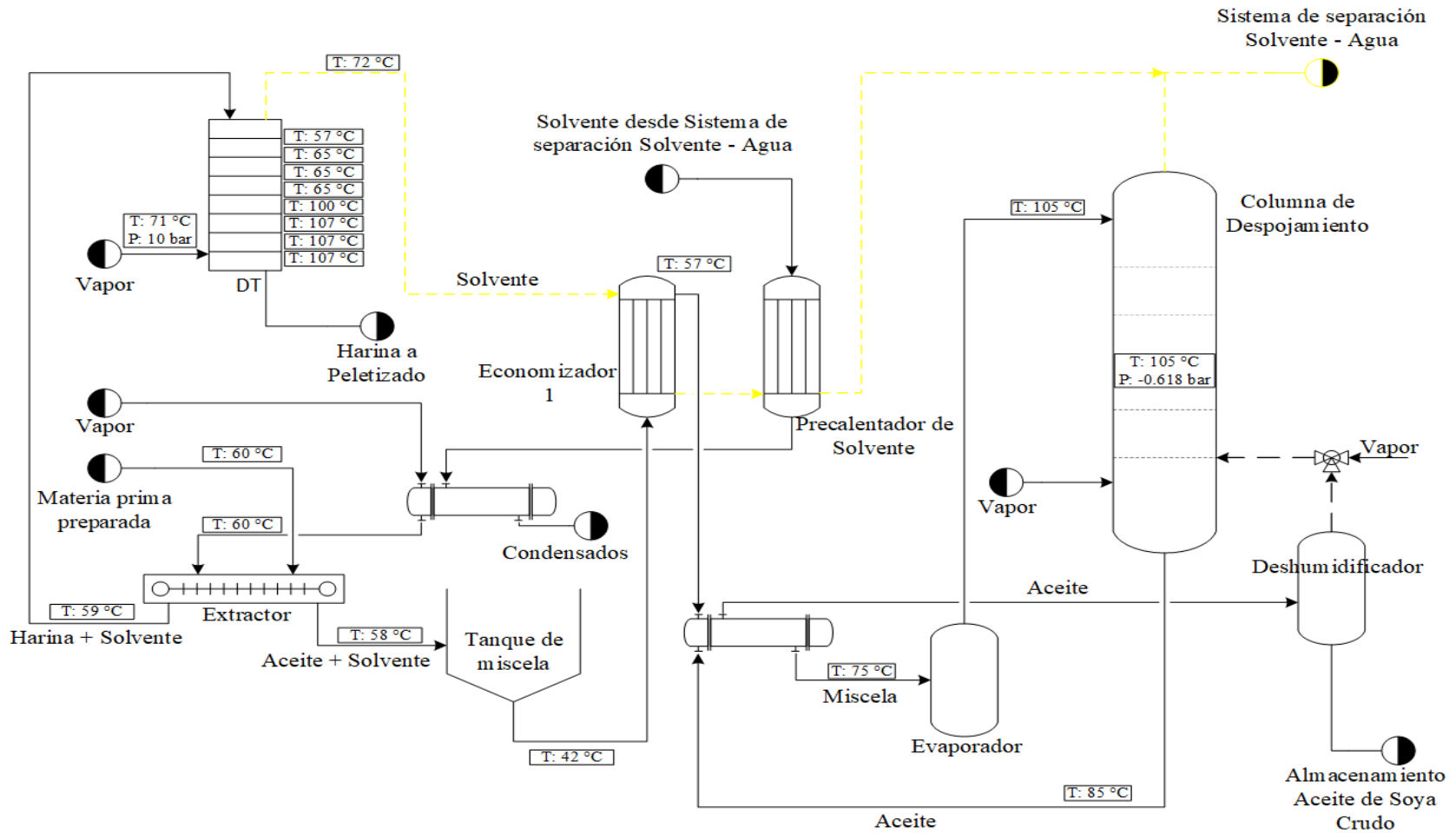
En ella, la micela concentrada se pone en contacto directo con vapor de agua. De esta manera se logra despojar el solvente del aceite cumpliendo con la especificación de solvente en el fondo de la columna, el contenido final de solvente dependerá de las condiciones de operación del equipo y del caudal de vapor que se haya inyectado. El aceite que sale por la parte inferior de la columna es utilizado como fluido de transferencia de calor en el intercambiador Aceite – micela, para posteriormente ser deshumidificado y almacenado como aceite crudo de soya.

En conclusión, todos los procesos descritos anteriormente son unificados (**Figura 15**) para la construcción de una planta extractora por la cual pasa el aceite, para llegar a ser extraído crudo. Por lo general estas plantas son construidas muy cerca a los cultivos, por motivos de hacer más sencilla la operación, la calidad de la materia prima, y los costos asociados al proceso.

Figura 15.

Extracción de Aceite de soya

Extracción de aceite de soya por solvente



Nota. La figura muestra el diagrama de proceso para la extracción de aceite de soya. Tomado de J. M. B. Daniel Barrera-Arellano, Temas Selectos En Aceites Y Grasas - Vol. 2. (1ª ed.) Blucher, 2013.27(3). [21]

Una vez el aceite de soya crudo es almacenado en los tanques de almacenamiento correspondientes de la planta extractora, este queda disponible para pasar al siguiente proceso, el cual es la refinación, en donde se desgoma, se blanquea y se desodoriza.

5.2.2 Desgomado

El desgomado es un proceso clave dentro de la refinación de aceites y grasas, ya que en este proceso se eliminarán los fosfolípidos *Choline (Phosphatidylcholine o PC)*, *Ethanolamine (Phosphatidylethanolamine PE)*, *Inotisol (Phosphatidylinotisol PI)*, *Serine (Phosphatidylserine PS)* (Figura 16) que en general contiene el aceite de soya crudo. Estos fosfolípidos son conocidos también como gomas. Los fosfolípidos son diferentes compuestos sólidos que pueden clasificarse como hidratables (capaces de mezclarse y unirse con el agua) o no hidratables (incapaces de mezclarse y unirse con el agua). Todo aceite crudo contiene fosfolípidos que deben eliminarse si el aceite se comercializa, para fines alimentarios (**Tabla 2**) [24]. Estos fosfolípidos no son dañinos para la salud humana, pero sí afectan la calidad y la estabilidad del aceite, ya que estos pueden oxidarse, perdiendo sus características inherentes y propiedades organolépticas, lo que afecta el aroma y el sabor del aceite. También es posible que estos fosfolípidos generen emulsiones con agua, lo que lo lleva a generar espuma al momento de ser procesado industrialmente y al momento de ser utilizado para freír en nuestras casas.

Además, si los fosfolípidos (gomas) no son eliminados del aceite, tienden a producir grandes pérdidas de refinación, ya que estas se depositan en los tanques de almacenamiento y esto se traduce en pérdida de dinero. Después de desgomar el aceite, se almacena momentáneamente antes, y los fosfolípidos que salen del proceso como subproducto, son vendidos para producir lecitina de soya, o productos cosméticos.

Tabla 2

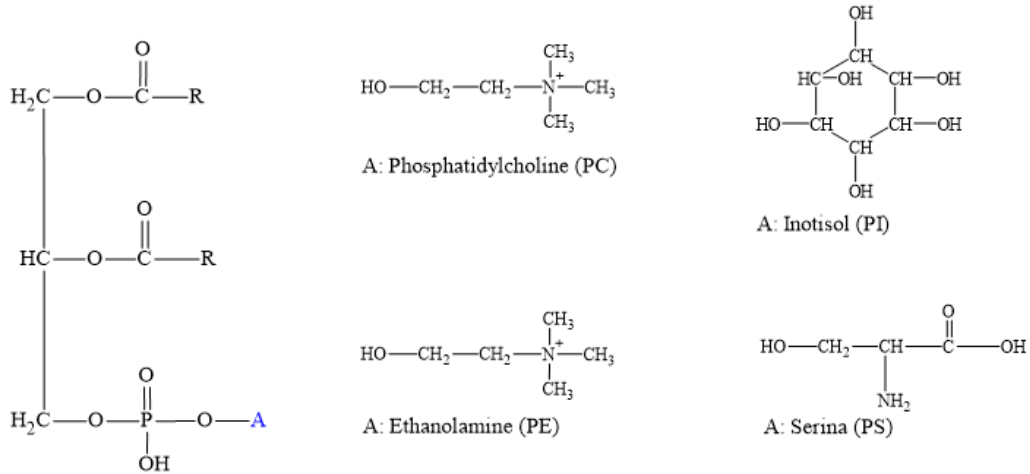
Composición en peso de fosfolípidos de varias lecitinas

Fosfolípido	Soya	Semilla de girasol	Colza
Phosphatidylcholine (PC)	32	34	37
Phosphatidylethanolamine (PE)	23	17	20
Phosphatidylinotisol (PI)	21	30	22
Otros	15	13	13

Nota: La tabla muestra la composición de fosfolípidos en 3 aceites vegetales. Tomado de. Guatequimica.com "Lípidos." Available: <http://www.guatequimica.com/tutoriales/lipidos/topic.htm#t=Fosfolipidos.htm>. [25]

Figura 16.

Estructura de los principales fosfolípidos presentes en el aceite de soya



Nota: La figura muestra la estructura de los fosfolípidos. Tomado de. Guatequimica.com "Lípidos."
Available: <http://www.guatequimica.com/tutoriales/lipidos/topic.htm#t=Fosfolipidos.htm>. [25]

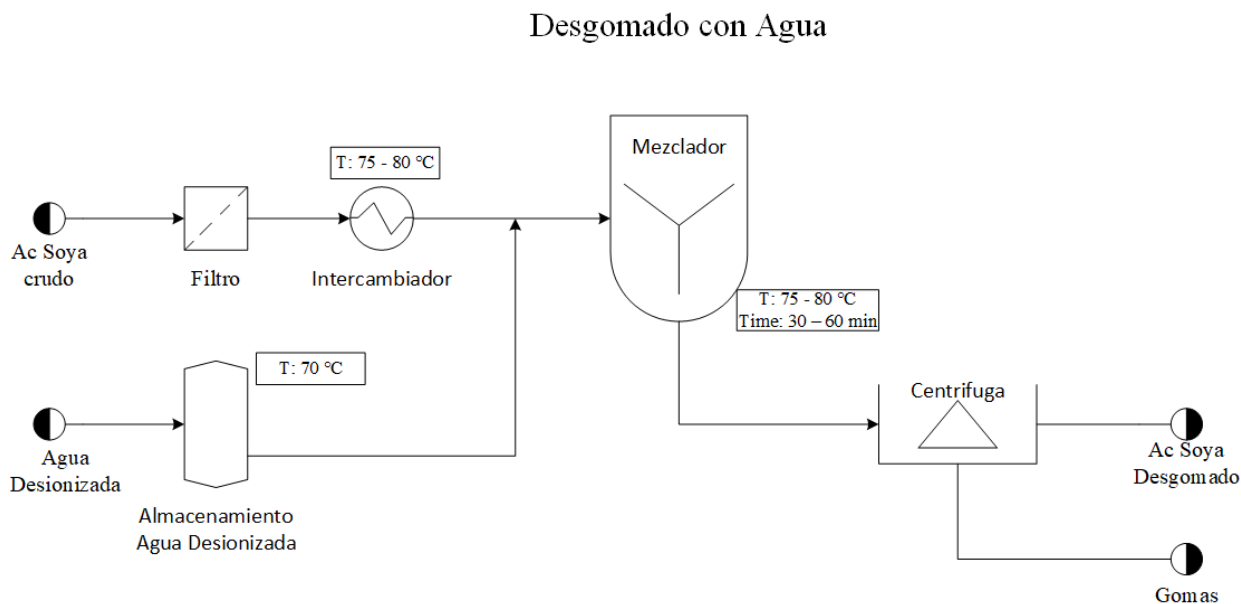
Para realizar el proceso de desgomado Existen diversos tipos de desgomado, entre los que se encuentran:

5.2.2.a Desgomado con agua. Este proceso relativamente simple y rentable elimina la mayor cantidad de goma posible en la etapa de pretratamiento. Las gomas eliminadas aquí suelen secarse para formar lecitina, un subproducto valioso; sin embargo, si se prefiere, las gomas pueden devolverse a la harina en la planta de extracción [26]

La temperatura para llevar a cabo este proceso es de 80 °C, y la cantidad de agua desionizada que se debe utilizar es del orden de 75% con respecto a la cantidad de fosfátidos presentes en el aceite [27], como se muestra en la Figura 17. Algunos autores menos precisos, recomiendan aplicar entre el 1 y 3 % de agua respecto a la cantidad de aceite a una temperatura de 70 °C, con un tiempo de residencia de 30 a 60 minutos y bajo agitación continua[27]

Figura 17.

Desgomado con agua



Nota: La figura muestra el diagrama de proceso para el desgomado con agua. Tomado de. Degumming systems(). . Available: [https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/..](https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/) [26]

5.2.2.b Desgomado Ácido. En este proceso se utiliza un ácido fuerte a una temperatura de 65 a 75 °C con el fin de convertir los fosfolípidos no hidratables en hidratables, mediante la ruptura de los complejos fosfátido-cación que liberan los fosfátidos. (Figura 18). En la práctica se utiliza ácido fosfórico, grado alimenticio al 85%, o ácido cítrico de grado alimenticio [27]

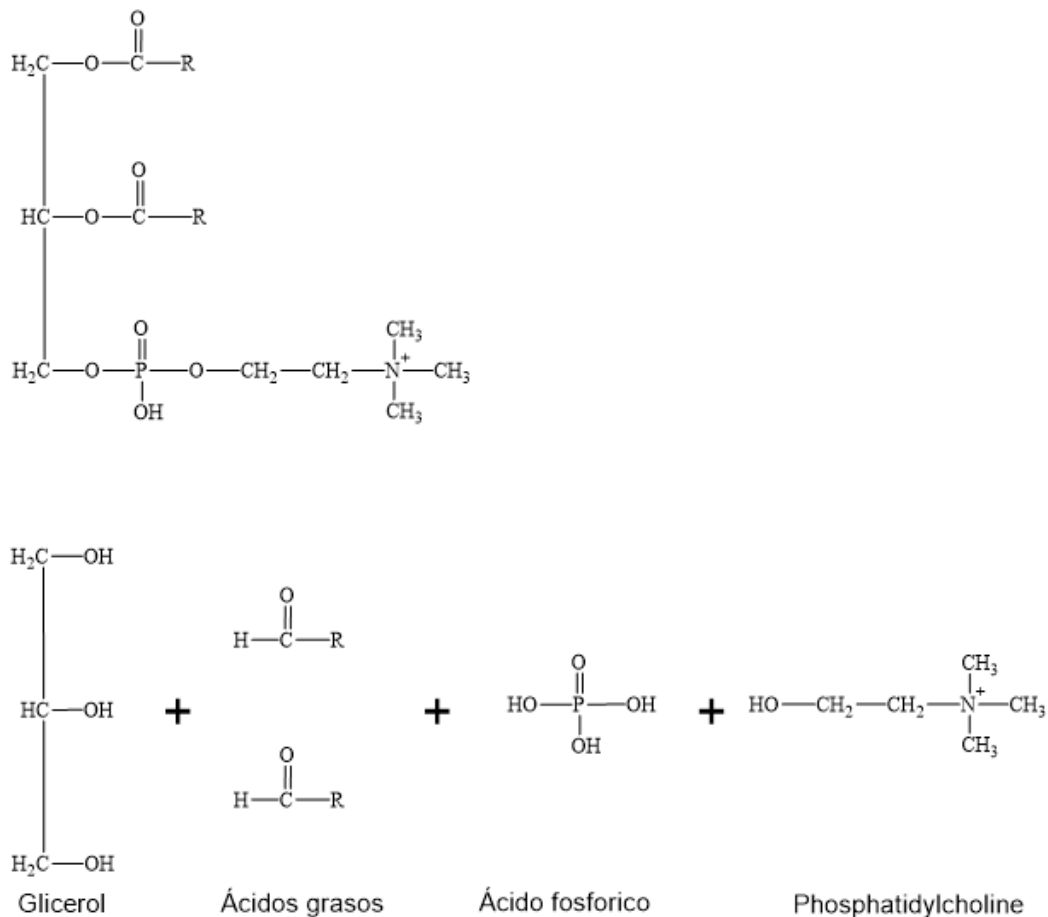
Para realizar el proceso de desgomado ácido, se utiliza una bomba de mezclado en línea, que se encarga de dosificar el ácido fosfórico, el cual, dependiendo del caudal que se esté trabajando en la operación, se mezcla, para que ocurra la ruptura de la molécula de glicerol (Figura 19). En este proceso es muy importante el control de temperatura, ya que una temperatura más baja al rango mencionado anteriormente aumentaría la viscosidad del aceite, y una temperatura más alta, causaría un desgomado incompleto por el aumento de solubilidad de las gomas en el aceite.

La aplicación de los ácidos (cítrico o fosfórico) crea sales muy estables con los iones bivalentes. Como estos ácidos no son solubles en el aceite, deben estar finamente dispersos para maximizar la interfase aceite/ácido y minimizar el espacio a recorrer por el complejo fosfátido-cación desde el seno del aceite hasta la interfase. Las sales formadas (ácido fuerte - cación) no deben ser solubles

en la fase oleosa y así poderse eliminar las trazas metálicas prooxidantes de la misma; hecho de gran importancia para evitar posteriores procesos de degradación oxidativa en los aceites refinados [28].

Figura 18.

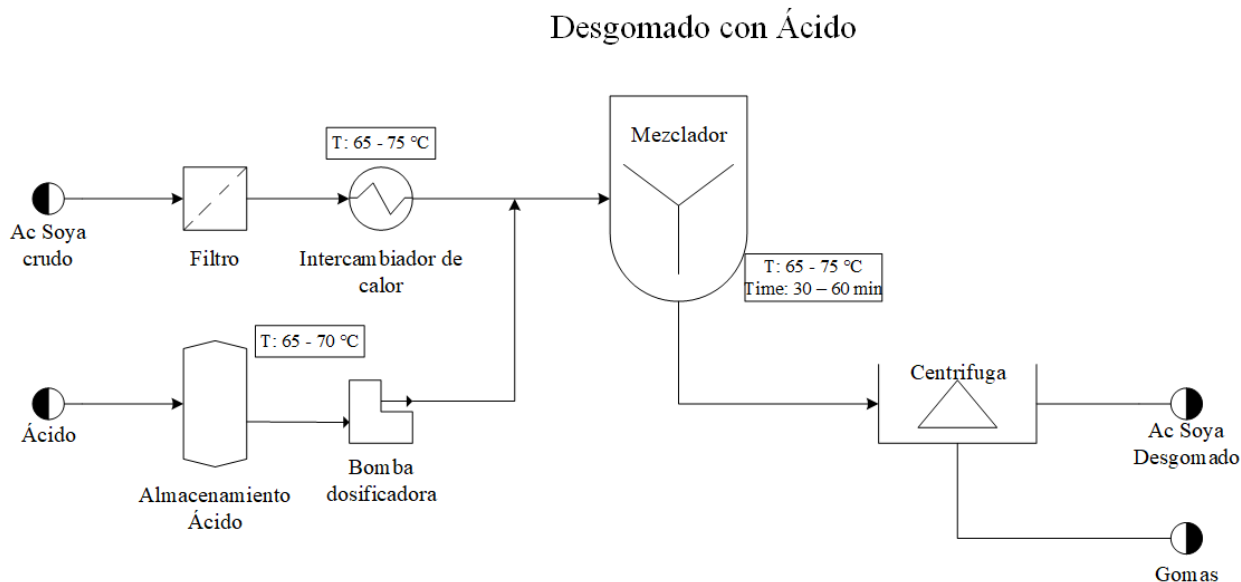
Separación del fosfolípido de la molécula de glicerol



Nota: La figura muestra la separación de la molécula de glicerol. Tomado de. Guatequimica.com "Lípidos." Available: <http://www.guatequimica.com/tutoriales/lipidos/topic.htm#t=Fosfolipidos.htm>. [25]

Figura 19.

Desgomado Ácido



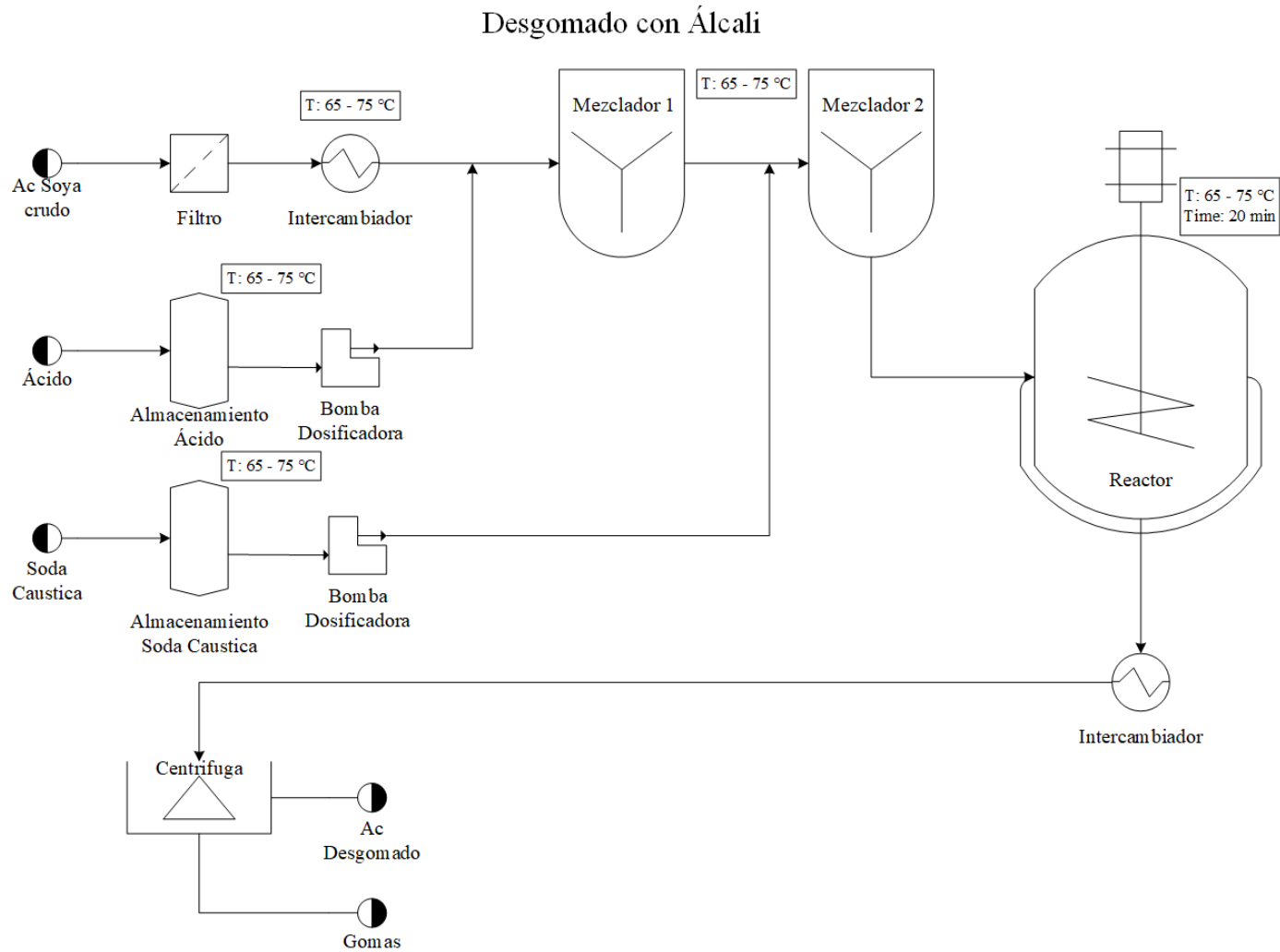
Nota: La figura muestra el diagrama de proceso para el desgomado ácido. Tomado de. Degumming systems(). . Available: [https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/..](https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/) [26]

5.2.2.c Desgomado Alcalino o Desgomado Top. Este tipo de desgomado también es conocido como desgomado especial, y consiste en la adición de pequeñas cantidades de ácido fosfórico o cítrico, para convertir los fosfolípidos no hidratables en hidratables. Posteriormente, se neutraliza de los ácidos grasos con Soda Cáustica (NaOH) [29]. Con el tratamiento cáustico también se consiguen transformar los fosfátidos en sales de sodio solubles en agua, fase que luego es eliminada por centrifugación tras un breve calentamiento de la mezcla [30]

El proceso de desgomado alcalino generalmente se lleva a cabo en una serie de etapas. Primero, se agrega el ácido, y luego la solución alcalina al aceite crudo y se mezcla completamente. Luego, se calienta a una temperatura específica y se agita durante un tiempo determinado de aproximadamente 20 minutos, para luego centrifugar y separar las gomas de la molécula de glicerol (Figura 20)

Figura 20.

Desgomado Alcalino



Nota: La figura muestra el diagrama de proceso para el desgomado álcali. Tomado de. Degumming systems(). . Available: [https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/..](https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/) [26]

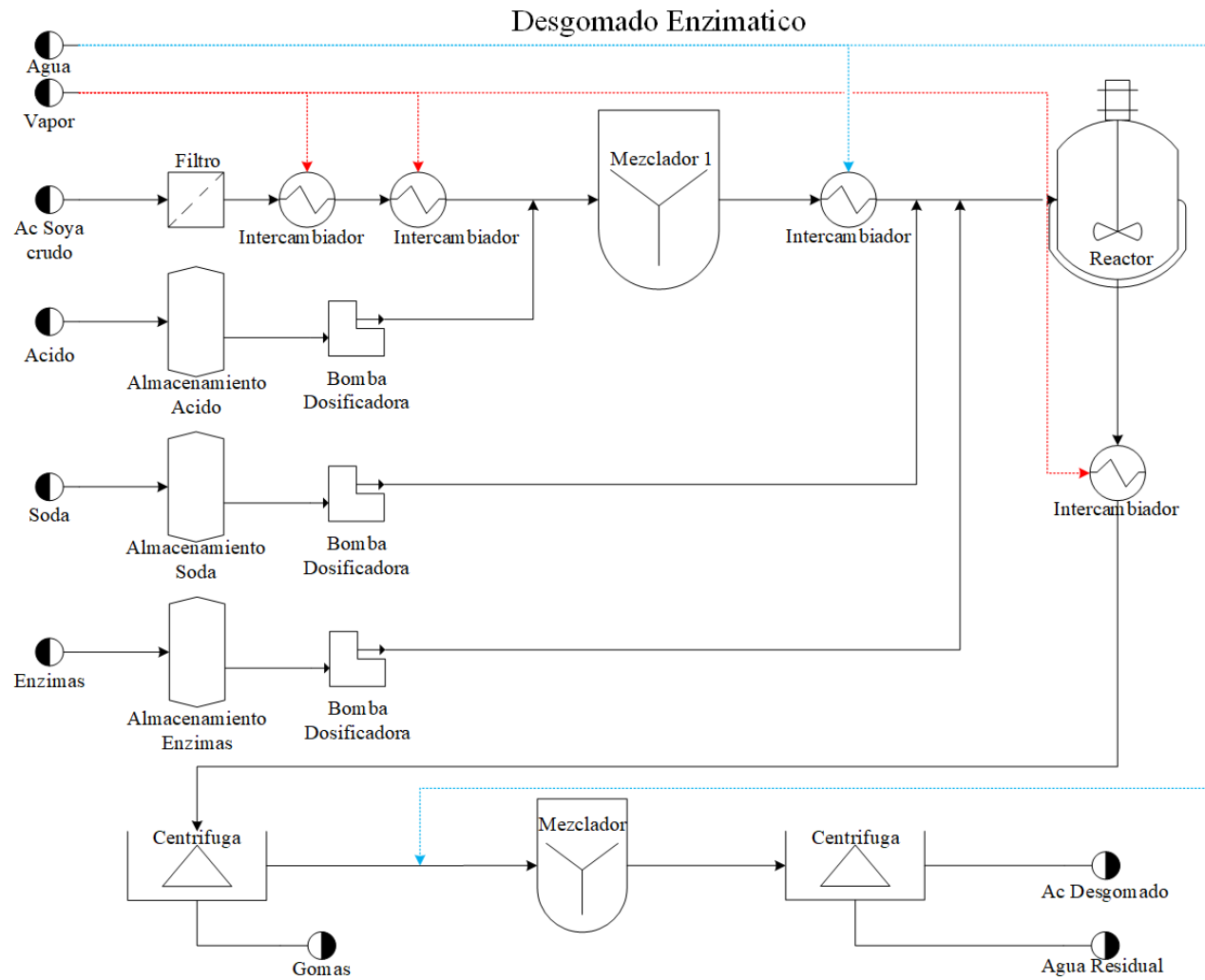
5.2.2.d Desgomado Enzimático. El desgomado enzimático, tiene varias ventajas sobre las demás técnicas mencionadas anteriormente, una de ellas es que el proceso preserva la mayor cantidad de antioxidantes y demás componentes beneficiosos del aceite. Este proceso se debe realizar con ajustes de temperatura adecuados para que la enzima pueda reaccionar, y se lleve a cabo correctamente la descomposición de los fosfolípidos, como se muestra en la Figura 21.

Se agrega la enzima fosfolipasa-C a la mezcla de aceite crudo, ácido (cítrico o fosfórico) y soda cáustica, con el fin de producir una emulsión estable en la fase acuosa. La emulsión formada se mantiene con agitación homogénea y constante, hasta que reaccionan todos los fosfolípidos existentes. Cuando los fosfolípidos (PLS) hidratables (HP, por sus siglas en inglés) y no hidratables (NHP, por sus siglas en inglés) presentes en el aceite, se convierten en sus productos de reacción (liso fosfolípidos (LPS) y ácidos grasos (AG), o diacilgliceroles (DAG) y fosfodiésteres), la reacción enzimática es completa. [31]

Se debe estar seguro de la cantidad de ácido adicionado al aceite, ya que una pequeña cantidad de ácido elimina eficazmente las gomas a un nivel suficientemente bajo para permitir un procesamiento posterior. La adición de lejía diluida permite ajustar el valor del pH antes de dosificar una enzima apropiada. La enzima de fosfolipasa C (PLC) separa los enlaces de los aceites crudos con alto contenido de fósforo. Esto permite convertir las fosforilcolinas (PC) y ésteres de fosfato (PE) en diacilgliceroles (DAG) y PE solubles en agua, que luego se separan del aceite junto con las gomas sin reaccionar durante la centrifugación. Además, el desgomado profundo enzimático reduce significativamente la presencia de compuestos clorados, que contribuyen a la formación de 3-MCPD si no se elimina[26]

Figura 21.

Desgomado Enzimático



Nota: La figura muestra el diagrama de proceso para el desgomado enzimático. Tomado de D. Lorena Lamas "Tesis DLamas versión final," 2014.[31]

Sea cual sea el método de desgomado para la refinación de aceite, se debe garantizar un aceite con una cantidad menor de fosfolípidos comparada a la inicial, para poder pasar al siguiente proceso de refinación, el cual es la neutralización

5.2.3 Neutralización

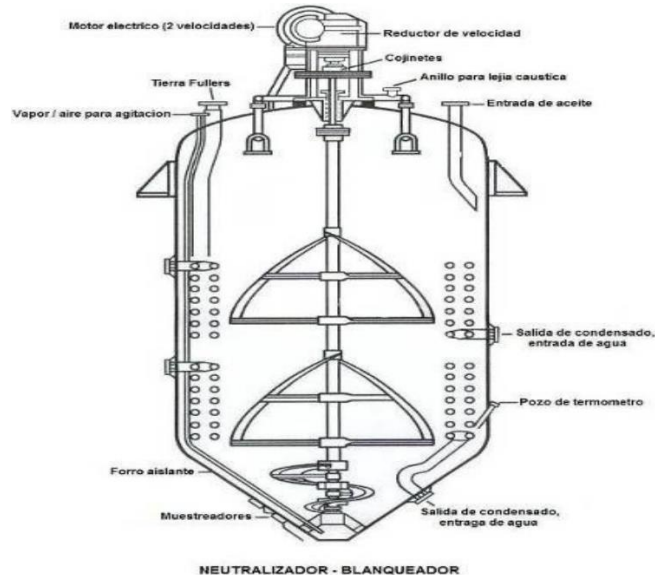
Es el proceso en el cual se eliminan los ácidos grasos libres por saponificación de los aceites, además de neutralizar la acidez residual del mismo. Este proceso es posible realizarlo de forma continua o discontinua para reducir los monoglicéridos y fosfátidos residuales del desgomado.

La neutralización se lleva a cabo en un mezclador, el cual en la industria es comúnmente llamado neutralizador con un vacío de 5 mm Hg y una temperatura de 180 °C – 240 °C (Figura 22). La reacción de saponificación se lleva a cabo entre el ácido graso y la base fuerte, en este caso, hidróxido de sodio (NaOH), o hidróxido de potasio (KOH), obteniendo como productos jabón y agua (Figura 23).

Después de la etapa de Neutralización, el aceite lleva cierta cantidad en suspensión, el cual es removido por una serie de lavados con agua caliente, y posteriormente la mezcla de jabón y agua se retiran por medio de una centrífuga de gran capacidad (Fuerza g).

Figura 22.

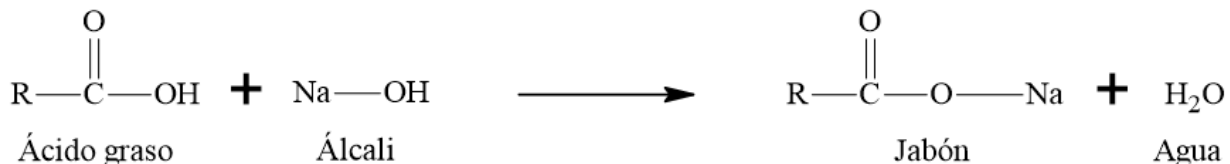
Neutralizador para aceites comestibles



Nota: La figura muestra el neutralizador para aceites comestibles. Tomado de Vega Turizo, A., (.2004). "Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces." Available: <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/80837>.

Figura 23.

Reacción de saponificación de ácidos grasos



Nota: La figura muestra la reacción de saponificación de un ácido graso. Tomado de. Biomodel.uah.es "Jabones y detergentes." Available: <https://biomodel.uah.es/model2/lip/jabondet.htm> [32]

Una vez eliminados los jabones, y los fosfolípidos por medio de la centrifuga, el aceite queda listo para pasar al siguiente proceso, el cual comúnmente es llamado blanqueo.

5.2.4 Blanqueo

El blanqueo es importante, ya que ayuda a eliminar contaminantes perjudiciales específicos que no se eliminan de manera efectiva mediante estos procesos antes de que el aceite progrese a través de la desodorización. Este proceso comúnmente se describe como una mezcla de aceite y arcilla adsorbente para eliminar el color, reduce el contenido de clorofila, jabón residual y gomas, trazas de metales, productos de oxidación (Hidroperóxidos – Aldehídos y Cetonas), e impacta el color final de la etapa de desodorización. Es muy importante entender que este proceso no es una simple mezcla seguida de una filtración, sino que sea un proceso en donde se involucran en gran medida variables de proceso para conseguir los parámetros finales del aceite RB (**Tabla 3**) [33].

Tabla 3

Parámetros finales del aceite blanqueado.

Parámetro	Parámetro
Clorofila	< 50 ppm
Contenido de fósforo	< 2.0 ppm
Partícula metálica (Fe)	< 0.2 ppm
Partícula metálica (Cu)	< 0.05 ppm
Productos de oxidación	0

Nota: La tabla muestra los parámetros finales de blanqueo del aceite de soya. Tomado de. Blanqueo de Aceites | PDF | Petróleo | Química (). . Available: <https://es.scribd.com/document/476214536/BLANQUEO-DE-ACEITES>. [34]

Se debe conocer el contenido de impurezas del aceite para llegar a un blanqueo eficiente y de acuerdo a ese parámetro se ajusten las condiciones en el blanqueo para eliminarlas todas y obtener así un aceite RB (Refinado y Blanqueado) y RBD (Refinado, Blanqueado, Desodorizado) de alta calidad y estabilidad al menor costo. Para realizar el proceso de blanqueo se utiliza una arcilla blanqueadora y/o silica, que funcionan a través de diversos mecanismos como la adsorción, absorción, filtración y catálisis, los cuales son procesos utilizados comúnmente en las industrias de alimentos. Ahora bien, para desarrollar correctamente el blanqueo, se debe tener en cuenta diferentes variables de operación importantes tales como la humedad, temperatura, tiempo de contacto y presión. Asimismo, existen factores de costo en el blanqueo, que son básicos para el desarrollo del proceso.

5.2.4.a Mecanismos de blanqueo.

Adsorción: Se le llama adsorción al mecanismo por el cual el material sorbente se une a un contaminante por cualquiera de las siguientes maneras:

- Físicamente: A través de la atracción superficial involucrando las fuerzas de Van Der Waals.
- Químicamente: A través de Quimi sorción por enlace electroquímico a la superficie de la arcilla
- Tamizado: A través de tamices moleculares que atrapan contaminantes bajo presión dentro de los poros de la arcilla durante la filtración.

Absorción: Mecanismo por el cual los poros intergranulares de la arcilla se llenan con algún fluido, en este caso el aceite acompañado de las impurezas. En esta parte se tiene en cuenta la retención de aceite, la cual depende de una serie de variables tales como: los niveles de dosificación de arcilla, las características de la arcilla (por ejemplo, la distribución del tamaño de las partículas y el tipo de mineral), la permeabilidad del lecho del filtro, la calidad de la materia prima entrante, la limpieza de la malla del filtro y las condiciones utilizadas para purgar el filtro antes eliminación de la torta de filtración “gastada” [33].

Filtración: mecanismo para atrapar o eliminar físicamente los contaminantes suspendidos: el acto físico de filtrar la arcilla suspendida que simultáneamente elimina los contaminantes menores adsorbidos en las partículas de arcilla [33].

Catálisis: mecanismo por el cual los contaminantes se degradan por interacción con la superficie de la arcilla. Por ejemplo, los peróxidos se reducen eficazmente (polimerizan y/o descomponen en subproductos de oxidación volátiles) mediante la interacción arcilla/aceite [33].

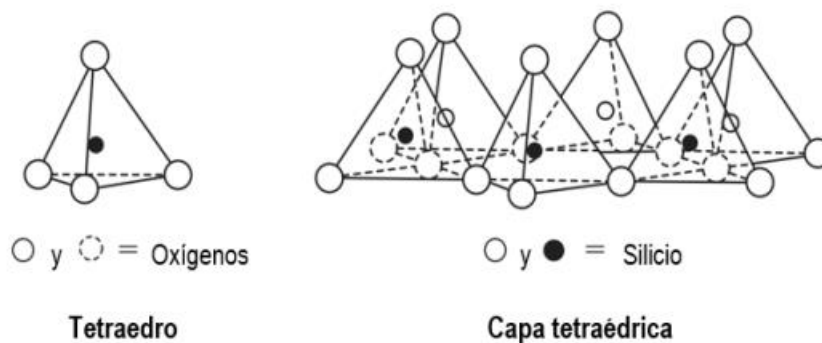
5.2.4.b Arcilla blanqueadora. La capacidad de adsorción de las tierras utilizadas para el blanqueo de aceites vegetales comestibles depende de su estructura mineralógica y sus propiedades de adsorción, como el área superficial, la distribución del tamaño de partículas, la porosidad y la acidez de la superficie. Generalmente, las arcillas están compuestas por Atapulgita, Sepiolita y Montmorillonita cálcica (Figura 26) [33]

A estos compuestos se le llaman Filosilicatos, los cuales presentan como rasgo estructural básico tetraedros (SiO_4) que se unen compartiendo tres de sus cuatro vértices, obteniendo capas formadas por hojas pseudo-hexagonales.

Estas capas están constituidas por unidades de (SiO_4) en donde él (Al) puede llegar a sustituir al (Si) en una de cada dos posiciones. A estas capas se le denominan capas tetraédricas (Figura 24) y están compuestas por cuatro de los cationes coordinados con O^{2-} u OH^- en este caso el catión dominante es generalmente Si^{4+} , pero también puede ser Al^{3+} [35]

Figura 24.

Capa tetraédrica



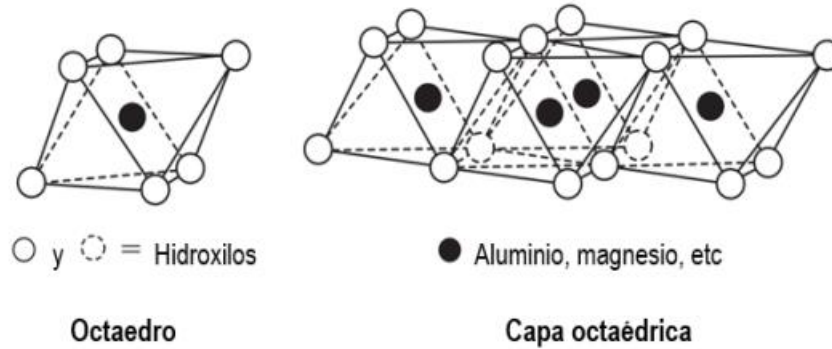
Nota: La figura muestra la capa tetraédrica de la arcilla blanqueadora Tomado de. Escuelas de minas mexicanas, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, 420 pp., + 13 anexos." Tzintzun. Available:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=7152898>. [36]

Las capas octaédricas (Figura 25) contienen tres Mg^{2+} coordinados con seis O^{2-} u OH^- , donde todos los sitios de cationes, son ocupados por Mg^{2+} Otros cationes que pueden ser contenidos por las capas octaédricas serán Fe^{3+} , Li^+ , Cr^{3+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} .

Figura 25.

Capa octaédrica

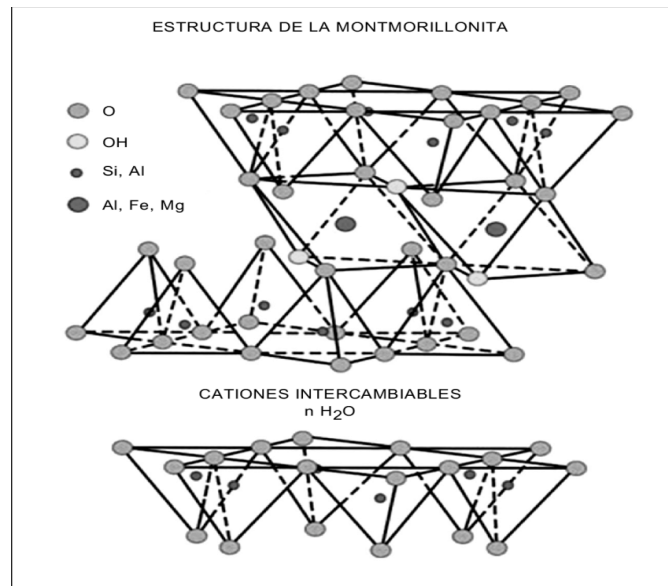


Nota: La figura muestra la capa octaédrica de la arcilla blanqueadora Tomado de. Escuelas de minas mexicanas, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, 420 pp., + 13 anexos." Tzintzun. Available:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=7152898>. [36]

Figura 26.

Estructura de la montmorillonita



Nota: La figura muestra la estructura de la montmorillonita. Tomado de. Fernández,R., (-09-302011)."Barreras de ingeniería para el aislamiento de residuos radiactivos." Materiales De Construcción. DOI: 10.3989/mc.2011.55909. [37]

Los minerales como la montmorillonita de calcio, comúnmente conocida como bentonita, tienen propiedades absorbentes limitadas en estado natural y requieren un tratamiento químico con ácidos

para crear el área superficial y la porosidad necesarias para blanquear los aceites vegetales, generalmente estas arcillas se denominan arcillas “ácidas” o “activadas por ácido” [33].

Los minerales de Atapulgita y Sepiolita tienen una alta afinidad natural por adsorber contaminantes de aceite sin ningún tratamiento ácido. Estas arcillas naturales pueden acidificarse con ácidos minerales y usarse junto con ácidos quelantes como el ácido cítrico o fosfórico para mejorar la actividad blanqueadora con respecto a la clorofila [33].

5.2.4.c. Variables de operación importantes en el blanqueo.

Temperatura: Las temperaturas de blanqueo del aceite suelen oscilar entre 90 y 125 °C. La temperatura afecta la viscosidad del aceite y la cinética de adsorción. La viscosidad del aceite disminuye con el aumento de la temperatura, lo que conduce a una mejor dispersión de las partículas de tierra blanqueadora, mejores interacciones arcilla/aceite y menos resistencia al flujo. Una temperatura más alta puede brindarle beneficios en la eliminación de clorofila, el color y las tasas de filtración; sin embargo, según el tipo y la calidad del aceite, puede influir negativamente en el color del aceite desodorizado y su estabilidad oxidativa [33].

Tiempo de contacto: Los tiempos suelen oscilar entre 15 y 45 minutos, siendo más común de 20 a 30 minutos. En los sistemas por lotes, el tiempo de contacto tiende a ser mayor debido a la naturaleza secuencial del proceso por lotes. La ventaja de un mayor tiempo de contacto es que puede mejorar el color decolorado y eliminar la clorofila. La adsorción generalmente ocurre exponencialmente y el rendimiento decrece después de alrededor de 30 minutos [33].

Vacío: La eficiencia del blanqueo mejora cuando la presión de operación en el blanqueo se encuentra entre 50 y 125 mm Hg (absoluto). La presión reducida permite una tasa de evaporación de agua leve que resulta en una mayor eficiencia para la eliminación de fosfolípidos, cloros filoides y algunos pigmentos rojos. La presión reducida también minimiza la interacción del aceite y el aire, provocando valores más bajos de peróxido, y color de aceite blanqueado [33].

5.2.4.d Factores de costo en el blanqueo. Si no se tienen en cuenta algunos factores básicos como los que se nombran a continuación, el proceso de blanqueo en términos de costo sería ineficiente.

1. La calidad y/o características del aceite, es decir, su contenido de jabones, fósforo, clorofila, metales, productos de oxidación.
2. Características de calidad y costo de las tierras de blanqueo.

3. Parámetros de operación.

4. Parámetros de calidad para evaluar el aceite.

Generalmente, se considera que el proceso de blanqueo solo depende del costo de la tierra de blanqueo, pero si se analiza a profundidad, este tiene varios costos como se muestra a continuación:

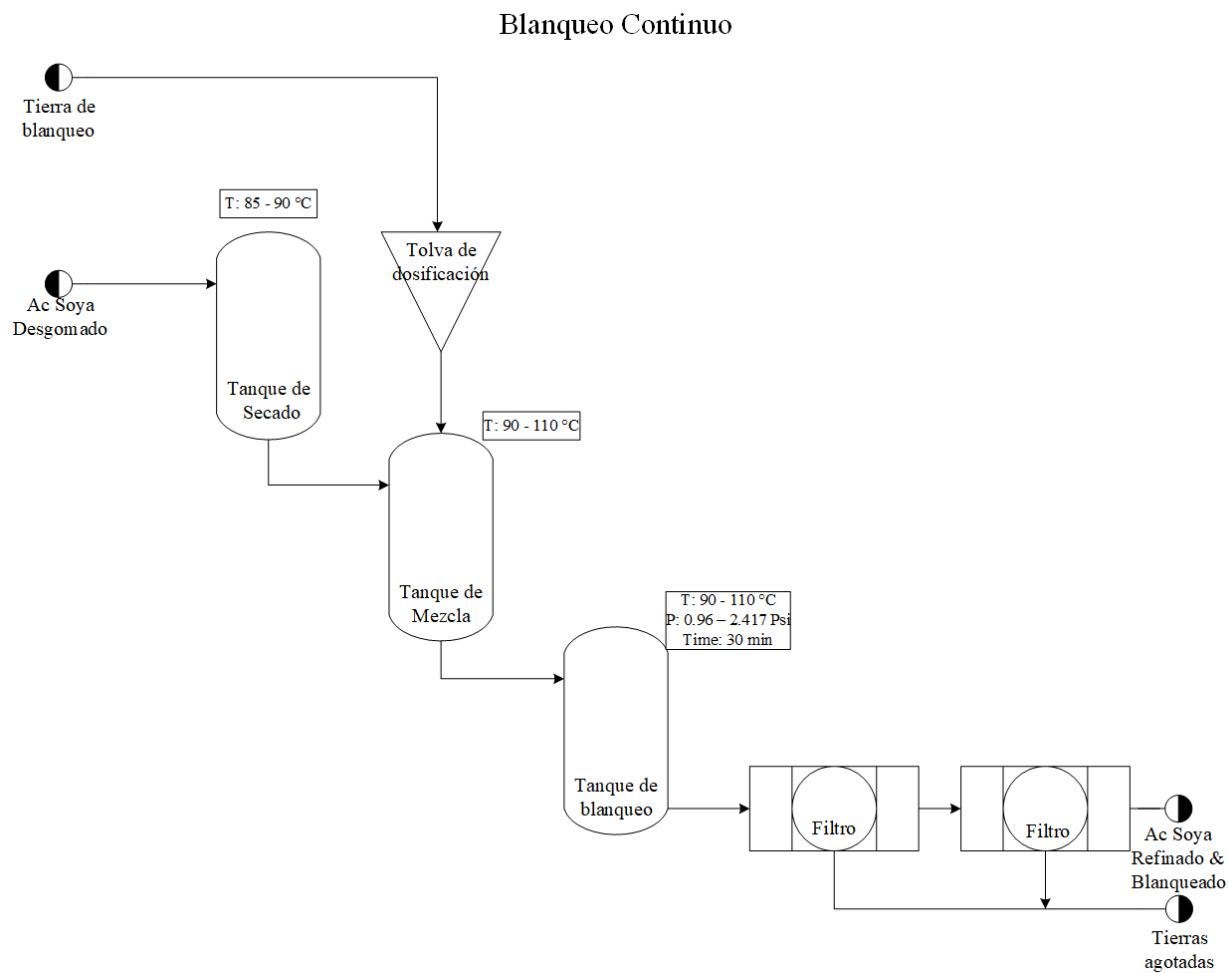
1. A mayor actividad adsorbente de la tierra, la dosis será menor
2. A mayor cantidad de impurezas, la dosis de tierra será mayor
3. A mayor dosis de arcilla y retención de aceite el costo será mayor
4. A mayor costo del aceite el costo será mayor

5.2.4.e Diferentes formas industriales para realizar el blanqueo. En la industria existen varias configuraciones por las cuales se puede conseguir el blanqueo de aceites de origen vegetal como lo son: Blanqueo continuo (Figura 27), blanqueo de silicato/arcilla con filtración simple (Figura 28), blanqueo de silicato/arcilla con doble filtración (Figura 29), blanqueo a contracorriente (Figura 30).

Todos estos métodos utilizan las mismas operaciones unitarias, pero en configuraciones diferentes, por lo tanto, es decisión del ingeniero de diseño escoger la más adecuada según el aceite que se va a procesar, y según la eficiencia que se desea.

Figura 27.

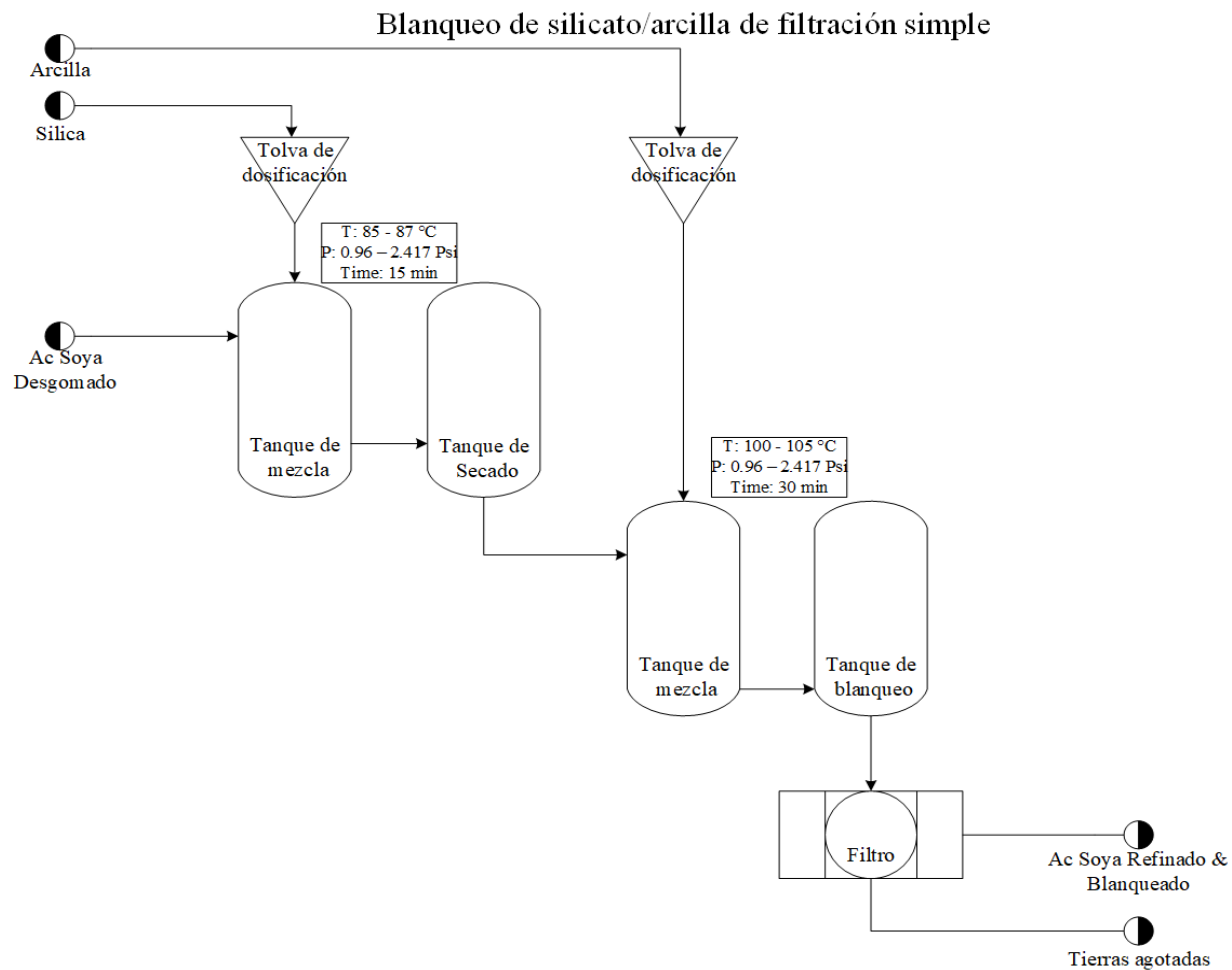
Diagrama de Blanqueo continuo



Nota: La figura muestra el blanqueo continuo del aceite de soya. Tomado de. David D. Brooks, Roberto Berbesi and Allan S. Hodgson, "Optimization of Bleaching Process." AOCS Lipid Library. Available: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/optimization-of-bleaching-process>. [33]

Figura 28.

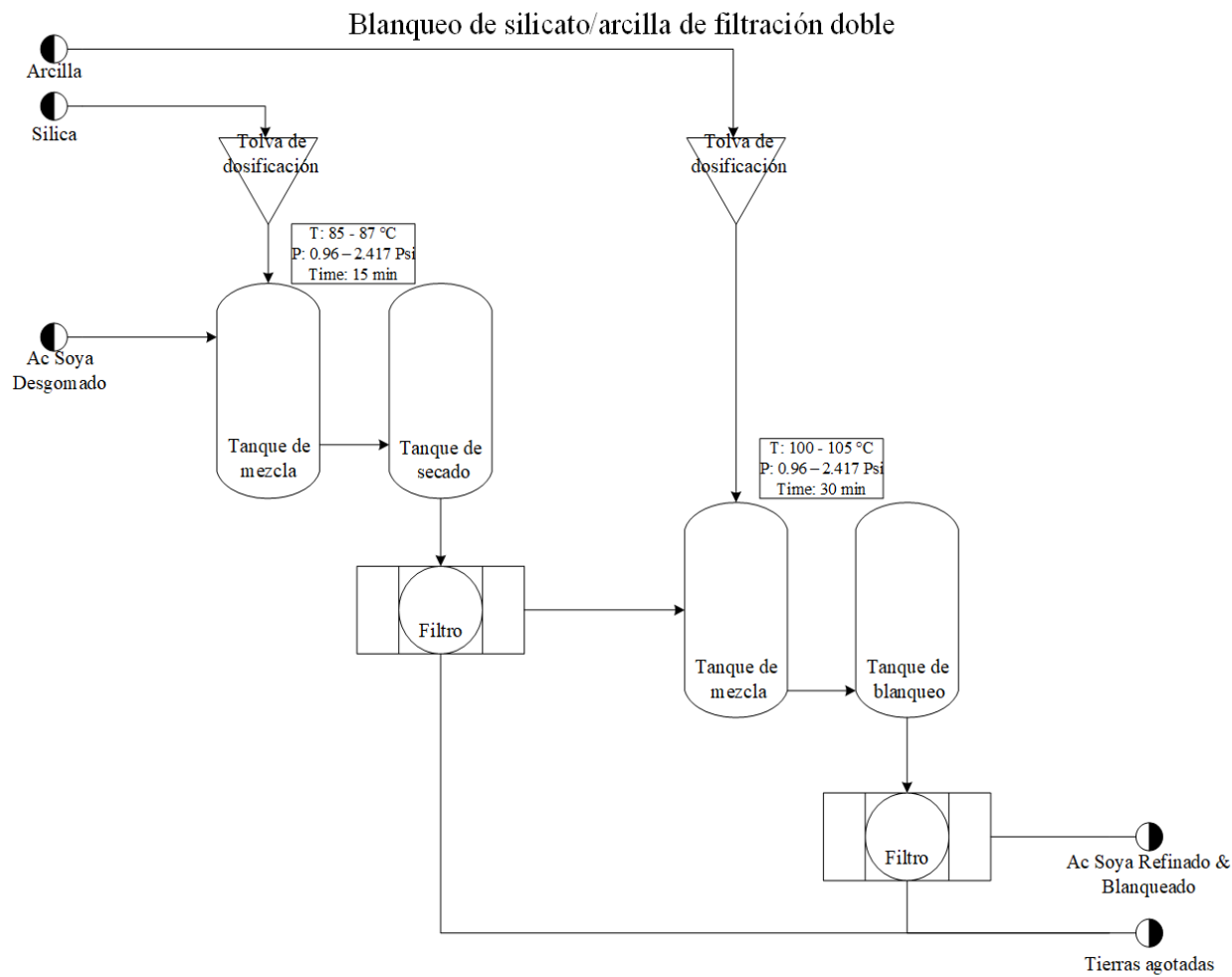
Diagrama Blanqueo silicato/arcilla de filtración simple



Nota: La figura muestra el blanqueo de silicato/arcilla de filtración simple del aceite de soya. Tomado de. David D. Brooks, Roberto Berbesi and Allan S. Hodgson, "Optimization of Bleaching Process." AOCS Lipid Library. Available: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/optimization-of-bleaching-process>. [33]

Figura 29.

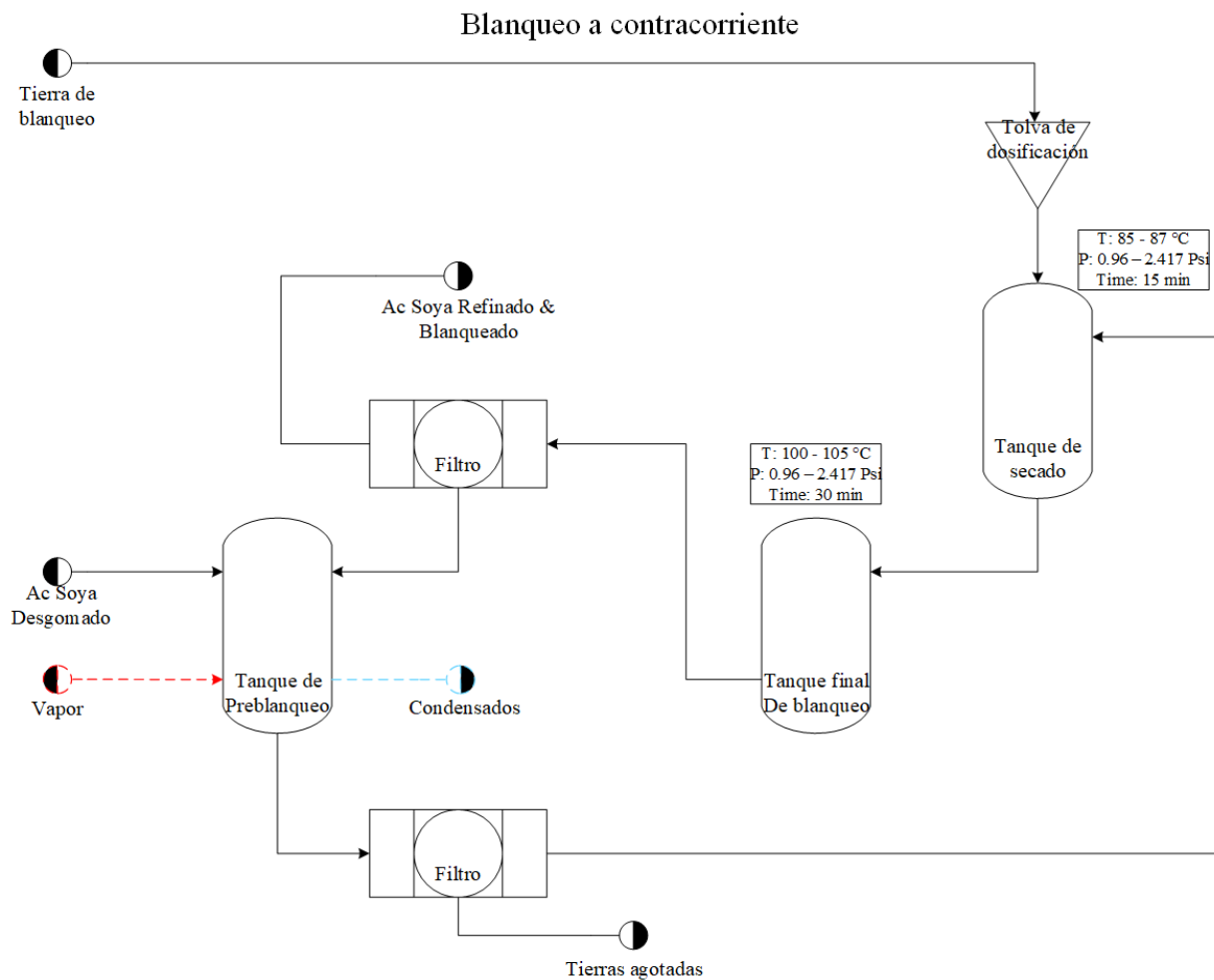
Diagrama Blanqueo silicato/arcilla de filtración doble



Nota: La figura muestra el blanqueo de silicato/arcilla de filtración doble del aceite de soya. Tomado de. David D. Brooks, Roberto Berbesi and Allan S. Hodgson, "Optimization of Bleaching Process." AOCS Lipid Library. Available: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/optimization-of-bleaching-process>. [33]

Figura 30.

Diagrama Blanqueo contra corriente



Nota: La figura muestra el blanqueo contracorriente del aceite de soya. Tomado de. David D. Brooks, Roberto Berbesi and Allan S. Hodgson, "Optimization of Bleaching Process." AOCS Lipid Library. Available: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/optimization-of-bleaching-process>. [33]

5.2.5 Desodorización:

La desodorización consiste en una destilación en donde se extraen los compuestos volátiles, odorantes (aldehídos, cetonas, peróxidos, alcoholes, entre otros componentes orgánicos), con el fin de obtener un aceite RBD suave, y libre de olores. También es posible eliminar varios pigmentos (carotenoides) que no se eliminaron en el blanqueo. [30]

Esta es una operación unitaria física de separación por la transferencia de masa, en donde se obtienen dos corrientes de salida, una de vapor con los componentes más volátiles y una de líquido con una fracción menor de estos componentes volátiles mencionados anteriormente, para poder llevar a cabo la destilación, es necesario que los componentes a separar tengan distintas presiones de vapor, dado que entre más diferentes sean más fácil será la separación [30]

Dicho lo anterior, los componentes indeseables constituirán la fase vapor, que será eliminada por la parte de cimbras de la columna, mientras que la parte de fondos, la cual es la parte líquida, será el aceite desodorizado, formado mayormente por triglicéridos [30], aunque se debe tener en cuenta que la cantidad de ácidos grasos que se obtienen en este proceso es mínima, ya que la mayor parte de estos se ha eliminado en la etapa de neutralización. En la refinación física (desodorizado) el contenido de ácidos grasos es de aproximadamente 2%, que según el flujo másico que se maneja en planta, puede ser una cantidad considerable o no significativa.

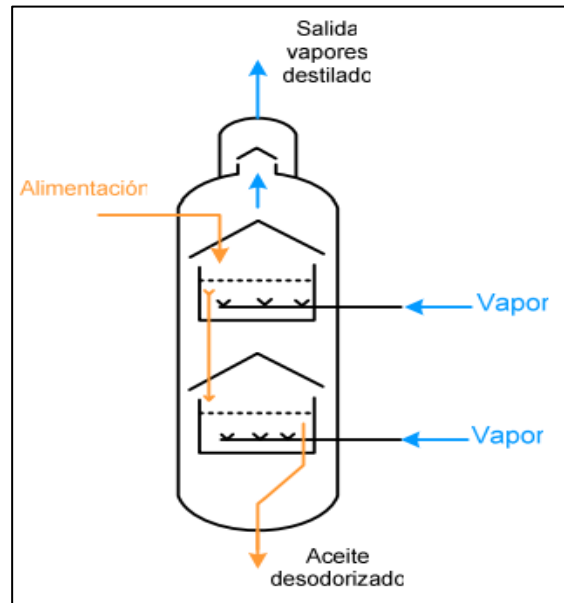
Para lograr la desodorización es necesario el control de las condiciones de operación, ya que se necesitan altas temperaturas para lograr la vaporización de los componentes volátiles (360 °C a presión atmosférica). Esto aumenta la posibilidad de que los ácidos grasos modifiquen su estructura a trans, los cuales son nocivos para la salud. Por lo tanto, para evitar que esto suceda se opta por disminuir la presión en condiciones de vacío, y así lograr disminuir el punto de ebullición de la mezcla.

En la industria, existen diferentes formas de realizar la destilación o desodorización, sin embargo, el objetivo de este proyecto no se enfoca en la profundización de estas técnicas, por lo tanto, se mostrarán las diferentes columnas y sus estructuras para la realización de la destilación. Generalmente en la industria, se utiliza una temperatura de 260 °C y una presión de 1 y 5 bar para llevar a cabo el proceso de destilación de aceite, para obtener como producto final aceite RBD.

5.2.5.a Columna de bandejas.

Figura 31.

Desodorizado mediante columna de bandejas



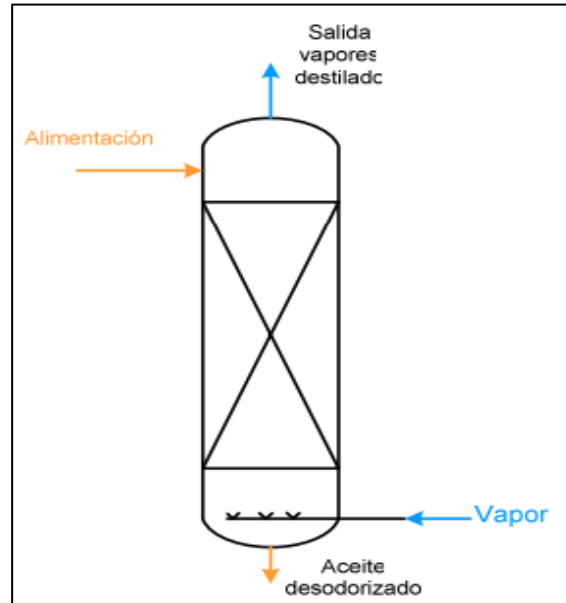
Nota: La figura muestra el desodorizado mediante columna de bandejas. Tomado de. P. Blanco Rodríguez, "Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales," 2007. Available: <https://rodin.uca.es/handle/10498/6391>. [30]

El proceso puede ser llevado a cabo en una columna de bandejas, como se muestra en (**Figura 31**), donde el vapor de agua es inyectado directamente a la bandeja donde permanece por determinado tiempo el aceite y se realiza la transferencia de masa. [30]

5.2.5.b Columna de lecho empacado.

Figura 32.

Desodorizado mediante columna de lecho empacado



Nota: La figura muestra el desodorizado mediante columna de lecho empacado. Tomado de. P. Blanco Rodríguez, "Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales," 2007. Available: <https://rodin.uca.es/handle/10498/6391>. [30]

Este método de desodorización se realizará a contracorriente, con un lecho empacado en el cuerpo de la columna (Figura 32), alimentando vapor de agua por la parte de fondos y aceite por la parte de cimbras, con el fin de conseguir un contacto total al aumentar el área superficial de manera considerable.

Sin embargo, esta técnica de refinación tiene varios problemas. Cuando el aceite se calienta y alcanza temperaturas muy altas, se producen varias reacciones indeseables (Isomerización de AGL, Polimerización del aceite), causando que el aceite cambie sus propiedades fisicoquímicas, y por consiguiente el lecho empacado se obstruya y se disminuya su eficiencia.

6. METODOLOGÍA

6.1 Investigación bibliográfica

Durante el transcurso del tiempo prospectado para el desarrollo del proyecto se ha revisado la información bibliográfica del proceso de desgomado de aceite crudo de soya. Esta revisión ha consistido básicamente en la recopilación de información confiable en diferentes fuentes tales como revistas, tesis, foros, libros, artículos, entre otros. Esto con el fin de tener un total entendimiento del tema en la parte técnica, logrando así tener una mejor visión y direccionamiento del proyecto, para poder responder a las preguntas de investigación y cumplir los objetivos propuestos.

6.2 Investigación experimental

Se caracterizará el aceite de soya, desde la recepción, hasta la fase final de refinación del aceite de soya midiendo las siguientes propiedades fisicoquímicas: Acidez Oleica, Porcentaje de Humedad, índice de refracción y Color

- **Selección de la muestra de aceite de soya crudo:** La muestra es proporcionada por la empresa financiadora del proyecto, esta se utilizará para todas las fases del experimento que se llevará a cabo.
- **Elección del equipo experimental:** El equipo que se utilizara para el desarrollo del proyecto es proporcionado por la empresa financiadora, este incluye: Refractómetros, balanzas, colorímetros, centrifugas, buretas, vasos de precipitado, pipetas, entre otros.
- **Elección del método de blanqueo:** Al ser un proceso de mejora en planta, el proceso que se utilizó para llevar a cabo las pruebas fue el blanqueo de silicato / arcilla de filtración simple, que se encuentra en la compañía.
- **Determinación de las variables de operación:** Se determinaron las siguientes variables de operación: Relación numérica entre insumo homólogo / aceite de soya, tiempo de contacto entre el aceite y el insumo

- **Muestra:** Para llevar a cabo el estudio de los parámetros fisicoquímicos, se seleccionan 3 muestras de 500 g de aceite crudo de soya, y 3 muestras de aceite blanqueado.
- **Lugar de estudio y desarrollo:** Esta investigación se lleva a cabo en los laboratorios de calidad y en la planta de la empresa financiadora en la ciudad de Bogotá durante el periodo comprendido desde 06/02/2023 – 31/05/2023
- **Análisis y procesamiento de datos:** Al ser una investigación de índole industrial, esta se desarrolló siguiendo los lineamientos de las normas técnicas colombianas (NTC) y las resoluciones vigentes para el procesamiento de grasas y aceites vegetales.

1. Resolución 2154 de 2012: Esta es el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones [38]. Específicamente se trabajará el capítulo VII, artículo 29, el cual tiene por objeto determinar los requisitos fisicoquímicos para el aceite de soya.

2. Requisitos Fisicoquímicos para el aceite de soya: Para estos, nos basamos en la NTC 505, la cual especifica los procedimientos para la preparación de una muestra de ensayo a partir de una muestra de laboratorio para análisis de grasas y aceites animales o vegetales [39].

3. Contenido de humedad y material volátil: Se seguirán los procedimientos establecidos en Icontec, para la determinación del contenido de humedad y material volátil contemplados en la NTC 287, la cual especifica dos métodos para la determinación, mediante secado, del contenido de humedad y materia volátil en grasas y aceites animales y vegetales. El Método A, emplea un baño de arena o un plato de calentamiento. El Método B, emplea un horno de secado. El Método A se aplica a todas las grasas y aceites. El Método B se aplica solamente a las grasas y aceites no secantes que tienen un índice de acidez menor a 4 [40].

Para esta investigación se realizará de la siguiente manera utilizando el método B: Se utilizará una termobalanza Mettler Toledo HB43-S para determinar el contenido de humedad Figura 33. Lo primero que se realiza es tarar el equipo con la bandeja de aluminio, para que el equipo lea

solamente la muestra a analizar, aplicaremos la muestra que se desea analizar, se cierra el equipo, y se aumenta la temperatura para retirar la humedad de la muestra. En la pantalla del equipo se puede observar la cantidad de humedad que se retira de la muestra, y la temperatura.

Cuando el equipo no detecte humedad, nos reportara el dato, y este lo anotaremos en nuestro cuaderno de laboratorio.

Figura 33.

Termobalanza



Nota: La figura muestra la termobalanza utilizada para mediciones de humedad

4. Índice de refracción: Para la determinación del índice de refracción se seguirá el procedimiento establecido en la NTC 289, la cual especifica un método para la determinación del índice de refracción de grasas y aceites animales y vegetales [41], realizándose de la siguiente manera:

Se calibrará el equipo, midiendo el índice de refracción de la placa de vidrio, después se procederá a tomar la muestra de aceite de soya crudo y se aplicará en la placa de vidrio. Una vez realizado lo anterior, se introduce la placa de vidrio con la muestra en el refractómetro (Figura 34).

La medición se realizará a una temperatura de 40 °C, ya que se debe garantizar que el aceite está completamente fundido.

Cuando se haya verificado lo anterior, se procede a iniciar el equipo, el cual nos reportara el valor de índice de refracción de la muestra a analizar.

Figura 34.
Refractómetro



Nota: La figura muestra el refractómetro utilizado para mediciones de índice de refracción

5. Color: Para la determinación de color lovibond se seguirá el procedimiento establecido en la NTC 564 2 la cual especifica un método para la determinación de color lovibond de las grasas y aceites animales y vegetales utilizando instrumentación automática [42], de la siguiente manera: Se utilizará un colorímetro (Figura 35) el cual debe estar en una superficie estable, y con suministro de energía regulada, alejado de luz solar brillante y directa.

Dicho lo anterior se procede a encender el equipo, y acto seguido se configura en escala de color lovibond.

Antes de realizar la medición, se calibra el equipo haciendo la medición de la celda vacía de una pulgada por estándar, o con agua destilada, posteriormente se seca la celda, y se procede a verter la muestra dentro de la celda (Recomendado 3 mm por debajo del borde).

Se toma la celda con la muestra y se coloca dentro de la cámara en la posición correcta, y se coloca la tapa de la cámara para comenzar a tomar los datos.

Figura 35.

Colorímetro



Nota: La figura muestra el colorímetro utilizado para mediciones de color

6. Acidez: Para la determinación de la acidez se seguirá el procedimiento establecido en la NTC 218, la cual establece tres métodos (dos por titulación y uno potenciométrico) para la determinación de la acidez en las grasas y aceites animales y vegetales [43]. Para este estudio se utilizará el método de titulación, el cual se realiza de la siguiente manera:

Con una Balanza analítica se pesará la muestra, y el dato obtenido se anotará en el cuaderno de laboratorio. Después de pesada la muestra se le agregarán 100 ml de etanol en una concentración del 98%, y luego se calentará la muestra hasta la temperatura de ebullición, cuando esto ocurra se deben agregar 3 gotas de fenolftaleína como indicador para luego realizar una titulación con Hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 Normal.

Cuando la mezcla se torne de color rosa pálido, culminar la titulación y se anota el valor de volumen que utilizo de NaOH, para aplicar la Ecuación (1 donde: $\%A_o = \text{Acidez Oleico}$; $V = \text{Volumen de NaOH utilizado}$; $K = 2,82$ (que corresponde a la multiplicación entre la concentración Normalizada volumétrica de NaOH (0,1) por la masa molar del ácido graso que se expresa mayormente en el aceite de soya (282 g/mol) multiplicado por 100 y luego dividido entre 1000); $W_m = \text{Peso de la muestra}$.

$$\%A_o = \frac{V(NaOH) * K}{Wm} \quad (1)$$

7. Determinación de jabón: Para la determinación de jabón se utilizará el método volumétrico contemplado en la NTC 6260, la cual especifica como se debe determinar el contenido de jabón en aceite mediante titulación, teniendo en cuenta que solo se aplica para aceites vegetales refinados [44], de la siguiente manera:

Se preparará la solución indicadora de jabón de la siguiente manera:

En un Erlenmeyer se adiciona 0,5 ml de la solución indicadora de jabones (Azul de bromofenol) por cada 100 ml de la solución acuosa de acetona y se titula con HCl o NaOH hasta que la solución tome un color amarillo.

Se pesan 10 g de la muestra de aceite en un Erlenmeyer y se añaden 20 ml de la solución indicadora de jabón a la muestra. Si la muestra se torna de color entre verde/azul en la capa superior, indica que hay presencia de jabones en la muestra, por lo tanto, para la determinación de las partes por millón (ppm) de jabón, se debe realizar una titulación con ácido clorhídrico al 0.01 M hasta que la muestra se torne de color amarillo y sea permanente.

Se registra el volumen en ml de HCl utilizado, y luego se realiza nuevamente lo descrito anteriormente con un blanco para corregir el jabón libre en el aceite. Para posteriormente utilizar la Ecuación 2 donde: PPM_j = ppm de jabón como oleato de sodio; mL_s = Volumen de HCl obtenido en la muestra con jabón; mL_b = Volumen de HCl obtenido con el blanco; M = Molaridad de la solución de HCl; $K = 304,400$ (Peso equivalente del Oleato de Sodio); m_e = Masa de porción de ensayo (g).

$$PPM_j = \frac{(mL_s - mL_b) * M * k}{m_e} \quad (2)$$

Si, por el contrario, la muestra se torna de color verde, indica que no hay presencia de jabones en la muestra, por lo tanto, no es necesario titular

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 Caracterización de materia prima

Se realiza la caracterización de la materia prima con tres muestras tomadas en la recepción del aceite de soya (**Figura 36**), realizando los respectivos análisis fisicoquímicos (%Acidez, %Humedad, Índice de refracción, Color rojo), y comparándolos con los parámetros estándar para la materia prima (**Tabla 4**). Según los parámetros estándar se determina que la materia prima que se utilizó para la refinación cumple con las características fisicoquímicas. Los resultados obtenidos en las 3 muestras se muestran en la **Tabla 5**.

Figura 36.

Muestra de aceite crudo de Soya



Nota: La figura muestra el aceite de soya crudo utilizado en la prueba

Tabla 4

Parámetros estándar para la soya cruda

%Acidez Max	%Humedad Max	Índice de refracción	Color Rojo Max
1,2 %	0,5	1,4662 – 1,4682	5

Nota: Valores estándar para la soya cruda.

Tabla 5

Caracterización de la soya cruda

Muestra	%Acidez	%Humedad	Índice de refracción	Color Rojo
1	0,60	0,12	1,4681	4,1
2	0,65	0,13	1,4679	3,6
3	0,79	0,14	1,4678	3,9

Nota: Valores analizados en un día de operación de la compañía, antes de realizar el experimento del presente proyecto de grado.

Una vez que la soya fue verificada, con respecto a los parámetros estándar, la soya cruda, se procedió a refinar el aceite de soya y tomar las muestras correspondientes en las etapas de Neutralización (**Figura 37**), para sus respectivos análisis fisicoquímicos, se debe tener en cuenta que estos valores son totalmente informativos, ya que este proyecto se centra en la etapa de blanqueo. Los resultados obtenidos para la etapa de neutralización y blanqueo se muestran en la **Tabla 6**.

Figura 37.

Muestra de aceite neutralizado de Soya



Nota: La figura muestra el aceite de soya neutralizado en la prueba

Tabla 6

Resultados fisicoquímicos de neutralización

Muestra	Acidez Inicial Max 1,2	Acidez Reacción Oleico Max 0,20
1	0,68	0,09
2	0,66	0,01
3	0,68	0,09

Nota: Valores de acidez antes de aplicar Ácido fosfórico, Soda Cáustica, y después de aplicar Soda Cáustica, Ácido fosfórico

Se debe tener en cuenta que con el valor reportado de acidez reacción oleico, es el inicial para la etapa de blanqueo.

Se toman las muestras de aceite después de la centrífuga Figura 38, en donde se eliminaron la mayoría de las gomas y jabones como se muestra en la **Tabla 7**, se debe tener en cuenta que el aceite analizado debe cumplir con un valor menor a 300 ppm en jabón

Figura 38.

Muestra de aceite desgomado de Soya



Nota: La figura muestra el aceite de soya después de la centrifuga

Tabla 7

Resultados fisicoquímicos de desgomado

Muestra	Jabón PPM
1	226
2	207
3	218

Nota: Valores tomados después de la centrifuga, antes de la aplicación de insumos para el blanqueo

En la etapa de blanqueo se comienza la dosificación de insumo homólogo por medio de las tolvas, como se muestra en la Figura 39 y al pasar un lapso de 3 horas, se comienza con la toma de muestras (**Figura 44**) para posteriormente hacer la respectiva comparación.

Figura 39.

Tolvas de dosificación para insumos de blanqueo



Nota: La figura muestra las tolvas de dosificación de los insumos de blanqueo

Se realiza una lista de 20 datos de diferentes muestras (**Tabla8**), los cuales se analizaron en turnos de 8 horas en proceso continuo durante 3 días, tanto para el insumo homólogo, como para el

insumo convencional. Los valores tomados para el análisis del insumo convencional son datos de días anteriores, en donde la refinación se realizó con insumo homólogo.

Figura 40.

Toma de muestra (Aceite blanqueado)



Nota: La figura muestra la recolección de aceite de soya blanqueado para análisis.

Tabla8

Resultados fisicoquímicos del blanqueo utilizando insumo homólogo e insumo convencional

Muestra	Insumo Convencional	Insumo Homólogo	
	Jabón PPM	Jabón PPM	
	20 kg X Turno	20 kg X Turno	50 kg X Turno
1	0	18	0,00
2	0	15	0,00
3	0	19	0,00
4	0	17	0,00
5	0	23	0,00
6	0	22	0,00
7	0	17	0,00

8	0	23	0,00
9	0	20	0,00
10	0	15	0,00
11	0	16	0,00
12	0	23	0,00
13	0	16	0,00
14	0	19	0,00
15	0	16	0,00
16	0	16	0,00
17	0	16	0,00
18	0	16	0,00
19	0	15	0,00
20	0	21	0,00

Nota: Valores analizados en la después de la etapa de blanqueo del aceite de soya

los parámetros obtenidos en jabón se comparan sin estadística, ya que es requisito que el resultado de este análisis sea 0 sin importar el caso, para poder pasar al siguiente proceso, por lo tanto, se hicieron 3 análisis. El primero se realizó con insumo convencional dosificando 20 kg en un turno de 8 horas en donde para todos los casos el resultado de jabón en partes por millón ppm arrojó como resultado 0. El segundo análisis se realizó con 20 Kg de insumo homólogo en un turno de 8 horas, en donde el resultado del análisis nos dio como resultado de 15 a 22 partes por millón ppm, por lo tanto, se optó por aumentar la dosificación de insumo homólogo, a 50 Kg en un turno de 8 horas, comenzando así el tercer análisis el cual dio como resultado 0 partes por millón en el total de muestras analizadas.

Por último, se realiza el análisis de color para las mismas 20 muestras después de la etapa de blanqueo. Los resultados se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9*Resultados fisicoquímicos del blanqueo utilizando insumo homólogo e insumo convencional*

Muestra	Insumo Convencional Color Rojo	Insumo Homólogo Color Rojo	
	20 kg X Turno	20 kg X Turno	50 kg X Turno
1	8,70	7,80	7,70
2	8,50	7,70	7,60
3	8,30	8,30	7,50
4	8,10	8,00	8,00
5	8,30	7,70	8,30
6	8,10	7,90	8,50
7	8,00	8,10	8,30
8	8,20	7,60	8,20
9	8,60	8,00	8,20
10	8,30	7,50	7,90
11	8,20	8,50	7,70
12	8,70	7,80	7,80
13	8,40	7,70	7,70
14	8,50	7,70	7,40
15	8,50	7,70	7,60
16	8,80	8,00	7,70
17	8,60	7,60	7,90
18	8,30	7,80	8,10
19	8,20	8,00	7,90
20	8,00	7,90	8,10

Nota: Valores analizados en la después de la etapa de blanqueo del aceite de soya

Por último, se toman las muestras correspondientes para el aceite desodorizado Figura 41 y se realiza el análisis de los parámetros fisicoquímicos en la etapa del desodorizado, en donde se compara la acidez final y el color rojo final del aceite de Soya RBD tal como se muestra en la Tabla 10.

Figura 41.

Toma de muestra (Aceite Desodorizado)



Nota: La figura muestra la recolección de aceite de soya desodorizado para análisis.

Tabla 10*Resultados fisicoquímicos de desodorizado*

Muestra	Acidez Final		Color Rojo	
	Insumo Convencional 20 kg X turno	Insumo Homólogo 50 kg X turno	Insumo Convencional 20 kg X turno	Insumo Homólogo 50 kg X turno
1	0,05	0,05	1,00	1,00
2	0,05	0,05	1,00	0,90
3	0,05	0,05	1,00	0,90
4	0,05	0,05	1,00	0,90
5	0,05	0,05	1,00	0,90
6	0,05	0,05	1,00	0,90
7	0,05	0,05	1,00	0,90
8	0,05	0,05	1,00	0,90
9	0,05	0,05	1,00	1,00
10	0,05	0,05	1,00	0,90
11	0,05	0,04	1,00	0,90
12	0,05	0,04	1,00	0,90
13	0,05	0,04	1,00	0,90
14	0,05	0,05	1,00	0,90
15	0,05	0,05	1,00	0,90
16	0,05	0,05	1,00	0,90
17	0,05	0,05	1,00	0,90
18	0,05	0,05	1,00	0,90
19	0,05	0,05	1,00	0,90
20	0,05	0,05	1,00	0,90

Nota: Valores tomados después de la columna de destilación obteniendo aceite de Soya RBD

8. ANÁLISIS

Según los resultados obtenidos, podemos observar que los parámetros fisicoquímicos reportados antes de la etapa de la etapa de refinación (Aceite crudo), y los parámetros reportados de neutralización y desgomado, no varían con respecto a los reportados en meses anteriores como se muestra en el ANEXO 1. Por lo tanto, las muestras analizadas en el presente trabajo de grado son significativas para el estudio realizado.

En cuanto a los parámetros obtenidos en la etapa de blanqueo, se realiza una comparación entre el insumo homólogo dosificando 50 Kg por turno y el insumo convencional dosificando 20 Kg por turno, por medio de estadística básica como se muestra a continuación

Para comenzar, se planteó una hipótesis nula y alternativa según el análisis que vamos a desarrollar:

Hipótesis Nula

La media aritmética del parámetro color rojo obtenido con el insumo convencional es igual a la media aritmética del parámetro color rojo obtenido con el insumo homólogo.

$$H_0: \mu_X = \mu_Y$$

Hipótesis Alternativa

$$H_A: \mu_X > \mu_Y$$

La media aritmética del parámetro color rojo obtenido con el insumo convencional es mayor a la media aritmética del parámetro color rojo obtenido con el insumo homólogo.

Se desea comparar la media aritmética del color rojo en el aceite de soya después del blanqueo por medio de un análisis de hipótesis, por lo tanto, según los datos obtenidos en las pruebas y con ayuda del software Excel se hacen los siguientes cálculos para poder determinar un resultado en cuanto a las hipótesis planteadas:

Se realiza el cálculo de la media para los 20 datos obtenidos en color rojo tanto para insumo convencional como para insumo homólogo utilizando la Ecuación (3) y el software Microsoft Excel.

Cálculo de la media:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

El resultado que se obtuvo en el software Excel para el cálculo de la media se muestra en la **Tabla 11**.

Tabla 11

Media calculada para insumo convencional y homólogo

Insumo convencional	Insumo Homólogo
8,37	7.91

Nota: Media calculada a partir del software Microsoft Excel.

Posteriormente, calculamos la desviación estándar, con la ecuación (4), y el software Microsoft Excel

Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

El resultado que se obtuvo en el software Excel para el cálculo de la desviación estándar se muestra en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Desviación estándar calculada para insumo convencional y homólogo

Insumo convencional	Insumo Homólogo
0,24	0,30

Nota: Desviación estándar calculada a partir del software Microsoft Excel.

Otro dato importante que se calculó es la varianza muestral (Ecuación (5)). Esta se realizó para cada lista de datos (Insumo convencional e insumo homólogo)

Varianza Muestral para cada insumo
$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (5)$$

Los resultados obtenidos para la varianza muestral en insumo convencional y homólogo se muestran en la **Tabla 13**.

Tabla 13

Varianza muestral individual calculada para insumo convencional y homólogo

Insumo convencional	Insumo Homólogo
0,05	0,09

Nota: Varianza muestral calculada a partir del software Microsoft Excel

Una vez obtenidos los valores de Varianza para cada uno de los insumos, es posible realizar el cálculo del estimador de varianza muestral común (Ecuación (6), el cual es un dato importante, ya que con este se calculará el estadístico de prueba, con el que determinaremos el resultado de la comparación de medias.

Estimador de Varianza muestral común:
$$S_p^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2} \quad (6)$$

$$S_p = \sqrt{S_p^2}$$

Este valor se obtiene por medio del software Excel utilizando la ecuación (6), y dio como resultado un valor de **0,26**, el cual es utilizado para calcular el estadístico de prueba con la ecuación (7)

Ecuación para calcular estadístico de prueba:

$$t_o = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} \quad (7)$$

Para el cálculo de este valor con la ecuación (7) es necesario haber realizado todos los cálculos de media, y varianza muestral, ya que son indispensables para llegar al valor del estadístico de prueba. En el software Excel se realizó el cálculo del estadístico de prueba, el cual dio como resultado **5,50**, que se comparará con el valor que se obtendrá de la tabla t – student según los grados de libertad del experimento ecuación (8).

Grados de libertad: $n_x - n_y - 2$ (8)

Una vez calculados los grados de libertad, el cual nos arrojó un valor de 38, nos dirigimos a la tabla t-student (**Tabla 15**) para buscar el valor correspondiente para ser comparado con el estadístico de prueba, pero antes de realizar este ejercicio, se organizan todos los datos obtenidos anteriormente, para efectos de facilidad en la comparación y cálculos posteriores (**Tabla 14**).

Tabla 14

Datos estadísticos para determinar el resultado de la comparación de medias

MEDIDA	Insumo Tradicional	Insumo Homólogo
Media	8,37	7,91
Desviación estándar	0,24	0,30
Varianza muestral	0,05	0,09
Estimadora varianza muestral común	0,26	0,26
Estadístico de prueba	5,50	5,50
Grados de libertad	38	38

Nota: La tabla muestra los datos estadísticos calculados anteriormente mediante el software Microsoft Excel.

Tabla 15*Tabla t-student*

r/a	0.45	0.40	0.35	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
20	0,13	0,26	0,39	0,69	0,86	1,06	1,33	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85
21	0,13	0,26	0,39	0,69	0,86	1,06	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
22	0,13	0,26	0,39	0,69	0,86	1,06	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
23	0,13	0,26	0,39	0,69	0,86	1,06	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
24	0,13	0,26	0,39	0,68	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
25	0,13	0,26	0,39	0,68	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,79	3,73
26	0,13	0,26	0,39	0,68	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
27	0,13	0,26	0,39	0,68	0,86	1,06	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
28	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,06	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76	3,67
29	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,06	1,31	1,70	2,05	2,46	2,76	3,66
30	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
31	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,70	2,04	2,45	2,74	3,63
32	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,69	2,04	2,45	2,74	3,62
33	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,69	2,03	2,44	2,73	3,61
34	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,69	2,03	2,44	2,73	3,60
35	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,69	2,03	2,44	2,72	3,59
36	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,31	1,69	2,03	2,43	2,72	3,58
37	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,30	1,69	2,03	2,43	2,72	3,57
38	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,30	1,69	2,02	2,43	2,71	3,57
39	0,13	0,26	0,39	0,68	0,85	1,05	1,30	1,68	2,02	2,43	2,71	3,56

Nota: Tabla T – Student.

Se realiza el cruce en la tabla t-student con un porcentaje de error del 5% y 38 grados de libertad, lo que nos da como resultado:

$$t_{(0,05;38)} = 1,69$$

Posteriormente, se realiza la comparación con el estadístico de prueba calculado anteriormente dando como resultado:

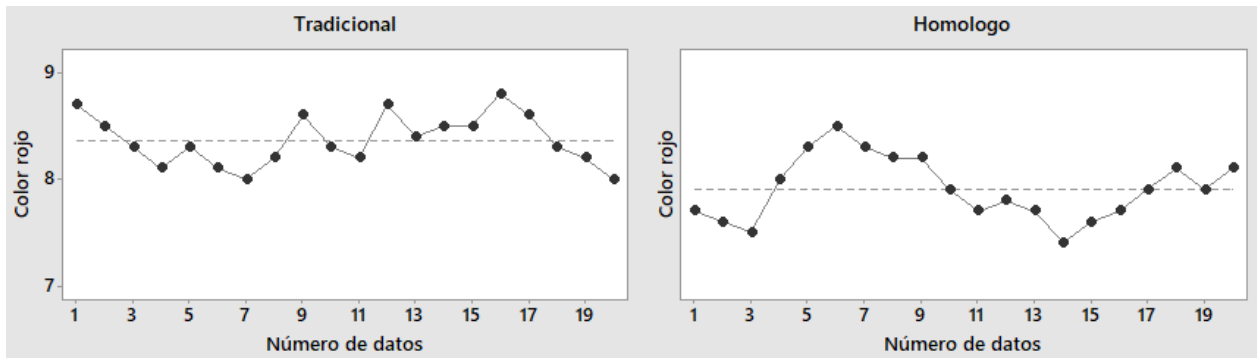
$$|t_o| = 5,50 > 1,69$$

Según el resultado anterior se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que la media convencional es significativamente mayor que la media de insumo homólogo.

Todos los datos que fueron calculados anteriormente para la comparación de la media en el parámetro color rojo después de la etapa de blanqueo, son analizados nuevamente con el software Minitab 18, el cual nos brinda una información más clara respecto a nuestro experimento, como por ejemplo el orden de los datos (Figura 42) y la posición de la media mediante un gráfico de barras (Figura 43).

Figura 42.

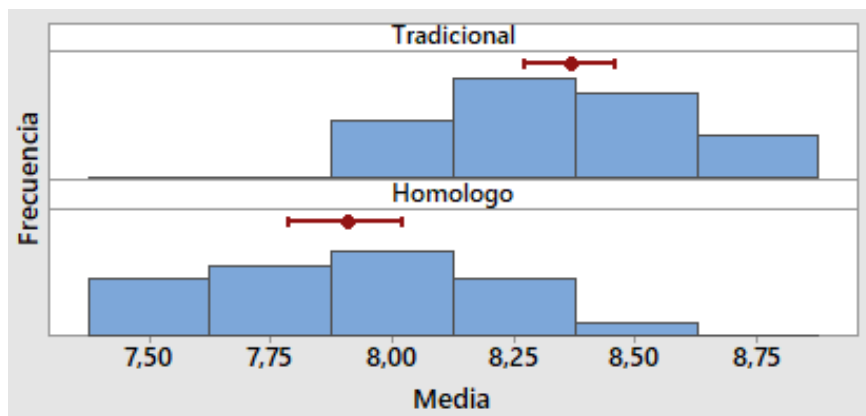
Datos tomados para el análisis de color rojo después del blanqueo



Nota: La figura muestra la distribución de datos con respecto a la media.

Figura 43.

Posición de la media para los datos de color rojo después del blanqueo

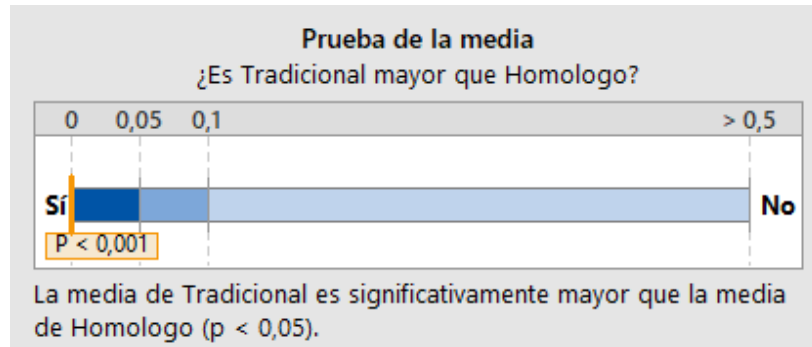


Nota: La figura muestra la posición de la media.

Además de esto, el software también nos permite verificar si la decisión tomada en cuanto a la hipótesis nula y alternativa es la correcta, ya que también nos muestra el resultado de la comparación de medias mediante el método estadístico que se aplicó en el presente trabajo, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44.

Comparación de la media para color rojo después del blanqueo mediante Minitab 18



Nota: La figura muestra la comparación de la media mediante Minitab 18.

Según los datos obtenidos anteriormente en el software Microsoft Excel y Minitab 18, se determina que la media en cuanto a color rojo después de la etapa de blanqueo es menor, cuando se utiliza el insumo homólogo, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

Para la etapa de desodorizado, solo se realiza la comparación de medias para el color nuevamente, ya que para el parámetro de acidez se obtienen datos muy parecidos entre sí estadísticamente (**Tabla 16**), y, por lo tanto, el estudio no sería significativo.

Tabla 16

Datos estadísticos calculados para la acidez final.

MEDIDA	Insumo Convencional	Insumo Homólogo
Media	0,049	0,047
Desviación estándar	0,00	0,00
Varianza muestral	0,00	0,00

Nota: La tabla muestra los datos estadísticos calculados mediante el software Microsoft Excel.

Como se mencionó anteriormente, se realiza la comparación de medias para el color rojo final en la etapa de desodorización, esta se realiza utilizando la misma metodología utilizada para la comparación de medias de color rojo en la etapa de blanqueo, por lo tanto, se muestran los resultados obtenidos en la **Tabla 17**:

Tabla 17*Datos estadísticos para determinar el resultado de la comparación de medias (color rojo final)*

MEDIDA	Insumo Convencional	Insumo Homólogo
Media	1,000	0,910
Desviación estándar	0,000	0,031
Varianza muestral	0,000	0,001
Estimadora varianza muestral común	0,021	0,021
Estadístico de prueba	13,42	13,42
Grados de libertad	38	38

Nota: La tabla muestra los datos estadísticos calculados mediante el software Microsoft Excel.

Se realiza el cruce en la tabla t-student con un porcentaje de error del 5% y 38 grados de libertad, lo que nos da como resultado:

$$t_{(0,05;38)} = 1,69$$

Posteriormente, se realiza la comparación con el estadístico de prueba calculado anteriormente dando como resultado:

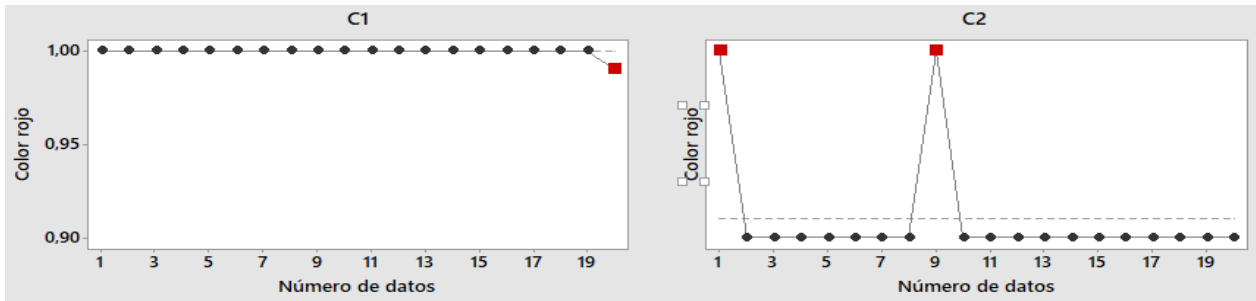
$$|t_o| = 13,42 > 1,69$$

Según el resultado anterior se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que la media convencional es significativamente mayor que la media de insumo homólogo.

Igualmente, que, en la comparación de media anterior, se realiza el análisis en el software Minitab 18, en donde corroboramos la información obtenida manualmente en el software Excel, por lo tanto, se analizan las gráficas de datos que nos proporciona el programa (Figura 45) en donde se muestra que el dato de color rojo es constante tanto como para insumo convencional como para insumo homólogo en valores diferentes (**Figura 46**)

Figura 45.

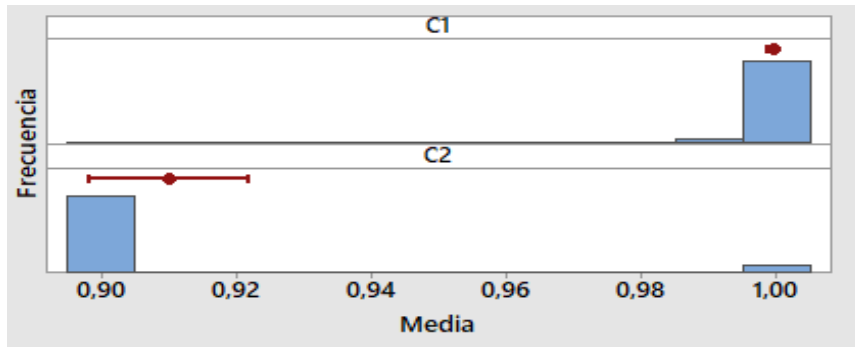
Datos tomados para el análisis de color rojo final



Nota: La figura muestra la distribución de datos con respecto a la media mediante Minitab 18.

Figura 46.

Posición de la media para los datos de color rojo final

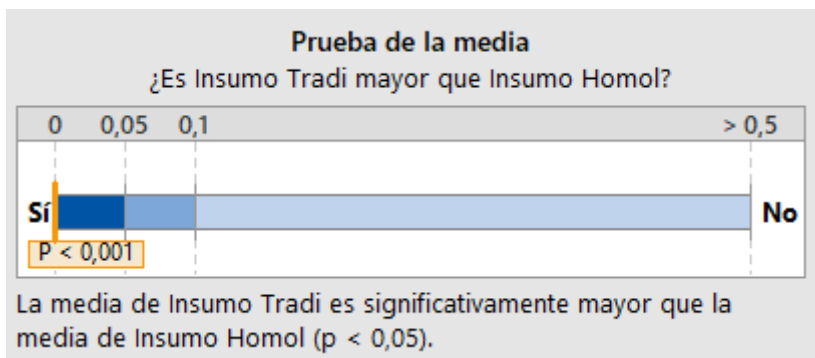


Nota: La figura muestra la posición de la media.

Por último, se verifica el análisis de hipótesis con el software en donde se obtiene el siguiente resultado:

Figura 47.

Comparación de la media para color rojo final mediante Minitab 18



Nota: La figura muestra la comparación de la media mediante Minitab 18.

Por otro lado, se evidencia que, al utilizar el insumo homólogo, la etapa de filtración se ve afectada, ya que, al ser un producto con un diámetro de partícula mayor, este obstruye los filtros Niágara (**Figura 48**), impidiendo que el proceso se desarrolle normalmente, además de su alta dosificación comparada con el insumo convencional. No obstante, según los resultados estadísticos se obtuvo una reducción en cuanto al color rojo, el cual es muy importante, ya que comercialmente el aceite de soya debe tender a ser de color amarillo.

Figura 48.

Filtro Niágara



Nota: La figura muestra el filtro Niágara utilizado en la industria.

9. ANÁLISIS FINANCIERO

Se realizaron varios análisis financieros, al momento de terminar las pruebas en planta, con el fin de determinar la viabilidad del proyecto, por lo tanto, se recolectaron los siguientes datos:

Tabla 18

Datos recolectados para el análisis financiero

	Insumo Convencional	Insumo Homólogo
Precio por Kg (USD)	3,49	1,73
Cantidad utilizada por mes (Kg)	1,620	4,050
Precio por mes (USD)	5,653	7,006

Nota: La tabla muestra los datos financieros recolectados para cada insumo.

Los valores que se observan en la **Tabla 18** se calculan con base en un mes de producción de aceite de soya en donde se refinan 1500 Ton/Mes trabajando 27 días, por lo tanto, si la dosificación es de 50 Kg por turno con insumo homólogo se utilizarían 4,050 Kg trabajando continuamente en 3 turnos de 8 horas. Por el contrario, si se refina la misma cantidad de soya al mes, pero esta vez dosificando 20 Kg por turno con insumo convencional, se utilizan 1,620 Kg trabajando los mismos 27 días. Dicho lo anterior se hace la conversión a dinero, lo que nos da como resultado un valor de 7,006 USD al mes utilizando el insumo homólogo, y un valor de 5,653 USD utilizando el insumo homólogo.

Según estos datos, la conclusión es que se debería seguir utilizando en insumo convencional, ya que por mes el costo es de 1,353 USD menos que utilizando el insumo homólogo. Sin embargo, se realiza un análisis más a profundidad utilizando el método planteado en el libro (*Matemáticas financieras, Aplicaciones en Ingeniería, Administración y Economía*) [45]. El método es el costo anual uniforme equivalente (CAUE) para comparar dos opciones de proyecto. Con este método se busca comprobar que es mejor seguir utilizando el insumo convencional a pesar de que sea un poco más costoso que el homólogo.

9.1 Costo anual uniforme equivalente (insumo convencional VS insumo homólogo)

Se desea escoger la alternativa que represente menores costos para la compañía, por lo tanto, se pretende evaluar la viabilidad financiera de los insumos por medio del costo anual uniforme equivalente (CAUE), el cual se basa en escoger la alternativa que represente los menores costos.

Para comenzar con la comparación se renombran los insumos llamando al insumo convencional alternativa A y el insumo homólogo alternativa B posteriormente se tiene en cuenta los siguientes factores los cuales hacen parte del método:

- **Inversión Original:** Esta hace referencia al costo de la adquisición, en este caso el valor del insumo.
- **Costos de operación (o mantenimiento):** Es el valor mensual o anual de operar y realizar mantenimientos a un bien, en este caso tomaremos los mantenimientos que se realizan mensualmente a los equipos involucrados en la etapa de blanqueo.
- **Salvamento (o valor residual):** Es el valor que posee un bien al final de su vida útil, el cual puede ser recuperado por medio de la venta del mismo, en este caso el valor de salvamento es del 100 %, ya que al ser un insumo no pierde valor.
- **Tasa de interés de oportunidad (TIO):** es la mínima tasa de interés de rentabilidad que un inversionista está dispuesto a aceptar como rendimiento en sus nuevas inversiones o como consecuencia de la realización de un proyecto

9.1.1 Alternativa A

Utilizar un insumo convencional para el blanqueo de aceite de soya cuyo costo es de 5653 USD por mes, es decir que, si se desea utilizar este insumo por 2 años, el costo es de ecuación (9) :

$$5653 \text{ USD} * 24 \text{ Meses} = 135672 \text{ USD} \quad (9)$$

El costo de la adquisición de este insumo para 2 periodos se convierte en una serie uniforme de pagos durante los 2 periodos que se proponen con la ecuación (10)

$$A = \frac{\text{Valor Insumo}}{\left[\frac{1 - (1 + TIO)^{-n}}{TIO} \right]} \quad (10)$$

Se utiliza una TIO del 21%, y se calcula el valor correspondiente reemplazando en la ecuación (10):

$$A = \frac{135,672 \text{ USD}}{\left[\frac{1-(1+0,21)^{-2}}{0,21} \right]}$$

$$A1 = 89,88 \text{ USD}$$

Para hallar el costo de mantenimiento, se toma en cuenta el tiempo de cambio de filtros que se realiza cada 24 horas en la refinación, continúa utilizando el insumo convencional, la cual tarda aproximadamente 2 horas ecuación (11 donde: $CCF = \text{Costo cambio de filtros por año}$; $Cho = \text{Costo hora de trabajo operador}$; $Dom = \text{Días de operación mes}$; $Ted = \text{Tiempo empleado por día}$. Además de tener en cuenta el lavado de estos que se realiza cada 6 meses, utilizando 24 horas de operación ecuación (12 donde: $CLF = \text{Costo lavado de filtros por año}$; $Cho = \text{Costo hora de trabajo operador}$; $Ted = \text{Tiempo empleado por día}$. Esta labor es realizada por los operadores de la planta, por lo tanto, estos tiempos se convierten en dinero tomando el salario mensual y llevándolo a cantidad por hora. Por último, se obtiene el costo total en mantenimiento anual ecuación (13 donde: $CTA = \text{Costo total por año}$; $CLF = \text{Costo lavado de filtros por año}$; $CCF = \text{Costo cambio de filtros por año}$.

$$\diamond CCF = Cho * Dom * 12 * Ted \quad (11)$$

$$CCF = 0,72 \text{ USD} * 27 \text{ Dias} * 12 * 2 \text{ h} = 466,56 \text{ USD}$$

$$\diamond CLF = Cho * Ted \quad (12)$$

$$CLF = 0,72 \text{ USD} * 48 \text{ h} = 34,56 \text{ USD}$$

$$\diamond CTA = CLF + CCF \quad (13)$$

Costo total por año: 34,56 USD + 466,56 USD = 501,12 USD

$$A2 = 501,12 \text{ USD}$$

El factor de salvamiento es del 100 %, ya que, al ser un insumo, este no pierde valor en el tiempo antes de su fecha de caducidad y con se calcula con la ecuación (14).

$$A3 = \frac{\text{Valor de salvamiento} * TIO}{[(1+TIO)^n - 1]} \quad (14)$$

$$A3 = \frac{135,672 * 0,21}{[(1+0,21)^2 - 1]}$$

$$A3 = 61,39 \text{ USD}$$

Teniendo los 3 factores calculados, se procede a obtener el CAUE de la alternativa A con la ecuación (15)

$$CAUE = A1 + A2 - A3 \quad (15)$$

$$CAUE = 89,88 + 501,12 - 61,39$$

$$CAUE = 529,61$$

9.1.2 Alternativa B

Utilizar un insumo homólogo para el blanqueo de aceite de soya cuyo costo es de 7,006 USD por mes, es decir que, si se desea utilizar este insumo por 2 años, el costo es de:

$$7006 \text{ USD} * 24 \text{ Meses} = 168144 \text{ USD} \quad (16)$$

El costo de la adquisición de este insumo para 2 periodos se convierte en una serie uniforme de pagos durante los 2 periodos que se proponen con la ecuación (17)

$$A = \frac{\text{Valor Insumo}}{\left[\frac{1-(1+TIO)^{-n}}{TIO} \right]} \quad (17)$$

Se utiliza una TIO del 21%, y se calcula el valor correspondiente reemplazando en la ecuación (17):

$$A = \frac{168,144 \text{ USD}}{\left[\frac{1-(1+0,21)^{-2}}{0,21} \right]}$$

$$A1 = 11139 \text{ USD}$$

Para hallar el costo de mantenimiento, se toma en cuenta el tiempo de cambio de filtros que se realiza cada 12 horas en la refinación, continúa utilizando insumo homólogo, la cual tarda aproximadamente 2 horas, pero al realizarse 2 veces por turno se colocan 4 horas ecuación (18) donde: *CCF* = Costo cambio de filtros por año; *Cho* = Costo hora de trabajo operador; *Dom* = Días de operación mes; *Ted* = Tiempo empleado por día. Además de tener en cuenta el lavado de estos que probablemente se deba realizar cada 2 meses utilizando 24 horas de operación ecuación (19) donde: *CLF* = Costo lavado de filtros por año; *Cho* = Costo hora de trabajo operador; *Ted* = Tiempo empleado por día, ya que este insumo satura los filtros en menos tiempo. Estos cambios y lavados son realizados por los mismos operadores de la planta, por lo tanto, estos tiempos se convierten en dinero tomando el salario mensual y llevándolo a cantidad por hora. Por último, se obtiene el costo total en mantenimiento anual ecuación (20) donde: *CTA* = Costo total por año; *CLF* = Costo lavado de filtros por año; *CCF* = Costo cambio de filtros por año. obteniendo los siguientes valores:

$$\diamond CCF = Cho * Dom * 12 * Ted \quad (18)$$

$$CCF = 0,72 \text{ USD} * 27 \text{ Dias} * 12 * 4 \text{ Horas} = 933,12 \text{ USD}$$

$$\diamond CLF = Cho * Ted \quad (19)$$

$$CLF = 0,72 \text{ USD} * 144 \text{ h} = 103,68 \text{ USD}$$

$$\diamond CTA = CLF + CCF \quad (20)$$

$$CTA = 933,12 \text{ USD} + 103,68 \text{ USD} = 1036,8 \text{ USD}$$

$$A2 = 1036,80 \text{ USD}$$

El factor de salvamiento es del 100 %, ya que, al ser un insumo, este no pierde valor en el tiempo antes de su fecha de caducidad, el cual se calcula con la ecuación (21).

$$A3 = \frac{\text{Valor de salvamiento} * TIO}{[(1 + TIO)^n - 1]} \quad (21)$$

$$A3 = \frac{168,144 * 0,21}{[(1 + 0,21)^2 - 1]}$$

$$A3 = 76,08 \text{ USD}$$

Teniendo los 3 factores calculados, se procede a obtener el CAUE de la alternativa B con la ecuación (22)

$$CAUE = A1 + A2 - A1 \quad (22)$$

$$CAUE = 111,39 + 1036,80 - 76,08$$

$$CAUE = 1072,11$$

Según lo anterior, el CAUE de la alternativa A es menor al CAUE de la alternativa B es decir que la alternativa A es más viable a pesar de que el insumo homólogo por Kg es mucho más económico que el insumo convencional. Esto se debe a que el insumo homólogo requiere mucho más tiempo de mantenimiento, y mayor dosificación, lo que lo hace inviable económicamente realizando un estudio a 2 años futuros.

9.2 Análisis financiero 2

Para culminar con el análisis financiero, se realizó un estudio, teniendo en cuenta la dosificación y el precio de cada insumo, determinando el valor en centavos de dólares que se cargan al centro de costos, utilizando cada uno de los insumos por Kg procesado como se muestra en la **Tabla 19**.

Tabla 19

Comparación costos insumo convencional vs insumo homólogo

	Insumo Convencional	Insumo Homólogo
Precio por Kg (USD)	3,49	1,73
Dosificación por turno (Kg)	20	50
Precio por 3 turnos (USD)	70	87
Precio por Kg procesado (USD)	0,0034	0,0043

Nota: La tabla muestra la comparación de costos entre el insumo convencional y el insumo homólogo.

Como se puede evidenciar en la **Tabla 19** el costo de operación del insumo homólogo es mayor al del insumo convencional, por lo tanto, no es viable realizar el cambio de insumos. Dicho esto, para evidenciar un ahorro significativo en el costo del proceso, se debería dosificar la misma cantidad que se utiliza cuando se blanquea con insumo convencional.

10. CONCLUSIONES

Según los análisis fisicoquímicos que se realizaron en la materia prima cruda que se blanqueó con insumo convencional e insumo homólogo, se puede concluir que la calidad de esta no influyó en los resultados de las pruebas realizadas, ya que esta siempre estuvo dentro de los parámetros fisicoquímicos establecidos en la compañía y en la resolución 2154. Además, las materias primas utilizadas en las pruebas en planta fueron muy parecidas entre sí.

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la etapa de blanqueo estuvieron muy cercanos a la media, sin importar el insumo con el que se realizó el blanqueo. Sin embargo, para lograr los valores adecuados, se tuvo que hacer una sobre dosificación en cuanto al insumo homólogo.

Al dosificar cantidades iguales de insumo convencional e insumo homólogo (0,1% para 20 Ton de aceite de soya) en la etapa de blanqueo del aceite de soya, el parámetro de jabón en aceite, variaba demasiado, es decir que con insumo convencional se llegaba al resultado deseado, el cual es de 0 ppm, pero con insumo homólogo, según los análisis realizados en el laboratorio, el valor de jabón en aceite estaba muy cerca a las 18 ppm, por lo tanto, la calidad del producto se veía afectada, por esta razón se tomó la decisión de aumentar la dosificación de insumo homólogo a un 0,25% por cada 20 Ton de aceite de soya con el cual se logró el parámetro deseado de 0 ppm en jabón.

Según los análisis realizados en planta con los operadores, cuando se realiza el blanqueo por medio del insumo homólogo, se saturan en menor tiempo los filtros, esto se debe a la sobre dosificación que se debe realizar para llegar a los parámetros de calidad y el diámetro de partícula del insumo homólogo, ya que, entre más pequeño, el aceite tiende a formar una especie engrudo que es mucho más difícil de transportar y filtrar. Además, esto genera una ineficiencia en la producción, ya que se generan más tiempos muertos debido a que se debe realizar el cambio de filtros, el cual demora en promedio 2 horas. Con insumo homólogo el cambio de filtros se realiza cada 12 horas, y con insumo convencional se realiza cada 24 horas, es decir que con el insumo homólogo la producción se ve afectada.

También es importante resaltar que está sobre dosificación afecta el costo del producto, ya que sin importar que el Kg de insumo homólogo sea más económico, este sobrepasa el costo por tonelada

refinada cuando se hace la comparación con el insumo convencional, por lo tanto, no es viable cambiar el insumo convencional.

Según los resultados obtenidos con ambos insumos, se concluye que la capacidad de adsorción del insumo convencional es mayor para los componentes a remover de interés. Por el contrario, el insumo homologado tiene una capacidad de adsorción menor para los componentes a remover de interés, evidenciando esto en la sobredosificación que se debió realizar en las pruebas para llegar a los parámetros fisicoquímicos permitidos en calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Duquesa S. A "Duquesa S.A," 2021. Available: <https://duquesa.com.co/quienes-somos/>.
- [2] Seita.com.co "Producción de Aceite de Soya," Available: <https://www.seita.com.co/aplicaciones/alimentos-y-bebidas/aceite-de-soya/>.
- [3] M. Rossi and M. Gianazza and C. Alampres and F. Stanga "The role of bleaching clays and synthetic silica in palm oil physical refining - ScienceDirect." Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814602005514>.
- [4] L. Cortés Gómez and S. T. Cruz. L. Cortés Gómez and S. T. Cruz. Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo de la filtración de un aceite comestible. Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo de la filtración de un aceite comestible. 2016 Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/58.
- [5] T. Volcán De Bego, "Estado del arte sobre producción de tierras de blanqueo: inteligencia tecnológica aplicada. state of the art on bleaching earth production: technological intelligence applied," vol. 2, pp. 63, 2018.
- [6] Škevin, D. et al, (-12-072011). "Optimization of Bleaching Parameters for Soybean Oil." *Food Technology and Biotechnology*.
- [7] Sayed, N., (-12-212019). "Quality assessment and safety measurement of different industrial processing stages of soybean oil." *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. DOI: 10.14744/turkjas.2019.006.
- [8] La industria de aceites y grasas refinadas exportó casi 300 millones de dólares en 2021 | Más Colombia(-03-18T15:40:12-05:00). . Available: <https://mascolombia.com/industria-de-aceites-y-grasas-refinadas-exporto-casi-300-millones-de-dolares-en-2021/>.
- [9] Fenalce "Estadísticas - Fenalce," 2021. Available: <https://fenalce.co/estadisticas/>.
- [10] R. Legaz Berbel, "Tabla / Resultados NBA," *Reforma (Mexico City, Mexico : 1993), 2004*. Available: <https://search.proquest.com/docview/307411187>.
- [11] Alimentos con grasas saturadas – Lista de ejemplos ¿Hacen mal?(-06-17T14:13:20+00:00). . Available: <https://nutricion360.es/alimentos/grasas-aceites/alimentos-con-grasas-saturadas-lista-ejemplos>.
- [12] Diez aceites vegetales útiles en la cocina y que no son de oliva(-06-06T20:45:15+02:00). . Available: https://www.eldiario.es/consumoclaro/comer/aceites-vegetales-utiles-cocina_1_3364397.html.
- [13] Mr. Batatacolombia "aceite-linaza-2.jpeg (640×408)." Available: <https://mrbatatacolombia.com/wp-content/uploads/2022/06/aceite-linaza-2.jpeg>.

- [14] *Gadis.com "Propiedades y contraindicaciones del aceite de sésamo," 2019. Available: <https://www.gadis.es/saludable/propiedades-y-contraindicaciones-del-aceite-de-sesamo/>.*
- [15] *Dieta saludable: ¿Has probado consumir aceite de girasol crudo?(-03-06T13:25:50Z). . Available: <https://www.hola.com/estar-bien/20200306162488/dieta-saludable-aceite-girasol-lb/>.*
- [16] *Beneficios aceite de maiz(-01-05T13:19:41-06:00). . Available: <https://www.cocinadelirante.com/tips/beneficios-aceite-de-maiz>.*
- [17] *El aceite de soja entra en 'la lista negra' por sus riesgos para la salud(-01-23T16:06:10+01:00). . Available: <https://www.eldiariomontanes.es/cantabria-mesa/nuevo-aceite-entra-20200123155715-nt.html>.*
- [18] *E. F. Piñares Murillo. E. F. Piñares Murillo. Efecto de bioestimulantes en el rendimiento de glycine max L. merr. var. nacional, en la zona de satipo – Perú. efecto de bioestimulantes en el rendimiento de glycine max L. merr. var. nacional, en la zona de satipo – Perú. 2016 Available: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4023/Pi%c3%b1ares%20Murillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.*
- [19] *SaboresalMaximo.com "Sabores al Maximo." Available: <https://saboresalmaximo.com/guia-soja-calidad-nutricional/>.*
- [20] *Loza Ortiz, S. V. and O. D. Parra Arias, .2012. "Refinación De Aceite De Soya Por Desgomado Enzimático." Universidad de Guayaquil. Facultad Ingeniería Química. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4697>.*
- [21] *J. M. B. Daniel Barrera-Arellano, Temas Selectos En Aceites Y Grasas - Vol. 2. (1ª ed.) Blucher, 2013.27(3).*
- [22] *Desolventizador tostador secador enfriador(). . Available: <http://mx.etwinternational.com/2-10-desolventiser-toaster-dryer-cooler-24815.html>.*
- [23] *Extracción: Algunos términos(). . Available: <https://docplayer.es/55113042-Extraccion-algunos-terminos.html>.*
- [24] *¿Qué es el desgomado?(-08-15T00:00:00). . Available: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/que-desgomado-t44107.htm>.*
- [25] *Guatequimica.com "Lípidos." Available: <http://www.guatequimica.com/tutoriales/lipidos/topic.htm#t=Fosfolipidos.htm>.*
- [26] *Degumming systems(). . Available: <https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/soluciones-de-procesos/soluciones-para-aceites-vegetales/sistemas-de-procesos-de-refinado-de-aceites-vegetales/degumming-systems/>.*

[27] D. Reducción et al, "universidad nacional del callao facultad de ingeniería química escuela profesional de ingeniería química "eficiencia del ácido fosfórico y ácido cítrico en la," .

[28] L. Translated by ContentEngine, *Los Aceites Y Grasas. Refinación Y Otros Procesos De Transformación Industrial.* (2012^a ed.) Madrid: Amv ediciones, .

[29] Fao.org "Capítulo 5 - Elaboración y refinado de aceites comestibles." Available: <https://www.fao.org/3/V4700S/v4700s09.htm>.

[30] P. Blanco Rodríguez, "Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales," 2007. Available: <https://rodin.uca.es/handle/10498/6391>.

[31] D. Lorena Lamas "Tesis DLamas versión final," 2014.

[32] Biomodel.uah.es "Jabones y detergentes." Available: <https://biomodel.uah.es/model2/lip/jabondet.htm>

[33] David D. Brooks, Roberto Berbesi and Allan S. Hodgson, "Optimization of Bleaching Process." AOCs Lipid Library. Available: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/optimization-of-bleaching-process>.

[34] Blanqueo de Aceites | PDF | Petróleo | Química(). . Available: <https://es.scribd.com/document/476214536/BLANQUEO-DE-ACEITES>.

[35] Uribe Salas, J. A., 2018). "Escamilla González, Francisco Omar y Lucero Morelos Rodríguez, Escuelas de minas mexicanas: 225 años de la fundación del Real Seminario de Minería, México, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, 420 pp., + 13 anexos." Tzintzun. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=7152898>.

[36] Uribe Salas, J. A., 2018). "Escamilla González, Francisco Omar y Lucero Morelos Rodríguez, Escuelas de minas mexicanas: 225 años de la fundación del Real Seminario de Minería, México, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, 420 pp., + 13 anexos." Tzintzun. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=7152898>.

[37] Fernández, R., (-09-302011). "Barreras de ingeniería para el aislamiento de residuos radiactivos." *Materiales De Construcción*. DOI: 10.3989/mc.2011.55909.

[38] Minsalud.gov.co "resolucion-2154-de-2012," .

[39] Grasas y aceites animales y vegetales comestibles. aceite crudo de soya(). . Available: <https://tienda.icontec.org/gp-grasas-y-aceites-animales-y-vegetales-comestibles-aceite-crudo-de-soya-ntc505-2016.html>.

[40] *Grasas y aceites animales y vegetales. determinación del contenido de humedad y materia volátil()*. . Available: <https://tienda.icontec.org/gp-grasas-y-aceites-animales-y-vegetales-determinacion-del-contenido-de-humedad-y-materia-volatil-ntc287-2018.html>.

[41] *Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de refracción()*. . Available: <https://tienda.icontec.org/gp-grasas-y-aceites-animales-y-vegetales-determinacion-del-indice-de-refraccion-ntc289-2019.html>.

[42] *Grasas y aceites animales y vegetales. determinación del color lovibond. método automático()*. . Available: <https://tienda.icontec.org/gp-grasas-y-aceites-animales-y-vegetales-determinacion-del-color-lovibond-metodo-automatico-ntc564-2-2016.html>.

[43] *Grasas y aceites vegetales y animales. determinación del índice de acidez y de la acidez()*. . Available: <https://tienda.icontec.org/gp-grasas-y-aceites-vegetales-y-animales-determinacion-del-indice-de-acidez-y-de-la-acidez-ntc218-2011.html>.

[44] *Icontec.com "Grasas y aceites vegetales y animales. determinación de jabón en aceite refinado. método volumétrico."* Available: <https://ebooks.icontec.org/pdfreader/grasas-y-aceites-vegetales-animales-determinacin-de-jabn-en-aceite-refinado-mtodo-volumtrico>.

[45] *R. A. M. Robles, Matemáticas Financieras: Aplicaciones En Ingeniería, Administración Y Economía.* Available: <https://editorial.uamerica.edu.co/index.php/editorial/catalog/view/6/10/96>.

ANEXOS

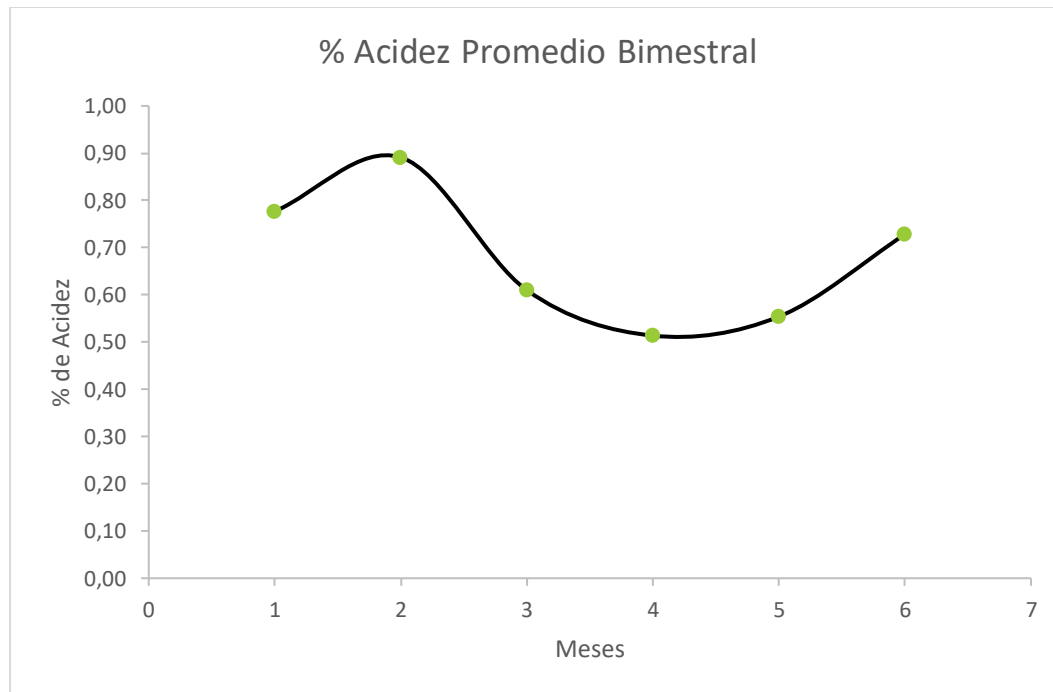
ANEXO 1.

VALORES DE %ACIDEZ, %HUMEDAD, ÍNDICE DE REFRACCIÓN, Y COLOR ROJO OBTENIDO EN MESES ANTERIORES (2022) PARA LA SOYA CRUDA

Mes	%Acidez Promedio	% Humedad	Índice de Refracción	Color Rojo
Enero - Febrero	0,78	0,07	1,47	3,80
Marzo - Abril	0,89	0,15	1,47	3,87
Mayo - Junio	0,61	0,15	1,47	3,93
Julio - Agosto	0,51	0,14	1,47	4,02
Septiembre - Octubre	0,55	0,14	1,47	4,04
Noviembre - Diciembre	0,73	0,14	1,47	4,07

Figura 49.

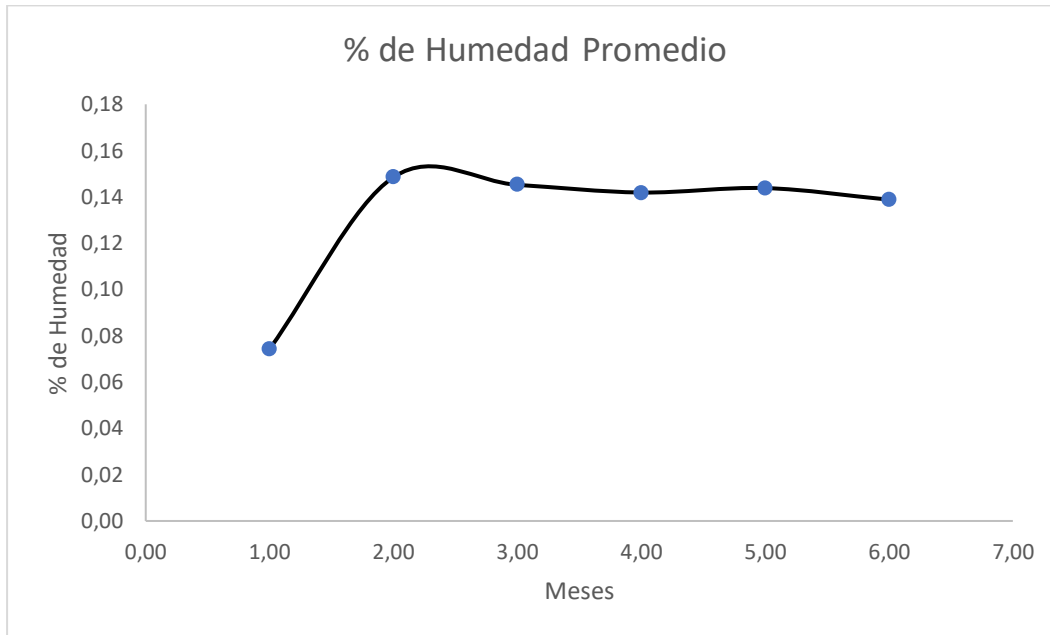
Gráfica para él %Acidez bimestral del año 2022



Nota: La figura muestra la acidez promedio bimestral.

Figura 50.

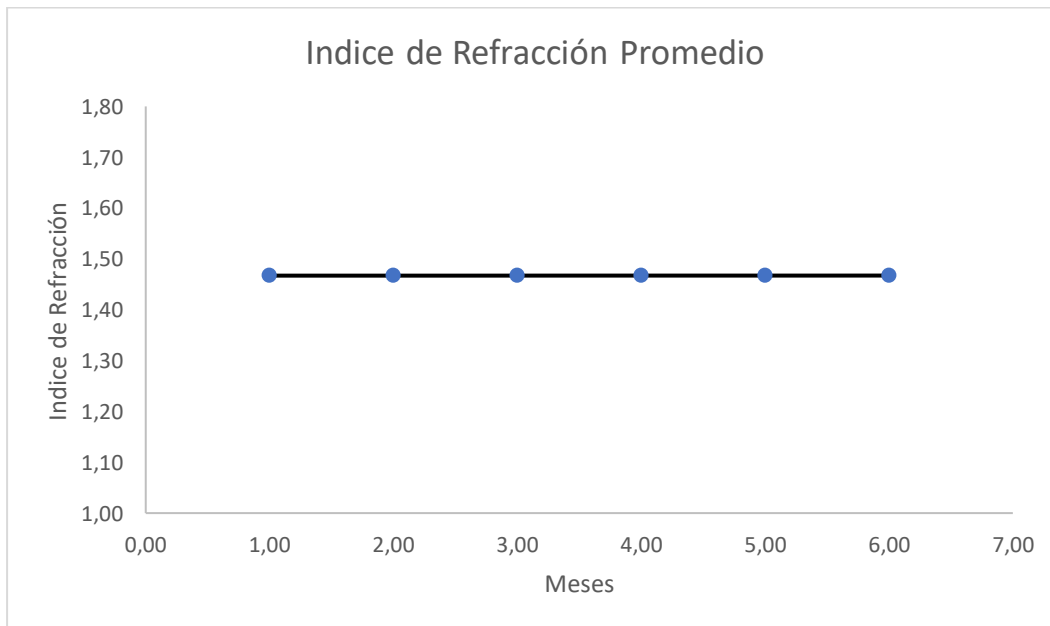
Gráfica para el %Humedad bimestral del año 2022



Nota: La figura muestra la humedad promedio bimestral.

Figura 51.

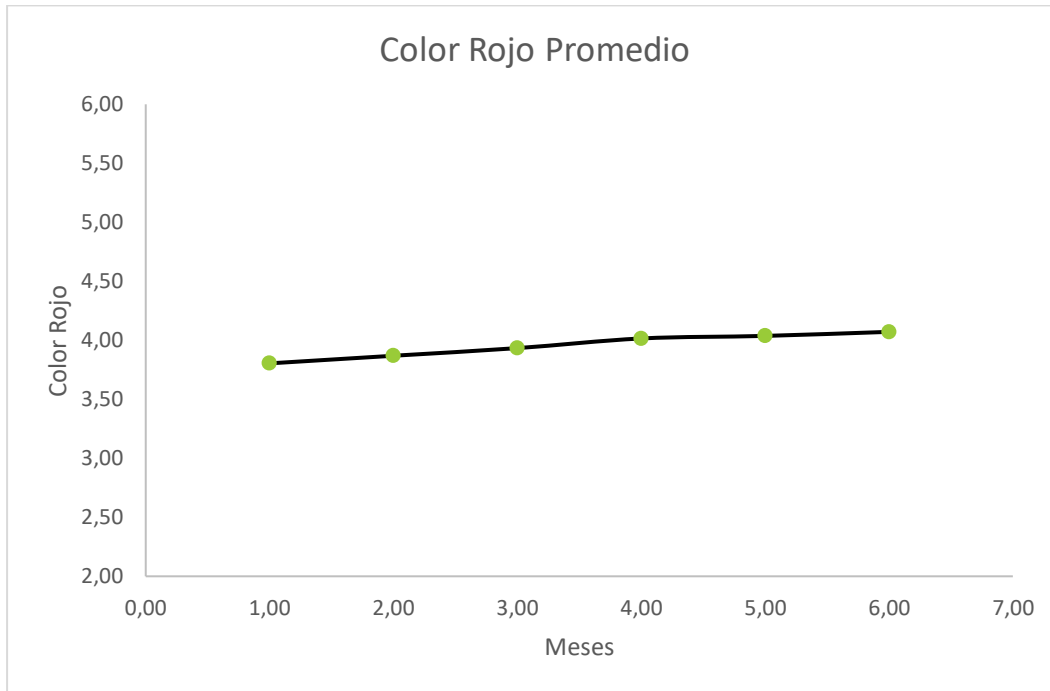
Gráfica para el índice de refracción bimestral del año 2022



Nota: La figura muestra el índice de refracción promedio bimestral.

Figura 52.

Gráfica para el color rojo bimestral del año 2022



Nota: La figura muestra el color rojo promedio bimestral.

ANEXO 2

RECOMENDACIONES

Se recomienda conocer la viscosidad del fluido cuando se blanquea con insumo homólogo, para poder determinar si las bombas centrífugas son adecuadas para transportar el aceite mezclado con este insumo, y con esto controlar el esfuerzo al que se vieron sometidas las bombas en estas pruebas realizadas.

Se recomienda analizar el impacto de las tierras agotadas, para poder determinar nuevamente los costos asociados al proceso, para estudiar su viabilidad ambiental ya que al sobre dosificar el insumo, se generará más subproducto, contaminante, ya que como se nombra en literatura, este residuo no tiene un segundo uso, y lo que se realiza es llamar a la autoridad ambiental para darle disposición.