



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-
LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA
REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA**

Aníbal Rogerio Rezzio Santizo

Asesorado por el Ing. Ronald Adolfo Herrera Orozco

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-
LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA
REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANÍBAL ROGERIO REZZIO SANTIZO

ASESORADO POR ING. RONALD ADOLFO HERRERA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Orlando Pozadas Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Monroy Benítez
EXAMINADORA	Inga. Dina Estrada Lissette Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería de Química, con fecha 13 de octubre de 2011.


Aníbal Rogério Rezzio Santizo

Guatemala, 21 de septiembre de 2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala


Ingeniero Monzón:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del Trabajo de Graduación, del estudiante ANIBAL ROGERIO REZZIO SANTIZO, con carné 2006-15052, el cual se titula: "EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA".

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO
INGENIERO QUÍMICO
COL 781

Ing. Qco. Ronald Adolfo Herrera Orozco
ASESOR
Colegiado 781



Guatemala, 02 de noviembre de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.049.2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-262-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Anibal Rogerio Rezzio Santizo**

Identificado con número de carné: **2006-15052**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Ronald Herrera.**

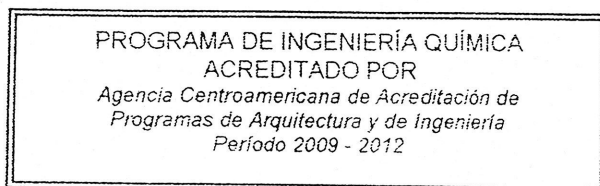
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Federico Salazar
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.027.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ANÍBAL ROGERIO REZZIO SANTIZO** titulado: "**EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA**". Procéde a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2013



Cc: Archivo
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EXTRACCIÓN DE JABONES Y GOMAS MEDIANTE UNA SEPARACIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO COMPARADA CON UNA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN LA REFINACIÓN QUÍMICA DE ACEITE CRUDO DE SOYA**, presentado por el estudiante universitario **Aníbal Rogerio Rezzio Santizo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por llenar de bendiciones mi vida.
A la Virgen María	Por cuidarme y guiarme.
A mis padres	Fernando Rezzio y Oralia Santizo, por el apoyo brindado. Sus enseñanzas son ejemplo de vida. Sin su ayuda no hubiera alcanzado este logro.
A mis hermanos	Roberto, Diana, Fernando y Ruth Rezzio Santizo, por su apoyo incondicional y su ejemplo.
A mis amigos y compañeros	Johann Alexander Masaya De León, Jorge Mario Santa Cruz Sagastume, Adolfo Waldemar De la Cruz Cano y Luisa María Tejeda Méndez, por su apoyo, compartir esta y las futuras etapas de mi vida.
A la Escuela Nacional Central de Agricultura	Por ser una faceta importante en mi vida ayudándome a ser una persona integral, buscando la excelencia académica y la calidad humana.
A la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios en donde he vivido una de las mejores etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Ing. Ronald Adolfo Herrera
Orozco e Ing. Carlos Rene
Gudiel Zacarías**

Por su tiempo, paciencia y compartir sus conocimientos durante la realización de este trabajo de graduación.

**Ing. Teresa Lisely de León
Arana**

Por su ayuda en este trabajo de graduación y en la vida estudiantil.

Olmecca, S. A.

Por su contribución en este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS/HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Soya (<i>glycine max</i>)	5
2.1.1. Clasificación	6
2.1.2. Descripción y características físicas	6
2.1.3. Composición química de la semilla	7
2.1.4. Difusión	9
2.1.5. Usos	9
2.1.6. Beneficios y propiedades	10
2.1.7. Relación con la salud	11
2.1.8. Soya transgénica	11
2.1.9. Producción mundial	11
2.2. Aceite de soya	12
2.2.1. Características nutricionales	12
2.2.2. Usos	12
2.2.3. Composición de ácidos grasos	13
2.3. Refinación del aceite de soya	14

2.3.1.	Refinación química	14
2.3.2.	Refinación física	15
2.3.2.1.	Blanqueo	15
2.3.2.2.	Desodorización.....	16
2.4.	Lípidos saponificables	16
2.5.	Lípidos insaponificables	18
2.6.	Adsorción	19
2.7.	Fisorción	19
2.8.	Quimisorción	20
2.9.	Tierra de sílica y diatomea	20
2.9.1.	Composición.....	21
2.9.2.	Proceso industrial	22
2.10.	Filtración	23
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
3.1.	Variables	25
3.1.1.	Variables independientes	27
3.1.2.	Variables dependientes	27
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	29
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	29
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)	29
3.4.1.	Materia prima y reactivos de la fase experimental a estudiar.....	30
3.4.2.	Equipos de la fase experimental a estudiar	30
3.4.3.	Reactivos de la fase experimental a nivel laboratorio	31
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	32
3.5.1.	Diseño general	32

3.5.2.	Preparación del aceite crudo de soya (<i>glycine max</i>) para la separación líquido-líquido o sólido-líquido	33
3.5.3.	Extracción líquido-líquido de jabones y gomas del aceite crudo de soya	34
3.5.4.	Extracción sólido-líquido de jabones y gomas del aceite crudo de soya	36
3.5.5.	Blanqueo y desodorización del aceite refinado de soya	36
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	38
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.7.1.	Determinación de porcentaje de acidez	40
3.7.2.	Determinación de porcentaje de jabón	42
3.7.3.	Determinación de ceras	43
3.7.4.	Determinación de ceras por gravimetría.....	43
3.7.5.	Determinación de fósforos y fosfátidos por espectrofotometría	45
3.7.6.	Determinación de gomas	48
3.7.7.	Determinación de P- anisidina	49
3.7.8.	Prueba de frío	50
3.7.9.	Punto de nublamiento	51
3.7.10.	Determinación de valor de peróxidos	52
3.7.11.	Determinación de color	54
3.8.	Análisis estadístico	55
4.	RESULTADOS.....	59
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63

CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
APÉNDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Contenido nutricional de la soya.....	7
2.	Producción mundial de soya.....	12
3.	Diseño general.....	32
4.	Diagrama del proceso de extracción líquido-líquido.....	35
5.	Análisis de varianza para el experimento de bloqueo aleatorio.....	59

TABLAS

I.	Definición operacional de las variables, para la extracción de jabones y gomas del aceite de soya por medio de un método líquido-líquido y un sólido-líquido	26
II.	Definición operacional de las variables, para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya por medio de un método líquido-líquido y un sólido-líquido	26
III.	Tratamientos en el proceso de extracción de jabones y gomas en aceite crudo de soya	27
IV.	Datos físico – químicos del aceite de soya que se tomaron como parámetros para la evaluación	39
V.	Datos físico – químicos del aceite de soya que se tomarán como parámetros para la evaluación	39
VI.	Ácidos grasos libres, alcohol y concentración alcalina	41
VII.	Formato para la caracterización del aceite crudo de soya en cada una de las etapas.....	55

VIII.	Datos típicos para el diseño de bloques al azar.....	56
IX.	Promedio y varianza del porcentaje de jabón en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado	59
X.	Promedio para la cantidad de ceras en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado.....	59
XI.	Evaluación de los aspectos ambientales en los que difiere un método del otro con un valor numérico	60
XII.	Costos para cada tratamiento utilizado, representados numéricamente utilizando un factor	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ca	Calcio
cm	Centímetro
°C	Grados celsius
g	Gramo
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
Fe	Hierro
h	Hora
L	Litro
Mg	Magnesio
m	Masa
\bar{X}	Media aritmética (promedio)

ml	Mililitros
mmHg	Milímetros de mercurio
min	Minuto
M	Molar
N	Normalidad
n	Número de datos
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
T	Temperatura
V	Volumen

GLOSARIO

Absorción	Separación de uno o más componentes de una mezcla por medio de la unión de dos moléculas pero no a nivel superficial.
Adsorción	Unión de átomos, iones o moléculas de un líquido o gas a la superficie de una molécula de un cuerpo sólido.
Aceite crudo de soya	Aceite no refinado producido por cualquiera de los procedimientos descritos para la extracción del aceite de los frijoles de soya.
Ácidos grasos	Biomolécula formada por una larga cadena de carbonos con hidrógenos, de diferente longitud o número de átomos de carbono.
Calidad	Herramienta básica para una propiedad inherente de cualquier cosa, que permite que ésta sea comparada con cualquier otra de su misma especie y determinar si es buena o mala respecto a un marco de referencia.
Desodorización	Eliminación de los ácidos grasos libres, alcoholes, aldehídos y cetonas al aceite, los que le proporcionan mal sabor y olor al mismo.

Extracción	Procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí.
Filtración	Proceso en el cual se separan sólidos suspendidos en el aceite.
Goma	Sustancia resinosa con un alto peso molecular, estructuralmente muy compleja, siempre con carácter ácido. Es sólida, aunque su consistencia varía según su procedencia.
Jabón	Producto de la reacción entre un álcali, como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio y un ácido graso.
Minería	Actividad desarrollada por el hombre para la extracción de productos minerales que se encuentran en la corteza terrestre y que tienen algún valor económico.
Peróxido	Compuesto químico que contiene dos átomos de oxígeno enlazados.
Refinación	Proceso que tiene como objetivo, la eliminación de manera sustancial los ácidos grasos libres y otras impurezas como fosfátidos, fósforos, jabones, gomas, aldehídos.

Sílica	Roca sedimentaria formada por micro-fósiles de diatomeas, algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.
Soap stock	Subproducto derivado de la refinación química de aceite de soya compuesto principalmente con jabones.
Tierra de blanqueo	Tierras o arcillas especiales que, al ser agregadas en una proporción aproximadamente de un 1% en el aceite, tiene la capacidad de absorber los pigmentos indeseables.

RESUMEN

Como trabajo de graduación se realizó la comparación entre un método líquido-líquido contra un sólido-líquido en la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya durante la refinación química.

El propósito de dicho trabajo es comparar cuál de los dos métodos de extracción tiene mejores resultados en cuanto a la calidad final del aceite, costos de producción e impacto ambiental, para finalmente determinar cuál es el método que mejor se adapta a las condiciones bajo las que se realizó el experimento.

Para llevar a cabo la comparación se designó un periodo de tiempo de trabajo para cada método, durante este periodo se dejaron fijas todas las condiciones de operación del sistema de refinación, variando únicamente el método a evaluar, esto por definición de las variables independientes y dependientes.

Para el método de extracción de jabones y gomas líquido-líquido se usó dos centrifugas, en las cuales se agregó agua bajo condiciones controladas de temperatura, flujo y presión para realizar un lavado al aceite en proceso, estas dos centrifugas están ubicadas después de la centrifuga refinadora, la cual separa el aceite del *soap stock*. El aceite desgomado continúa con las etapas posteriores de refinación.

En la extracción de jabones y gomas por medio de un método sólido-líquido se dosificó tierra de sílica posteriormente a la centrifuga de refinación y

se pasó inmediatamente al siguiente proceso de refinación de la soya, el cual es el blanqueo en donde se separó la tierra sílica por medio de filtración y así el aceite continuó el proceso de refinación.

Finalmente se comparó los datos obtenidos durante la experimentación, se realizó el respectivo análisis y de esta forma se obtuvo que el mejor método desde punto de vista económico es la dosificación de sílica al 0,12%, desde el punto de técnico es la dosificación al 0,15%, 0,18% y la extracción líquido-líquido ya que ambas tuvieron resultados aceptables de calidad, desde el punto de vista ambiental la dosificación de sílica al 0,12%, siendo la mejor opción para la empresa la dosificación de sílica al 0,15% alternativamente con la extracción líquido-líquido.

OBJETIVOS

General

Evaluar cuál método obtiene mejores resultados con las condiciones de trabajo entre la extracción de los jabones y gomas, por medio de una separación líquido-líquido en comparación con una sólido-líquido, en la refinación química de aceite crudo de soya (*glycine max*).

Específicos

1. Comparar costos de producción, entre el método líquido-líquido y el sólido-líquido para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya (*glycine max*).
2. Determinar la mejor concentración de tierra silica utilizada, para obtener la calidad deseada en el producto final de aceite de soya (*Glycine max*).
3. Comparar los parámetros de calidad finales en el aceite de soya (*glycine max*), para determinar si existe o no una diferencia significativa, con base en los métodos propuestos por la AOCS (American Oil Chemists' Society, por sus siglas en inglés).
4. Determinar cuál de los dos métodos es más amigable con el ambiente por medio de un análisis realizado a los subproductos de cada método en la refinación química de aceite crudo de soya (*glycine max*).

HIPÓTESIS

Existe una variación considerable entre extracción de los jabones y gomas por medio de una separación líquido-líquido en comparación de una sólido-líquido, lo cual se puede comprobar por medio del análisis de datos obtenidos, en cuanto a calidad final del producto, costos e impacto ambiental.

Hipótesis de trabajo:

- 1) El método sólido-líquido representa menores costos de producción que el método líquido-líquido en la extracción de jabones y gomas en la refinación química de aceite crudo de soya.
- 2) Utilizando el método sólido-líquido se reducen los principales aspectos ambientales significativos en comparación a él método líquido-líquido en la extracción de jabones y gomas.

Hipótesis estadística:

Ho: no existe diferencia significativa en la calidad final del aceite de soya apto para el consumo humano al comparar el uso de un método sólido-líquido y un líquido-líquido en la extracción de jabones y gomas durante su refinación.

Ha: existe diferencia significativa en la calidad final del aceite de soya apto para el consumo humano al comparar el uso de un método sólido-líquido y un líquido-líquido en la extracción de jabones y gomas durante su refinación.

INTRODUCCIÓN

Para transformar el aceite crudo de soya en un aceite apto para el consumo humano, es necesario llevar a cabo un proceso de refinación, el que consiste en tres etapas; refinación química, blanqueo y desodorizado.

La refinación química que se le da al aceite crudo de soya (*glycine max*) consiste en eliminar y disminuir los compuestos indeseables presentes en el aceite crudo, tales como: jabones, fosfátidos, fósforos, gomas, ceras, clorofila, lecitina, agua, cuerpos de olor y otros elementos extraños. Algunos de los anteriormente mencionados son eliminados en su totalidad y otros disminuidos a valores predeterminados.

La refinación química consiste básicamente en darle un pre-tratamiento ácido al aceite crudo de soya para hacer solubles algunos compuestos presentes, luego se neutraliza para su posterior centrifugación donde se separa los compuestos indeseables; la centrifugación se realiza en tres etapas, en la primera etapa se obtiene un sub-producto llamado *soap stock* el cual contiene fosfolípidos, ceras, gomas, algunos metales pesados e impurezas que son removidas por diferencia de densidades.

En la segunda y tercera etapa se realiza una separación con agua, pasando en cada etapa por una centrifuga, de ser necesario, se termina de neutralizar el aceite crudo de soya en primera centrifuga de lavado, es decir, en la segunda etapa. Por último pasa a un secador para eliminar la humedad y así, obtener el aceite refinado de soya a la salida de la refinería química.

Seguido de la refinación química, la soya continúa un proceso de blanqueo, éste se logra por medio de la eliminación de los pigmentos colorantes propios del aceite a través del uso de tierras adsorbentes, por último el aceite se desodoriza, este proceso consiste en eliminar los ácidos grasos libres del volumen de aceite procesado, los cuales tienen la característica de proporcionar sabor y olor desagradable al aceite.

En el presente trabajo se planteó la comparación entre la extracción de jabones y gomas mediante dos métodos, los cuales son una separación líquido-líquido, contra una separación sólido-líquido en la refinación química de aceite crudo de soya, para esto se planteó la comparación de las dos centrifugas lavadoras contra el uso de tierra de sílica.

El uso de centrifugas lavadoras representa la extracción líquido-líquido y la tierra sílica representa la extracción sólido-líquido, al utilizar la tierra sílica se ahorra energía eléctrica y agua utilizada para el lavado del aceite de soya, también se ahorra costos de mantenimiento y reparación de centrifugas; pero se tiene un costo, el cual se evaluó para comparar y poder definir cuál de los dos métodos se ajusta de mejor forma a las condiciones con las que se trabaja dentro de la empresa, condiciones tales como: calidad del aceite, disponibilidad de materias primas y facilidad de desecho de subproductos.

El análisis de las muestras de los distintos métodos a evaluados se realizó en el laboratorio físico-químico de la empresa, donde se evaluó en base a parámetros establecidos para el producto de aceite de soya apto para el consumo humano, basados en métodos aprobados por la American Oil Chemists Society (AOCS), normas empleadas a nivel mundial cuyo cumplimiento garantiza que los análisis se están realizando de la forma correcta y que los datos obtenidos son confiables.

Los datos obtenidos, combinados con costos de producción y desechos de sub-productos, sirvieron como base para el análisis en la comparación de los dos métodos a evaluar, obteniendo que el mejor método fue la extracción sólido-líquido utilizando tierra sílica al 0,15% seguido por la extracción líquido-líquido.

1. ANTECEDENTES

Los estudios en neutralización o refinación química mediante el uso de hidróxido de sodio, son variados y tomando en cuenta que este método se adapta, no únicamente a la soya, si no a otros productos que se les pueda dar un tratamiento químico previo al tratamiento físico, para la refinación del mismo.

Sin embargo, no existen muchos estudios sobre la comparación en el uso de alternativas: para eliminar la fase de lavado en la refinación química, para purificar y eliminar inicialmente, las impurezas no deseadas que afectan el sabor, olor, apariencia y estabilidad de los productos finales, en los aceites y las grasas.

A continuación se mencionan algunos estudios realizados en la refinación de soya:

En septiembre del 2007, la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un trabajo de graduación que trata sobre, análisis y reducción de pérdidas de producción en una industria de aceite de soya, realizada en la empresa Olmeca S.A. por el ingeniero Erick Rolando Rodríguez Guoz, en la cual, se realizó como su nombre lo indica, se trató de mejorar el proceso de refinación y, a su vez, también el proceso de extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya.

El trabajo anteriormente mencionado toma en cuenta los distintos métodos para la refinación química y describe, el que mejor se adapta, a las condiciones con las que se trabaja en Olmeca S. A.

En Olmeca S. A., existe un método actual de refinación química, donde la extracción de jabones y gomas, es un método líquido-líquido el cual fue elaborado por el ingeniero químico Ronal Herrera y el ingeniero químico Fabián Muñoz.

Este último desarrolló su tesis, en ese tema y así en octubre de 2002, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentó el trabajo titulado: Procedimiento para el control del proceso de refinación química del aceite crudo de soya, elaborado por el ingeniero Fabián Muñoz. En donde define las condiciones a las que se logran los mejores resultados, en una refinación química del aceite de soya, comparando condiciones de trabajo como temperatura, presión, velocidad de la centrifugación, dosis de químicos a dosificar, que son principalmente ácido fosfórico e hidróxido de sodio, logrando controlar los parámetros y definirlos según las condiciones de la empresa.

El libro, Bailey's industrial, oil and fat products, describe la refinación química en forma general, al igual que la mayoría de literatura encontrada sobre la extracción de jabones y gomas, por medio de una extracción líquido-líquido.

Se tiene literatura proporcionada por la empresa Alfa Laval, acerca de la refinación química, esta empresa es proveedora de equipo para dicho proceso y son expertos en el tema de desgomado por medio una extracción líquido-líquido.

La información proporcionada sirve como una referencia para comparación del método que se utiliza actualmente, debido a que es información proporcionada por una empresa privada, no hacen referencia exacta al año de los estudios o quien los realizó.

Sobre la extracción sólido-líquido de jabones y gomas del aceite crudo de soya, no existe tanta información comparada con el método líquido-líquido en la refinación química, la información obtenida referente al método sólido-líquido es proporcionada por los productores y proveedores del medio sólido utilizado, el cual es tierra sílica, esta información es proporcionada por el ingeniero químico Héctor Arias y el ingeniero Roberto Berbesi, ambos miembros de Oil-Dri Corporation of America, sin embargo también se limitan a informar la fecha de realización de estudios.

En febrero del 2006, en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería química, de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó un trabajo de graduación acerca de Comparación de las ventajas de desodorización en una refinería física *multistock* respecto a una refinería física *unistock*, realizada en la empresa Olmeca S.A., por el ingeniero Homero Amed Ávila Mérida la cual se realizó con la refinación física.

Este trabajo de graduación se tomó en cuenta como referencia de la refinación que se le realizó a la soya, posterior a la refinación química, las condiciones de trabajo en cada una de las refinerías mencionadas anteriormente, son muy similares, por lo cual es necesario conocerlas, para que la diferencias en el tipo refinación física no sea un factor que pueda afectar a los resultados obtenidos en la refinación química y en los estudios de la extracción de jabones y gomas.

En octubre del 2010, el ingeniero Enrique O. Díaz publica un documento sobre las alternativas en la refinación química donde hace mención a:

- Desgomado en miscela: está basado en la filtración de la miscela, a través de una membrana, que elimina los fosfátidos por ser estos de mayor tamaño que los triglicéridos (18,5 nm vs 1,5 nm).
- Desgomado enzimático: requiere partir de un aceite desgomado con agua, para lo cual se calienta el aceite a 140 °F (60 °C), se le adiciona un controlador de pH, se mezcla con una solución de enzimas, se pasa a un tanque de retención, luego a centrifugación y posterior secado. El nivel de fósforo obtenido es normalmente menor de 5 ppm.
- Desgomado suave: conocido también como *soft-degumming*, parte de un aceite crudo o desgomado convencionalmente, que se calienta en una primera fase y se mezcla con un reactante, para que forme un complejo con los metales de hierro (Fe), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (normalmente EDTA). La mezcla se envía a un tanque de retención, de donde se centrifuga, para separar las gomas. El proceso reduce el contenido de fósforo a 5 ppm.

En agosto del 2004, en el cuarto congreso de químicos farmacéuticos y biólogos en Madrid, España, se presentó un documento sobre aceite de soya y su uso en la fabricación de aceites y grasas comestibles, realizado por el ingeniero José Becerra Riqué, donde se explica el proceso de extracción y manipulación de la soya, durante su refinado, hasta la producción de aceite refinado, listo para el consumo humano, incluyendo la refinación química y a su vez el proceso de extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya.

2. MARCO TEÓRICO

Para la realización de un estudio sobre la comparación de dos métodos para la refinación de soya, es necesario tener conocimientos, tanto del producto a trabajar como los procesos que se utilizan para realizar su refinación.

2.1. Soya (*glycine max*)

La soya (*glycine max*) es una especie de la familia de las leguminosas (*fabaceae*) cultivada por sus semillas, de medio contenido en aceite y alto de proteína.

El grano de soya y sus subproductos (aceite y harina de soya, principalmente) se han utilizado en la alimentación humana y del ganado, por casi 5 000 años y, a diferencia de la mayoría de los alimentos provenientes de las plantas, la semilla de soya es rica en proteínas por lo que se considera equivalente a los alimentos provenientes de animales, en términos de calidad de la proteína que contiene.

El cultivo de soya es un factor muy valioso si se efectúa en el marco de un cultivo por rotación estacional, ya que fija el nitrógeno en los suelos, agotados tras haberse practicado otros cultivos intensivos, en cambio, el monocultivo de soya acarrea desequilibrios ecológicos y económicos, si se mantiene prolongadamente y en grandes extensiones.

2.1.1. Clasificación

El nombre de género *glycine* fue introducido originalmente por Linnaeus (1737) en la primera edición de *genera plantarum*. La soya cultivada primero apareció en *Species plantarum, linnaeus*, bajo el nombre de *phaseolus max L.*

La combinación, *glycine max* (L.) Merr, fue propuesta por Merrill en 1917, ha llegado a ser el nombre válido para esta planta.

El género *glycine wild* se divide en dos subgéneros: *glycine* y soya. El subgénero *soya moench* incluye la soya cultivada, *G. max* (L.) Merr, y la soya silvestre: *G. soya* Siebold & Zucc. Ambas especies son anuales. La soya crece sólo bajo cultivo mientras que *G. soya* crece en forma silvestre en China, Japón, Corea, Taiwán y Rusia. En la actualidad, el subgénero *glycine* consiste de la menos 16 especies silvestres perennes: por ejemplo, *glycine canescens*, y *G. tomentella hayata* que se encuentra en Australia y Papúa Nueva Guinea.

2.1.2. Descripción y características físicas

La soya varía en crecimiento, hábito, y altura. Puede crecer desde 20 cm hasta 2 metros de altura y tarda por lo menos 1 día en germinar. Las vainas, tallos y hojas están cubiertas por finos pelos marrones o grises. Las hojas son trifoliadas, tienen de 3 a 4 prospectos por hoja, y los prospectos son de 6 a 15 cm de longitud y de 2 a 7 cm de ancho.

Las flores grandes, inconspicuas, autofértiles nacen en la axila de la hoja y son blancas, rosas o púrpuras. El fruto es una vaina pilosa que crece en grupos de 3 a 5, cada vaina tiene 3 a 8 cm de longitud y usualmente contiene 2 a 4 semillas de 5 a 11 mm de diámetro.

2.1.3. Composición química de la semilla

La composición química de la semilla de soya varía según la variedad con la cual se esté trabajando, sin embargo a continuación se muestra una tabla con el contenido nutricional promedio de la semilla de soya.

Figura 1. Contenido nutricional de la soya

Valor nutricional por cada 100 g	
Energía 450 kcal 1 870 kJ	
Carbohidratos	30,16 g
Azúcares	7,33 g
Fibra alimentaria	9,3 g
Grasas	19,94 g
Proteínas	36,49 g
Agua	8,54 g
Vitamina A	1 µg
Vitamina B6	0,377 mg
Vitamina B12	0 µg
Vitamina C	6 mg
Vitamina K	47 µg
Calcio	277 mg
Hierro	15,70 mg
Magnesio	280 mg
Potasio	1797 mg
Sodio	2 mg
Zinc	4,89 mg

Fuente: SHAHIDI, Fereidoon. *Bailey's industrial oil and fat products*. p.25.

“La soya tiene aproximadamente; proteína 40% y aceite 20%. El resto se compone de 35% de carbohidratos y cerca del 5% ceniza. Los cultivares comprenden aproximadamente 8% cáscara de semilla, 90% cotiledones y 2% ejes de hipocótilo o germen”¹.

¹ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/liencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_5.htm. [Consulta: 29 de abril de 2011].

La soya es un alimento muy rico en proteína, algunos de sus derivados se consumen en substitución de los productos cárnicos, ya que su proteína es de muy buena calidad, casi equiparable a la de la carne. Los adultos necesitan ingerir con la dieta 8 aminoácidos, (los niños 9) de los 20 necesarios para fabricar proteínas.

Las proteínas más completas, es decir, con todos los aminoácidos necesarios, suelen encontrarse en los alimentos de origen animal. Sin embargo la soya aporta los 8 aminoácidos esenciales en la edad adulta, aunque el aporte de metionina sea algo escaso; pero esto puede compensarse fácilmente incluyendo cereales, huevos o lácteos en la alimentación diaria.

Los principales carbohidratos solubles, sacáridos, de soya madura son: el disacárido sacarosa (2,50–8,20%), el trisacárido rafinosa (0,10–1%) compuesto por una molécula de sucrosa conectada a una molécula de galactosa, y el tetrasacárido estaquiosa (1,40-4,10%) compuesto por una sucrosa conectada a dos moléculas de galactosa.

“Los oligosacáridos rafinosa y estaquiosa, protegen la viabilidad de la semilla de soya de la desecación, pero no son digeribles y por lo tanto, contribuyen a la flatulencia y molestias abdominales en humanos y otros animales monogástricos. Los oligosacáridos no digeridos, son degradados en el intestino por microbios nativos produciendo gases tales como dióxido de carbono, hidrógeno, metano”².

² http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_5.htm.
[Consulta: 29 de abril de 2011].

2.1.4. Difusión

Hasta principios del siglo XX, el cultivo y la alimentación humana con vaina de soya y sus derivados se reducía a los territorios de los actuales China, Taiwán, Corea, Japón y Vietnam.

Su difusión al occidente, se debe en gran medida, a los estudios del afroestadounidense George W. Carver, que no sólo valoró su uso para la alimentación humana, sino que fue uno de los pioneros en plantear el uso de derivados de soya, para producir plásticos y combustibles (en especial biodiésel).

Sin embargo, el cultivo masivo en occidente (en particular en el medio oeste estadounidense y en diversas zonas agrícolas de Argentina, Brasil, oriente de Bolivia y Paraguay), comenzó apenas en la década de 1970, para llegar a tener en la década de 1990 un auge extremado, sustituyendo en muchos casos, territorios antes dedicados a los auténticos cereales (trigo, maíz, etc.) o a la ganadería e incluso, amenazando áreas forestales.

2.1.5. Usos

Es usada para muchos productos que pueden reemplazar a otros de origen animal. La soya es utilizada por su aporte proteínico y también como alimento para animales, en forma de harina de soya, área en la que compite internacionalmente, con la harina de pescado.

El gran valor proteínico de la legumbre, (posee los ocho aminoácidos esenciales) lo hace un gran sustituto de la carne y subproductos como la leche de soya.

Es alimento de consumo habitual en países orientales como China y Japón, tanto fresca como procesada. De ella se obtienen distintos derivados como el aceite de soya, la salsa de soya, los brotes de soya, el tofu, nato o miso. Del grano de soya se obtiene el *poroto tausí*, que es el frijol de soya salado y fermentado, muy usado en platos chinos.

Algunos derivados:

- Leche de soya: producto tradicional asiático, conseguido por semilla molida, extraído en caliente en agua y cocido.
- Tofu o queso de soya: leche de soya coagulada con sales de magnesio o patada o vinagre; la humedad es variable según las preparaciones y crianza;
- *Tempeh*: semilla decorticado, cocido en agua y fermentado durante 24 a 48 horas de una seta; se tienen formas que son rebanadas y fritas.
- Fermentados, salsas y bebidas, típicos de la cocina oriental.

2.1.6. Beneficios y propiedades

- Reduce la tasa de azúcares en sangre (tratamiento de diabetes)
- Fuente de proteínas en la alimentación vegetariana
- Disminuye los niveles de colesterol
- Alivia el estreñimiento y favorece la digestión
- Previene los trastornos cardiovasculares
- Alivia los trastornos de la menopausia y menstruales por presentar:
 - Isoflavonoides: con acción hipocolesterolizante.
 - Fitoestrogenos: estrógenos de origen vegetal.
 - Previene la osteoporosis: por la reducción de estrógenos femeninos.

De la soya se obtienen diversos derivados, como la bebida de soya o el tofu, excelentes alimentos para personas intolerantes a la lactosa o alérgicas a la proteína láctea.

Por su composición lipídica, se obtienen derivados como la lecitina, utilizada como ingrediente por la industria agroalimentaria.

2.1.7. Relación con la salud

El consumo de productos de soya, ha sido relacionado a muchos beneficios de salud. Reduce los síntomas de la menopausia, disminuye el riesgo de enfermedad cardíaca y osteoporosis. Muchos de estos beneficios vienen de las isoflavonas de soya y los fitoestrógenos.

Las moléculas de isoflavonas son muy similares a los estrógenos, sus efectos sobre el organismo son muy distintos; es por lo tanto, que su consumo no presenta ningún riesgo para el hombre, sino al contrario.

2.1.8. Soya transgénica

En Argentina, Brasil, Uruguay, Bolivia, Paraguay y los Estados Unidos, se están cultivando y cosechando semillas de soya genéticamente modificadas, que son resistentes al herbicida no selectivo glifosato.

2.1.9. Producción mundial

La distribución mundial de producción de soya se muestra a continuación (ver figura 2).

Figura 2. **Producción mundial de soya**

Principales productores de soya - 2009 (millones de toneladas)		
Estados Unidos	96,1	38,61%
Brasil	61,6	24,75%
Argentina	52,5	21,09%
China	15,4	6,19%
India	10,1	4,06%
Paraguay	6,9	2,77%
Canadá	3,6	1,45%
Bolivia	2,7	1,08%
Total mundial	248,9	

Fuente: <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Soja.htm>. Consulta mayo de 2011.

2.2. Aceite de soya

El aceite de soya fue utilizado como materia prima de estudio en el trabajo de graduación por lo cual es importante conocer sus características.

2.2.1. Características nutricionales

El aceite de soya, resulta ser más equilibrado que el de oliva ya que posee los ácidos grasos esenciales Omega 3 y Omega 6, por lo que es un buen complemento para dietas, en donde abundan carnes rojas y carbohidratos.

2.2.2. Usos

Se emplea mayoritariamente en la gastronomía y se puede encontrar en salsas para ensaladas y aceites para freír alimentos. Al estar compuesto con tantos ácidos poliinsaturados, es muy aconsejable guardarlo en la nevera y consumirlo cuanto antes. No se aconseja probarlo si tiene olor a rancio.

En los últimos años, y a consecuencia del florecimiento de la industria del biodiésel, se está potenciando el consumo de grasas vegetales, en concreto el aceite de colza, aceite de girasol, aceite de soya y aceite de palmas.

“El aceite de soya se caracteriza por poseer moléculas de cadena larga de 13 a 16 enlaces, lo cual le da, especialmente a partir de los estudios de George Washington Carver, muy buenas propiedades para el uso industrial”³.

En el biodiesel obtenido del aceite de soya, se obtiene con relativa sencillez separándole de un 10% de glicerina; con aceite de soya se pueden elaborar, aparte de combustibles, plásticos.

2.2.3. Composición de ácidos grasos

- Saturados
- Ácido láurico contiene trazas
- Ácido mirístico contiene trazas
- Ácido palmítico 11-12%
- Ácido esteárico 3-5%
- Insaturados
- Ácido palmitoléico contiene trazas
- Ácido oléico 22,0%
- Ácido linoléico 54,0%
- Ácido linolénico 7,5%

³ GONZALES DÍAZ, Pedro. Memorias curso de usos industriales del aceite de soya. Realizado en Guadalajara, Jalisco, México. Centro de asistencia técnica y asociación americana de soya, A.C. 1996. 45p.

2.3. Refinación del aceite de soya

La refinación del aceite de soya, es básicamente un proceso de purificación, es decir un proceso de eliminación de impurezas.

El proceso de refinación de soya se puede clasificar en una refinación química y una física, ésta última se subdivide a su vez en dos procesos: blanqueo y desodorización.

2.3.1. Refinación química

El aceite crudo de soya (ACS), contiene dentro de lo que se puede clasificar como impurezas o compuestos no deseados: lecitina, fosfátidos (que contienen calcio y magnesio), gomas, jabón, agua, cuerpos de color y otros elementos extraños, que deben ser eliminados, o disminuir su presencia a un predeterminado mínimo, a través de los procesos de refinación química y física (blanqueo y desodorizado), para garantizar su durabilidad y estabilidad como producto terminado y para dar cumplimiento a las normas de calidad que son exigidas por empresas como Olmeca S.A. para su comercialización y mantener la excelente imagen que el mismo tiene ante todos los consumidores que lo prefieren. En Olmeca S.A., la refinación química que se realiza, es única en su género, debido a que la misma no coincide exactamente con los tratamientos convencionales que para la misma se recomiendan en el mundo entero.

La anterior refinación, surgió a partir de una complicación en el tratamiento del aceite crudo de soya que no cumplía con la prueba de frío requerida, por lo que se hizo necesario efectuar cambios en el proceso original, para poder cumplir con la especificación de calidad.

Los cuerpos de color como: la clorofila, los metales pesados, impurezas o elementos sólidos extraños, fracciones de ácidos grasos libres y agua, si pueden eliminarse a través de una refinación física, pero los fosfátidos, el jabón, la mayor parte de las gomas y lecitina, no se separan del aceite tan fácilmente, por lo que se hace necesario eliminarlos químicamente.

Esta eliminación química consiste básicamente, en un pre-tratamiento químico con ácido, seguido de una neutralización con una base, posteriormente se realiza una centrifugación para separar impurezas del aceite de soya, luego se realiza dos lavados con agua por medio de dos centrifugas más; este procedimiento se explicará con más detalle adelante.

El presente trabajo de graduación se planteó la sustitución de las dos centrifugas lavadoras, las cuales realizan una extracción líquido-líquido de jabones y gomas por el uso de tierra sílica, esta última reemplaza la extracción líquido-líquido por una sólido-líquido, el procedimiento adelante también se explica con más detalle.

2.3.2. Refinación física

La refinación física se realiza después de la refinación química, la cual consta de dos pasos, los cuales son:

2.3.2.1. Blanqueo

Consiste en remover la mayoría de la materia colorante, (beta caroteno, clorofila, xantofilas y otros pigmentos colorantes), así como metales y otras impurezas que quedan en el aceite. Las gomas se acondicionan, mezclándolas

con una solución de ácido cítrico. Cuando la reacción se completa, el exceso de ácido cítrico se neutraliza con carbonato de sodio.

2.3.2.2. Desodorización

Es normalmente la última etapa de la refinación de los aceites y por lo tanto, requiere especial atención para obtener un aceite de primera calidad. El objeto de este tratamiento es la eliminación completa, de todas las sustancias que le confieren al aceite un olor, sabor y acidez indeseables, dejándolo así, apto para el consumo humano.

Estas sustancias olorosas y saboreadoras, que son principalmente aldehídos y cetonas, son eliminadas al mismo tiempo como los ácidos grasos, siendo mucho más volátiles que el aceite, son destiladas por el vapor vivo en condiciones de vacío y a temperaturas elevadas.

Ciertos esteroides, como el tocoferol (cuya cantidad evaporada depende de la temperatura y el vacío con que funciona el desodorizador), también son eliminados. Cuanto más alta la temperatura, tanto más esteroides son eliminados. La desodorización es el aspecto final crítico en el procesamiento del aceite de soya.

2.4. Lípidos saponificables

- **Simples:** lípidos que sólo contienen carbono, hidrógeno y oxígeno.
- **Acilglicéridos:** cuando son sólidos, se les llama grasas y cuando son líquidos a temperatura ambiente, se llaman aceites.

- Complejos: son los lípidos que, además de contener en su molécula carbono, hidrógeno y oxígeno, también contienen otros elementos como nitrógeno, fósforo, azufre u otra biomolécula como un glúcido.
- Céridos: ceras.

A los lípidos complejos, también se les llama lípidos de membrana, pues son las principales moléculas que forman las membranas celulares.

- Fosfolípidos
- Fosfoglicéridos
- Fosfoesfingolípidos
- Glucolípidos
- Cerebrósidos
- Gangliósidos

“El ácido linoleico, un tipo de ácido graso y el principal en el aceite de soya”⁴.

Éstas son las unidades básicas de los lípidos saponificables, y consisten en moléculas formadas por una larga cadena hidrocarbonada, con un número par de átomos de carbono (12-24) y un grupo carboxilo terminal. Los ácidos grasos se dividen en saturados e insaturados.

- Saturados: sin dobles enlaces entre átomos de carbono, por ejemplo: ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido margárico, ácido esteárico, ácido araquídico y ácido lignogérico.

⁴ SHAHIDI, Fereidoon. Bailey's industrial oil and fat products, segunda edición, New Jersey, Editado por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 2005. 156 p.

- Insaturados: los ácidos grasos insaturados se caracterizan por poseer dobles enlaces en su configuración molecular.

Éstas son fácilmente identificables, ya que los dobles enlaces hacen que su punto de fusión sea menor que en el resto. Se presentan como líquidos, como aquellos que se llaman aceites, este tipo de alimentos, disminuyen el colesterol en sangre y también son llamados ácidos grasos esenciales.

Los animales no son capaces de sintetizarlos, pero los necesitan para desarrollar ciertas funciones fisiológicas, por lo que deben aportarlos en la dieta, la mejor forma y la más sencilla, para poder enriquecer la dieta con estos alimentos, es aumentar su ingestión, es decir, aumentar su proporción respecto los alimentos que son consumidos de forma habitual.

“Los denominados ácidos grasos esenciales no pueden ser sintetizados por el organismo humano y son el ácido linoleico, el ácido linolénico y el ácido araquidónico, que deben ingerirse en la dieta”⁵.

2.5. Lípidos insaponificables

- Terpenoides
- Esteroides
- Eicosanoides

⁵ SHAHIDI, Fereidoon. Bailey's industrial oil and fat products, segunda edición, New Jersey, Editado por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 2005. 156 p.

2.6. Adsorción

Es el proceso mediante el cual, un sólido poroso, a nivel microscópico, es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste.

El adsorbente dispone de nanoporos, lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas.

Estos centros activos admiten que se instalen moléculas de naturaleza distinta a la suya, procedentes de un gas en contacto con su superficie. La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado.

Las isothermas de adsorción, dan la cantidad de materia adsorbida en los nanoporos como una función de la cantidad de materia y cantidad de adsorbente.

La termodinámica sólo puede aplicarse a las isothermas de adsorción en el equilibrio, ésto significa que se debe poder llegar a cualquier punto de la curva elevando o disminuyendo la presión; en otras palabras, las curvas de adsorción y desorción tienen que coincidir.

2.7. Fisisorción

Es la forma más simple de adsorción, y es debida a débiles fuerzas atractivas, generalmente fuerzas de Van der Waals. Dado que estas fuerzas son omnipresentes, resulta que rápidamente cualquier superficie limpia expuesta al ambiente acumula una capa de material fisisorbido.

2.8. Quimisorción

La quimisorción ocurre cuando un enlace químico, definido en este caso como un intercambio de electrones, se forma. El grado de intercambio y lo simétrico que sea dependen de los materiales involucrados.

La quimisorción es particularmente importante en la catálisis heterogénea, la adsorción del reactivo por la superficie del catalizador crea un enlace químico, alterando la densidad electrónica alrededor de la molécula reactivo y permite reacciones que normalmente no se producirían en otras circunstancias, ambos tipos de adsorción suceden con el uso de tierra sílica.

2.9. Tierra de sílica y diatomea

La diatomita o tierra de diatomeas, es una roca sedimentaria silícea formada por micro-fósiles de diatomeas, algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.

Este material sirve de medio de filtración; su granulometría es ideal para la filtración del vino, también se utilizan para las filtraciones en química y en la fabricación de la cerveza. Se les utilizó, en particular, para estabilizar la nitroglicerina y formar con ella la dinamita.

Otras aplicaciones como agente abrasivo: para el pulido de metales, y en los dentífricos, sirve también como un pesticida natural no venenoso, sobre todo, en la agricultura biológica: la ingestión de partículas de sílice causa lesiones del tubo digestivo, la fijación sobre el cuerpo de los insectos les causa también lesiones que implican su muerte por deshidratación.

2.9.1. Composición

En su aspecto físico, las tierras de diatomeas o diatomita se presentan como rocas silíceas sedimentarias, de color blanco. A no ser por el bajo peso específico de este mineral, los afloramientos naturales de diatomitas pueden confundirse con ocurrencia de caolines, dolomita o yeso. Visto el mineral al microscopio, sin embargo, su carácter único queda de manifiesto.

La diatomita está constituida por restos fosilizados de plantas unicelulares acuáticas relacionadas con las algas, las diatomeas. Estos organismos prosperan comúnmente en medios lacustres o marinos de aguas poco profundas con contenido relativamente abundante de sílice soluble y boro. La presencia de diatomeas es visible incluso en lagunas de aguas quietas, en la forma de una nata iridiscente en la superficie, o una película gelatinosa de color café en las rocas y vegetación acuáticas.

Por su alto contenido en sílice, son también llamadas tierras de sílica, los depósitos actuales de diatomita, sin embargo, se originaron hace unos cincuenta millones de años durante el período terciario, y generalmente están asociados a presencia significativa de cenizas volcánicas. Como mineral, la diatomita está constituida esencialmente por sílice diatomácea. Este apelativo circular se explica por las características de la sílice biogénica, que no son comunes a otras formas de sílice natural.

En la diatomea, la sílice se encuentra en estado amorfo, hidratada y con cierto grado de cristalinización (en forma de alfa y beta cristobalita). La dureza del mineral oscila entre 4 y 5 en la escala de Mohs, no siendo simple la determinación de este valor debido a la fragilidad del fósil silíceo de la diatomea.

Las impurezas constitutivas de la sílice diatomácea, esencialmente alúmina y hierro, así como los detritos sedimentarios que acompañan al mineral por su origen como deposición, distinguen aún más a la sílice biogénica de otras ocurrencias de minerales de sílice. Normalmente, un depósito de tierras de diatomeas de alta pureza contiene entre un 86% a un 92% de dióxido de silicio (SiO₂).

2.9.2. Proceso industrial

El proceso industrial consiste esencialmente en una calcinación controlada a una temperatura próxima a la del punto de fusión de la sílice amorfa.

Mediante la calcinación, parte de la estructura terciaria de la frústula diatomácea se funde, disminuyendo de este modo la superficie específica del mineral procesado. El promedio de la distribución granulométrica de la materia prima, además, aumenta considerablemente por sinterización de fragmentos y escoriación de contaminantes arcillosos.

La sinterización es una operación metalúrgica de unión por soldadura entre dos o más partículas metálicas, en hornos a presión y temperatura especiales. Con este proceso se logran aumentar las razones de flujo en aplicaciones como ayuda filtrante, controlar la capacidad adsorptiva de las tierras y aumentar la blancura.

La calcinación con aditivos químicos consigue, además, reducir el nivel de contaminantes solubles por transformación de éstos en silicatos insolubles.

Este proceso, que envuelve reacciones químicas complejas en la superficie relativamente reactiva de la sílica amorfa, no se conoce suficientemente bien.

2.10. Filtración

El sistema es de filtración por tierras de diatomeas ó Kieselgur. Este sistema se basa en sostener agentes filtrantes sobre una malla formando una pre-capa o cama filtrante, para posteriormente pasar el aceite a filtrar, a través de las placas, de los filtros utilizados.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta sección se definió las variables utilizadas, recursos disponibles, campos de estudio, la técnica utilizada, recolección y ordenamiento de la información para poder analizar dicha información por medio de un análisis estadístico y así obtener los resultados como a continuación se presenta a detalle cada una de las partes mencionadas.

3.1. Variables

Como resultado de la revisión en artículos de revistas científicas, libros y trabajos de graduación, sobre los factores que influyen en el presente trabajo a realizar, se determinaron las variables de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados; además se determinaron qué factores se mantendrían constantes.

En la siguiente tabla se muestran las variables, para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya (*glycine max*) por medio de un método líquido-líquido y un sólido-líquido.

Tabla I. **Definición operacional de las variables, para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya (*glycine max*) por medio de un método líquido-líquido y un sólido-líquido**

No.	Variable	Dimensión	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Análisis de la cantidad de jabones y gomas en el aceite de soya (<i>glycine max</i>) a partir de diferentes tratamientos aplicados						
1.	Extracción líquido-líquido por medio de centrifugación			X	X	
2.	Extracción sólido-líquido por medio de tierra sílica		X		X	
3.	Flujo de aceite crudo de soya	Kg/hora	X		X	
4.	Temperatura	° C	X		X	
5.	Presión	mmHg	X		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II: **Definición operacional de las variables, para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya (*glycine max*) por medio de un método líquido-líquido y un sólido-líquido**

No.	Variable	Dimensión	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Análisis de la caracterización química						
1	Jabones	(%) jabones		X		X
2	Gomas	(%) gomas		X		X
3	Índice de peróxidos	Meq/Hg		X		X
4	Color	-----		X		X
5	Valor de P-anisidina	Ppm		X		X
6	Acidez	%FFA				
7	Ceras	Ppm				
8	Fosforos	Ppm				
9	Fosfatidos	Ppm		X		X
10	Clorofila a y b	-----		X		X
11	Prueba de frío	Horas		X		X
12	Índice de yodo	Wijs				

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables independientes

- Método de extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya (*glycine max*) utilizando una dosificación en la extracción líquido-líquido y tres dosificaciones en la extracción sólido-líquido con las mismas condiciones de temperatura, presión y flujo de aceite crudo de soya.

Tabla III. **Tratamientos en el proceso de extracción de jabones y gomas en aceite crudo de soya (*glycine max*)**

No	Flujo de aceite soya (kg/hora)	Tratamiento	Dosis de tierra de sílica (%de flujo)	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)
1	2 800	1*	-	70	
2	2 800	2*	0,012	70	
3	2 800	3*	0,015	70	
4	2 800	4*	0,018	70	

1= extracción líquido-líquido utilizando centrifugas lavadoras
2= extracción sólido-líquido utilizando tierra sílica al 0,012%
3= extracción sólido-líquido utilizando tierra sílica al 0,015%
4= extracción sólido-líquido utilizando tierra sílica al 0,018%

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes se muestran y explican brevemente a continuación:

- **Acidez (%)** Se midió el porcentaje de acidez del aceite de soya (*glycine max*).
- **Índice de yodo** Se mide la instauración de ácidos grasos y se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbido por gramo de aceite (porcentaje de yodo absorbido).

- Índice de peróxidos En este método se midió los mili-equivalentes de peróxido por 100 g de aceite, que oxidan el ioduro de potasio bajo las condiciones de la prueba.
- Valor de P-anisidina Mide la cantidad de aldehídos en aceites y grasas en una solución de ácido acético, con la que se mide la absorbancia a 350 nm.
- Ceras Se determina la cantidad de ceras en el aceite de soya para evitar que se nuble.
- Gomas En esta prueba se determina la cantidad total de fosfátidos y sustancias pegajosas que no interfieren de forma clara con la acidez del aceite.
- Color y clorofila Se mide por medio de espectrofotómetro.
- Prueba de frio Determina el tiempo el que tarda el aceite sin presentarse opaco en condiciones de bajas temperaturas.
- Jabones Determina la cantidad de jabones que presenta el aceite por medio de una titulación.
- Fosforos y fosfatidos Determina el porcentaje de fosforos y fosfatidos por medio de una espectrofotometría y comparación de la curva obtenida con un patrón previamente establecido.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Industria: producción de aceites y grasas comestibles.
- Proceso: refinación química del aceite crudo de soya.
- Etapa del proceso: extracción de jabones y gomas en la refinación química del aceite crudo de soya, mediante una separación líquida-líquida contra una sólida-líquida.
- Ubicación: planta de producción Olmeca S.A., carretera a El Salvador, kilómetro 16,5 entrada a Pavón.
- Clima: las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser deficitarias, en cuanto a la temperatura se registran los valores más bajos de país. clima templado a semifrío.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Aníbal Rogerio Rezzio Santizo
- Asesor: Ing. Qco. Ronal Herrera
- Co – asesor: Ing. Qco. Carlos Gudiel
- Colaborador: Ing. Qca. Lisely De León

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

Los recursos y equipos disponibles se podrían separar en tres grupos principales para fines de estudio, los cuales son:

- Fase experimental a estudiar
- Fase experimental complementaria para obtener el producto terminado
- Fase experimental a nivel de laboratorio

En la fase experimental complementaria, se tomó el equipo como un conjunto, sin entrar en detalle en los elementos que conforman dicho conjunto. Los dos equipos de conjuntos fueron; Blanqueador y desodorizador.

3.4.1. Materia prima y reactivos de la fase experimental a estudiar

- Aceite crudo de soya
- Tierra silica
- Agua
- Ácido fosfórico
- Hidróxido de sodio
- Fenolftaleína

3.4.2. Equipos de la fase experimental a estudiar

Los principales equipos que se utilizaron en la fase experimental en la refinería química de soya son:

- Centrifugas
- Mezcladores
- Secador a vacío
- Bombas centrifugas
- Filtros
- Intercambiadores de calor

3.4.3. Reactivos de la fase experimental a nivel laboratorio

A nivel laboratorio se utilizaron reactivos, los cuales se mencionan a continuación:

- Hidróxido de sodio
- Alcohol etílico
- Hidróxido de potasio
- Acetona
- Bromofenol
- Ácido clorhídrico
- Ácido acético
- Ácido fosfórico
- Hexano
- Oxido de aluminio
- Oxido de zinc
- Agua destilada
- Sulfato de hidrazina
- Isooctano
- Reactivo P-anisidina
- Cloroformo
- Yoduro de potasio
- Tiosulfato de sodio
- Solución de almidón

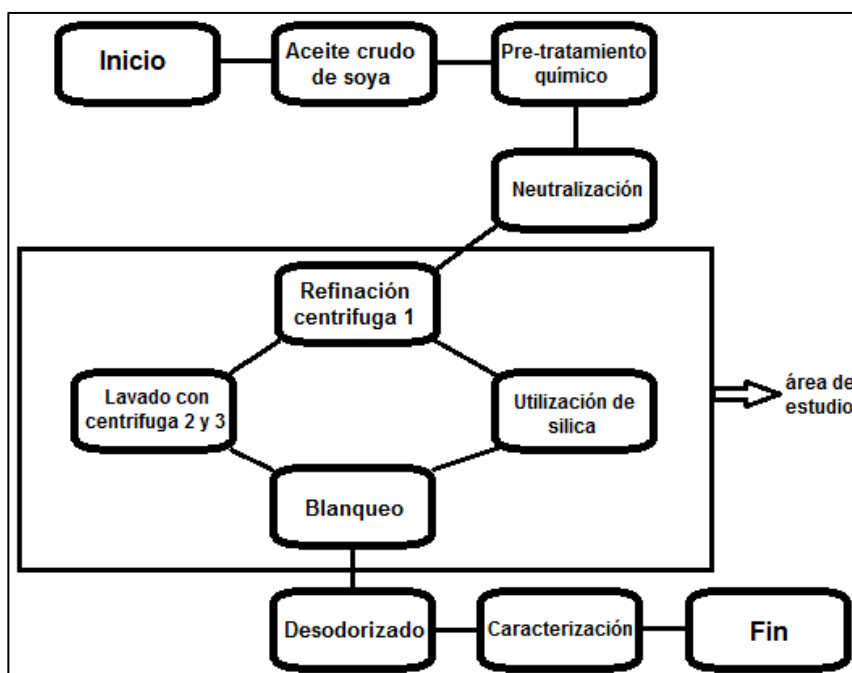
3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La técnica utilizada con para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya se explica a continuación.

3.5.1. Diseño general

A continuación se muestra el diagrama del diseño general utilizado durante todo el proceso, delimitando por un recuadro el área en estudio. (Ver figura 3).

Figura 3. Diseño general



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Preparación del aceite crudo de soya (*glycine max*) para la separación líquido-líquido o sólido-líquido

Para la refinación química de aceite crudo de soya se realizaron varias operaciones las cuales se describirán a continuación, la refinación química, como se mencionó anteriormente, se realiza para eliminar impurezas o contaminantes (compuestos no deseados), entre los que se pueden mencionar fosfáticos, lecitina, agua, cuerpos de color, gomas y jabón.

Estos últimos son el motivo de estudio, para lo cual es necesario modificar parte del procedimiento que se realiza actualmente.

Para el método de extracción de jabones y gomas por medio de una separación líquido-líquido, se utilizó el método convencional y que actualmente se usa en la planta de aceites y grasas donde se realizó dicho estudio.

Este método consiste en darle un pre tratamiento ácido al aceite crudo de soya por medio de ácido fosfórico el cual se aplica al aceite de soya por medio de un mezclador en línea y luego pasa a un tanque donde se espera seis horas para que el ácido fosfórico pueda precipitar y flocular las gomas que no se disuelven en agua y fosfátidos, haciéndolos solubles.

El ácido fosfórico es higroscópico y un ácido poliprótico que tiene tres disociaciones a partir de las cuales, es posible captar otros iones tales como los contenidos en los fosfátidos del aceite crudo de soya (calcio y magnesio) que se precipitan como sales insolubles en agua, debido a que el ácido fosfórico los separa y reacciona posteriormente con el jabón que forma la soda cáustica, al entrar en contacto con los ácidos grasos disueltos en el aceite crudo de soya

(lo que se le llama *soap stock*) y que es insoluble en el aceite, que atrapa iones de calcio y magnesio que pueden separarse a través de centrifugación.

Esta separación por centrifugación se realiza posteriormente a realizar la neutralización con soda cáustica (hidróxido de sodio) para lo que se utiliza dos mezcladores con distinto tiempo de retención en cada uno.

En la primera centrifugación separa el aceite de soya del *soap stock*, en donde están las impurezas que se mencionó al inicio de la refinación química, posterior a la centrifuga, uno se calienta para pasar a la siguiente fase en donde se agrega soda cáustica nuevamente, solo de ser necesario, para terminar de realizar la neutralización.

En este punto, el aceite de soya está listo para optar por la extracción líquido-líquido o la sólido-líquido de los jabones y gomas que aun están presentes.

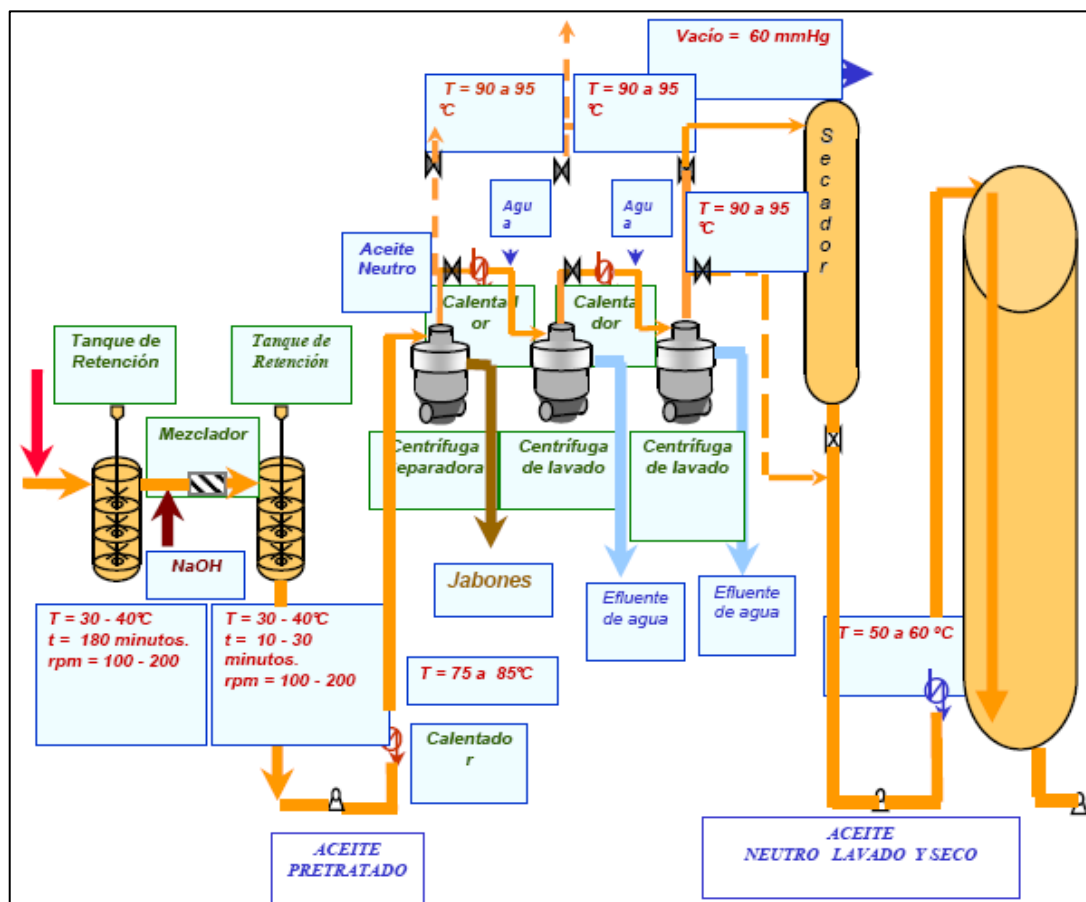
3.5.3. Extracción líquido-líquido de jabones y gomas del aceite crudo de soya

Se realiza por medio de dos centrifugas en las cuales se adiciona de agua previo a la centrifugación, con esto se logra separar un líquido de otro líquido permitiendo separarlos por su insolubilidad uno del otro.

La parte acuosa arrastra con los jabones y gomas que son mas solubles en agua que en aceite y por medio de la diferencia de pesos específicos se logra separar en la centrifugación.

Para el lavado se utilizan dos centrifugas, en la primera centrifuga lavadora se agrega agua caliente lo que mejora la solubilidad de los compuestos que se deseen eliminar del aceite, mientras en la centrifuga dos se realiza con agua con menor temperatura, esta última centrifuga asegura la correcta extracción de jabones y gomas de aceite de soya, en las dos centrifugas lavadoras se eliminan también otras impurezas que pudieran estar en el aceite de soya que tengan un mayor peso específico.

Figura 4. Diagrama del proceso de extracción líquido-líquido



Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_5.htm.

Consulta: abril de 2011.

3.5.4. Extracción sólido-liquido de jabones y gomas del aceite crudo de soya

Se realiza por medio de tierra sílica la cual es un absorbente natural que elimina jabones, gomas, metales e impurezas, la tierra sílica es agregada al aceite crudo por medio de un dosificador que es un tornillo sin fin, la mezcla se traslada al siguiente proceso directamente sin necesidad de filtrarla.

Esto es posible debido a que la cantidad de tierra sílica agregada es un bajo porcentaje, la tierra a su vez ayuda el proceso de blanqueo y elimina la clorofila en el producto final de soya.

El porcentaje que se utilizará va correlacionado directamente con la cantidad de jabón que está presente en el aceite crudo de soya, el cual se mide después de pasar por la primera centrifuga.

3.5.5. Blanqueo y desodorización del aceite refinado de soya

El proceso de blanqueo y desodorización no se estudian en el presente trabajo de graduación, sin embargo se mencionan porque sin estos procesos no es posible obtener un aceite apto para el consumo humano que cumpla con las condiciones de calidad que el mercado requiere.

El blanqueo se realiza por medio del contacto del aceite con tierras ácidas activadas del tipo bentonitas o montmorillonitas, siendo éste un proceso de adsorción que remueve color y algunas otras impurezas menores como trazas de metales, aldehídos, compuestos sulfúricos; mientras la reducción de color es el efecto más obvio, la remoción de impurezas menores es de mayor importancia.

La adsorción en el blanqueo puede remover jabones residuales en el aceite en un rango de 20 a 70 partes por millón (ppm).

La remoción de color en el blanqueo de aceite de soya elimina pigmentos producidos por carotenos y es necesaria para proveer acabados aceptables al producto.

El blanqueo de un aceite consiste en la reducción de color o pigmentación, se logra cuando el aceite se pone en contacto con tierra activada, la cual tiene un contenido mínimo de humedad de 10%.

El contacto inicial de la tierra y el aceite se realiza a temperaturas mucho menores que el punto de ebullición del agua y después del mezclado la temperatura debe elevarse por arriba del punto de ebullición del agua a presión reducida o negativa para poder eliminar la humedad presente.

A continuación se procede a eliminar las tierras del aceite por medio de filtración.

La desodorización es un proceso de separación de corrientes, donde la corriente de buena calidad, generada a partir de agua de entrada desairada y tratada adecuadamente, es inyectada al aceite con una presión absoluta y con temperatura suficientemente alta para vaporizar los ácidos grasos libres, así como los compuestos odoríferos.

El papel de la desodorización en el procesamiento y la refinación de aceites comestibles ha sido aceptado desde hace mucho tiempo, como el último paso en la preparación de aceite para usarse como un ingrediente en la margarina, manteca, aceite para cocinar, mantequillas duras para la industria de confitería así como muchos otros productos de la industria alimenticia.

En algunos lugares prefieren que el aceite tenga un sabor y olor más fuerte; en tanto que otros, optan por un color más típico.

Con publicidad razonable, pueden modificarse las preferencias de la persona; sin embargo la mayor parte del mundo quiere que el aceite o grasa tenga un sabor fundamentalmente suave, incoloro y de ser posible casi tan claro como el agua, insaboro y con un contenido de ácidos grasos libres (AGL) menores a 0,03%.

La desodorización, por ser el último proceso de la refinación, no puede corregir un aceite cáustico que no ha estado bien refinado, un aceite blanqueado con un alto índice de peróxido o con tierra de blanqueo residual, o con aceite hidrogenado que contenga níquel coloidal residual, para obtener un producto de calidad se debe poner atención a la calidad en todas las etapas de su procesamiento.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

El aceite de soya (*glycine max*) se monitoreó desde la entrada a la refinación química hasta después de la desodorización, de donde momento en el cual es un aceite apto para el consumo humano, para esto se obtuvo distintos datos en cada una de las etapas en la cual que se encuentre la soya.

Para el aceite crudo de soya, se tuvieron datos generales como las condiciones a las que se está recibiendo el producto, tales como: cantidad de gomas, jabones, acidez, fosfátidos, fósforos, peróxido, color, índice de yodo., saliendo de la centrifuga uno, se realizó análisis, para comparar las condiciones, bajo las cuales entró la soya a los tratamientos con los dos métodos distintos utilizados, con sus dosis respectivas.

Al terminar los tratamientos se evaluaron todos los datos posibles para poder analizar su comportamiento y tendencias.

Posteriormente al blanqueo y desodorización también se realizaron evaluaciones como un control y forma de garantizar que, con los tratamientos utilizados se obtuvieron los resultados que se necesita para satisfacer adecuadamente al cliente con las propiedades del producto final.

Tabla IV. Datos físico – químicos del aceite de soya que se tomaron como parámetros para la evaluación

Propiedad	Valor
Jabones	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Gomas	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Índice de Peróxidos	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Datos físico – químicos del aceite de soya que se tomarán como parámetros para la evaluación

Propiedad	Valor
Color	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Valor de P-anisidina	---
Acidez	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Ceras	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Fosforos	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Fosfatidos	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Clorofila a y b	Depende de la fase en la encuentra la soya analizada
Prueba de frio	5 horas
Índice de yodo	126-132

Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Consiste en determinar qué resultados de las variables se presentan, los procedimientos y las relaciones entre las variables para dar respuesta al problema.

3.7.1. Determinación de porcentaje de acidez

- Desarrollo del método

La muestra debe estar bien mezclada y completamente líquida antes del pesado; nunca se debe calentar la muestra más de 10°C arriba de su punto de fusión, utilizar la tabla VI para determinar el peso de muestra para varios rangos de ácidos grasos.

Pese la cantidad designada para la muestra en una botella de muestra de aceite o *earlenmeyer*, adicionar la cantidad especificada del alcohol caliente neutralizado de acuerdo a la tabla VI y 0,2 ml del indicador.

Titular con la solución estándar de hidróxido de sodio, agitando vigorosamente hasta que aparezca el primer color rosado permanente, de la misma intensidad que la del alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra.

El color debe persistir por 30 segundos como mínimo, para poder determinar que se ha terminado la titulación.

Tabla VI. **Ácidos grasos libres, alcohol y concentración alcalina**

Rango AGL (%)	Muestra (g)	Alcohol (ml)	Concentración de hidróxido de sodio (N)
0,00 a 0,2	56,4 +/- 0,2	50	0,1
0,2 a 1,0	28,2 +/- 0,2	50	0,1
1,0 a 30,0	7,05 +/- 0,05	75	0,25
30,0 a 50,0	7,05 +/- 0,05	100	0,25 a 1,0
50,0 a 100	3,525 +/- 0,001	100	1,0

Fuente: elaboración propia.

- Cálculos

El porcentaje de ácidos grasos libres en la mayoría de tipos de grasa y aceites se calcula como ácido oleico (soya, maíz, algodón, canola, girasol, oliva, etc), sin embargo para los aceites de coco y de palmiste, es frecuente que se exprese como ácido laúrico, y en el aceite de palma, en términos de ácido palmítico:

$$\% \text{ AGL, como oleico} = \frac{\text{ml base} \times \text{N} \times 28,2}{\text{peso muestra}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\% \text{ AGL, como laurico} = \frac{\text{ml base} \times \text{N} \times 20,0}{\text{peso muestra}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\% \text{ AGL, como laurico} = \frac{\text{ml base} \times \text{N} \times 20,0}{\text{peso muestra}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Los ácidos grasos libres son frecuentemente expresados en términos de acidez, en lugar del porcentaje de ácidos grasos libres. El valor de acidez se

define como el número de miligramos de KOH necesario para neutralizar 1g de muestra. Para convertir el porcentaje de ácidos grasos libres (como oleico) a valor de acidez, multiplíquese el porcentaje de ácidos grasos libres por 1,99.

3.7.2. Determinación de porcentaje de jabón

Para determinar el porcentaje de jabón se desarrolló el siguiente método:

- Diluir en 0,5 ml de la solución indicador de bromofenol por cada 100 ml de solución de acetona en agua.
- Añadir aproximadamente 40 g de muestra, se observará una coloración azul o verde (esto indicará presencia de jabón en la muestra).
- Añadir 1ml de agua a la solución, calentándola en baño María, agitando vigorosamente.

Si hay presencia de jabón proceder a la titulación con 0,01N o 0,1N de HCl hasta alcanzar viraje de color amarillo.

Cálculo:

$$\% \text{ de jabón} = \frac{G * N_{HCl} * 304,400}{P} \quad (\text{Ecuación 4})$$

G= Gasto de la solución de Hcl al 0,01 ó 0,1N

NHC= Normalidad de la solución de ácido clorhídrico

P= Peso de la muestra

3.7.3. Determinación de ceras

Para determinar la cantidad de ceras se desarrolló el siguiente método:

- Se prepara el primer tubo de ensayo aforado con acetona, verificando que se encuentre libre de impurezas.
- Se lee el valor de NTU en el Turbidímetro Quant 1500T para la acetona, ajustando el aparato a escala 2.
- Se pesa el segundo tubo de ensayo vacío, para tener el peso tara, y se pesan 4,6 gramos de muestra.
- Se agita la muestra preparada con acetona hasta formar una mezcla homogénea, se afora y se lee.

Cálculo:

$$\text{CERA (ppm)} = (\text{NTU muestra} - \text{NTU blanco}) * 39,2 + 40,1 \quad (\text{Ecuación 5})$$

3.7.4. Determinación de ceras por gravimetría

Para determinar la cantidad de ceras por gravimetría se desarrolló el siguiente método:

- Pesar 25 g de aceite en un *earlenmeyer* de 250 ml y añadirle 100 ml de acetona. Mantener la mezcla en refrigeración (a 0 °C aproximadamente) por 12 horas.

- Introducir una pequeña cantidad de óxido de aluminio (ayuda filtrante) en un crisol *gooch*.
- Colocarlo en la boca del *kitasato* (con ayuda de un tapón de hule con orificio en el centro), y conectarlo a la bomba de vacío.
- Observar la formación de una fuerte capa de ayuda filtrante.
- Colocar el crisol *gooch* en la mufla a 600 °C durante 2 horas.
- Transcurrido el tiempo se enfrían los crisoles a temperatura ambiente y se pesan (1).
- Se coloca la muestra que permaneció en refrigeración por 12 horas en los crisoles *gooch*, lavando el *erlenmeyer* con 25 ml de acetona (3 lavados).
- Hacer pasar la muestra por el crisol *gooch* utilizando el sistema del paso 6.2.
- Introducir los crisoles *gooch* con la muestra en el horno a 105 °C por una hora y media.
- Retirar el crisol, enfriar a temperatura ambiente y pesar (2).
- Calcular la cantidad de ceras.

Cálculo:

$$\text{Ceras (ppm)} = \frac{(\text{peso crisol } gooch (2) - \text{peso crisol g.}(1)) * 1\,000\,000}{25}$$

(Ecuación 6)

3.7.5. Determinación de fósforos y fosfátidos por espectrofotometría

Para determinar la cantidad de fósforos y fosfátidos por espectrofotometría se desarrolló el siguiente método:

- Pesar 3,0 – 3,2 ± 0,001 g de muestra dentro de un crisol, añadir 0,5 g de óxido de zinc.
- Calentar cuidadosamente en una estufa hasta que la muestra se espese, entonces aumentar gradualmente el calor hasta carbonizar la muestra.
- Colocar los crisoles con muestras en una mufla a 550 – 600 °C y esperar por 2 horas.
- Luego sacar los crisoles y esperar a que se enfríen.
- Añadir 5 ml de agua destilada y 5 ml de HCl concentrado a la ceniza.
- Tapar el crisol con un vidrio reloj y calentar a temperatura baja por 5 minutos.

- Filtrar la solución en un *erlenmeyer* de 100 ml lavar el vidrio reloj de lado de adentro y los lados del crisol con aproximadamente 5 ml de agua destilada caliente.
- Lavar el crisol y el papel filtro con 4 porciones adicionales de 5 ml de agua destilada caliente.
- Enfriar a temperatura ambiente y neutralizar para una ligera turbiedad por la adición gota a gota de solución de hidróxido de potasio (KOH) al 50%.
- Añadir HCl concentrado gota a gota hasta que precipite el óxido de zinc, añadir dos gotas adicionales.
- Diluir a volumen con agua destilada y mezclar profundamente.
- Pipetear 10 ml de esta solución dentro de un *erlenmeyer* seco y limpio de 50ml.
- Añadir 8 ml de solución de sulfato de hidrazina y 2 ml de molibdato de sodio en ese orden.
- Tapar e invertir 3 veces por 4 tiempos. Aflojar el tapón y calentar por $10 \pm 0,5$ min en un baño de agua caliente ($85\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Remover del baño, enfriar a $25 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un baño de agua, diluir a volumen y mezclar profundamente.

- Transferir la solución a una cubeta limpia y seca. Medir la absorbancia a 650 nm con el instrumento ajustado para leer 0% de absorbancia (100 % transmitancia) para una cubeta conteniendo agua destilada (ver recomendaciones).
- Preparar un blanco sin muestra de aceite y seguir el procedimiento tal como se describe en los pasos anteriores.
- Medir el contenido de fósforo en la muestra y el blanco por comparación con la curva estándar, obtenida como a continuación se explica.

El método desarrollado para la preparación de la curva estándar se lista a continuación

- Pipetear 0,1, 2, 4, 6, 8 y 10 ml, de la solución estándar de trabajo dentro de un erlenmeyer de 50 ml. Diluir cada una a 10 ml con agua destilada, usando una pipeta. Proceder tal como se menciona en los 4 últimos pasos del procedimiento. Las alícuotas corresponderán respectivamente, a 0, 0,01, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 y 0,10 mg de fósforo.
- Plotear los valores de la absorbancia de cada estándar contra el contenido de fósforo en mg, y trazar la gráfica en un papel milimetrado.

Cálculo:

$$\% \text{ Fósforo} = (10 * (A - B)) / (W * V) \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\text{Equivalente a \% fosfátidos} = \% \text{ fósforo} * 30 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

A = contenido de fósforo en la alícuota de muestra en mg

B = contenido de fósforo en la alícuota del blanco en mg

W = peso de la muestra en g

V = volumen de la alícuota tomada en el paso 8

3.7.6. Determinación de gomas

Para determinar el contenido de gomas en una muestra de aceite de soya se realizó el siguiente método:

- Agregar a la muestra 1 gota de ácido fosfórico y 10 ml de agua destilada hervida.
- Calentar la mezcla a 70 °C con agitación durante 10 minutos.
- Llenar un tubo de ensayo con la muestra (o los que sean necesarios), para colocarlo en la centrífuga durante 10 a 15 minutos.
- Vaciar el aceite separado en centrífuga y dejar solo las gomas.
- Realizar dos lavados consecutivos con hexano a las gomas depositadas y agregarlas a un *beacker* de 250 ml previamente tarado.
- Terminar de sacar todas las gomas del tubo de ensayo con espátula y destilar el hexano, calentando la muestra a 70 °C en el horno.
- Pesar el *beacker* de 250 ml conteniendo las gomas secas.

Cálculos:

$$\% \text{ GOMAS} = ((\text{PG} - \text{PB}) / \text{PG}) \times 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

PG = peso del *beacker* de 250 ml + peso de gomas secadas.

PB = peso del *beacker* de 250 ml.

3.7.7. Determinación de P- anisidina

Para determinar la P-anisidina en una muestra de aceite de soya se realizó el siguiente método:

- La muestra debe estar filtrada y sin contenido de humedad.
- Pesar de 0,5 a 4,0 +/- 0,001g de muestra en un matraz volumétrico de 25 ml. Diluir a volumen con isooctano.
- Mida la absorbancia (A_b) de la solución a 350 nm, en una cubeta, con el espectrofotómetro, usando de referencia la cubeta llena de solvente como blanco.
- Pipetear exactamente 5 ml de la solución aceitosa en un tubo de ensayo y exactamente 5 ml del solvente en otro tubo de ensayo.
- Utilizando una pipeta automática, adicionar exactamente 1ml del reactivo P-anisidina (solución) para cada tubo y agite.

- Luego de 10 minutos exactos, medir la absorbancia (A_s) del solvente en el primer tubo de ensayo en una cubeta a 350 nm, usando la solución del segundo tubo de ensayo como blanco en la cubeta de referencia.

Cálculo:

El valor de P-anisidina (p-A.V.) es dado por la siguiente fórmula:

$$p\text{-A.V.} = \frac{25 * (1,2 A_s - A_b)}{m} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

A_s = absorbancia de la solución aceitosa después de la reacción con el reactivo P-anisidina.

A_b = absorbancia de la solución de aceite.

m = peso de la muestra, gramos.

3.7.8. Prueba de frío

Para determinar la prueba de frío en una muestra de aceite de soya se realizó el siguiente método:

- Filtrar una cantidad suficiente de muestra (200 a 300 ml) por medio de papel filtro y luego caliente una porción filtrada.
- Agitar la muestra continuamente mientras calienta y quite del calor inmediatamente cuando la temperatura llegue a 130 °C.

- Llenar una botella de muestra completamente y colocar un tapón cuidadosamente (para evitar que se introduzca agua).
- Ajustar la muestra y la botella a 25 °C en un baño de agua y luego tapar la misma.
- Introducir la botella de muestra en el baño de agua con hielo hasta que la botella esté completamente cubierta con agua y hielo.
- Rellenar con hielo tan a menudo como sea necesario para guardar la solidéz del baño, de otra manera la temperatura se elevará arriba de 0 °C. Es indispensable que el baño se encuentre a 0 °C.
- Al pasar 5,5 hrs, sacar la botella del baño y examinar cuidadosamente los cristales grasos o nublamientos. No confundir pequeñas y finas burbujas de aire con cristales.
- Para pasar la prueba, la muestra debe estar completamente clara y brillante.

3.7.9. Punto de nublamiento

Para determinar el punto de nublamiento de una muestra de aceite de soya se realizó el siguiente método:

- La muestra debe estar completamente seca antes de realizar la prueba. Si la muestra contiene trazas de humedad, se debe filtrar.

- En caliente de 60 a 75 g de muestra a 130 °C justo antes de realizar la prueba. Introducir 45 ml del aceite en la botella de prueba.
- Luego enfriar la botella y colocarla en el baño con agua, agitar procurando que la temperatura esté uniforme.
- Cuando la muestra ha bajado a temperatura cerca de 10°C arriba del punto de nublamiento, continuar la agitación fuerte y rápida en forma circular para así prevenir el superenfriamiento y solidificación de los cristales grasos en el fondo y las paredes de la botella.
- De aquí en adelante, no sacar el termómetro de la muestra: al hacerlo puede introducir burbujas de aire las cuales pueden interferir con la prueba.
- La botella de prueba se mantiene en posición fija en donde el nivel de la muestra se encuentre al mismo nivel que el agua del baño.
- Remover la botella del baño y revise regularmente.
- El punto de nube es aquella temperatura a la cual la porción del termómetro sumergida en el aceite ya no es visible, cuando se observa horizontalmente a través de la botella y la muestra.

3.7.10. Determinación de valor de peróxidos

Para determinar el valor de peróxidos en una muestra de aceite de soya se realizó el siguiente método:

- Pesar 5,00 +/- 0,05 gr de muestra en un *earlenmeyer* de 250 ml con un tapón de vidrio.
- Agregar 30 ml de solución de ácido acético-cloroformo 3:2. Agitar para disolver la muestra.
- Agregar 0,5 ml de solución saturada de yoduro de potasio (KI).
- Dejar que la solución repose, agitando ocasionalmente 1min exacto, y luego inmediatamente agregar 30 ml de agua destilada.
- Titular con tiosulfato de sodio 0,01N, adicionándolo gradualmente, agitando constantemente. Continuar la titulación hasta que el color amarillo casi desaparezca.
- Agregue 0,5 ml de la solución de almidón, y continuar la titulación con agitación.
- Cerca del punto final agregar el tiosulfato en gotas hasta que desaparezca el color azul.
- Hacer una determinación con un blanco diariamente. La titulación no debe exceder 0,1 ml de la solución de tiosulfato de sodio 0,01N.

Cálculo:

$$\text{Valor de peróxido (meq/ 1 000gr)} = \frac{(S - B) \times N \times 1\,000}{\text{gr (peso muestra)}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

B = titulación del blanco, ml

S = titulación de la muestra, ml

N = normalidad de solución de tiosulfato de sodio

3.7.11. Determinación de color

La determinación de color se hace por medio de un espectrofotómetro, el cual mide longitud de ondas realizándose el siguiente procedimiento:

- Trasvasar la muestra preparada a una celda de una longitud suficiente para dar una lectura de color dentro de los rangos que establece.
- Asegurar que la celda este profundamente limpia y seca, y si es necesario, precalentar para que ninguna materia sólida se separe de la muestra durante la determinación.
- Colocar la celda dentro del equipo y leer los resultados.
- El equipo proporcionará el valor en escala rojo y amarillo.

Tabla VII. **Formato para la caracterización del aceite crudo de soya en cada una de las etapas**

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Refinado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones					
Gomas					
Índice de peróxidos					
Color					
Valor de P-anisidina					
Acidez					
Ceras					
Fosforos					
Fosfatidos					
Clorofila a y b					
Prueba de frio					
Índice de yodo					

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Para la caracterización del aceite de soya en cada una de sus etapas del proceso, se utilizarán los parámetros antes definidos y como variables el tratamiento a aplicar, los cuales son tres tratamientos con tierra de silica y un tratamiento con centrifugas lavadoras, haciendo un total de 4 tratamientos y 4 repeticiones dando un total de 16 muestras. Éstas se monitorearan a lo largo del proceso para luego realizarles el análisis estadístico.

El análisis estadístico de los datos se llevará a cabo por medio de un Andeva multivariado y la distribución por un diseño de bloques aleatorio con la distribución de Fisher, debido a que se tratan más de dos niveles. Los datos se arreglaron como sigue:

Tabla VIII. Datos típicos para el diseño de bloques al azar

Tratamientos	Bloques				
	1	2	3	4	Promedio
1	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}	Y _{1,4}	Y _{1prom}
2	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}	Y _{2,4}	Y _{2prom}
3	Y _{3,1}	Y _{3,2}	Y _{3,3}	Y _{3,4}	Y _{3prom}
4	Y _{4,1}	Y _{4,2}	Y _{4,3}	Y _{4,4}	Y _{4prom}
Promedio	Y _{1prom}	Y _{2prom}	Y _{3prom}	Y _{4prom}	y

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$Y_{i,j}$ = total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento

y = promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento.

Y_{a,b} = datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento.

Generalmente el procedimiento para un diseño de bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con un solo factor con a niveles. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal.

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

y_{ij} = observación

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento iésimo

β_j = efecto del bloque jésimo

ε_{ij} = error aleatorio

Los efectos de bloque y tratamiento se definen como desviaciones respecto a la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados.

Figura 5. **Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo
Tratamientos	$\sum_{i=1}^a y_i^2 / b - y^2 / ab$	a - 1	$(SS_{\text{tratamientos}}) / (a - 1)$	$(MS_{\text{tratamientos}}) / MS_E$
Bloques	$\sum_{j=1}^b y_j^2 / a - y^2 / ab$	b - 1	$(SS_{\text{bloques}}) / (b - 1)$	
Error	SS _E (por sustracción)	(a - 1)(b - 1)	$(SS_E) / [(a - 1)(b - 1)]$	
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - y^2 / ab$	ab - 1		

Fuente: GARCÍA REGUEIRO, Juan. *Nuevas tendencias en el análisis de ácidos grasos*. p. 25.

La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como:

$$F = \frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$$

Donde

MStratamientos = la media cuadrática de los tratamientos

MSE = es la media cuadrática del error; y que para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$ y con 2 grados de libertad para tratamientos y 3 para bloques.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos después de realizar la fase experimental y analizar los datos obtenidos se presentan a continuación.

Tabla IX. **Promedio y varianza del porcentaje de jabón en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado**

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	0	0
Sólido-líquido	Silica 0,12%	7,195	6,411
	Silica 0,15%	0	0
	Silica 0,18%	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Promedio para la cantidad de ceras en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado**

Método	Tratamiento	Promedio
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	0
Sólido-líquido	Silica 0,12%	0
	Silica 0,15%	0
	Silica 0,18%	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Evaluación de los aspectos ambientales en los que difiere un método del otro con un valor numérico**

Elemento a analizar	Observación del efecto y mitigación para cada método			
	Líquido-líquido	Valor	Sólido-líquido	valor
Tierra de sílica	No se produce	0*	Se produce según la dosificación pero se mitiga eliminándola en la caldera de biomasa donde se utiliza como combustible, obteniendo únicamente ceniza que se utiliza para corregir pH y estructura del suelo.	1*
Energía eléctrica.	Consumo extra para operar dos centrifugas lavadoras, dos bombas centrifugas y dos mezcladores dinámicos.	2*	No tiene consumo extra al proceso.	0*
Agua	Se utiliza para realizar el lavado en la centrifuga dos y tres, el agua se desecha y es tratada fisicoquímicamente para que cumpla con normas ambientales del país y así poder eliminarla.	1*	No se utiliza agua extra al proceso.	0*
Tratamiento de agua	Es un tratamiento fisicoquímico aprobado por las normas nacionales para verter aguas de desecho utilizadas para el proceso.	1*	No es necesario pues no se utiliza agua extra.	0*
vapor	Se utiliza para calentar la soya y el agua para realizar el lavado, por lo tanto tenemos mayor consumo energético en nuestra caldera y mayor producción de gases de combustión	1*	No se tiene ningún consumo extra de vapor.	0*
	Valor total	5	Valor total	1

Fuente: elaboración propia.

Donde el valor numérico representa:

- 0= No representa ningún aspecto ambiental
- 1= Representa un bajo efecto en un aspecto ambiental
- 2= Representa un efecto medio en un aspecto ambiental
- 3= Representa un alto efecto en un aspecto ambiental

Tabla XII. **Costos para cada tratamiento utilizado, representados numéricamente utilizando un factor**

Razón	Costo %			
	Centrifugas lavadoras	Sílica 0,12%	Sílica 0,15%	Sílica 0,18%
Costo de sílica	0	14,82	18,53	22,23
Energía eléctrica	10,97	0	0	0
Agua de lavado	0,75	0	0	0
Retención de aceite en sílica	0	4,9	6,13	7,35
aceite en agua de lavado	0,97	0	0	0
Tratamiento de agua	1,49	0	0	0
Mantenimiento de centrifugas lavadoras	3,35	0	0	0
Vapor	8,51	0	0	0
Total	26,04	19,72	24,65	29,58

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo del presente trabajo de investigación fue comparar la extracción de jabones y gomas por un método líquido-líquido contra un sólido-líquido en la refinación química del aceite crudo de soya, utilizando para el método, sólido-líquido, tres concentraciones distintas de sílica.

La realización de la investigación, se llevó a cabo en la planta de producción de Olmeca, S. A. y en el laboratorio dentro de la misma empresa, por medio de los procedimientos anteriormente descritos, se obtuvo que es factible la utilización de cualquiera de los cuatro tratamientos para la eliminación de gomas en el aceite de soya ya que no presentó diferencia significativa durante su evaluación.

Para la extracción de jabones, existe diferencia significativa en la calidad final del aceite de soya al comparar el uso de un método sólido-líquido y un líquido-líquido durante su refinación, específicamente utilizando una dosificación de 0,12% de sílica, para las dosificaciones de sílica del 0,15% y 0,18% no existió diferencia significativa al compararlo con el método líquido-líquido según el análisis de varianza realizado.

Al analizar los demás parámetros de calidad, se observó que no existió variación significativa en cuanto a índice de yodo, color, contenido de ceras, fósforos, fosfátidos, clorofilas A y B, para ninguno de los tratamientos utilizados, variando únicamente la acidez para el tratamiento de sílica al 0,12% en donde se presentaron valores más altos en comparación a los otros tres tratamientos.

En cuanto a la calidad final de aceite, se obtuvieron mejores resultados con la dosificación de sílica al 0,18% seguido por el método de extracción líquido-líquido y por último la dosificación de sílica al 0,15%, no incluyendo la dosificación de sílica al 0,12% debido el aceite de soya sometida a este tratamiento presentó jabón, no cumpliendo con parámetros de calidad.

Desde el punto de vista económico, se encontró que el tratamiento con más bajo costo fue la dosificación de sílica al 0,12% seguido por la dosificación de sílica al 0,15%, el método líquido-líquido se encuentra en el tercer lugar, siendo el tratamiento más costoso la dosificación de sílica al 0,18%.

Los costos de producción para el método de extracción líquido-líquido son 5,34% más altos al compararlos con el tratamiento con sílica al 0,15% lo cual da un margen pequeño para realizar un cambio en cuanto al proceso, tomando en cuenta que, la calidad obtenida con dosificaciones del 0,15% son más bajas que el método líquido-líquido.

La utilización de sílica al 0,12% se descarta por no cumplir con parámetros de calidad y la dosificación de sílica al 0,18% por costos elevados.

Desde el punto de vista ambiental, se realizó un análisis de los factores presentes en cada método, como se pueden observar en los resultados, siendo el método sólido-líquido el más amigable con el ambiente.

Se podrían realizar estudios para optimizar la dosificación de sílica y encontrar un mejor equilibrio entre costo-calidad según las expectativas que se deseen, tomando en cuenta que la utilización de sílica representa un método más amigable con el ambiente.

El método líquido-líquido para la extracción de jabones y gomas del aceite crudo de soya podría sustituirse por la utilización de sílica, encontrando la dosificación óptima para obtener mejores resultados en cuanto a calidad, también se debe tomar en cuenta métodos alternos, el mejor método se definirá por la fluctuación de los costos para cada rubro en la línea de producción tales como: la electricidad, agua, mantenimiento, tratamiento de agua, sin olvidar los aspectos ambientales y lo más importante, la calidad final del producto.

CONCLUSIONES

1. El costo de producción se reduce con el método sólido-líquido utilizando sílica al 0,12% y 0,15% en comparación al método líquido-líquido, utilizando sílica al 0,18%, los costos de producción aumentan.
2. La dosificación de sílica que presentó mejores resultados en cuanto a calidad fue la de 0,18% pero presenta los mayores costos de producción.
3. La dosificación de sílica que presentó costos de producción más bajos fue la de 0,12% pero no cumplió con parámetros de calidad.
4. Utilizar dosificaciones de sílica al 0,15% representa menores costos de producción manteniendo la calidad del aceite de soya (*glycine max*), por lo cual es la mejor dosificación de las tres evaluadas.
5. No existe diferencia significativa en la calidad final del aceite de soya al comparar los tratamientos líquido-líquido, sílica al 0,15% y 0,18% en la extracción de jabones y gomas durante su refinación.
6. Existe diferencia significativa en la calidad final del aceite de soya al comparar el tratamiento sólido-líquido de sílica al 0,12%, con cualquiera de los otros tres tratamientos utilizados en la extracción de jabones y gomas durante su refinación.
7. El método de extracción de jabones y gomas sólido-líquido es más amigable con el ambiente en comparación del método líquido-líquido.

RECOMENDACIONES

1. Realizar corridas para poder optimizar la dosificación de sílica para el método sólido-líquido en la extracción de jabones y gomas en la refinación del aceite crudo de soya (*glycine max*).
2. Tener el método sólido-líquido en la refinación de aceite crudo de soya como una opción viable y amigable con el ambiente para cambios inmediatos o futuros.
3. Monitorear de forma continua el equilibrio, costo y calidad, para el método sólido-líquido, así no inclinar dicho equilibrio para ninguno de los dos elementos.
4. Secar bien la torta de sílica en los filtros durante el blanqueo para reducir costos por retención de aceite en la sílica.

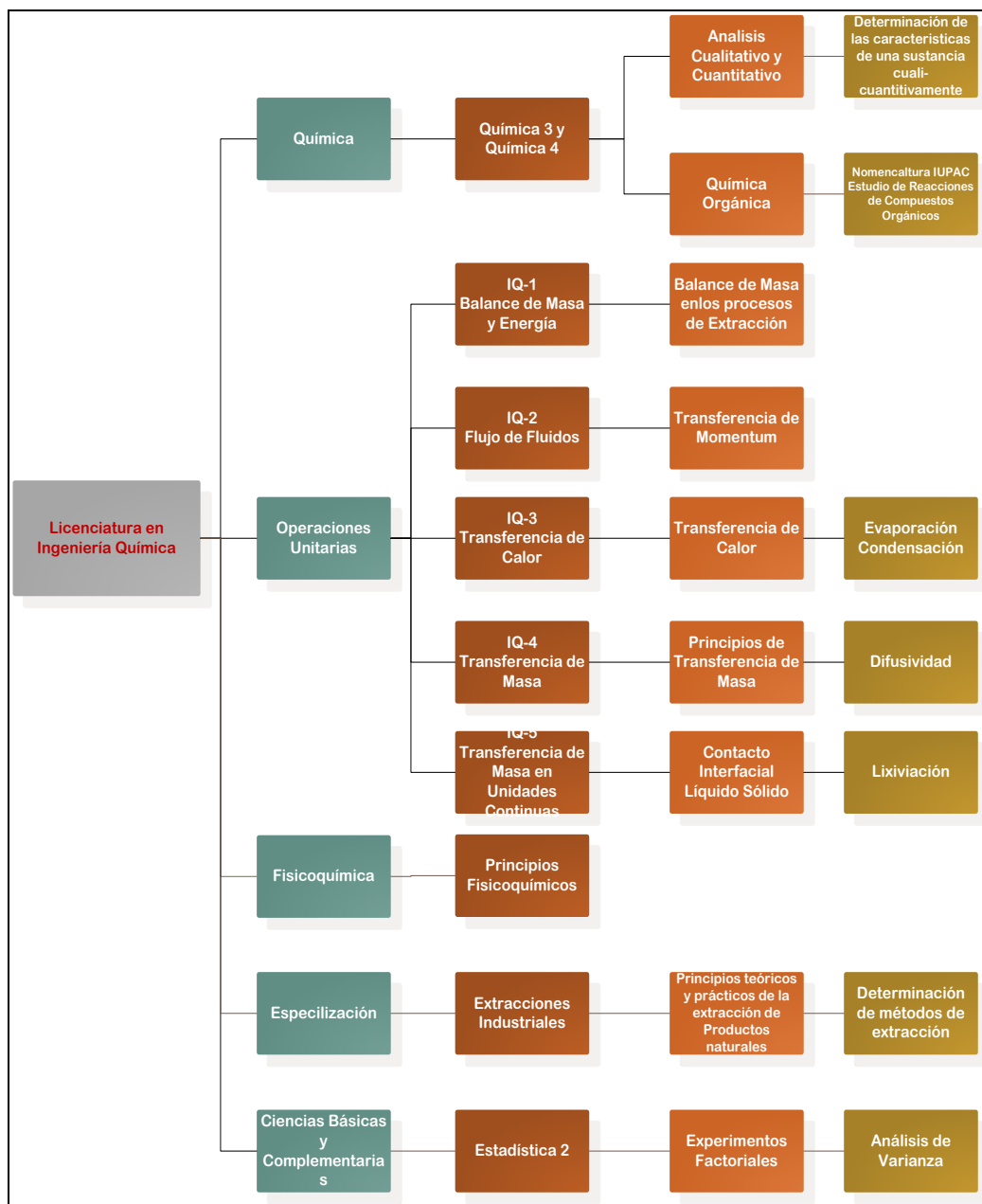
BIBLIOGRAFÍA

1. ÁVILA MÉRIDA, Homero Amed. *Comparación de las ventajas de desodorización en una refinería física multistock respecto a una refinería física unistock*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. 83 p.
2. *Biblioteca digital* [en línea]: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_5.htm. [Consulta: 29 de abril de 2011].
3. *Elaboracion y refinado de aceites comestibles*. Depósitos de documentación de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [en línea]: <http://www.fao.org/docrep/V4700S/v4700s09.htm>. [Consulta: 2 de mayo de 2011].
4. GARCÍA REGUEIRO, Juan Antonio. *Nuevas tendencias en el análisis de ácidos grasos*. España: IRTA. Centro de Tecnología de la Carne. Unidad de Química Alimentaria, 2004. 39 p.
5. GONZALES DÍAZ, Pedro. *Memorias curso control de calidad y control estadístico de proceso para la industria aceitera*. Jalisco, México: Centro de Asistencia Técnica; Asociación Americana de Soya, A.C, 1996. 58 p.

6. _____. *Memorias curso de usos industriales del aceite de soya*. Jalisco, México: Centro de Asistencia Técnica y Asociación Americana de Soya, A.C. 1996. 41 p.
7. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; METER, Harriot. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 1114 p.
8. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. México: McGraw- Hill, 1999. 1 317 p.
9. RODRÍGUEZ GUOZ, Erick Rolando. *Análisis y reducción de pérdidas de producción en una industria de aceite de soya*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 97 p.
10. SHAHIDI, Fereidoon. *Bailey's industrial oil and fat products*. Hoboken: New Jersey: 2005. 726 p.
11. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 862 p.

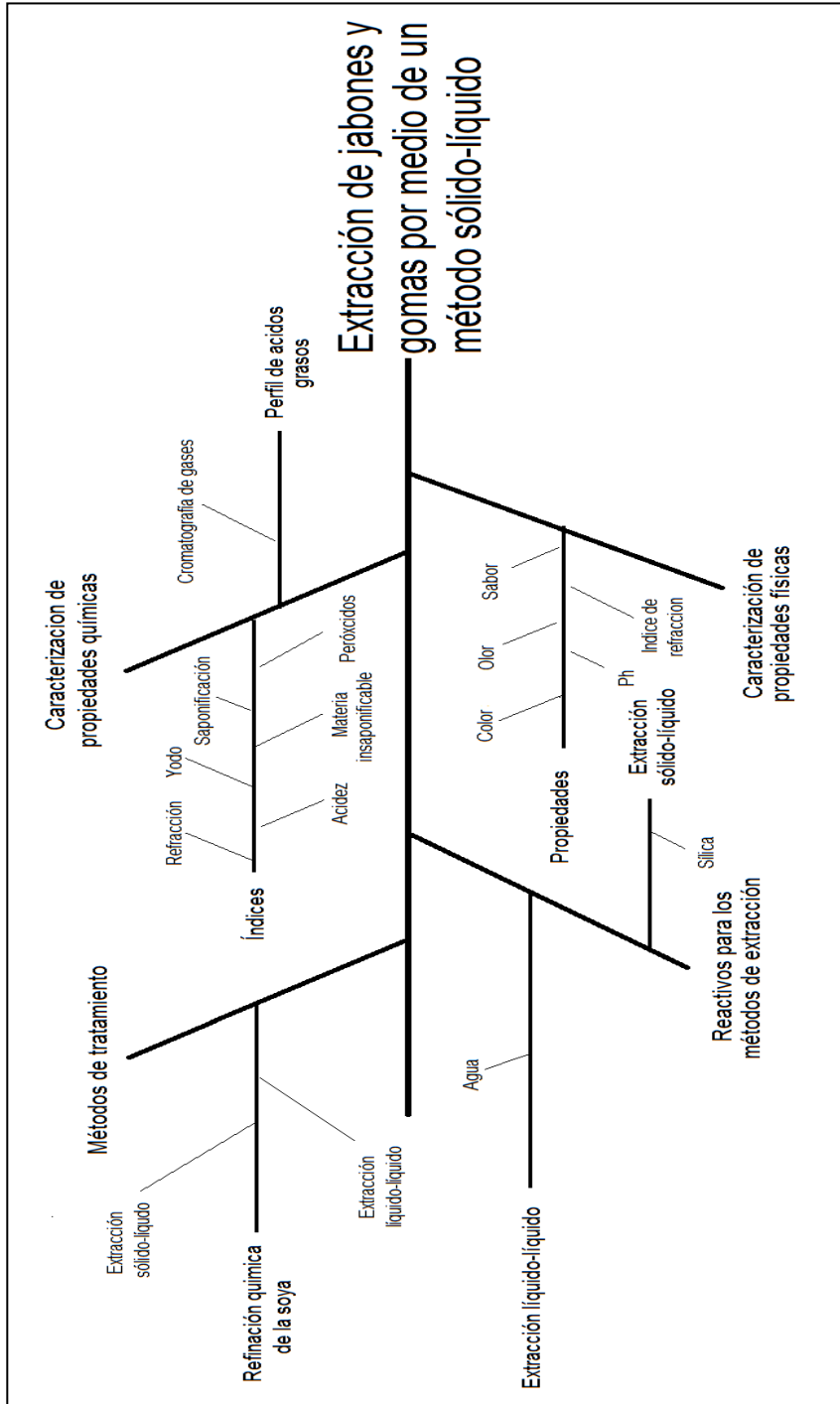
APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: <https://www.ingenieria.usac.edu.gt>. Consulta: junio de 2012.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Muestra de cálculo

Determinación de % de jabón

$$\% \text{ de jabón} = \frac{G * N_{HCl} * 304,400}{P} \quad (\text{Ecuación 4})$$

G: Gasto de la solución de HCl al 0,01 ó 0,1N

NHC: Normalidad de la solución de Ácido Clorhídrico

P: Peso de la muestra

Ejemplo: calcular el % de jabón si el gasto de solución de HCl fue de 30.76ml.

Cálculo:

$$\% \text{ de jabón} = \frac{30,76 * ,01 * 304,400}{100} = 936,26$$

El resultado se puede observar en la tabla XIII, de la misma forma se calculó el para el aceite de soya de la tabla XIII a la XXVIII.

Determinación de ceras

Para la determinación de la cantidad de ceras presente en el aceite se utiliza la ecuación 5, como se muestra a continuación.

$$\text{CERA (ppm)} = (\text{NTU muestra} - \text{NTU blanco}) * 39,2 + 40,1 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Ejemplo: Calcular la cantidad de ceras para una muestra que tiene 15,3 NTU, medido por el turbidímetro.

Continuación del apéndice 3.

Cálculo:

$$\text{CERA (ppm)} = (15,3 - 0) * 39,2 + 40,1 = \mathbf{639,86}$$

Este resultado se puede observar en el aceite de soya de la tabla XIII, de la misma forma se calculó todos los datos de las tablas XIII a la XXVIII.

Determinación de gomas

Para la determinación de la cantidad de ceras presente en el aceite se utiliza la ecuación 9, como se muestra a continuación.

$$\% \text{ GOMAS} = ((\text{PG} - \text{PB}) / \text{PG}) \times 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

PG: peso del beacker de 250 ml + peso de gomas secadas

PB: peso del beacker de 250 ml

Ejemplo: calcular el contenido de gomas para un aceite que presentó los siguientes resultados:

PG: 315,66 gr

PB: 310,10 gr

Cálculos:

$$\% \text{ GOMAS} = ((315,66 - 310,10) / 315,66) \times 100 = 1,82$$

Este dato se puede observar en la tabla XIII, de la misma forma fueron calculados los demás datos de la tabla XIII a la XXVIII.

Continuación del apéndice 3.

Determinación de valor de peróxidos

Para la determinación de peróxidos presente en el aceite se utiliza la ecuación 11, como se muestra a continuación.

Cálculo:

$$\text{Valor de peróxido (meq/ 1 000gr)} = \frac{(S - B) \times N \times 1\,000}{\text{gr (peso muestra)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

B = titulación del blanco, ml

S = titulación de la muestra, ml

N = normalidad de solución de tiosulfato de sodio

Ejemplo: Calcular el contenido de peroxidos para un aceite que presentó los siguientes resultados:

S: 2,89 ml

B: 0,3 ml

N: 0,01N

$$\text{Valor de Peróxido (meq/ 1 000gr)} = \frac{(2,89 - 0,3) \times 0,01 \times 1\,000}{5} = 5,17$$

Este dato se puede observar en la tabla XIII, de la misma forma fueron calculados los demás datos de la tabla XIII a la XXVIII.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Datos de los análisis realizados en laboratorio sobre las distintas etapas de la refinación del aceite crudo de soya

Caracterización del aceite de soya en la primera repetición utilizando el método líquido-líquido					
Propiedad	Crudo	Centrifugado	Refinado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	936,26	35,28	0	0
Gomas %	1,82	0,09	0	0	0
Índice de peróxidos	5,17	--	--	0,2	0,1
Color	70-3,8	Turbio	Turbio	70 - 4,1	4,6 - 0,9
Valor de p-Anisidina	2,88	--	--	--	2,1
Acidez (%)	0,48	0,05	0,08	0,09	0,035
Ceras (ppm)	7584	639,86	91,7	61,27	60,7
Fosforos (ppm)	246,2	43,41	2,46	0,94	0,5
Fosfatidos (ppm)	7 586	1 302,3	73,8	28,2	15
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,732	0 - 0,029	0 - 0,012
Prueba de frío	5	--	12	14	16
Índice de yodo	128,6	128,3	128,66	128,12	128,3
Caracterización del aceite de soya en la segunda repetición utilizando el método líquido-líquido					
Propiedad	Crudo	Centrifugado	Refinado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	953,24	35,28	0	0
Gomas %	1,85	0,0044	0	0	0
Índice de Peróxidos	4,9	--	--	0,2	0,1
Color	70-4	Turbio	Turbio	70 - 4,4	5,4 - 0,9
Valor de p-Anisidina	2,4	--	--	--	1,96
Acidez (%)	0,51	0,03	0,045	0,085	0,03
Ceras (ppm)	8742	620,16	98,6	65,39	60,87
Fosforos (ppm)	230,2	44,66	1,48	0,86	0,35
Fosfatidos (ppm)	6 906	1 339,8	44,4	25,8	10,5
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,826	0 - 0	0 - 0
Prueba de frío	4	--	10	12	15
Índice de yodo	128,7	128,64	128,92	128,53	128,81

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la tercera repetición utilizando el método líquido-líquido

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Refinado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	1 054,5	35,28	0	0
Gomas %	1,76	0,013	0	0	0
Índice de Peróxidos	3,9	--	--	0,2	0,1
Color	70-3,7	Turbio	Turbio	67 - 3,2	4,8 - 0,9
Valor de p-Anisidina	1,9	--	--	--	2,4
Acidez (%)	0,82	0,055	0,05	0,07	0,035
Ceras (ppm)	7 860	579,38	95,73	52,6	50,65
Fosforos (ppm)	252,2	38,94	2,41	0,45	0,4
Fosfatidos (ppm)	7 569	1 168,2	72,3	13,74	12
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,811	0 - 0,001	0 - 0
Prueba de frío	5	--	11	14	15
Índice de yodo	127,4	128,48	128,35	128,73	128,62

Caracterización del aceite de soya en la cuarta repetición utilizando el método líquido-líquido

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Refinado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	927,66	35,28	0	0
Gomas %	1,86	0,08	0	0	0
Índice de Peróxidos	2,8	--	--	0,3	0,1
Color	70-4	Turbio	Turbio	70 - 4,1	4,8 - 0,9
Valor de p-Anisidina	2,16	--	--	--	2,9
Acidez (%)	0,61	0,06	0,045	0,08	0,025
Ceras (ppm)	9361	685,92	103,96	56,7	62,05
Fosforos (ppm)	272,3	47,61	2,46	0,86	0,31
Fosfatidos (ppm)	8 168	1 428,36	73,8	25,8	9,3
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,59	0 - 0,003	0 - 0,002
Prueba de frío	5	--	11	14	18
Índice de yodo	128,1	129,14	128,62	128,21	128,82

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la primera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,12%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado
Jabones (ppm)	--	977,93	5,6
Gomas %	1,75	0,006	0
Índice de Peróxidos	4,92	--	0,2
Color	70-4,2	Turbio	70-4,5
Valor de p-Anisidina	3,08	--	--
Acidez (%)	0,56	0,06	0,3
Ceras (ppm)	7834	663,96	77,83
Fosforos (ppm)	260,3	44,75	1,08
Fosfatidos (ppm)	7 810	1 342,5	32,4
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,078
Prueba de frío	5	--	13
Índice de yodo	128,8	128,94	128,74

Caracterización del aceite de soya en la segunda repetición utilizando dosificación de sílica al 0,12%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado
Jabones (ppm)	--	963,62	7,01
Gomas %	1,83	0,065	0
Índice de Peróxidos	5,39	--	0,2
Color	70-4	Turbio	70 - 4,6
Valor de p-Anisidina	2,8	--	--
Acidez (%)	0,48	0,055	0,21
Ceras (ppm)	7520	645,35	77,91
Fosforos (ppm)	233,1	44,69	0,76
Fosfatidos (ppm)	6 993	1 340,7	22,8
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,054
Prueba de frío	5	--	12
Índice de yodo	129,2	128,56	128,93

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la tercera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,12%			
Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado
Jabones (ppm)	--	965,8	5,34
Gomas %	1,66	0,058	0
Índice de Peróxidos	4,8	--	0,2
Color	70-4	Turbio	70 - 4,3
Valor de p-Anisidina	2,4	--	--
Acidez (%)	0,68	0,045	0,65
Ceras (ppm)	7 620	703,12	68,36
Fosforos (ppm)	238,8	45,6	0,7
Fosfatidos (ppm)	7 164	1 368	21
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,012
Prueba de frío	5	--	12
Índice de yodo	128,9	128,62	128,5
Caracterización del aceite de soya en la cuarta repetición utilizando dosificación de sílica al 0,12%			
Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado
Jabones (ppm)	--	1 096,57	10,83
Gomas %	1,63	0,022	0
Índice de Peróxidos	4,4	--	0,2
Color	70-4,1	Turbio	70 - 3,9
Valor de p-Anisidina	1,98	--	--
Acidez (%)	0,72	0,04	0,18
Ceras (ppm)	6 992	658,45	102,78
Fosforos (ppm)	281,3	42,67	0,97
Fosfatidos (ppm)	8440	1 280,1	29,1
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,04
Prueba de frío	5	--	12
Índice de yodo	128,7	128,84	128,75

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la primera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,15%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	1 118	0	0
Gomas %	1,8	0,085	0	0
Índice de Peróxidos	5,62	--	0,2	0,1
Color	70-4	Turbio	70 - 4,1	4 - 0,7
Valor de p-Anisidina	2,62	--	--	2,35
Acidez (%)	0,51	0,055	0,07	0,03
Ceras (ppm)	7633	671,98	63,26	60,8
Fosforos (ppm)	285,4	51,9	1,16	0,91
Fosfatidos (ppm)	8562	1557	34,8	27,3
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,062	0 - 0,083
Prueba de frío	5	--	13	+ de 24 horas
Índice de yodo	128,9	129,05	128,12	128,33

Caracterización del aceite de soya en la segunda repetición utilizando dosificación de sílica al 0,15%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	960	0	0
Gomas %	1,66	0,047	0	0
Índice de Peróxidos	4,73	--	0,2	0,1
Color	70-3,8	Turbio	70 - 3,2	5 - 0,9
Valor de p-Anisidina	2,1	--	--	2,49
Acidez (%)	0,42	0,055	0,075	0,02
Ceras (ppm)	7935	695,88	66,29	71,04
Fosforos (ppm)	245,9	47,22	0,69	0,71
Fosfatidos (ppm)	7 377	1 416,6	20,7	22,3
Clorofila a y b	--	--	0 - 0	0 - 0
Prueba de frío	5	--	12	,+ de 24 horas
Índice de yodo	128,5	128,87	128,12	127,02

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la tercera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,15%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	980	0	0
Gomas %	1,69	0,03	0	0
Índice de Peróxidos	3,8	--	0,2	0,1
Color	70-4,4	Turbio	70 - 3,7	5,6 - 1
Valor de p-Anisidina	2,31	--	--	3,06
Acidez (%)	0,82	0,05	0,09	0,025
Ceras (ppm)	7732	932,71	77,2	74,13
Fosforos (ppm)	260,2	43,64	0,8	0,76
Fosfatidos (ppm)	7 806	1 309,2	24	22,8
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,034	0 - 0,102
Prueba de frío	5	--	13	,+ de 24 horas
Índice de yodo	128,4	128,23	128,12	128,13

Caracterización del aceite de soya en la cuarta repetición utilizando dosificación de sílica al 0,15%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	1 097,03	0	0
Gomas %	1,93	0,065	0	0
Índice de Peróxidos	4,95	--	0,2	0,1
Color	70-4,6	Turbio	70 - 2,8	8,4 - 1
Valor de p-Anisidina	2,74	--	--	2,93
Acidez (%)	0,84	0,045	0,08	0,03
Ceras (ppm)	8215	639,36	87,85	76,34
Fosforos (ppm)	316,2	39,41	0,91	0,89
Fosfatidos (ppm)	9486	1 182,3	27,3	26,7
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,040	0 - 0,053
Prueba de frío	5	--	14	,+ de 24 horas
Índice de yodo	128,8	128,7	128,12	128,9

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la primera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,18%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	955,8	0	0
Gomas %	1,62	0,078	0	0
Índice de Peróxidos	5,2	--	0,2	0,1
Color	70-4,2	Turbio	70 - 3,8	4 - 0,7
Valor de p-Anisidina	3,15	--	--	2,89
Acidez (%)	0,63	0,045	0,07	0,03
Ceras (ppm)	7669	669,3	66,48	55,29
Fosforos (ppm)	279,4	47,38	0,97	0,93
Fosfatidos (ppm)	8381	1421,4	29,1	27,9
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,08	0 - 0,074
Prueba de frío	5	--	13	,+ de 24 horas
Índice de yodo	128,6	128,48	129,3	128,65

Caracterización del aceite de soya en la segunda repetición utilizando dosificación de sílica al 0,18%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	969,4	0	0
Gomas %	1,64	0,087	0	0
Índice de Peróxidos	4,63	--	0,2	0,1
Color	70-3,8	Turbio	70 - 4,2	5 - 0,9
Valor de p-Anisidina	2,76	--	--	3,13
Acidez (%)	0,35	0,04	0,08	0,035
Ceras (ppm)	7453	647,35	61,24	63,74
Fosforos (ppm)	263,7	45,52	0,59	0,45
Fosfatidos (ppm)	7 912	1 365,6	17,7	13,5
Clorofila a y b	--	--	0 - 0	0 - 0
Prueba de frío	5	--	14	,+ de 24 horas
Índice de yodo	128,4	128,48	128,46	128,94

Continuación del apéndice 4.

Caracterización del aceite de soya en la tercera repetición utilizando dosificación de sílica al 0,18%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	957,83	0	0
Gomas %	1,83	0,009	0	0
Índice de Peróxidos	4,7	--	0,2	0,1
Color	70-4	Turbio	68 - 3,4	5,6 - 1
Valor de p-Anisidina	2,42	--	--	2,19
Acidez (%)	0,75	0,05	0,09	0,03
Ceras (ppm)	7 584	655,36	73,54	71,95
Fosforos (ppm)	247,3	44,53	0,73	0,65
Fosfatidos (ppm)	7 419	1 335,9	21,9	19,5
Clorofila a y b	--	--	0 - 0,009	0 - 0
Prueba de frío	5	--	13	+ de 24 horas
Índice de yodo	128,6	128,48	128,22	129,1

Caracterización del aceite de soya en la cuarta repetición utilizando dosificación de sílica al 0,18%

Propiedad	Crudo	Centrifugado	Blanqueado	Desodorizado
Jabones (ppm)	--	996,51	0	0
Gomas %	1,78	0,058	0	0
Índice de Peróxidos	4,65	--	0,2	0,1
Color	70-4,3	Turbio	65 - 2,5	8,4 - 1
Valor de p-Anisidina	2,37	--	--	2,53
Acidez (%)	0,68	0,055	0,075	0,03
Ceras (ppm)	7289	623,62	76,38	69,84
Fosforos (ppm)	279,9	47,82	0,76	0,51
Fosfatidos (ppm)	8397	1 434,6	22,8	15,3
Clorofila a y b	--	--	0 - 0	0 - 0,013
Prueba de frío	5	--	13	,+ de 24 horas
Índice de yodo	129	128,48	128,22	128,72

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Análisis estadístico de los datos obtenidos para los distintos tratamientos aplicados en el aceite de soya.

Promedio y varianza del color amarillo del aceite de soya para cada tratamiento utilizado

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	69,250	2,250
Sólido-líquido	Sílica 0,12%	70,000	0,000
	Sílica 0,15%	70,000	0,000
	Sílica 0,18%	68,250	5,583

Promedio y varianza del color rojo del aceite de soya para cada tratamiento utilizado

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	3,950	0,270
Sólido-líquido	Sílica 0,12%	4,325	0,096
	Sílica 0,15%	3,450	0,323
	Sílica 0,18%	3,475	0,529

Promedio y varianza del porcentaje de acidez del aceite de soya para cada tratamiento utilizado

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	0,081	0,000
Sólido-líquido	Sílica 0,12%	0,335	0,047
	Sílica 0,15%	0,079	0,000
	Sílica 0,18%	0,079	0,000

Continuación del apéndice 5.

Promedio y varianza del contenido de ceras (ppm) en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado			
Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	58,99	30,745
Sólido-líquido	Silica 0,12%	81,72	217,22
	Silica 0,15%	73,65	125,455
	Silica 0,18%	69,41	46,991

Promedio y varianza del contenido de fósforos (ppm) en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado			
Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	0,778	0,049
Sólido-líquido	Silica 0,12%	0,878	0,032
	Silica 0,15%	0,89	0,04
	Silica 0,18%	0,763	0,025

Promedio y varianza del contenido de fosfátidos (ppm) en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado			
Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	23,385	42,625
Sólido-líquido	Silica 0,12%	26,325	28,462
	Silica 0,15%	26,7	36,42
	Silica 0,18%	22,875	22,163

Promedio y varianza de clorofila en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado				
Método	Tratamiento	clorofila B		clorofila A
		Promedio	Varianza	Promedio
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	0,008	0	0
Sólido-líquido	Silica 0,12%	0,046	0,001	0
	Silica 0,15%	0,034	0,001	0
	Silica 0,18%	0,022	0,002	0

Continuación del apéndice 5.

Promedio y varianza de la prueba de frío en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	13,5	1
Sólido-líquido	Sílica 0,12%	12,25	0,25
	Sílica 0,15%	13	0,667
	Sílica 0,18%	13,25	0,25

Promedio y varianza de índice de yodo en el aceite de soya para cada tratamiento utilizado

Método	Tratamiento	Promedio	Varianza
Líquido-líquido	Centrifugas lavadoras	128,398	0,08
Sólido-líquido	Sílica 0,12%	128,73	0,031
	Sílica 0,15%	128,12	0
	Sílica 0,18%	128,55	0,263

Los valores promedios para gomas no se incluyeron ya que todos los valores fueron cero, ya que para ningún tratamiento presento gomas el aceite de soya, esto se observa en la sección de resultados en la tabla X.

Análisis de varianza del jabón presente en la soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	155,3	3	51,77	32,3	3,49
Dentro de los tratamientos	19,23	12	1,6		
Total	174,54	15			

Continuación de apéndice 5.

Como se observa la F calculada es mayor que la F crítica, lo cual indica que si existe una diferencia significativa entre los tratamientos utilizados, al observar la tabla IX en la sección de resultados se nota que el único tratamiento que tiene un valor distinto a cero es el tratamiento dos, el cual corresponde a una dosificación de sílica al 0,12%.

A partir de la tabla X se puede deducir que no existe diferencia significativa del resultado final de gomas presentes en el aceite de soya para ningún tratamiento.

Análisis de varianza del color amarillo en la soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	8,25	3	2,75	1,40	3,49
Dentro de los tratamientos	23,50	12	1,96		
Total	31,75	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el color amarillo final del aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Continuación del apéndice 5.

Análisis de varianza del color rojo en la soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	2,11	3	0,70	2,30	3,49
Dentro de los tratamientos	3,66	12	0,30		
Total	5,76	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el color rojo final del aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Análisis de varianza de la acidez del aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0,20	3	0,07	5,56	3,49
Dentro de los tratamientos	0,14	12	0,01		
Total	0,34	15			

La F calculada es mayor que el valor crítico de F por lo que si existe diferencia significativa para la acidez final del aceite de soya aplicando los distintos tratamientos, al observar la tabla XXXI se nota que el único tratamiento que tiene una variación alta es el tratamiento dos, el cual corresponde a una dosificación de sílica al 0,12%.

Continuación del apéndice 5.

Análisis de varianza de las ceras en el aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	1 074,78	3	358,26	3,41	3,49
Dentro de los tratamientos	1 261,23	12	105,10		
Total	2 336,02	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el contenido de ceras en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Análisis de varianza de fósforos en el aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0,05	3	0,02	0,48	3,49
Dentro de los tratamientos	0,44	12	0,04		
Total	0,49	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el contenido de fósforos en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Continuación del apéndice 5.

Análisis de varianza de fosfátidos en el aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	46,57	3	15,52	0,48	3,49
Dentro de los tratamientos	389,01	12	32,42		
Total	435,58	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el contenido de fosfátidos en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Análisis de varianza para la clorofila B en el aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0,00	3	0,00	1,34	3,49
Dentro de los tratamientos	0,01	12	0,00		
Total	0,01	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el contenido de clorofila B en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Continuación del apéndice 5.

Análisis de varianza para la prueba de frío en el aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	3,50	3	1,17	2,15	3,49
Dentro de los tratamientos	6,50	12	0,54		
Total	10,00	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para la prueba de frío en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Análisis de varianza para el índice de yodo del aceite de soya después de aplicados los distintos tratamientos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Valor crítico para F
Entre tratamientos	0,80	3	0,27	2,85	3,49
Dentro de los tratamientos	1,12	12	0,09		
Total	1,92	15			

La F calculada es menor que el valor crítico de F por lo que no existe diferencia significativa para el índice de yodo en el aceite de soya aplicando los distintos tratamientos.

Fuente: elaboración propia.