



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

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA  
GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A  
NIVEL LABORATORIO**

**Jeimy Sabrina Barrios Pérez**

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE  
LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A  
NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JEIMY SABRINA BARRIOS PÉREZ**  
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
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:

### EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A NIVEL LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre 2009.



Jeimy Sabrina Barrios Pérez



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

PROGRAMA ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Periodo 2009 - 2012



Guatemala, julio de 2011

Ingeniero

Williams Guillermo Álvarez Mejía

Director de la escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos

El motivo de la presente es hacer de su conocimiento que habiendo completado la asesoría del trabajo de graduación de la estudiante **Jeimy Sabrina Barrios Pérez** titulado **"EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A NIVEL LABORATORIO"**. Considero satisfactorio el informe final que se adjunta a la presente. No habiendo inconvenientes al mismo proyecto, solicito a usted autorizar la continuación de los trámites respectivos.

Sin nada más que agregar me suscribo de usted con muestras de consideración y respeto.

Atentamente,

Ing. Oco. César Alfonso García Guerra  
Coordinador Área de Química





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

Guatemala, 02 de noviembre de 2011  
Ref.EIQ.TG.249.2011

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-103-2010-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de **INGENIERA QUÍMICA** a la estudiante universitaria, **Jeimy Sabrina Barrios Pérez**, identificada con carné No. 2005-15947, titulado: "**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A NIVEL LABORATORIO**", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico César Alfonso García Guerra.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Barrios Pérez**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



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

Ref.EIQ.TG.027.2012

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 de la estudiante, **JEIMY SABRINA BARRIOS PÉREZ** titulado: "**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A NIVEL LABORATORIO**".  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero de 2012

Cc: Archivo  
WGAM/ale

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

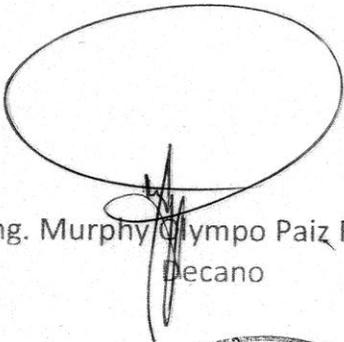


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 062.2012

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: **EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE DESMINERALIZACIÓN Y DECOLORACIÓN DE LA GLICERINA DE BIODIESEL EN COMPARACIÓN CON LA GLICERINA COMERCIAL A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria **Jeimy Sabrina Barrios Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 7 de febrero de 2012.



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser siempre la guía de mi camino, porque puso todo en el lugar en el momento correcto. Y me dio la sabiduría para llegar hasta el éxito.
- Mi mamá** Delma Susana Pérez, gracias porque siempre me enseñaste que no había límites, que yo era capaz de lograr todo lo que me proponía. Gracias por esos desvelos compartidos, por las alegrías y por tu apoyo incondicional. Siempre te dedicaré todos los éxitos de mi vida. Decía que quería ser como vos y gracias a todo lo que me diste, hoy te puedo decir que lo soy.
- Mi papá** Milton Josué Barrios, gracias por darme todas las herramientas que facilitaron el camino para llegar a esta meta. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños, porque todo lo que soy hasta hoy te lo debo a vos.
- Mis hermanos** Susy Alejandra y Josué Alexander, que siempre estuvieron allí apoyándome y echándome porras. Espero ser un ejemplo a seguir para ustedes. Los quiero mucho.

**Mis tíos**

Dorian Guzmán y Celeste Pérez, gracias por abrirme las puertas de su casa y su familia. Gracias por su apoyo incondicional. Por estar pendiente de mí y por enseñarme a luchar por mis metas. Tía tú sabes que eres mi mejor segunda mamá.

**Susana Figueroa**

Susana Figueroa de Pérez, gracias porque me apoyaste en todas mis decisiones. Gracias porque siempre he estado en tus oraciones y en tu mente. Gracias por hacer de mí, una mujer especial y luchadora.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Mis papás y hermanos** Porque cada vez que tenía un reto ustedes me daban las palabras que en ese momento necesitaba escuchar. Me demostraron con su ejemplo que los sueños no son imposibles de alcanzar, siempre y cuando tengamos el deseo de lograrlo.
- Mi familia en general** Gracias porque siempre estuvieron al pendiente de mí y mis logros. En especial a la familia *Guzmán Pérez* por hacerme sentir parte importante de ellos durante casi 3 años de mi carrera y demostrarme siempre su apoyo incondicional. A mi Tío Otto Pérez, vos eras una de las personas que siempre estuvo ahí y fuiste una de las grandes inspiraciones para mi carrera.
- Mis amigos** Dalia Berreondo, Rosa María Lemus, Diego Colindres, Oscar Ayapan, Mario Escobar, Aldo de la Cruz, Renato Madrid, Jaime Dardón, Juan José Cuellar, Pamela Montejo. Gracias a todos ustedes por hacer de mi tiempo en la “U” algo súper especial que nunca olvidaré; por ser mis amigos y por acompañarme en las buenas y las malas.

**Mis amigas**

Floralba Pérez y Martha Delgado. Gracias por su apoyo en esta última etapa de mi carrera, por ser un ejemplo a seguir. Gracias por darme su amistad sincera.

**Ingenieros**

Otto Raúl de León, gracias por sus consejos y por su cariño. César García, quien me asesoró y apoyó en el largo camino para cumplir esta meta. Manuel Tay, quien aportó sus conocimientos y me apoyó para que todo esto fuera menos difícil. Gracias a todos por su paciencia y por ser parte muy importante en este logro.

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Gracias por la oportunidad de desarrollarme como profesional en una casa de estudios tan prestigiosa.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTADO DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS/ HIPÓTESIS .....	XIII-XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Antecedentes en Europa y otras regiones .....	1
1.2. Antecedentes en Latinoamérica .....	3
1.3. Antecedentes en Guatemala .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Glicerol: definición .....	7
2.2. Propiedades .....	8
2.3. Manufactura .....	9
2.4. Recuperación .....	12
2.5. Concentración .....	14
2.6. Destilación .....	15
2.7. Blanqueo y desodorización .....	16
2.8. Grados .....	17
2.9. Aspectos económicos .....	17
2.10. Usos .....	18
2.10.1. Alimentos .....	19
2.10.2. Fármacos y cosméticos .....	20

2.10.3.	Tabaco .....	20
2.10.4.	Materiales de envasado y embalaje.....	21
2.10.5.	Lubricantes .....	21
2.11.	Métodos de decoloración.....	22
2.11.1.	Adsorción con Carbón Activado.....	22
2.11.2.	Adsorción con tierras activadas .....	24
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables .....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	28
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	29
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	29
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa .....	32
3.6.	Procesamiento y análisis de datos .....	35
4.	RESULTADOS .....	39
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	49
	CONCLUSIONES .....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA .....	63
	APÉNDICE.....	65
	ANEXOS.....	87

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Aplicaciones de la glicerina en la industria .....	19
2.	Estructura del Carbón Activado.....	23
3.	Tierra de blanqueo Tonsil ®.....	25
4.	Panel de control tintómetro Lovibond PFX995 .....	34
5.	Curva para determinar porcentaje de metanol con el que se logra la mayor extracción de sales inorgánicas .....	36
6.	Porcentaje en peso de sales inorgánicas extraídas en función del porcentaje del metanol, agregado en una muestra de 20 g de glicerina cruda de biodiesel .....	39
7.	Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de <i>Tonsil Actisil 220FF®</i> .....	41
8.	Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de <i>Tonsil Supreme 526FF®</i> .....	42
9.	Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de Carbón Activado.....	43
10.	<i>Color Lovibond</i> (rojos y amarillos) en función del porcentaje de <i>Tonsil Actisil 220FF®</i> utilizado .....	44
11.	<i>Color Lovibond</i> (rojos y amarillos) en función del porcentaje de <i>Tonsil Supreme 526FF®</i> utilizado .....	45
12.	<i>Color Lovibond</i> (rojos y amarillos) en función del porcentaje de Carbón Activado utilizado.....	46

## TABLAS

I.	Porcentaje de biodiesel agregado a la gasolina en la Unión Europea según el año .....	2
II.	Propiedades fisicoquímicas del glicerol .....	9
III.	Fuentes mundiales de producción de glicerol .....	12
IV.	Definición operacional de las variables en la etapa 1: desmineralización de la glicerina cruda .....	27
V.	Definición operacional de las variables en la etapa 2: decoloración de la glicerina desmineralizada .....	28
VI.	Cristalería utilizada durante la etapa experimental .....	29
VII.	Equipo utilizado durante la etapa experimental .....	30
VIII.	Reactivos utilizados durante la etapa experimental .....	31
IX.	Estimación del modelo de regresión cuadrática para los datos obtenidos durante la etapa de desmineralización .....	37
X.	Análisis de varianza del modelo de regresión estimado .....	37
XI.	<i>Color Lovibond RYBN</i> y <i>FAC</i> en función del tipo y porcentaje de agente decolorante .....	40
XII.	Comparación entre las propiedades fisicoquímicas de la glicerina de biodiesel y la de jabones .....	47



## LISTADO DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cP</b>	centi Poises
<b>FAC</b>	<i>Color Standards for Commercial Fats</i>
<b>°C</b>	Grados <i>Celsius</i>
<b>kg.</b>	Kilogramos
<b>kJ</b>	Kilojoules
<b>Pa</b>	Pascales
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>psi</b>	<i>Pound square inches (libra-pulgada<sup>2</sup>)</i>
<b>RYBN</b>	<i>Red, Yellow, Black and Neutral Scale</i>
<b>Rpm</b>	revoluciones por minuto

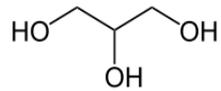


## GLOSARIO

<b>Acroleína</b>	La acroleína (2-propenal) es un líquido incoloro, o amarillo de olor desagradable. Se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente cuando se calienta. También se inflama fácilmente. Se pueden formar pequeñas cantidades de acroleína y dispersarse por el aire, cuando se queman aceites, árboles, tabaco y otras plantas, gasolina y petróleo. La exposición a la acroleína, ocurre principalmente al respirarla. La acroleína produce ardor en la nariz, y la garganta, y puede dañar los pulmones.
<b>Biodiesel</b>	Biocombustible que se obtiene a partir de lípidos naturales mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del diesel.
<b>Constante dieléctrica</b>	Es la magnitud $\epsilon_m$ que caracteriza la relación entre la fuerza de interacción de las cargas y el medio ambiente. p.e. agua 79, glicerina 56 y metanol 33.
<b>Glicerina USP</b>	Glicerina que cumple con los estándares de la Farmacopea de Estados Unidos ( <i>United States Pharmacopeia</i> , USP).

**Glicerol**

Alcohol con tres grupos hidroxilos, su molécula es:



Es el término específico para la glicerina sin refinar.

**Higroscópicos**

Son todos los compuestos que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente.

**Índice de acidez**

Miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.

**Lejía glicerosa**

Son efluentes líquidos resultantes de la etapa de saponificación, compuesto esencialmente por sal, sulfatos, soda, glicerina, carga orgánica y agua. Del tratamiento de este remanente se obtienen compuestos reutilizables en el mismo proceso de saponificación, y a su vez para obtener glicerina como subproducto principal de la fabricación de jabones.

**Metanol**

También conocido como alcohol metílico es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable. Su fórmula química es CH<sub>3</sub>OH.

<b>Oleínas</b>	Son residuos que resultan en la refinación de aceites vegetales para uso alimentario y se componen de una mezcla de triglicéridos y ácidos grasos libres, con un contenido de estos últimos componentes, superior al 50%.
<b>Transesterificación</b>	Es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.
<b>USP</b>	<i>United States Pharmacopeia</i> , USP, es una entidad no gubernamental, que establece las normas oficiales de los sectores públicos: medicamentos recetados, de venta libre y otros productos sanitarios fabricados o vendidos en Estados Unidos. También establece normas ampliamente reconocidas por los ingredientes de alimentos y suplementos dietéticos. Establece estándares para la calidad, pureza, fuerza y consistencia de estos productos fundamentales para la salud pública.



## RESUMEN

Durante la producción de biodiesel a partir de oleínas y aceites de frituras, se obtiene como subproducto glicerina cruda. Este subproducto contiene trazas de minerales solubilizados en ella y un color particularmente oscuro, el cual presenta un problema actualmente para su comercialización.

Utilizando el método de desmineralización se determinó la cantidad de metanol que debe contener la muestra para lograr insolubilizar la mayor cantidad de sales inorgánicas por efecto de la reducción de la constante dieléctrica. De este procedimiento se obtuvo el peso de sales inorgánicas que puede ser removido de la glicerina. El mejor resultado se observó al agregar 100% de metanol, extrayendo 3,3% de sales minerales.

La glicerina de la etapa anterior se trató con el método de decoloración por adsorción utilizando Carbón Activado, Tonsil Actisil 220FF® y Tonsil Supreme 526FF®. Este procedimiento se evaluó para cuatro porcentajes: 1, 2, 3 y 4%. Luego se midió *Color Lovibond RYBN* y FAC. Visualmente se determinó que la muestra con mayor reducción de color fue la tratada con Carbón Activado al 4%.

Al finalizar, a la muestra decolorada se le midió: densidad, viscosidad, pH, contenido total de glicerina, color FAC y *Lovibond*, determinando, que la glicerina de biodiesel se encuentra dentro de los parámetros establecidos para la glicerina de jabones, por lo cual sería posible su comercialización.





# OBJETIVOS

## General

Evaluar el método de refinación y clarificación de la glicerina cruda obtenida de la producción de biodiesel y comparar con las propiedades de la glicerina comercial.

## Específicos

1. Evaluar la cantidad de metanol que debe agregarse a la glicerina cruda para eliminar el mayor porcentaje de sales inorgánicas contenidas.
2. Evaluar la decoloración de la glicerina desmineralizada en función del tratamiento por separado con carbón activado, Tonsil Actisil 220FF® y Tonsil Supreme 526FF®, analizando cuatro diferentes porcentajes en peso: 1, 2, 3 y 4 %.
3. Determinar y comparar las propiedades fisicoquímicas de la glicerina refinada de biodiesel con la glicerina obtenida durante la producción de jabón.

## HIPÓTESIS

1. Es posible desmineralizar la glicerina obtenida durante el proceso de producción de biodiesel a partir de oleínas y aceite de frituras, por adición de metanol.
2. Es posible decolorar la glicerina obtenida durante el proceso de producción de biodiesel de oleínas y aceite de frituras, utilizando por separado Carbón Activado, Tonsil Actisil 220FF ® y Tonsil Supreme 526FF®.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación propone un procedimiento para refinar la glicerina obtenida como subproducto en el proceso de producción de biodiesel a partir de oleínas y aceite de frituras.

En el trabajo de graduación se estudian los antecedentes del tratamiento de glicerina en Europa, Latinoamérica y Guatemala, además de esto en el marco teórico se desarrollan temas que se utilizaron como base durante la investigación: propiedades del glicerol, manufactura, recuperación, blanqueo y desodorización, usos y los métodos conocidos para decoloración. Por último se propone el diseño metodológico en el cual se establecen las variables dependientes e independientes de cada etapa del procedimiento. Se analizaron estadísticamente los valores para estas variables, y con base en los resultados, se determinó cuál es el tratamiento para obtener la muestra que cumpla con los objetivos establecidos.

El método propuesto se basa en dos etapas: en la primera se eliminan las sales minerales de la glicerina con el objetivo de remover estas impurezas y con esto mejorar el contenido total de glicerina en la muestra. En la segunda, se estudia la desmineralización utilizando 3 tipos de agente decolorante variando el porcentaje agregado; en esta parte del estudio el mejor resultado obtenido es aquel cuyos valores de rojos y amarillos sean los más bajos y además de esto debe ser cualitativamente la muestra que más se acerque al color de la glicerina refinada obtenida del proceso de elaboración de jabones.

El objetivo principal se centró en obtener una muestra refinada que mostrara características físicas y químicas similares a las de la glicerina comercial (glicerina del proceso de jabones).

Durante el desarrollo de la investigación, se encontrarán las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el experimento, especificaciones de los métodos utilizados para desmineralizar y decolorar, así como los métodos de análisis, mediante los cuales se determinó cuál tratamiento dará el resultado óptimo en ambas etapas.

## **1. ANTECEDENTES**

Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, *Fatty Acid Methyl Esters*) constituyen un biocombustible líquido de calidad similar al diesel. Aunque estos se pueden producir por esterificación de ácidos grasos con metanol, el proceso habitual está basado en la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con metanol. En este proceso se genera una gran cantidad de glicerina como subproducto: 10 Kg de glicerina por cada 100 Kg de ésteres metílicos, lo que supone el 10% del biodiesel producido.

Uno de los principales problemas es el espacio que ocupa esta glicerina, lo cual se genera por el hecho de no utilizarla en su totalidad para satisfacer las necesidades de un mercado. Lo que se ve reflejado en los gastos en almacenamiento y disminución de la eficiencia del proceso en general, por la falta de colocación de este subproducto en un mercado específico.

### **1.1. Antecedentes en Europa y otras regiones**

En la actualidad, la producción de biodiesel en la Unión Europea ha aumentado en los últimos años hasta alcanzar un valor de 1,7 millones de toneladas en el año 2004, lo que representa el 90% de la producción mundial.

Aunque esta cifra es todavía poco significativa, el precio de la glicerina ha disminuido considerablemente.

Asimismo, el porcentaje de sustitución de los biocarburantes en la Unión Europea debe aumentar del 2% actual al 5,75% en el año 2010, según la Directiva Europea como se observa a continuación.

Tabla I. **Porcentaje de biodiesel agregado a la gasolina en la Unión Europea según el año**

Año	Porcentaje de biodiesel
2005	2,00
2006	2,75
2007	3,50
2008	4,25
2009	5,00
2010	5,75

Fuente: OLEOLINE. *Weekly Glycerine Report*. <<http://www.oleoline.com>>. 26 de octubre de 2011.

En este sentido, se estima que en los próximos años habrá un gran excedente de glicerina a menor precio en Europa, lo que puede reducir la competitividad de la industria oleoquímica europea frente a la asiática.

Ante esta situación y la perspectiva de futuro, existe una necesidad urgente de encontrar nuevas aplicaciones para la glicerina. Aunque la glicerina puede aprovecharse energéticamente como combustible, resulta más ventajoso transformarla en productos de alto valor añadido. Así, a partir de la fermentación, la oxidación catalítica, la esterificación selectiva etc. de la glicerina, se pueden producir derivados de la misma, con aplicaciones como detergentes, aditivos alimentarios, productos cosméticos, lubricantes etc.

Sin embargo, una de las alternativas más recientes e interesantes, consiste en la transformación de la glicerina en productos que puedan sustituir parcialmente a la gasolina, por lo que pueden considerarse, a su vez, biodiesel y, por lo tanto, su utilización contribuye a alcanzar los objetivos de la Directiva Europea. En este contexto, la glicerina puede transformarse en dos tipos de productos diferentes: éteres de glicerina, a partir de su eterificación con olefinas ligeras; o ésteres de glicerina, a partir de su esterificación con ácidos carboxílicos o su transesterificación con ésteres.

## **1.2. Antecedentes en Latinoamérica**

Actualmente en Latinoamérica, el país con mayor producción de biodiesel (por lo tanto glicerina) es Brasil. La refinación de combustible vegetal a partir de oleaginosas, está acumulando en Brasil una masa crítica de subproductos, con los que puede nacer una industria petroquímica ajena a los hidrocarburos fósiles.

La glicerina, subproducto del biodiesel, es un problema ambiental y económico para las empresas pioneras en la producción de biocombustible en Brasil. Sus excedentes no pueden ser simplemente botados, ya que afectarían la vida acuática, y su almacenaje tiene costos. Pero lo que hasta ahora es un problema está promoviendo una carrera para desarrollar nuevos usos industriales de esta materia prima.

Brasil adoptó una mezcla obligatoria de dos por ciento de biodiesel en la gasolina empleada por vehículos de motores diesel, el B2. Este genera un excedente de 105 000 toneladas anuales de glicerina.

Esa cantidad se multiplicará por 2,5 a partir de 2013, cuando este país pase a consumir el B5, con cinco por ciento de biodiesel, lo que permitirá una industrialización en gran escala, favorecida también por el abaratamiento de la materia prima.

Este país consume entre 30 000 y 40 000 toneladas anuales de glicerol, nombre técnico de la glicerina pura, que también es subproducto de la industria del jabón. Se emplea en la elaboración de cosméticos, alimentos, tintas y medicamentos.

De momento, la glicerina --casi 10 por ciento del biodiesel producido--, es “un pasivo ambiental”, porque en los ríos hace proliferar vegetales y bacterias que agotan el oxígeno, provocando la mortandad de peces; quemarla parcialmente es dañino, porque emite acroleína, una sustancia cancerígena, y el uso directo como combustible puede dañar los equipos, ya que la glicerina sale del proceso con impurezas, las cuales debe de eliminársele para poder utilizarla en algún campo de la industria. Las empresas productoras de biodiesel la están almacenando a la espera de una solución y ya se han presentado denuncias de derrame en los ríos.

### **1.3. Antecedentes en Guatemala**

En Guatemala actualmente la única industria que produce glicerina es la industria de jabón. Esta industria en su proceso de saponificación, obtiene jabón y aguas glicerosas con lejía. Las aguas glicerosas pasan por un proceso de evaporación, donde se elimina el excedente de agua, luego se destila para retirar componentes pesados y finalmente es tratada con Carbón Activado para quitar el olor y el color.



La glicerina obtenida en el proceso de jabones es fácil de tratar, ya que su color es amarillo pálido, por lo cual no se realiza un tratamiento tan complejo para eliminar el color.

La glicerina que se obtiene en la producción de jabones se lleva hasta una glicerina grado USP, la cual es comercializada en la industria alimenticia y farmacéutica, entre otras.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Glicerol: definición

El glicerol (también propano-1, 2 ,3 –triol) es un alcohol trihidratado, color traslúcido, viscoso, de sabor dulce, higroscópico, líquido a temperatura ambiente por encima de su punto de fusión.

Fue descubierto en 1779 por Scheele, quien calentó una mezcla de óxidos de plomo y aceite de oliva, de donde posteriormente extrajo la glicerina utilizando agua.

El glicerol se produce naturalmente en forma combinada como glicéridos en todas las grasas animales, vegetales y aceites, y se recupera como un subproducto; cuando estos aceites son saponificados en el proceso de fabricación de jabón, o bien, cuando los aceites o grasas se dividen en la producción de ácidos grasos o cuando son esterificados con metanol (alcohol u otra) en la producción de ésteres de metilo (alquilo). Desde 1949, también ha sido producido comercialmente por síntesis a partir de propileno. Esta última representa en la actualidad, aproximadamente el 25% de la capacidad de producción en Estados Unidos.

Los usos de glicerol son numerosos, con grandes cantidades que se utilizan en la fabricación de medicamentos, cosméticos, pasta de dientes, espuma de poliuretano, resinas sintéticas y las gomas éster. La elaboración de tabaco y los alimentos, también consumen grandes cantidades, ya sea, como glicerol o glicéridos.

El glicerol se produce en forma combinada en todas las grasas animales, vegetales y aceites. Este rara vez se encuentra en estado libre en estas grasas, sino que generalmente se presenta como triglicérido combinado con tales ácidos grasos.

El término "glicerol" se aplica solo a los compuestos químicos puros 1, 2, 3-propanotriol. El término "glicerina" se aplica a los productos purificados comerciales los cuales contienen normalmente un porcentaje mayor a 95% de glicerol. Varios grados de glicerina están disponibles comercialmente. Estos difieren en su contenido de glicerol y en otras características tales como el color, olor y trazas de impurezas.

## **2.2. Propiedades**

Las propiedades físicas se enumeran en la tabla II. El glicerol es completamente soluble en agua y alcohol, ligeramente soluble en éter etílico, acetato de etilo, y dioxano, e insoluble en hidrocarburos. Rara vez se encuentra en estado cristalizado debido a su tendencia a superenfriarse y esto pronuncia la depresión del punto de congelación cuando se mezcla con agua.

El glicerol, el alcohol más sencillo de los trihidroxílicos, forma ésteres, éteres, halogenuros, aminas, aldehídos y compuestos insaturados como la acroleína. Como un alcohol, el glicerol también tiene la capacidad para formar sales como gliceróxido de sodio.

Tabla II. **Propiedades fisicoquímicas del glicerol**

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Punto de fusión (°C)	18,17
Punto de ebullición (°C)	
0,53 kPa	14,9
1,33 kPa	166,1
13,33 kPa	222,4
101,3 kPa	290
Gravedad específica, 25/25°	1,26
Presión de vapor (Pa)	
50°C	0,33
100°C	526
150°C	573
200°C	6100
Tensión superficial (20°C,mN/m)	63,4
Viscosidad (20°C, mPa· s)	1499
Calor de vaporización, (J/mol)	
55°C	88,12
95°C	76,02
Calor de formación (kJ/mol)	667,8
Conductividad térmica [W/(m·K)]	0,28
Flash Point, (°C)	
Cleveland open cup	177
Pensky-Martens closed cup	199
Punto de inflamación (°C)	204

Fuente: KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon Van; KRAHL, Jürgen. *The biodiesel handbook*.  
Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005.

### 2.3. Manufactura

Hasta 1949, todo el glicerol se había obtenido de grasas y aceites. En la actualidad cerca del 80% de la producción de Estados Unidos y el 90% de la producción mundial se obtiene a partir de glicéridos naturales.

El primer proceso para producir glicerol sintético, se llevó a cabo en 1948, tras el descubrimiento de que el propileno podría ser tratado con cloro (en altos rendimientos) a cloruro de alilo. Debido a que el cloruro de alilo puede ser convertido a glicerol por varias vías, la síntesis de glicerol a partir de propileno se convirtió en algo posible.

La producción de glicerina sintética alcanzó su máximo en la década de 1960 y 1970, cuando representó el 50-60% del mercado, pero como la disponibilidad de la glicerina natural aumentó, la mayoría de los productores de glicerina sintética cerraron sus instalaciones dejando solo un productor mundialmente con una capacidad de 134 000 toneladas métricas.

El glicerol a partir de glicéridos (glicerol natural) se obtiene a partir de tres fuentes: producción de jabón, producción de ácidos grasos, y producción de ésteres grasos.

En la producción de jabón, la grasa es calentada con una solución de soda cáustica y agua. Las grasas reaccionan con la solución de hidróxido de sodio para formar jabón y glicerol. La presencia de sal causa la separación en dos fases: la fase superior es jabón y la fase inferior, la cual es referida como lejía (generalmente, "lejía" es un término utilizado porque contiene glicerol, agua, sal y el exceso de hidróxido de potasio).

En la producción de ácidos grasos, el proceso se basa en una hidrólisis a alta presión, el cual se lleva a cabo en una columna donde un flujo continuo de grasa se pone en contacto a contracorriente con vapor de agua a 250-260°C y 5 MPa (720 psi).

La grasa se divide por el agua en ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos son retirados por la parte superior de la columna, y el glicerol contenido en la fase acuosa (llamada agua dulce) cae y se retira desde el fondo. La concentración del agua dulce resulta por evaporación en un producto llamado crudo hidrolizado. Los ácidos grasos obtenidos se utilizan para fabricar jabón, reducido el alcohol graso correspondiente, o son comercializados como ácidos grasos.

Una tercera fuente de glicerol natural es la transesterificación de aceites o grasas con alcohol para producir ésteres grasos. La glicerina se separa de los ésteres producidos, por lo general ésteres metílicos, mediante lavado con agua. La acidificación con ácido clorhídrico y la eliminación de metanol residual produce un glicerol crudo con un contenido de sal en pequeños porcentajes.

Los ésteres metílicos históricamente han sido principalmente reducidos a los alcoholes grasos correspondientes, pero con la aparición del biodiesel, la industria de los biocombustibles se ha convertido en un consumidor tan grande de ésteres metílicos como la industria de detergente. La tabla III ofrece un desglose de la producción mundial de glicerol por fuente.

En 2001, la producción de biodiesel representó el 11% de la producción de casi 90 000 toneladas métricas. Antes de 1995, esta fuente de glicerol, fue intrascendente.

Tabla III. Fuentes mundiales de producción de glicerol

Proceso	Producción global (%)
Ácidos grasos	41
Producción de jabón	21
Esteres metílicos para alcoholes de detergentes	14
Esteres metílicos de biodiesel	11
Sintética	9
Otros	4

Fuente: KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon Van; KRAHL, Jürgen. *The biodiesel handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005.

#### 2.4. Recuperación

La “lejía” resultante del proceso utilizado actualmente en la producción de jabón, contiene alrededor del 8-15% de glicerol; las aguas dulces obtenidas del proceso de hidrólisis de grasas contiene si mucho un 20% de glicerol; el glicerol crudo que se obtiene de la esterificación contiene 80% o más glicerol.

El grado de la grasa afecta directamente el tratamiento requerido para producir glicerol con una calidad comercial aceptable. Los químicos utilizados con mayor frecuencia para remover impurezas de la lejía y las aguas dulces son: ácido clorhídrico y soda cáustica.



El tratamiento de la lejía diluída, consiste en una serie de operaciones diseñadas para remover la máxima cantidad de impurezas orgánicas. La lejía comúnmente es tratada con mineral o ácidos grasos (para reducir el contenido cáustico libre) y soda ash (para poder reducir el pH a 4,6-4,8).

Se deben evitar los sulfatos, porque están asociados con la formación de espuma, la cual ensucia los intercambiadores de calor durante los pasos posteriores de refinación. Después del paso de refrigeración, el jabón sólido se limpia y se añade un ácido y un coagulante, seguido por filtración. La adición de la soda cáustica elimina el equilibrio del coagulante en la solución, luego se ajusta el pH a un punto en el que el alcohol es menos corrosivo para los pasos posteriores del proceso de tratamiento.

La lejía diluída obtenida de la extracción líquido-líquido a contracorriente, realizada con un sistema de saponificación continuo, requiere pocos tratamientos distintos de la reducción de álcali libre, utilizado en una neutralización con ácido clorhídrico. El glicerol diluido se encuentra ahora con en una concentración del 80% de glicerol crudo en jabón de lejía.

Las aguas dulces obtenidas del proceso de autoclave continuo y por lotes de las grasas divididas, contienen un poco o nada de ácidos minerales y sales y requieren pocos pasos en el proceso de purificación, comparado con el proceso de lejía diluida obtenida durante la producción de jabón por calentamiento.

Las aguas dulces deben ser procesadas inmediatamente después de la separación para evitar la degradación y perder una parte de glicerol por fermentación.

Todos los ácidos grasos que se separan en la parte superior de las aguas dulces son retirados. Una pequeña cantidad de álcali es añadida para precipitar, disolver los ácidos grasos y neutralizar el licor. Este licor alcalino es entonces filtrado y evaporado hasta tener un 88% de glicerol crudo. Las aguas dulces obtenidas a partir del proceso no catalítico y a partir de la hidrólisis continua, pueden ser evaporadas hasta el 88%, sin tratamiento químico.

El glicerol crudo obtenido de ésteres metílicos es de mayor calidad, esto debido a que, al momento de su producción se utilizan aceites refinados como materias primas; sin embargo, estudios recientes en procesos donde se utiliza materia prima de menor calidad y/o contenido alto de ácidos grasos como grasa amarilla, sebo o aceites usados reciclados, para la producción de biodiesel, resulta un glicerol crudo de menor calidad que contiene varias impurezas, sales, olor y color que dificultan la remoción de los mismos, con cualquier proceso de refinación.

En ambos casos, el residuo de sal obtenido del catalizador utilizado en la esterificación se encuentra normalmente en concentraciones  $\geq 1\%$ . El glicerol crudo proveniente de la esterificación o separación de grasas a partir de aceites 100% vegetales, se separa a lo largo del proceso para producir glicerina kosher, que por lo general tiene un valor más alto en el mercado.

## **2.5. Concentración**

La calidad del glicerol crudo afecta directamente el proceso de refinación y la glicerina resultante. Las especificaciones del glicerol crudo generalmente limitan el contenido de cenizas, sales y minerales disueltos, materia orgánica no glicerosa, la cual incluye ácidos grasos y ésteres, trimetilen glicol, propano 1,3-diol, agua y azúcares.

Los licores de glicerina disueltos, luego de la purificación, son concentrados hasta glicerol crudo por evaporación. Este proceso se lleva a cabo utilizando la evaporación convencional con vacío, calentado por vapor a baja presión.

En el caso del glicerol de lejía-jabón, el equipo anterior es sustituido por la recuperación de la sal que se forma en el proceso de lejía agotada, el cual es concentrado. Evaporadores de múltiple efecto son utilizados típicamente para conservar la energía cuando se concentran el licor a glicerol hasta 85-90%.

## **2.6. Destilación**

En el caso de la lejía-concentrada cruda, la composición es aproximadamente 80% glicerol, 7% agua, 2% residuos orgánicos, y <10% de cenizas.

La glicerina cruda obtenida de la hidrólisis es generalmente de una mejor calidad que la de lejía-concentrada con una composición de aproximadamente el 88% de glicerol, < 1% de cenizas (poco o nada de sal), y <1,5 de residuos orgánicos.

El equipo de destilación para el jabón-lejía y la esterificación cruda requiere un metal resistente a sales. Las sales sólidas que resultan cuando el glicerol es vaporizado, se remueven por filtración o la película de sales que se forma en el fondo del evaporador. El raspado de las paredes del evaporador se realiza de una manera muy rápida y se remueven casi completamente los residuos de sales de glicerina, de modo que estos residuos secos caen hacia la parte de abajo y se descargan por la base de la unidad.

La destilación de glicerol bajo presión atmosférica no es factible debido a que se polimeriza y el glicerol se descompone en cierta medida en su punto normal de ebullición 204°C. Es por esto que se utiliza una combinación de vacío y destilación utilizando vapor; la manera de funcionar es la siguiente: los vapores pasan a través del destilador a una serie de condensadores o una sección de una columna fraccionada empacada en la parte superior del destilador. Relativamente el glicerol puro se condensa.

## **2.7 Blanqueo y desodorización**

El amplio uso del glicerol y sus derivados en la industria alimenticia pone en relieve la importancia de la eliminación de color y olor (también son los requisitos necesarios de la glicerina USP y extra-grados de calidad).

El Carbón Activado (1-2%) junto con el filtro (tierra de diatomeas) ayudan a la decoloración; estos se añaden a la glicerina en un tanque para decoloración a 74-79°C, con agitación por alrededor de 1-2 horas, y luego se filtra a la misma temperatura, la cual es lo suficientemente alta como para garantizar un filtrado eficiente y sin embargo no tan alto como para provocar el oscurecimiento del glicerol.

## **2.8. Grados**

El glicerol grado USP es incoloro, y cumple con los requerimientos de la USP. Este glicerol está clasificado como GRAS (generalmente reconocidos como seguros) por la FDA (*Food and Drug Administration*), y es adecuado para su uso en alimentos, productos farmacéuticos, y cosméticos, o cuando se demanda la más alta calidad, o el producto está diseñado para el consumo humano. Tiene un peso específico mínimo (25°C/25°C) de 1 249, lo que corresponde a >95% de glicerol; sin embargo, 99,5% es la pureza más común que se encuentra en el mercado.

No obstante, con el simple hecho de cumplir con las especificaciones establecidas en el compendio de la USP no es suficiente para considerar este glicerol como USP. Las prácticas de manufactura para productos farmacéuticos a granel deben ser estrictas, incluyendo su trazabilidad por lotes.

El grado de la Farmacopea Europea (PH.EUR.) es similar a la USP, pero el grado común de la PH.EUR. tiene un contenido mínimo de glicerol del 99,5%. El grado de química pura (CP, designa un grado de glicerol que es aproximadamente el mismo que la USP, pero las especificaciones varían ligeramente según lo acordado por el comprador y vendedor).

## **2.9. Aspectos económicos**

Hasta hace poco, la producción comercial y el consumo de glicerol fueron en general considerados como un indicador razonable de la actividad industrial, ya que entra en un gran número de procesos industriales. En el pasado, por lo general tendía a aumentar en períodos de prosperidad y a caer en tiempos de recesión.

En cualquier discusión sobre aspectos comerciales de los mercados del glicerol, es necesario tener en cuenta que, a diferencia de la mayoría de productos químicos industriales, el suministro de glicerina, no está determinado por su demanda, sino más bien por la demanda mundial de jabones, detergentes, suavizantes de tela, y más recientemente el biodiesel; así como todos los demás bienes en los que los ácidos grasos, alcoholes grasos y sus derivados son utilizados.

La producción de glicerol en los Estados Unidos (tabla III) aumentó de 19 800 toneladas métricas en 1920 a un máximo de 166 100 toneladas métricas en 1967. Durante los siguientes 20 años, América del Norte se mantuvo razonablemente estable entre 130 000-140 000 toneladas métricas/año. Sin embargo durante la década de 1990, la producción creció de nuevo superando los registros de 1967.

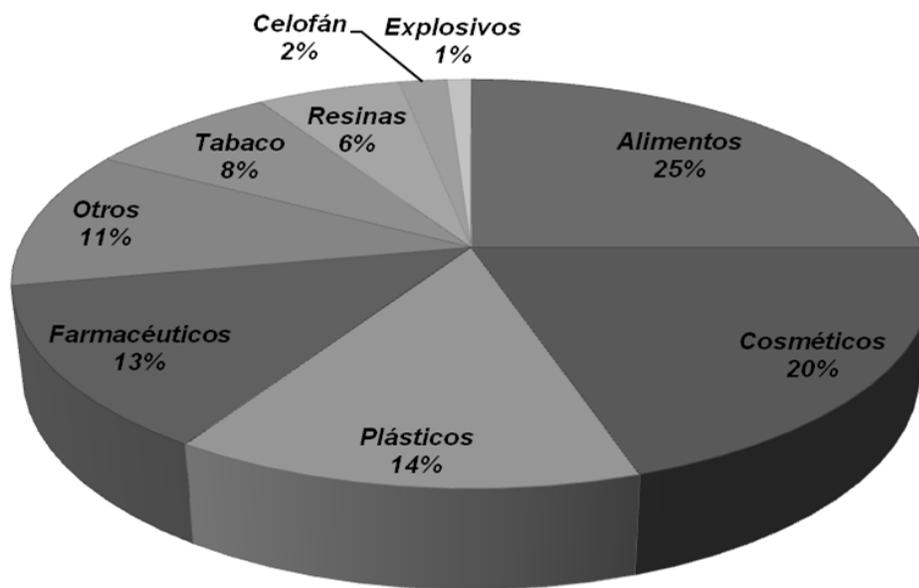
Al mismo tiempo, la producción mundial de glicerol se continuó expandiendo desde 650 000 toneladas métricas/año en 1995 hasta aproximadamente 800 000 toneladas métricas/año en el 2001.

## **2.10. Usos**

El glicerol es utilizado en casi todas las industrias. El mayor uso se le da en el mercado de la farmacéutica y productos orales incluidos la pasta dental y el enjuague bucal (ver figura 1).

Su uso en la transformación de tabaco y las espumas de poliuretano se mantiene en un nivel de consumo bastante uniforme. El uso en alimentos, medicamentos y cosméticos está creciendo, mientras que el uso en resinas alquídicas se ha reducido considerablemente.

Figura 1. **Aplicaciones de la glicerina en la industria**



Fuente: KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon Van; KRAHL, Jürgen. *The biodiesel handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005.

### 2.10.1. **Alimentos**

El glicerol se utiliza como un medio de transmisión de calor en contacto directo con los alimentos, en la congelación rápida y como lubricante en la maquinaria utilizada para la elaboración y envasado de alimentos.

Los emulsificantes representan un gran volumen utilizado en los alimentos en forma de ésteres de glicerol. Una mezcla de mono y di glicéridos es empleada comúnmente, pero a veces se utilizan los destilados.

El glicerol, como alimento, se digiere con facilidad y no es tóxico; su metabolismo coincide con el de los carbohidratos; aunque se presenta en forma combinada en todas las grasas vegetales y animales. En el sabor y color de los productos, el glicerol actúa como un solvente, y su viscosidad le da cuerpo a los productos. Las pasas saturadas con glicerol permanecen suaves cuando son mezcladas con los cereales. Se utiliza como disolvente, agente humectante y como vehículo en los jarabes. En los dulces y glaseados, el glicerol retarda la cristalización del azúcar.

### **2.10.2. Fármacos y cosméticos**

En los fármacos y medicinas, el glicerol es un ingrediente de muchas tinturas y elixires, y el glicerol de almidón se utiliza en jaleas y ungüentos.

Es empleada en medicamentos para la tos, analgésicos, como los tratamientos para los oídos; también se utiliza como medio de cultivo bacteriológico.

Sus derivados se utilizan en los tranquilizantes. En los cosméticos, el glicerol se utiliza en muchas cremas y lociones, para mantener la piel suave y reemplazar la humedad de la piel. Es ampliamente utilizado en las pastas dentales para mantener la suavidad y viscosidad deseada y darles brillo.

### **2.10.3. Tabaco**

En el proceso de transformación de tabaco, el glicerol es una parte importante de la solución que es rociada sobre la cubierta del tabaco antes que las hojas sean trituradas y empacadas.



Junto con otros agentes saborizantes, se aplica un porcentaje de aproximadamente 2,0% en peso del tabaco, para prevenir que las hojas se desmenuen y por lo tanto se desmoronen durante el procesamiento; debido a que permanece en el tabaco, el glicerol ayuda a retener la humedad, evitando así que seque y que esto influya en la velocidad de combustión. Se utiliza también en el procesamiento del tabaco de mascar, para agregar suavidad y evitar la deshidratación, y como plastificante en el papel para fumar.

#### **2.10.4. Materiales de envasado y embalaje**

Los empaques para carnes y algunos tipos especiales de papel, como el papel cristal y parafinado, necesitan plastificantes para darles flexibilidad y dureza, y como el glicerol es totalmente compatible con estos materiales, se utiliza como base; ya que no es absorbido por los alimentos y no se cristaliza o se volatiliza fácilmente.

#### **2.10.5. Lubricantes**

El glicerol puede ser utilizado como un lubricante en los lugares en los que un aceite puede fallar. Se recomienda utilizarlo en compresores de oxígeno, porque es más resistente a la oxidación que los aceites minerales.

También se utiliza para lubricar los rodamientos de las bombas expuestas a líquidos como gasolina y benceno, los cuales disolverían los lubricantes de aceites. En la industria alimenticia, farmacéutica y cosméticos, en las cuales hay un contacto con lubricantes, el glicerol se puede utilizar para reemplazar los aceites.

Se utiliza a menudo como lubricante por su alta viscosidad y su habilidad para mantener un fluido a bajas temperaturas, lo cual lo hace valioso, debido a que no requiere modificación. Para aumentar su poder lubricante, se puede dispersar grafito finamente cortado en el glicerol.

Su viscosidad puede ser disminuida por la adición de agua, alcohol, o glicoles y aumentada por la polimerización o la mezcla con un almidón; las pastas que tengan tales composiciones podrán utilizarse en tuberías de embalaje, en articulaciones, en líneas de gas o aplicaciones similares.

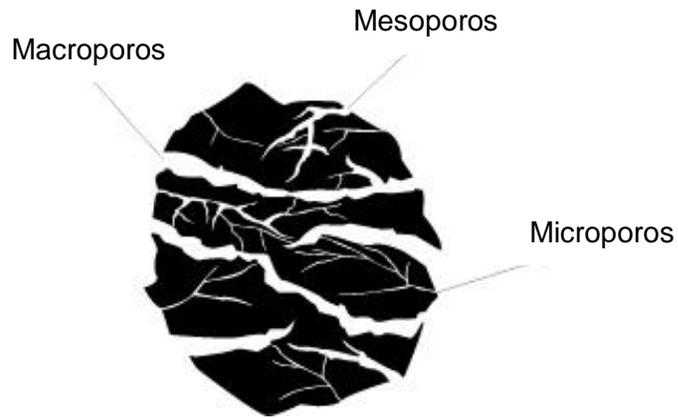
## **2.11. Métodos de decoloración**

### **2.11.1 Adsorción con Carbón Activado**

El Carbón Activado se produce artificialmente, de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna.

Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón.

Figura 2. **Estructura del Carbón Activado**



Fuente: CARBOTECHNIA. *Carbón activado*. <<http://www.carbotecnica.info>>. 24 de enero de 2011.

A esta propiedad se le llama adsorción; al sólido se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato". La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. Estas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles.

El Carbón Activado, es un compuesto covalente y, por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el Carbón Activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas.

Debido a lo anterior, una de las principales aplicaciones del Carbón Activado es la purificación de líquidos y gases, contaminados con alguna molécula orgánica.

## **2.11.2. Adsorción con tierras activadas**

Los fundamentos de este tipo de adsorción son los mismos que los del Carbón Activado, únicamente varían los adsorbentes, los cuales pueden ser:

### **2.11.2.1. Arcillas activadas Tonsil®**

Las arcillas activadas Tonsil® es una marca registrada de la empresa SudChemie que se dedica a la comercialización de productos para refinar líquidos en la industria química.

Este tipo de arcillas, por naturaleza, han sido usadas desde alrededor de 1880, bajo el nombre de “Arcillas Fuller”. Las arcillas de sílice, como la bentonita, pueden transformarse en arcillas decolorantes, altamente activadas mediante un tratamiento con ácidos.

Las arcillas decolorantes se han convertido en arcillas adsorbentes, y aunadas a su capacidad de adsorción de componentes de color y otras impurezas no deseadas en los aceites; su característica ácida y catalítica, así como su capacidad de intercambio iónico, son propiedades de gran importancia. La marca Tonsil es el nombre comercial para las arcillas decolorantes altamente activadas.

Las arcillas son de gran importancia para la producción de aceites y grasas de origen animal y vegetal en calidad de productos alimenticios básicos; así como en el tratamiento de aceites minerales y glicerina.

Entre los tipos más importantes de arcillas activadas se encuentran:

- **Arcillas activadas ácidas (*Tonsil Actisil 220FF*®)**

Es una arcilla altamente activada, desarrollada para satisfacer las más variadas exigencias en la refinación de todo tipo de aceites vegetales, grasas animales y aceites minerales. Su estructura molecular le permite resolver los problemas más críticos de adsorción que se presentan en la industria. Este tipo de arcilla es recomendable para la eliminación de clorofila en muchos tipos de aceites.

- **Arcillas activadas básicas (*Tonsil Supreme 526 F*®)**

Esta arcilla, de alta pureza, permite garantizar un alto grado de refinación y rendimiento, especialmente en aquellos aceites que por su naturaleza exigen de una calidad superior para su tratamiento. La arcilla es recomendada para aceites con alto contenido de clorofila.

Así como para obtener un alto grado de eficiencia en la remoción de colores, fosfátidos, compuestos de oxidación y metales pesados.

Figura 3. **Tierra de blanqueo Tonsil**®



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en laboratorio de industria jabonera.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Tabla IV. Definición operacional de las variables en la etapa 1: desmineralización de la glicerina cruda

No.	Variable	Dimensional	Variable independiente	Variable dependiente
1	Metanol	% m/m	X	
2	Sales inorgánicas extraídas	% m/m		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Definición operacional de las variables en la etapa 2: decoloración de la glicerina desmineralizada**

No.	Variable	Dimensional	Variable independiente	Variable dependiente
1	Tipo de agente decolorante	Adimensional	X	
2	Agente decolorante	% m/m	X	
3	<i>Color Lovibond RYBN</i>	Escala rojos (R) Escala amarillos (Y)		X
4	Color FAC	Adimensional		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

- Industria: productora de biodiesel
- Proceso: tratamiento de glicerina
- Etapas: desmineralización y decoloración
- Equipo: nivel laboratorio
- Alternativas evaluadas:
  - Variación de porcentaje en peso de metanol
  - Variación del tipo de agente decolorante
  - Variación de porcentaje en peso de agente decolorante



### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Jeimy Sabrina Barrios Pérez
- Asesor: Ing. Qco. César Alfonso García Guerra
- Consultor: Msc.Ing. Agr. Marino Barrientos

### 3.4. Recursos materiales disponibles

Tabla VI. **Cristalería utilizada durante la etapa experimental**

<b>Descripción</b>	<b>Especificaciones</b>
Tubos volumétricos para centrífuga	100 ml
Condensador	Tubo concéntrico
Balón de destilación	250 ml
Picnómetro	25 ml
Beacker	100, 250 y 600 ml
Pipetas volumétricas	1, 10 y 25 ml
Balón aforado	250 y 1 000 ml
Probetas	10, 50 y 100 ml
Buretas	25 y 50 ml
Erlenmeyer	250 y 1 000 ml
Embudo Büchner	Porcelana

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Equipo utilizado durante la etapa experimental**

<b>Descripción</b>	<b>Especificaciones</b>	
Balanza analítica	Marca:	Mettler
	Modelo:	AE200
	Exactitud	±0,001 g
Centrífuga	Marca:	IEC
	Modelo:	C-6 000
	Velocidad:	0-6 000 rpm
	Tiempo:	0-60 min
Horno	Marca:	<i>National Appliance Co.</i>
	Temperatura:	0-1 000°C
Tintómetro	Marca:	<i>Lovibond</i>
	Modelo:	PFX 995
Bomba de vacío	Marca:	Telstar
	Vacío máximo:	3 mbar
<i>Hot plate</i> con agitación	Marca:	Dragón
	Modelo:	AP-MS-S
	Temperatura:	0-450 °C
	Velocidad:	0-1 200 rpm
Termómetro	Marca:	<i>Ludwig Schneider</i>
	Temperatura:	-10–120°C

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Reactivos utilizados durante la etapa experimental**

<b>Descripción</b>	<b>Especificaciones</b>
Glicerina cruda	Biocombustibles de Guatemala
Metanol	Grado industrial, Brenntag
Carbón Activado	En polvo, QUISERTEC
Arcillas activadas	Tonsil Actisil 220FF® Tonsil Supreme 526FFF® SÜD-CHEMIE
Hidróxido de sodio (NaOH)	Concentración 0.1 N
Solución de ácido clorhídrico (HCl)	Concentración 0.1 N
Solución de Metaperyodato	No definida
Solución de etilenglicol	Concentración 50% en peso

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

- Etapa 1: desmineralización de glicerina cruda con variaciones en el porcentaje de metanol

En la primera etapa del estudio se determinó la proporción de metanol que lograba extraer el mayor porcentaje de sales inorgánicas solubilizadas en la glicerina; para realizar esto se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se colocaron 20 g. de glicerina en un tubo de centrífuga;
- Se agregó metanol, en función de la proporción estudiada;
- Se agitó la mezcla y luego se colocaron los tubos en la centrífuga, bajo las siguientes condiciones: rpm= 2 500 tiempo= 15 minutos;
- Luego de centrifugarse, se separó la glicerina de las sales inorgánicas y se colocó en otro recipiente previamente tarado, y retiró la glicerina remanente utilizando metanol;
- Para retirar las sales minerales del fondo del tubo de centrífuga, se agregó alcohol isopropílico con una piseta, la sal se trasegó a un beacker previamente tarado;
- Se colocó el beacker en el *hot plate*, donde se calentó hasta evaporar el solvente.

- Al finalizar, por diferencia de peso, se obtiene la cantidad de sulfato de potasio contenida en la glicerina.
- Etapa 2: decoloración utilizando Carbón Activado y arcillas activadas

La glicerina obtenida de la fase anterior se trató mediante el método de decoloración por adsorción, utilizando carbón activado y arcillas activadas en un porcentaje de 1- 4 (%m/m). Las condiciones estándar del procedimiento: agitación constante, T= 72-75 °C y t= 1,5 horas, los pasos que deben seguirse son:

- Se tomó una muestra de 50 g. de glicerina cruda (previamente desmineralizada y desmetanolizada) y se colocó en un beacker.
- Luego de haber definido el agente decolorante a utilizar, se agregó el porcentaje estudiado (1, 2, 3 o 4 %);
- La muestra se colocó en el *hot plate* junto con el agitador magnético;
- Agitar a velocidad constante y elevar la temperatura hasta los 75°C;
- Mantener la temperatura en un rango de 72-75 °C durante 1.5 horas;
- Filtrar la muestra y se dejar enfriar hasta temperatura ambiente;

- La muestra tratada, se coloca dentro de la celda de 10 mm del tintómetro *Lovibond PFX995*;
- Para leer el Color *Lovibond* y *FAC* en el tintómetro *Lovibond PFX995* se deben seguir los siguientes pasos:
  - ✓ Presionar MENU;
  - ✓ Presionar la flecha anaranjada hasta seleccionar la escala que desea utilizar;
  - ✓ Presionar ZERO para correr una línea de lectura inicial;
  - ✓ Presionar READ y anotar la lectura.

Figura 4. **Panel de control tintómetro *Lovibond PFX995***



Fuente: elaboración propia.

### **3.5.1 Recolección y ordenamiento de la información**

La recolección de datos se realiza para tener fundamentos y a su vez darle validez a la investigación. Los datos necesarios para el desarrollo de este trabajo se obtuvieron en dos etapas secuenciales.

En la primera, se realizaron tratamientos variando el porcentaje de metanol en las muestras de glicerina y con esto se obtuvieron los datos del porcentaje de sales inorgánicas contenidas. El tratamiento que mostrara mejores resultados de sales inorgánicas extraídas, sería el utilizado como condición de entrada para la siguiente etapa.

En la segunda, se trataron las muestras con diferentes tipos y porcentajes de agente decolorante, donde se midió posteriormente el *Color Lovibond RYBN* y *FAC*.

La recolección de los datos de pH, densidad, viscosidad y pureza de la glicerina comercial, se realizó con muestras de la industria jabonera. La información técnica de las materias primas se obtuvo del fabricante, al igual que los parámetros de proceso para estos mismos.

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

Los datos obtenidos en cada una de estas etapas, se analizaron utilizando los siguientes programas: Microsoft Excel® 2007 y Statistix® 9,0.

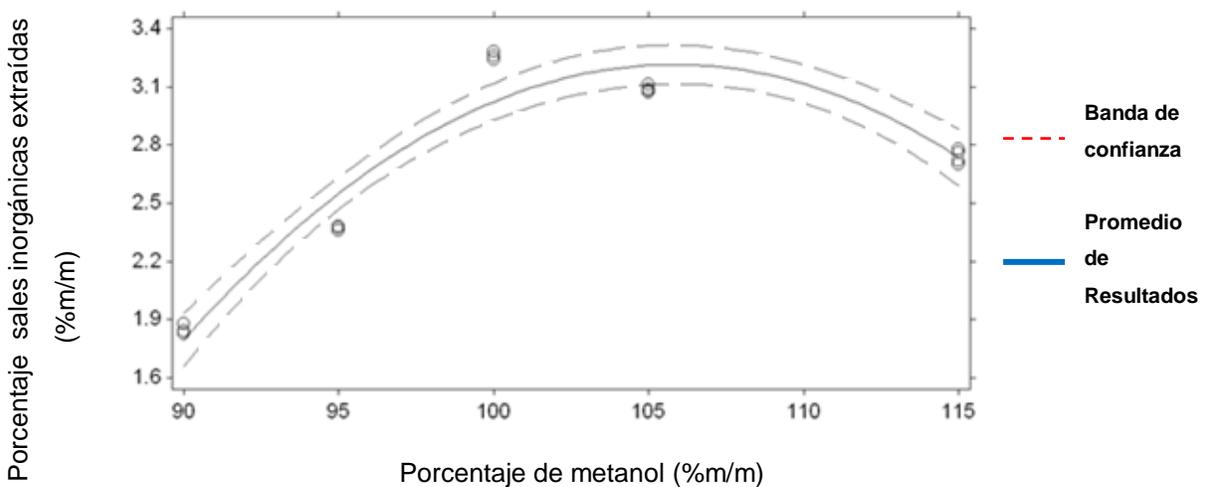
### 3.6.1. Análisis estadístico

En la etapa 1 se realizó un experimento utilizando un diseño en bloques al azar, con 8 tratamientos (proporciones de metanol) y 5 repeticiones cada uno.

Se realizó un análisis de varianza de dos vías, complementándose con el análisis de polinomios ortogonales. Debido a que se deseaba obtener un modelo de regresión para optimizar el porcentaje de metanol utilizado, de tal manera que se lograra extraer el máximo posible de sales, este modelo se estimó únicamente con las observaciones del rango de porcentaje de metanol [90-115 %].

Con los datos anteriores se realizó la siguiente gráfica:

Figura 5. **Curva para determinar porcentaje de metanol con el que se logra la mayor extracción de sales inorgánicas**



Fuente: elaboración propia. Con base en el programa Statistix® 9,0



Los coeficientes del modelo de regresión se encontraron utilizando Statistix® 9,0, los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Estimación del modelo de regresión cuadrática para los datos obtenidos durante la etapa de desmineralización**

<b>Variables</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Error Estándar</b>
Constante	-60,3421	4,97137
% metanol	1,2012	0,09731
% metanol <sup>2</sup>	-0,00568	7,734E-04
$R^2$ ajustado= 0,9061		

Fuente: elaboración propia. Con base en el programa Statistix® 9,0

Al modelo de regresión cuadrática se le realizó el análisis de varianza obteniendo los siguientes valores:

Tabla X. **Análisis de varianza del modelo de regresión estimado**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Regresión	2	6,00224	3,00112	116,75	0,00
Residual	22	0,56550	0,02570		
Total	24	6,56774			

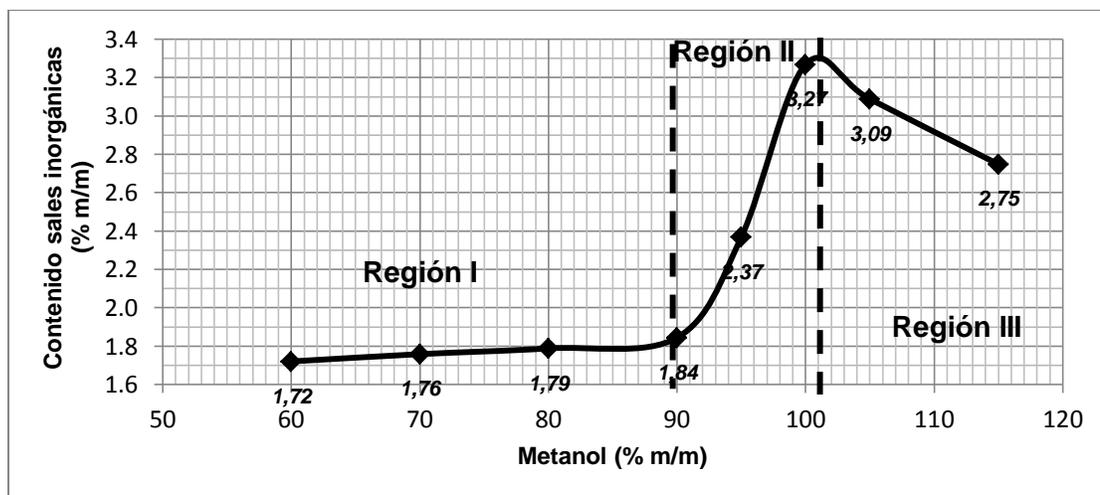
Fuente: elaboración propia. Con base en el programa Statistix® 9,0

En la etapa 2, no se realizó análisis estadístico, ya que las variables dependientes son cualitativas.



## 4. RESULTADOS

Figura 6. **Porcentaje en peso de sales inorgánicas extraídas en función del porcentaje del metanol agregado en una muestra de 20 g de glicerina cruda de biodiesel**



Fuente: elaboración propia.

Donde la ecuación de regresión es:

$$\% \text{ Sales inorgánicas} = -0,0057 \% \text{ metanol}^2 + 1,20131 \% \text{ metanol} - 60,342$$

$$R^2 = 0,9152$$

Condiciones de validez de la ecuación:

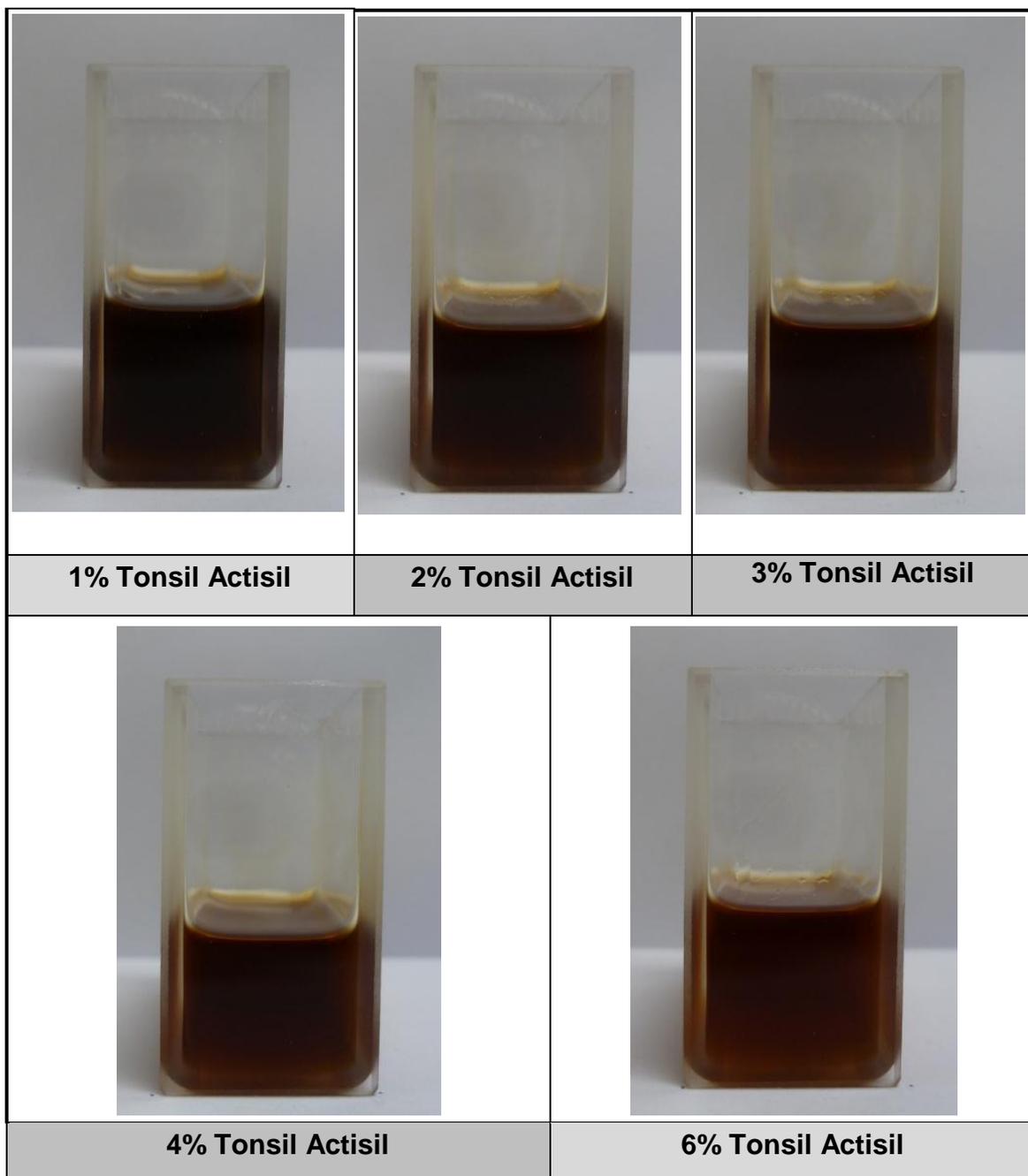
Dominio	[90, 115]	%metanol
Rango	[0, 2,9]	%sales inorgánicas

Tabla XI. **Color Lovibond RYBN y FAC en función del tipo y porcentaje de agente decolorante**

<b>Agente decolorante</b>	<b>% peso</b>	<b>Rojos</b>	<b>Amarillos</b>	<b>Color FAC</b>
Tonsil Actisil 220FF ®	1	12,0	6,9	41
	2	9,6	10,0	39
	3	7,9	12,0	25
	4	9,9	9,5	39
	6	6,8	13,0	35
Tonsil Supreme 526FF ®	1	12,5	6,7	41
	2	8,9	14,6	37
	3	8,0	20,0	29
	4	10,1	9,1	39
Carbón Activado	1	7,0	12,0	27
	2	2,1	5,9	7
	3	0,7	2,6	5
	4	0,8	2,7	5

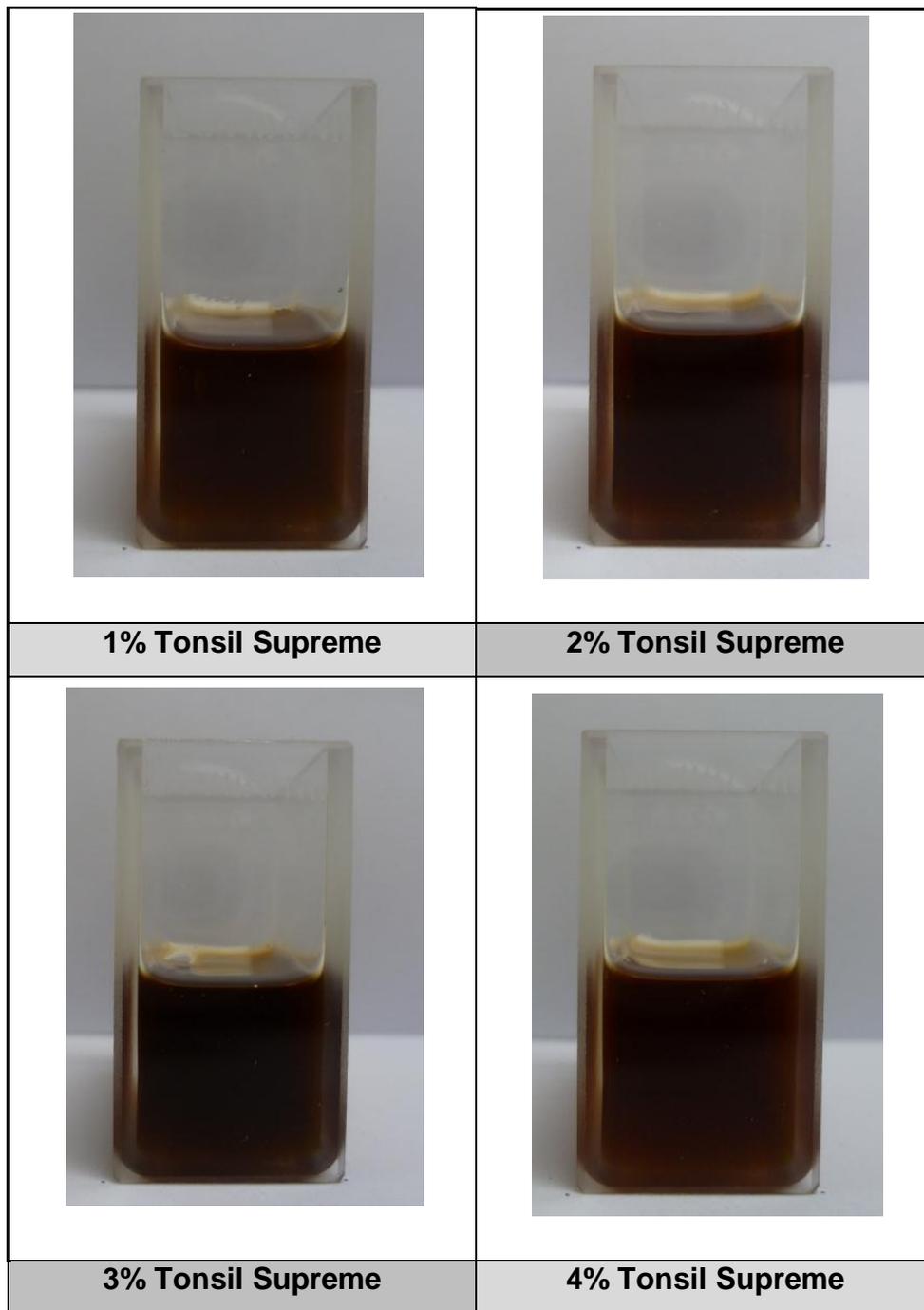
Fuente: elaboración propia. Resultados obtenidos del tintómetro *Lovibond PFX995*.

Figura 7. **Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de *Tonsil Actisil 220FF*®**



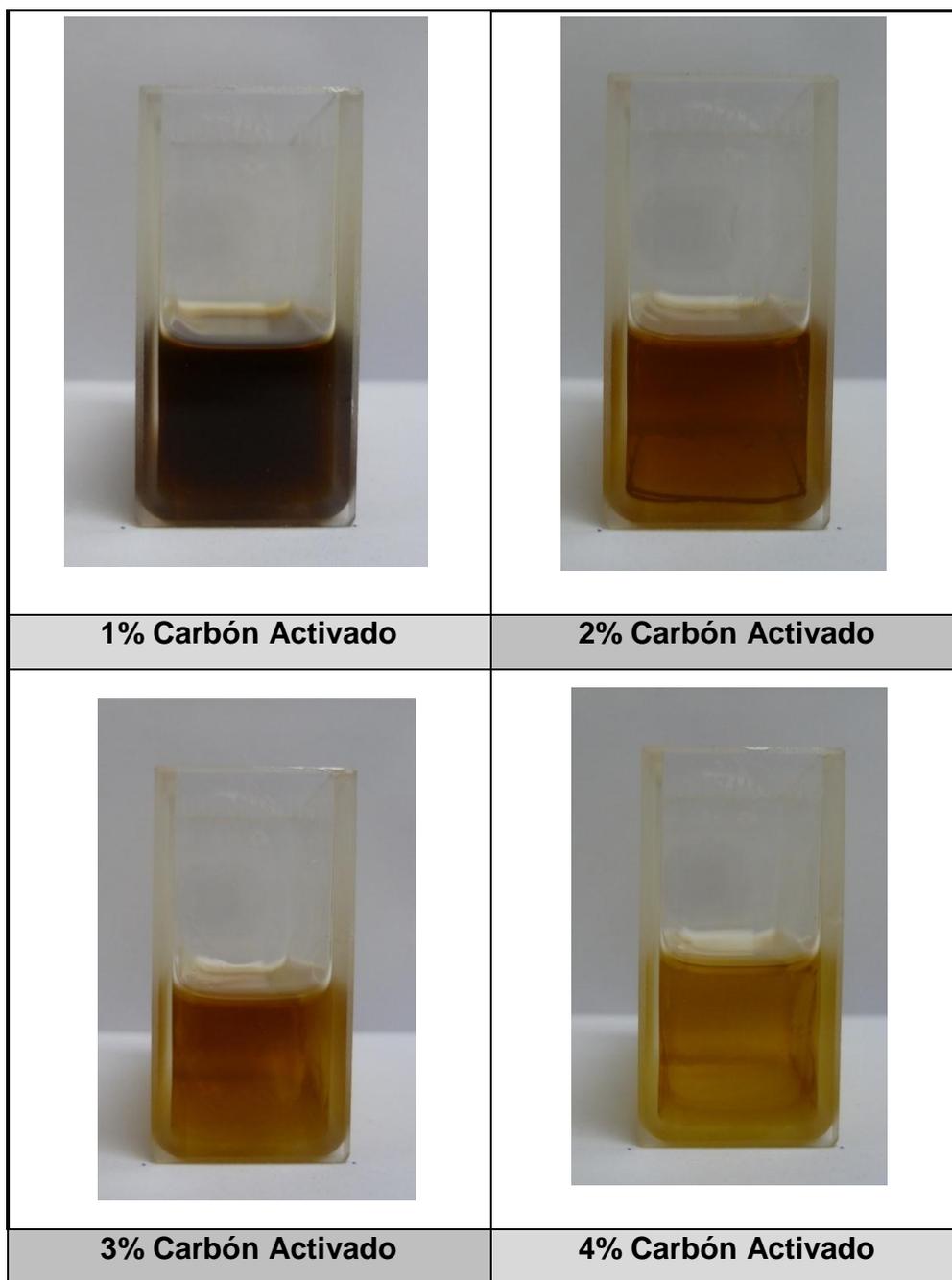
Fuente: elaboración propia. Fotografías tomadas durante el experimento realizado en laboratorio químico de industria jabonera.

Figura 8. **Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de Tonsil Supreme 526FF®**



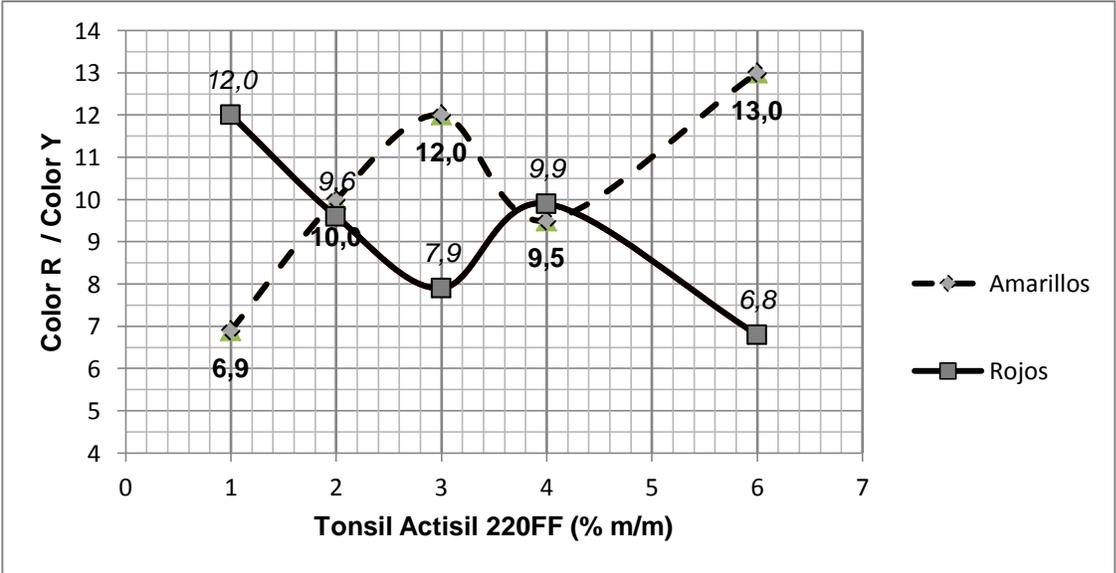
Fuente: elaboración propia. Fotografías tomadas durante el experimento realizado en laboratorio químico de industria jabonera.

Figura 9. **Imágenes de la glicerina decolorada en función del porcentaje de Carbón Activado**



Fuente: elaboración propia. Fotografías tomadas durante el experimento realizado en laboratorio químico de industria jabonera.

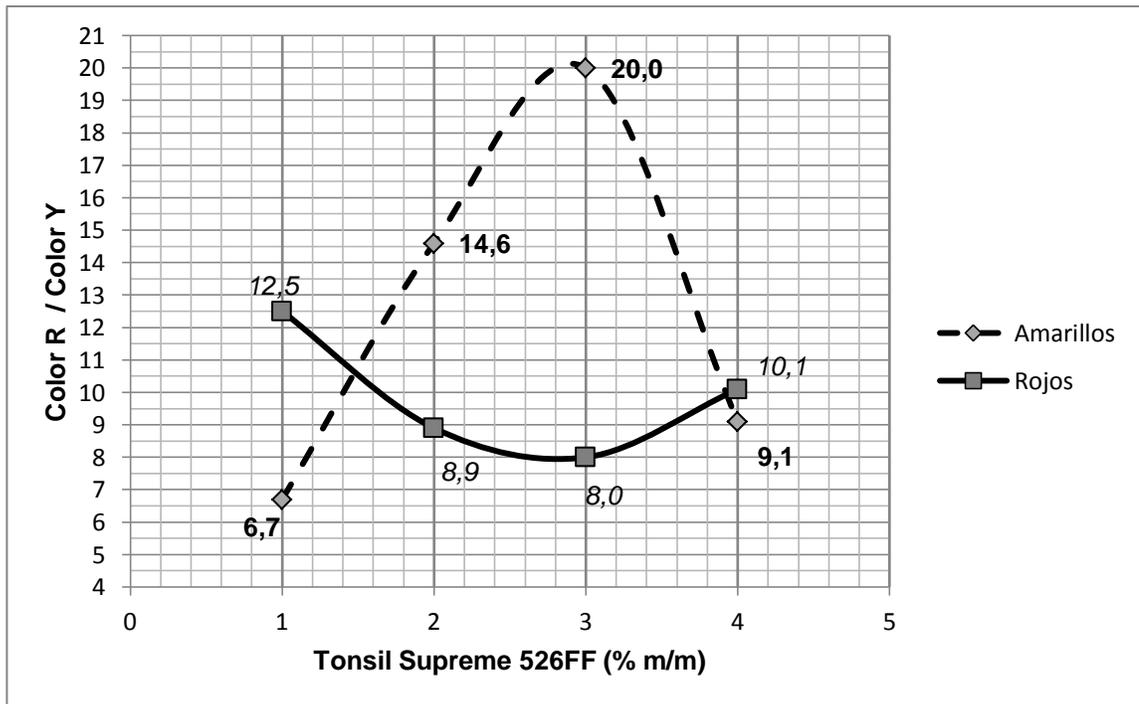
Figura 10. **Color Lovibond (rojos y amarillos) en función del porcentaje de Tonsil Actisil 220FF® utilizado**



Fuente: elaboración propia.

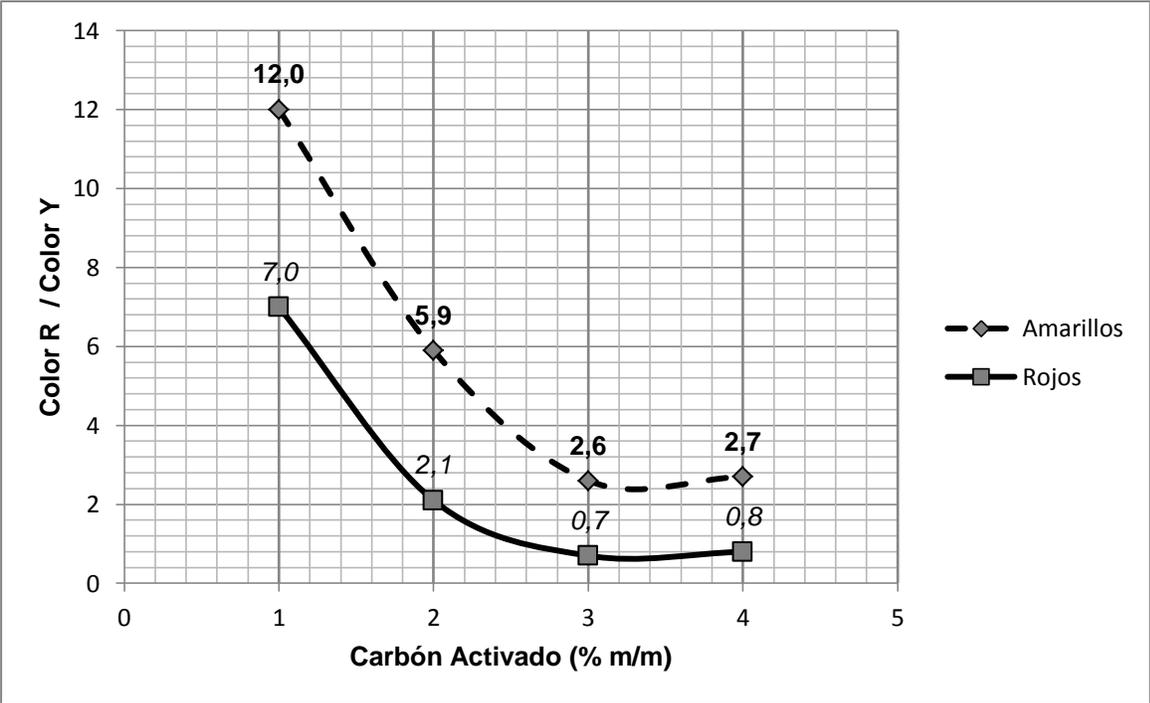


Figura 11. **Color Lovibond (rojos y amarillos) en función del porcentaje de Tonsil Supreme 526FF®**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Color Lovibond (rojos y amarillos) en función del porcentaje de Carbón Activado**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Comparación entre las propiedades fisicoquímicas de la glicerina de biodiesel y la glicerina de jabones**

<b>Parámetro</b>	<b>Glicerina cruda biodiesel</b>	<b>Glicerina refinada biodiesel</b>	<b>Glicerina comercial jabones</b>
pH	4,2	5,0	5,6
Densidad (g/ml)	1,30	1,22	1,25
Viscosidad (cP)	850	800	800
<i>Color Lovibond</i> (RY)	20,0 R 8,0 Y	0,8 R 2,7 Y	0,0 R 0,0 Y
Color <i>FAC</i>	43	5	0
Glicerina <sub>total</sub> (%m/m)	89,40	98,20	99,80

Fuente: elaboración propia. Experimento realizado en laboratorio químico de industria jabonera.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Sales inorgánicas extraídas de la glicerina cruda utilizando diferentes porcentajes de metanol

Durante la etapa de desmineralización de la glicerina cruda, se utilizó metanol como solvente para insolubilizar las sales inorgánicas contenidas en este subproducto.

Basados en el principio de la constante dieléctrica ( $\xi$ ) se utilizó metanol, el cual tiene una constante dieléctrica de 33 relativa al 56 de la glicerina. Consecuentemente, en solventes con  $\xi$  baja, como metanol, los iones de cargas opuestas, se atraen tan fuertemente que forman una sal; por el contrario, las fuerzas débiles que existen entre los iones con  $\xi$  alta, como la glicerina, permiten que cantidades significativas de iones permanezcan separadas. Entonces al encontrar el punto de equilibrio, se logrará que los iones se unan para formar una sal que pueda ser removida por métodos mecánicos de extracción, como la filtración al vacío.

Tomando en cuenta este parámetro se propusieron inicialmente cinco proporciones glicerina: metanol, variando únicamente el porcentaje de metanol agregado: 80, 60, 40, 20 y 10%. Con los resultados obtenidos durante estas corridas, se estableció una curva general donde se determinó el efecto del metanol en la glicerina cruda. En esta gráfica inicial, se agregaron algunos puntos para poder suavizar la curva y tener un mayor rango de datos, el cual permitió determinar una ecuación de correlación.

Los porcentajes de metanol agregados, se basan en un 100% de glicerina inicial, a la cual se fue agregando un porcentaje de metanol que inició en 10% y finalizó en 115%. Para facilitar la interpretación, esta gráfica se dividió en 3 regiones, cada una de las cuales será interpretada independientemente.

- Región I: abarca de 0 a 90% de metanol agregado, se observa que no existe mejora en la capacidad insolubilizante del metanol, las cantidades extraídas de sales inorgánicas se mantienen entre 1,7 y 1,8%, mostrando un comportamiento donde no existe mayor reducción de la solubilidad de las sales minerales en glicerina y es por esto que la tendencia de la gráfica es constante.
- Región II: se define desde 90 hasta cerca del 101% de metanol agregado, se observa un incremento notable en la reducción de la solubilidad de las sales inorgánicas lo cual da un máximo en 100%. La tendencia de la gráfica en esta región indica que se tiene una relación directamente proporcional, donde, al aumentar el % de metanol agregado, aumenta el % de sales inorgánicas extraídas.

Con base en la figura 6, puede indicarse que la máxima extracción se tendrá al agregar 100% de metanol a 100% de glicerina; este dato indica una proporción final de mezcla de: 50% de metanol y 50% de glicerina.

Este máximo representa al valor de constante dieléctrica de 44,5 en el cual se obtendrá una extracción completa de las sales contenidas en la muestra de glicerina cruda.

- Región III: va desde 101% a 115%; donde empieza a disminuir nuevamente la capacidad de reducción de la solubilización del metanol en la glicerina. Por lo tanto, la cantidad de sales inorgánicas extraídas presenta una tendencia inversamente proporcional al metanol agregado.

En la transición entre la región II y III, se tiene un cambio abrupto en la capacidad de insolubilización del metanol, mostrando una mejora en la solubilidad de las sales inorgánicas nuevamente en la glicerina; observando que los porcentajes de sales extraídas descienden desde 3,3 hasta 2,75.

## **5.2 Decoloración de glicerina desmineralizada utilizando tres tipos de agentes decolorantes**

Para evaluar la decoloración de la glicerina se utilizaron tres agentes decolorantes: Tonsil Actisil, Tonsil Supreme y Carbón Activado. Para cada uno de estos sistemas se varió el porcentaje en peso contenido y se observaron comportamientos diferentes en función de cada uno de estos.

La variable de respuesta para estos tratamientos es el *Color Lovibond RYBN* y *Color FAC*, ambos son variables cualitativas. Estas dos variables difieren en las unidades de medida, el *Color Lovibond* está expresado en rojos (R) y amarillos (Y) y el *Color FAC* da valores numéricos basados en la escala utilizada para medir color en grasas animales.

Debido a que el *Color Lovibond* no puede ser expresado como un dato cuantitativo puntual, se trazaron dos curvas en una misma gráfica, donde la curva roja representa los valores en la escala de rojos y la curva amarilla representa los valores en la escala de amarillos para cada uno de los tratamientos realizados. En la gráfica aparece con línea intermitente.

Se utilizó para la decoloración las arcillas activadas y el Carbón Activado, ya que poseen un alto nivel de porosidad, que al ponerlos en contacto con la glicerina y agitar, la mayoría de los pigmentos contenidos en este son absorbidos por estos agentes decolorantes.

Los colores de la glicerina se caracterizan debido a la materia prima de la cual provienen, los colores amarillos los aportan los aceites en los cuales las frituras contenían una gran cantidad de almidón y azúcares y los colores rojos los aportan los aceites que fueron utilizados a altas temperaturas.

El primer sistema analizado es el de Tonsil Actisil-Glicerina, el comportamiento de las curvas de rojos y amarillos se puede observar en la figura 10.

En el rango del 1 al 3 % de Tonsil se observa que el agente decolorante tiene una tendencia a la captura de colores rojos, ya que disminuyeron desde 12,0 hasta 7,9; luego de este valor al agregar 4% nuevamente aumenta el color rojo a 9,9. Este cambio indica que el 3% es el límite en el cual el agente decolorante se satura de rojos y ya no es capaz de capturar más este color, por lo cual en el siguiente tratamiento con 4%, aumenta el valor de rojos y disminuyen los amarillos, hasta tener un color que está compuesto por la misma cantidad de rojos y amarillos (9,9R, 9,5Y).

Con el último tratamiento: 6% de Tonsil Actisil, nuevamente se ve la tendencia del agente decolorante de aumentar la captura de rojos, por lo cual podría decirse que es un ciclo en el que la adsorción de colores llega a un máximo y un mínimo, con base en los colores rojos, tal y como se observa en el rango de 1 a 3 % de Tonsil.



Existe una alta probabilidad, basados en este comportamiento, de que al realizar un estudio donde se amplíe el rango del porcentaje de Tonsil agregado, se determine si este comportamiento cíclico al final llega a un valor constante, donde ya no sea posible decolorar más la glicerina. Pero con base en los resultados obtenidos, se tiene la mejor decoloración con el 4 %.

El segundo sistema estudiado es: Tonsil Supreme-Glicerina, el comportamiento de estas curvas se puede observar en la figura 11. Para este sistema de blanqueo se muestra una tendencia similar a la del sistema anterior con una adsorción de colores rojos por parte del agente decolorante.

El comportamiento con este tratamiento, muestra una tendencia decreciente en los colores rojos desde 1% a 3%. De igual manera, en este rango se observa un aumento en los colores amarillos; con base en lo anterior se puede definir que la presencia de rojos respecto de amarillos, es inversamente proporcional.

Por ejemplo cuando se trata la muestra con 1%, se observan rojos de 12,5 y amarillos de 6,7 y luego al aumentar el porcentaje de agente decolorante agregado a 2%, disminuyen los rojos hasta 8,0 y aumentan los amarillos a 14,6. Al llegar al 3% se tiene una muestra que contiene 3 veces más amarillos (20,0Y) y dos veces menos rojos (6,0R); en este punto observamos que tenemos un máximo de ambos colores, pero al agregar 4%, nuevamente aumentan los rojos hasta 10,1 y los amarillos disminuyen hasta 9,1. Finalmente, en 4% se tiene una muestra que contiene colores rojos y amarillos cercanos en sus escalas respectivas (10,1R, 9,1Y).

Lo analizado anteriormente, demuestra que 3% es el porcentaje en el cual el agente decolorante se satura y ya no es capaz de extraer más color, aunque se agregue un mayor porcentaje en peso.

Las curvas de Tonsil Actisil y Tonsil Supreme tienen un comportamiento similar, diferenciándose en que, en el valor máximo de reducción de color rojo, los amarillos son mayores utilizando Tonsil Supreme que Actisil.

El último sistema analizado es el de Carbón Activado-Glicerina, en este se observa un comportamiento diferente al de los dos anteriores. Para este sistema se tiene una disminución en los colores rojos y amarillos, de manera inversamente proporcional. Conforme se aumenta la cantidad de Carbón Activado agregado, disminuyen ambos colores; es por esto que en las imágenes mostradas para este tratamiento, se puede observar cómo la mejor muestra, que es la de 4%, presenta menor coloración y pasó de ser un color café hasta un amarillo claro.

El primer tratamiento, 1% Carbón Activado, presenta valores de 12,0Y 7,0R, pero aún no se observa mayor avance en la decoloración. Luego, al agregar 2%, se tiene una reducción de color rojo hasta 2,1 y amarillo 5,9, con 3%, la tendencia sigue siendo descendente, llevando el valor de los rojos a 0,7 y los amarillos a 2,6. Posteriormente, se realizó un último tratamiento, en el cual se utilizó 4%, con esta cantidad de agente decolorante se observó un cambio en el comportamiento de las curvas, ya que empezó a ascender nuevamente y mostró valores de color rojo 0,8 y color amarillo 2,7.

Independientemente de este aumento, en el color rojo (0,1R más que la tratada con 3%), la muestra resultante de este último tratamiento, es la que presenta una mayor decoloración (ver figura 9).

Al analizar las curvas se puede determinar que este sistema, al igual que los de arcillas activadas, se saturan de color rojo al utilizar 3% de agente decolorante, esto debido a que en el siguiente tratamiento muestran valores de rojos con tendencias ascendentes; en el sistema de Carbón Activado no se presentó una diferencia mayor en el 4% respecto del 3%, según la escala de color, pero físicamente las muestras sí varían en su color.

### **5.3 Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la glicerina refinada de biodiesel con la glicerina obtenida durante la producción de jabón**

En la medición del color de la glicerina, la diferencia entre ambas se basa en el proceso mediante el cual estas son generadas. La glicerina obtenida durante el proceso de manufactura de jabón contiene menor cantidad de impurezas ya que la industria jabonera guatemalteca utiliza sebo industrial como materia prima para la elaboración de sus productos, usualmente *Top Fancy* con un Color FAC de 5, lo cual favorece a la glicerina ya que se obtiene como aguas glicerosas, las cuales no presentan contaminantes orgánicos difíciles de remover.

En cambio la glicerina de biodiesel, no tiene una materia prima que cumpla con ciertas especificaciones del color; además de esto, la mayoría de biodiesel, actualmente se fabrica a partir de aceites de fritura; este tipo de aceites, carece de una medición en el ingreso que restrinja este parámetro.

Además de esto, se debe considerar que el aceite de frituras puede provenir de varias fuentes: pollo, papas, carnes etc. Cada una de de las cuales aporta a la materia prima colorantes como almidones y carotenos, los cuales al momento de producir biodiesel, son adsorbidos por la glicerina y posteriormente deben de ser removidos de esta, para que la glicerina pueda ser comercializada en el mismo mercado, que la obtenida del proceso de jabones.

Los datos obtenidos de las tres muestras de glicerina analizadas, antes de refinada, después de refinada y refinada del proceso de jabones, se analizan a continuación:

- pH: (concentración molar de H<sup>+</sup>)

Los valores de pH para todas las muestras se encuentran en el rango ácido de la escala de pH. Esto debido al proceso del cual se deriva este subproducto; para la glicerina de biodiesel, este proviene de un proceso de esterificación ácida donde se utilizan cantidades altas de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para disminuir el índice de acidez del aceite y poder llevar a cabo la transesterificación.

Por lo tanto, estas impurezas se ven adsorbidas en la glicerina, por tal razón muestran valores de pH bajos. Si se comparan los datos obtenidos para la glicerina de biodiesel = 5,0 respecto de la del proceso de jabones = 5,6, este 0,6 corresponde a 4 veces la concentración de iones hidrógeno [H<sup>+</sup>]; esto se atribuye al tipo de reacción de donde se obtiene el biodiesel. Además de esto, dependiendo del uso final que se le dará a este subproducto, este parámetro no es crítico para su uso.

- Densidad y viscosidad

Para estos dos parámetros, la glicerina sin refinar es la que tiene un valor más alto de las tres muestras. Luego de remover las sales inorgánicas e impurezas, el valor de la densidad y viscosidad disminuyen 6,5%. Ambas alcanzan valores similares a los de la glicerina comercial. Esto indica que luego de remover las impurezas contenidas en la muestra sin refinar, se mejoran los valores de los dos parámetros.

- Color Lovibond RYBN & FAC

Para el color, sí existe una diferencia radical tanto a la vista como lo indicado por los valores de *Lovibond RYBN* y *FAC*. Para la muestra refinada por el método estudiado en este trabajo de graduación donde se utiliza Carbón Activado al 4 % el valor de Color *Lovibond* = 0,8 R 2,7Y y *FAC* = 5.

Mientras tanto la glicerina comercializada obtenida del proceso de jabones, tiene Color *Lovibond* = 0,0 R 0,0 Y y *FAC* = 0 ya que es una muestra incolora, esta pérdida completa del color se atribuye al proceso de refinación de la misma, debido a que se destila en torres a alta presión donde todos los componentes pesados se quedan en la cola y los volátiles (glicerina) se va a la parte superior donde se condensa y se obtiene esta glicerina USP.

- Contenido total de glicerina (%)

Según los resultados obtenidos, desde la glicerina sin refinar hasta la decolorada, o bien refinada, existe un aumento en el contenido de glicerina total de 9%; esto se debe a la remoción de impurezas, tales como sales inorgánicas y color, por lo cual aumentó su contenido de glicerina.

Respecto de la diferencia de éste parámetro, para glicerina de biodiesel (98,20%) con relación al de la glicerina de la industria jabonera (99,80%), se determinó mediante el método de humedad *Karl Fischer* que el 1,6% restante es agua, la cual se podría eliminar mediante una destilación, para obtener la misma pureza que la glicerina comercializada actualmente.

A partir de estos resultados finales de la glicerina: pH, densidad, viscosidad, *Color Lovibond & FAC* y contenido total de glicerina se puede interpretar que como respuesta al proceso de desmineralización y decoloración, las propiedades fisicoquímicas de la glicerina de biodiesel obtenidas se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la glicerina refinada obtenida del proceso de jabones, por lo cual sería posible su comercialización.

## CONCLUSIONES

1. Utilizando el método de desmineralización y refinación propuesto, se logró el refinamiento de la glicerina de biodiesel a partir de oleínas y aceite de frituras.
2. El requerimiento de metanol para eliminar la mayor cantidad de sales inorgánicas en la glicerina de biodiesel a partir de oleínas y aceite de frituras es del 100%, que corresponde a una proporción de 1 parte de glicerina y 1 de metanol.
3. La decoloración de la glicerina lograda con el menor índice de reducción de color basado en Color *Lovibond*, Color FAC y visualmente, es el de Carbón Activado al 4%.
4. Los sistemas en los que se utilizó Tonsil Actisil, Tonsil Supreme y Carbón Activado, presentan una saturación en la adsorción del color rojo en 3% en peso de agente decolorante.
5. No se puede determinar la tendencia de los tres sistemas al utilizar 6% de agente decolorante ya que únicamente se aplicó este valor al sistema de Tonsil Actisil.
6. El sistema de Tonsil Actisil presenta el mismo comportamiento que los otros dos sistemas, diferenciando que al agregar 6% los colores rojos de la mezcla disminuyen nuevamente.

7. Visualmente, la muestra obtenida del mejor tratamiento de decoloración, no alcanza el nivel de decoloración de la glicerina comercial obtenida durante el proceso de manufactura de jabones.
  
8. Los valores de densidad, viscosidad, pH y contenido total de la glicerina de biodiesel refinada, en comparación a los de la glicerina de jabones, se encuentran dentro de los parámetros aceptados, por lo cual podría ser comercializada en procesos donde el color de esta no sea de relevancia.



## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la decoloración de la glicerina en función del tiempo de retención del agente de blanqueo en la muestra, para determinar si este sería un parámetro crítico el cual pueda mejorar la decoloración de glicerina cruda.
2. Realizar un estudio económico del proceso de elaboración de biodiesel para determinar si al momento de refinar la glicerina obtenida, es viable la producción del mismo, tomando en cuenta los costos de tratamiento de este subproducto.
3. Evaluar el uso de la glicerina decolorada con 3% de Carbón Activado, en algún proceso de manufactura de las industrias guatemaltecas.
4. Realizar un diseño de una planta de refinación para glicerina obtenida, del proceso de transesterificación de ácidos grasos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CARBOTECNIA. *Carbón activado* [en línea]. <<http://www.carbotecnia.info>>. [consulta: 24 de enero de 2011].
2. Comisión Ejecutiva Interministerial. *Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel en Brasil* [en línea]. <<http://www.biodiesel.gov.br/>> . [consulta: 12 de julio de 2010].
3. KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon Van; KRAHL, Jürgen. *The biodiesel handbook*. Champaign, Illinois : AOCS Press, 2005. 250 p.
4. OLEOLINE. *Weekly Glycerine Report* [en línea]. <<http://www.oleoline.com>>. [consulta: 26 de octubre de 2010].
5. Süd Chemie Creating Performance Technology. *Adsorbents Division* [en línea]. <<http://www.sud-chemie.com>>. [consulta: 26 de enero de 2011].
6. *Tierramérica: medio ambiente y desarrollo. Energía- Brasil: Biodiesel impulsa esperanza alternativa* [en línea]. <<http://www.tierramerica.net.14>>. [consulta: 24 de agosto de 2010].



## APÉNDICE

### Apéndice 1. Datos originales

Tabla I. Datos obtenidos durante la primera corrida de la etapa de desmineralización de glicerina cruda variando el porcentaje de metanol agregado a una muestra inicial de 20 g

Muestra	Proporción glicerina:metanol	Glicerina (g)	Metanol (g)	Peso total mezcla (g)	Tara beacker (g)	Peso final (g)	Peso neto sulfato (g)	Sulfato de potasio (%m/m)
A	1:0,6	20,0530	12,50	32,6	45,6159	46,1758	0,5599	1,72
B	1:0,7	20,0714	14,05	34,1	43,8428	44,4399	0,5971	1,75
C	1:0,8	20,0032	16,00	36,0	56,0034	56,6479	0,6445	1,79
D	1:0,9	20,2500	18,70	39,0	43,4874	44,2041	0,7167	1,84
E	1:1	20,1250	20,00	40,1	57,0046	58,3207	1,3161	3,28
F	1:1,15	20,0321	23,00	43,0	42,4854	43,6559	1,1705	2,72
G	1:0,95	20,0714	23,00	43,1	42,4854	43,5019	1,0165	2,36
H	1:1,05	20,0530	23,00	43,1	42,4854	43,8157	1,3303	3,09

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

**Tabla II. Datos obtenidos durante la segunda corrida de la etapa de desmineralización de glicerina cruda variando el porcentaje de metanol agregado a una muestra inicial de 20 g**

<b>Muestra</b>	<b>Proporción glicerina:metanol</b>	<b>Glicerina (g)</b>	<b>Metanol (g)</b>	<b>Peso total mezcla (g)</b>	<b>Tara beacker (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso neto sulfato (g)</b>	<b>Sulfato de potasio (%m/m)</b>
B	1:0,7	20,1015	14,07	34,2	43,8428	44,4408	0,5980	1,75
D	1:0,9	20,1232	18,11	38,2	43,4874	44,2060	0,7186	1,88
E	1:1	20,0232	20,02	40,0	57,0046	58,3013	1,2967	3,24
C	1:0,8	20,0820	16,07	36,1	56,0034	56,6501	0,6467	1,79
A	1:0,6	20,0012	12,00	32,0	45,6159	46,1804	0,5645	1,76
F	1:1,15	20,0137	23,00	43,0	42,4854	43,6726	1,1872	2,76
H	1:0,95	20,0351	23,00	43,0	42,4854	43,8238	1,3384	3,11
G	1:1,05	20,2500	23,00	43,3	42,4854	43,5104	1,0250	2,37

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

**Tabla III. Datos obtenidos durante la tercera corrida de la etapa de desmineralización de glicerina cruda variando el porcentaje de metanol agregado a una muestra inicial de 20 g**

<b>Muestra</b>	<b>Proporción glicerina:metanol</b>	<b>Glicerina (g)</b>	<b>Metanol (g)</b>	<b>Peso total mezcla (g)</b>	<b>Tara beacker (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso neto sulfato (g)</b>	<b>Sulfato de potasio (%m/m)</b>
C	1:0,8	20,0032	16,00	36,0	56,0034	56,6499	0,6465	1,80
A	1:0,6	20,0530	12,50	32,6	45,6159	46,1809	0,5650	1,74
B	1:0,7	20,0714	14,05	34,1	43,8428	44,4412	0,5984	1,75
E	1:1	20,1250	20,00	40,1	57,0046	58,3109	1,3063	3,26
D	1:0,9	20,2500	18,70	39,0	43,4874	44,2023	0,7149	1,84
F	1:1,15	20,1243	23,00	43,1	42,4854	43,6843	1,1989	2,78
G	1:0,95	20,0012	23,00	43,0	42,4854	43,8098	1,3244	3,08
H	1:1,05	20,0351	23,00	43,0	42,4854	43,5010	1,0156	2,36

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

**Tabla IV. Datos obtenidos durante la cuarta corrida de la etapa de desmineralización de glicerina cruda variando el porcentaje de metanol agregado a una muestra inicial de 20 g**

<b>Muestra</b>	<b>Proporción glicerina:metanol</b>	<b>Glicerina (g)</b>	<b>Metanol (g)</b>	<b>Peso total mezcla (g)</b>	<b>Tara beacker (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso neto sulfato (g)</b>	<b>Sulfato de potasio (%m/m)</b>
D	1:0,9	20,2001	18,70	38,9	43,4874	44,2001	0,7127	1,83
E	1:1	20,1103	20,00	40,1	57,0046	58,3190	1,3144	3,28
A	1:0,6	20,0130	12,50	32,5	45,6159	46,1950	0,5791	1,78
B	1:0,7	20,0042	14,00	34,0	43,8428	44,4029	0,5601	1,65
C	1:0,8	20,0410	16,03	36,1	56,0034	56,6408	0,6374	1,77
F	1:1,15	20,0156	23,00	43,0	42,4854	43,6468	1,1614	2,70
H	1:0,95	20,0000	23,00	43,0	42,4854	43,5045	1,0191	2,37
G	1:1,05	20,0351	23,00	43,0	42,4854	43,8066	1,3212	3,07

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.



**Tabla V. Datos obtenidos durante la quinta corrida de la etapa de desmineralización de glicerina cruda variando el porcentaje de metanol agregado a una muestra inicial de 20 g**

<b>Muestra</b>	<b>Proporción glicerina:metanol</b>	<b>Glicerina (g)</b>	<b>Metanol (g)</b>	<b>Peso total mezcla (g)</b>	<b>Tara beacker (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso neto sulfato (g)</b>	<b>Sulfato de potasio (%m/m)</b>
E	1:1	20,1001	20,00	40,1	57,0046	58,3190	1,3144	3,28
D	1:0,9	20,0913	18,70	38,8	43,4874	44,1990	0,7116	1,83
B	1:0,7	20,0430	14,03	34,1	43,8428	44,4401	0,5973	1,75
C	1:0,8	20,0401	16,03	36,1	56,0034	56,6480	0,6446	1,79
A	1:0,6	20,0033	12,50	32,5	45,6159	46,1801	0,5642	1,74
F	1:1,15	20,0654	23,00	43,1	42,4854	43,6826	1,1972	2,78
G	1:0,95	20,0145	23,00	43,0	42,4854	43,5091	1,0237	2,38
H	1:1,05	20,0012	23,00	43,0	42,4854	43,8141	1,3287	3,09

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla VI. **Color Lovibond RYBN y FAC para la primera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Actisil 220FF®**

Muestra	Tonsil Actisil 220FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
----	0	43	20,0	8,0
A	1	41	12,0	6,9
B	2	39	9,6	10,0
C	3	25	7,9	12,0
D	4	39	9,9	9,5
E	6	35	6,8	13,0

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla VII. **Color Lovibond RYBN y FAC para la segunda corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Actisil 220FF®**

Muestra	Tonsil Actisil 220FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
-----	0	43	20,0	8,0
C	3	25	7,8	12,4
B	2	39	9,5	10,2
A	1	41	12,1	7,0
E	6	35	6,9	12,9
D	4	39	9,8	9,7

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla VIII. **Color Lovibond RYBN y FAC para la tercera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Actisil 220FF®**

Muestra	Tonsil Actisil 220FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
-----	0	43	20,0	8,0
B	2	39	9,6	10,0
E	6	35	6,8	13,0
C	3	25	7,9	12,0
A	1	41	11,8	7,0
D	4	39	9,9	9,6

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla IX. **Color Lovibond RYBN y FAC para la primera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Supreme 526FF®**

Muestra	Tonsil Supreme 526FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
----	0	43	20,0	8,0
A	1	41	12,5	6,7
B	2	37	8,9	14,6
C	3	29	8,0	20,0
D	4	39	10,1	9,1

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla X. **Color Lovibond RYBN y FAC para la segunda corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Supreme 526FF®**

Muestra	Tonsil Supreme 526FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
----	0	43	20,0	8,0
B	2	37	9,1	14,8
C	3	29	8,1	20,2
A	1	41	12,5	6,5
D	4	39	10,0	9,3

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla XI. **Color Lovibond RYBN y FAC para la tercera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Tonsil Supreme 526FF®**

Muestra	Tonsil Supreme 526FF (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
----	0	43	20,0	8,0
C	1	29	8,0	20,2
B	2	37	8,9	14,5
D	3	39	10,1	9,2
A	4	41	12,7	6,4

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla XII. **Color Lovibond RYBN y FAC para la primera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Carbón Activado**

Muestra	Carbón Activado (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
----	0	43	20,0	8,0
A	1	27	7,0	12,0
B	2	7	2,1	5,9
C	3	5	0,7	2,6
D	4	5	0,8	2,7

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.



Tabla XIII. **Color Lovibond RYBN y FAC para la segunda corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Carbón Activado**

Muestra	Carbón Activado (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
-----	0	43	20,0	8,0
B	2	7	2,1	6,0
D	4	5	0,8	2,6
A	1	27	7,0	12,1
C	3	5	0,7	2,7

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

Tabla XIV. **Color Lovibond RYBN y FAC para la tercera corrida en la decoloración de una muestra de glicerina pre-tratada variando el porcentaje de Carbón Activado**

Muestra	Carbón Activado (%m/m)	FAC	Lovibond	
		Color	Rojos	Amarillos
-----	0	43	20,0	8,0
D	4	5	0,8	2,7
A	1	27	7,1	12,3
C	3	5	0,7	2,6
B	2	7	2,1	5,9

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos en laboratorio.

## Apéndice 2. Datos calculados

Tabla XV. **Porcentaje de sales inorgánicas extraídas para cada corrida, variando el porcentaje de metanol en una muestra de 20 g de glicerina cruda**

Corrida No.	Muestra	Metanol (%m/m)	Sales inorgánicas (%m/m)
1	A	60	1,72
	B	70	1,75
	C	80	1,79
	D	90	1,84
	E	95	2,36
	F	100	3,28
	G	105	3,09
	H	115	2,72
2	B	70	1,75
	D	90	1,88
	E	100	3,24
	C	80	1,79
	A	60	1,76
	F	115	2,76
	H	105	3,11
3	G	95	2,37
	C	80	1,80
	A	60	1,74
	B	70	1,75
	E	100	3,26
	D	90	1,84
	F	115	2,78
	G	105	3,08
4	H	95	2,36
	D	90	1,83
	E	100	3,28
	A	60	1,78
	B	70	1,65
	C	80	1,77
	F	115	2,70
	H	95	2,37
5	G	105	3,07
	E	100	3,28
	D	90	1,83
	B	70	1,75
	C	80	1,79
	A	60	1,74
F	115	2,78	

Fuente: elaboración propia. Datos experimentales obtenidos a nivel laboratorio.



### Apéndice 3. Muestra de cálculo

- **Sales inorgánicas contenidas en glicerina cruda**

Para determinar las sales inorgánicas contenidas en la muestra de glicerina cruda se realizaron los siguientes cálculos:

Si,

$$W_{\text{mezcla}} = W_{\text{glicerina}} + (V_{\text{metanol}} * \rho_{\text{metanol}})$$

[Ecuación 1]

Entonces,

$$\% \text{Sales inorgánicas} = \frac{W' - W_{\text{beacker}}}{W_{\text{mezcla}}} * 100$$

[Ecuación 2]

Donde,

$W_{\text{mezcla}}$ : Peso glicerina + metanol, g

$W_{\text{glicerina}}$ : Peso glicerina, g

$V_{\text{metanol}}$ : Volumen de metanol, ml

$\rho_{\text{metanol}}$ : Densidad a 20 °C, g/ml

$W'$ : Peso sales inorgánicas + beacker, g

$W_{\text{beacker}}$ : Tara beacker, g

% Sales inorgánicas: sales inorgánicas, % m/m

- **Punto máximo en la curva de porcentaje de sales inorgánicas en función del porcentaje de metanol agregado**

Si se sabe que:

$$y = a + bx + cx^2 \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Y que la primera derivada será,

$$\frac{\partial y}{\partial x} = b + 2cx$$

Al igualar a cero,

$$b + 2cx = 0$$

$$x = -\frac{b}{2c}$$

Entonces para la ecuación de porcentaje de sales inorgánicas extraídas en función del porcentaje de metanol agregado a la glicerina de biodiesel tenemos:

*% Sales inorgánicas*

$$= -0,0057 \%metanol^2 + 1,20131 \%metanol - 60,342$$

[Ecuación 4]

Si se sustituyen los valores a, b y c de la ecuación 4 en la ecuación 3, obtenemos que:

$$\%metanol = -\frac{1,1996}{2(-0,0057)} = 105,23$$

Y al sustituir este valor en la ecuación 4 se obtendrá el porcentaje de sales inorgánicas extraídas en el punto máximo de la curva, este punto sería:

$$\%metanol = 105,23$$

$$\%sales\ inorgánicas = 2,86$$

## Apéndice 4. Tabla de requisitos académicos

Figura 1. Tabla de requisitos académicos

PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	
Carrera	Área	Tema Genérico	Tema Específico	Especificación	Problema a Resolver	Temas Tentativos	
<b>Licenciatura en Ingeniería Química</b>	<b>QUIMICA</b>	<i>Análisis Cuantitativo</i>	Métodos volumétricos y el equilibrio iónico de soluciones acuosas	Volumetría neutralización Volumetría oxidoreducción	<b>Evaluación, a nivel laboratorio, de la desmineralización y decoloración de la glicerina obtenida como subproducto en la producción de biodiesel</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Propiedades de glicerina cruda.</li> <li>2. Extracción de sales inorgánicas utilizando procesos de separación físicos</li> <li>3. Separación por destilación del metanol de glicerina.</li> <li>4. Decoloración Utilizando agentes filtrantes</li> <li>5. Análisis de propiedades fisicoquímicas de la glicerina</li> <li>6. Color Lovibond</li> <li>7. Análisis estadístico del conjunto de resultados</li> <li>8. Interpretación de los resultados</li> <li>9. Informe final</li> </ol>	
		<i>Química Orgánica 2</i>	Derivados de los ácidos carboxílicos	Mecanismo de Reacción Biodiesel			
		<i>Análisis Instrumental</i>	Equipos	Tintómetro Lovibond			
	<b>OPERACIONES UNITARIAS</b>	<i>Transferencia de Masa en unidades continuas</i>	Contacto Interfacial Gas-Líquido	Adsorción			Destilación
				Viscosimetría			Medición del a Viscosidad de los líquidos
	<b>FISICOQUÍMICA</b>	<i>Laboratorio de Fisicoquímica 1</i>	Adsorción	Adsorción utilizando carbon activado			ANOVA factorial
				Análisis de Varianza			Aceptación o Rechazo de hipótesis
	<b>CIENCIAS BÁSICAS Y COMPLEMENTARIAS</b>	<i>Estadística 1</i>	Análisis de Datos	Método de comparación de medias			Polinomios Ortogonales

Fuente: elaboración propia.





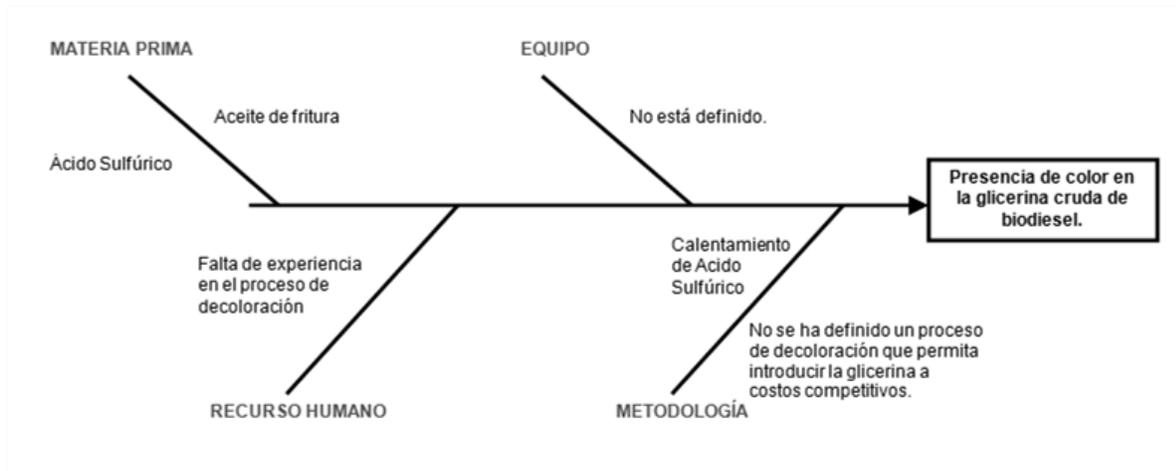
## Apéndice 5. Diagrama Ishikawa

Figura 2. Diagrama Ishikawa presencia de sales inorgánicas en la glicerina de biodiesel obtenido a partir de aceites de fritura y oleína



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Diagrama Ishikawa problema de color en la glicerina de biodiesel obtenido a partir de aceites de fritura y oleínas

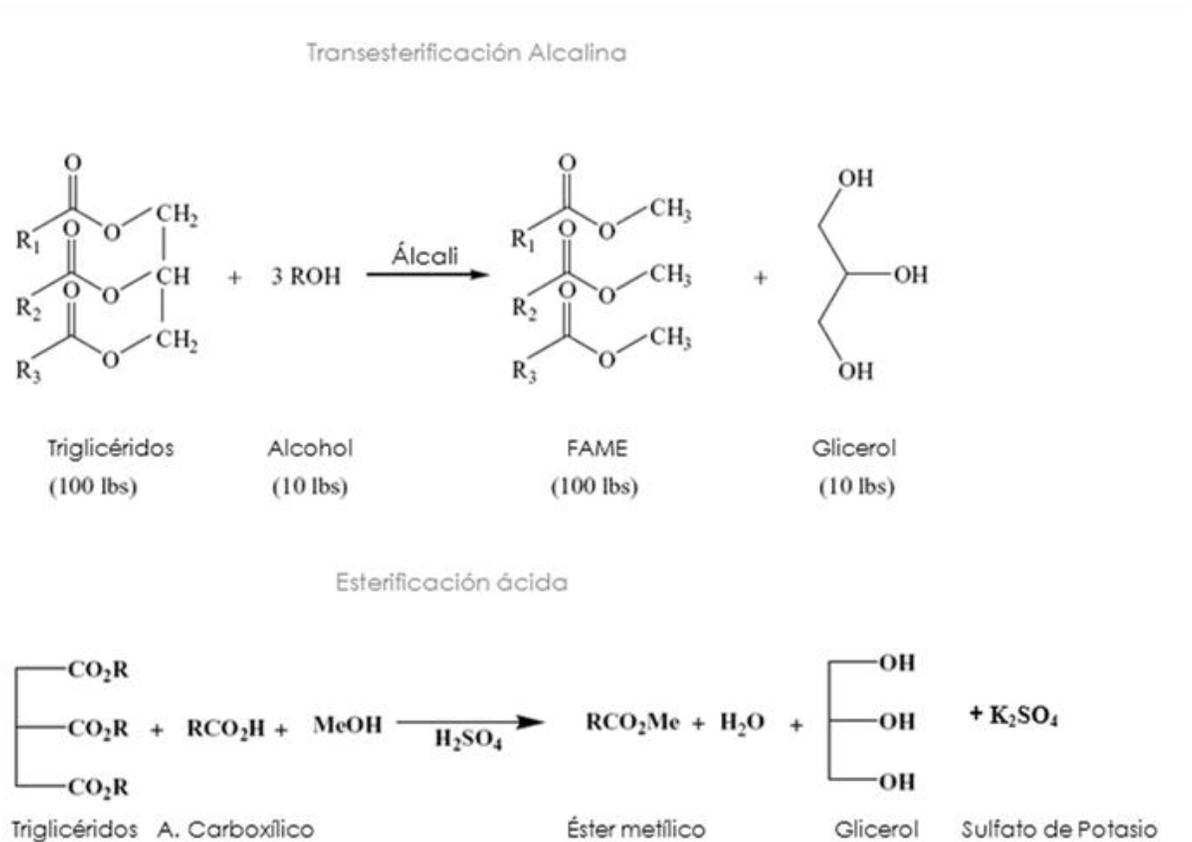


Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo I. Reacciones químicas a partir de las cuales se puede obtener glicerina cruda

Figura 4. Reacciones de transesterificación y esterificación



Fuente: OLEOLINE. *Weekly Glycerine Report*. <<http://www.oleoline.com>>. 26 de octubre de 2011.



## Anexo II. Métodos AOCS

Método Ea 6-94: Determinación total de glicerina por método de titulación

- **Equipo, materiales y reactivos:**

- Balanza analítica
- *Hot Plate* con agitación
- Agitador magnético
- Potenciómetro
- Beacker 400 ml.
- Buretas 50 ml.
- Probeta 50 ml.
- Indicador azul de bromotimol al 0,1% en agua
- Solución de ácido clorhídrico 0,1 N
- Solución de soda cáustica 0,1 N
- Solución de soda cáustica al 50% en peso
- Solución de metaperyodato de sodio
- Solución de etilenglicol al 50% en peso.

- **Procedimiento:**

- Pesar en un beacker de 400 ml la cantidad de muestra dependiendo de la muestra a analizar, según la tabla siguiente:

<b>Muestra</b>	<b>Peso</b>
Glicerina cruda	0,48 g
Glicerina U.S.P. o refinada	0,50 g

- Para los diferentes tipos de glicerina previamente pesada, agregar 50 ml de agua destilada;

- o Colocar el beacker en el *Hot Plate* e introducir el agitador magnético dentro del mismo, poner a agitar la muestra y sumergir el electrodo del potenciómetro, adicionar unas 3 gotas del indicador azul de bromotimol, la solución se tornará de un color azul claro;
- o Llenar una bureta con una solución de ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N y mientras se agita la solución, adicionar los mililitros necesarios para que la lectura del potenciómetro sea de 3,8;
- o Adicionar el HCl con cuidado, cuando vaya llegando el pH entre 5 y 6, la solución se tornará de un color amarillo claro; no agregar más solución y con la ayuda de una varilla de vidrio tomar pequeñas gotas y agitar la varilla dentro de la solución;
- o Llenar otra bureta con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N y mientras se sigue agitando la muestra, adicionar los mililitros necesarios para que la lectura del potenciómetro sea de 8,1; dejar de agitar;
- o Adicionar el NaOH con cuidado, cuando vaya llegando el pH entre 5 y 6, la solución se tornará de un color amarillo claro; no agregar más solución y con la ayuda de una varilla de vidrio tomar pequeñas gotas y agitar la varilla dentro de la solución;

- o Agregar a la muestra 50 ml de una solución de metaperyodato de sodio, dejar reposar la mezcla durante 30 minutos en la oscuridad;
- o Cumplido el tiempo, sacar la muestra y adicionarle 10 ml de una solución de etilenglicol al 50%, y dejar reposar 20 minutos más en la oscuridad;
- o Pasado el tiempo, sacar la muestra y llevar el nivel de la solución a 300 ml con agua destilada y poner la solución a agitar, agregarle 2 gotas del indicador azul de bromotimol;
- o Llenar una bureta con una solución de NaOH 0,1 N, tomar lectura del volumen inicial, adicionar tantos mililitros necesarios para que la lectura del potenciómetro sea de 8,1, anotar el volumen final;
- o Para obtener el volumen del blanco se hace simultáneamente todo el procedimiento solamente que con agua destilada, y se debe dejar en un pH de 6,5 al final.

- **Cálculos:**

$$\frac{(V_m - V_b) 0,09209N}{W} 100 = \% \text{ glicerina o glicerol}$$

[Ecuación 5]

Donde,

$V_m$ : Volumen de NaOH utilizado en la titulación de la muestra, ml

$V_b$ : Volumen de NaOH utilizado en la titulación del blanco, ml

N: Concentración solución NaOH, Normal

W: Peso muestra, g

0,09209: mili equivalentes de glicerina o glicerol.

Método Ea 7-95: Determinación de la densidad de la glicerina industrial

- **Equipo, materiales y reactivos:**

- Balanza analítica
- Balón aforado
- Pipeta
- Beacker 250 ml.
- Probeta 100 y 250 ml.
- Picnómetro
- Embudo y soporte
- Espátula



- **Procedimiento:**
  - Utilizar un picnómetro del cual conozca su volumen exacto;
  - Pesar el recipiente que se va a utilizar con una precisión de +/-0,001g y marcar la tara;
  - Llenar el picnómetro previamente tarado con la muestra para finalizar tomar la lectura y anotar.
  
- **Cálculos:**

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

[Ecuación 6]

Donde:

$\rho$ : Densidad, g/ml

m: Peso, g

v: Volumen del recipiente, ml

Método 13c-92: Determinación del *Color Lovibond RYBN*

- **Equipo, materiales y reactivos:**
  - Probeta 100ml
  - Celda de 133,5 mm
  - Tintómetro *Lovibond PFX 995*

- **Procedimiento:**

- Filtrar la glicerina en un beacker utilizando papel filtro,
- Colocar la glicerina en la celda, cuidando que no rebalse. Encender el *Lovibond PFX995*, seleccionar con Menú la escala *AF960 Lovibond*, poner camino 10 mm, presionar botón amarillo lectura base ZERO;
- Introducir la celda presionar READ y anotar el color de la lectura.

Figura 5. **Tintómetro Lovibond PFX995**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en laboratorio químico de industria jabonera.

## Método AOCS: Determinación de la viscosidad de líquidos

- **Equipo, materiales y reactivos:**

- Viscosímetro *Brookfield*
- Beacker 250 ml.

- **Procedimiento:**

- En un beacker agregar unos 200 ml de muestra a analizar. Nivelar el viscosímetro, tratar de que la burbuja de nivelación quede centrada en el círculo marcado en el aparato;
- Calibrar el viscosímetro, colocar la línea indicadora roja en el cero;
- Determinar el tipo de aguja que se utilizará dependiendo de la viscosidad de la muestra con la siguiente indicación:
  - Muy viscosos: agujas 1 ó 2.
  - Menos viscosos: agujas 3 ó 4.
- Determinar a qué velocidad hará se girar la aguja (si se usa aguja 1 ó 2, que sea la escala de 6 y 12 rpm; si se usa aguja 3 o 4, que sea la escala de 30 y 60 rpm), esto se hará con el botón del lado izquierdo del aparato;
- Introducir la aguja colocada en el viscosímetro dentro de la muestra a analizar, hasta por lo menos el nivel mínimo (el nivel mínimo lo indica una hendidura en la aguja);

- Encender el viscosímetro, y dejar que la aguja gire por lo menos 1 minuto;
  - La aguja en la escala del viscosímetro se moverá y quedará estable en algún momento. Al estabilizar tomar lectura de la medida según la escala establecida y anotar;
  - Utilizando una tabla propia del viscosímetro se busca el número de aguja y rpm utilizados. En la intersección de estos dos datos, se determina el factor a utilizar, anotar.
- **Cálculos:**

$$L \times F = \mu$$

*[Ecuación 7]*

Donde:

$\mu$ : Viscosidad, cP

L : Lectura tomada de la escala del viscosímetro

F : Factor encontrado en la tabla

### Anexo III. Información técnica

Figura 6. Información técnica Tonsil Supreme proporcionada por el fabricante: SÜD-CHEMIE



**Información Técnica**  
Enero 2010

**Arcillas Clarificantes**

Grado: **TONSIL<sup>®</sup> SUPREME 526 FF**

Especificaciones:	Parametro	Rangos
	Contenido de Humedad, %	14.0 ± 4.0
	Filtración, seg <sup>(1)</sup>	50 max

Datos Informativos<sup>(1)</sup>:

	pH (10 + 100)	8.0
	Retenido en 63 µ, %	35.0
	Densidad Aparente, g/l	540

Análisis Químico<sup>(1)</sup>:

	SiO <sub>2</sub> , %	72.5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	9.6
	MgO, %	2.7
	Na <sub>2</sub> O, %	1.1
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	3.0
	K <sub>2</sub> O, %	1.1
	CaO, %	2.1
	Perdida por Calcificación, %	6.9

Almacenaje: Almacenar en un lugar fresco y seco a temperatura de entre 7 °C y 27 °C a menos que en el envase haya indicaciones. Para prevenir contaminación con otro material, no regresar el producto a su empaque original.

Presentación: Sacos de papel, sacos grandes de polipropileno y a granel.

(1) Metodo SC  
(1) Los datos informativos deben ser tomados como valores típicos del producto y no como especificaciones.

Esta información técnica esta de acuerdo con nuestra experiencia y actual conocimiento. Sin embargo, no nos hacemos responsables de la forma en la cual nuestros productos son manejados y usados. El usuario deberá asumir su propia responsabilidad en cuanto a la aplicación del producto. Los derechos de propiedad, leyes y regulaciones deberán ser respetados.

ES-JLA-711-17-01

Fuente: Süd Chemie Creating Performance Technology. *Adsorbents Division*. <<http://www.sud-chemie.com>>. 26 de enero de 2011.

Figura 7. Información técnica Tonsil Actisil proporcionada por el fabricante: SUD-CHEMIE



**SÜD-CHEMIE**  
CREATING PERFORMANCE TECHNOLOGY

**Información Técnica**  
Enero 2010

**Arcillas Clarificantes**

Grado: **TONSIL<sup>®</sup> ACTISIL 220 FF**

---

Especificaciones:	<u>Parametros</u>	<u>Rangos</u>
	Contenido de Humedad, %	10.0 ± 5.0
	Filtración, seg <sup>(1)</sup>	50 max
	Acidez libre, %	0.45 ± 0.20
Datos Informativos <sup>(1)</sup> :		
	pH (10 + 100)	2.8
	Retenido en 63 µ, %	35.0
	Densidad Aparente, g/l	520
Análisis Químico <sup>(1)</sup> :		
	SiO <sub>2</sub> , %	63.1
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	13.5
	MgO, %	3.8
	Na <sub>2</sub> O, %	0.9
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	4.5
	K <sub>2</sub> O, %	3.2
	CaO, %	2.1
	Perdida por calcinación, %	7.8
Almacenaje:	Almacenar en un lugar fresco y seco a temperatura de entre 7 °C y 27 °C a menos que en el envase haya indicaciones. Para prevenir contaminación con otro material, no regresar el producto a su empaque original.	
Presentación:	Sacos de papel, sacos grandes de polipropileno y a granel.	

(1) Metodo SC  
(1) Los datos informativos deben ser tomados como valores típicos del producto y no como especificaciones.

Esta información técnica esta de acuerdo con nuestra experiencia y actual conocimiento. Sin embargo, no nos hacemos responsables de la forma en la cual nuestros productos son manejados y usados. El usuario deberá asumir su propia responsabilidad en cuanto a la aplicación del producto. Los derechos de propiedad, leyes y regulaciones deberán ser respetados.

ES-JLA-711-11-01

Fuente: Süd Chemie Creating Performance Technology. *Adsorbents Division*. <<http://www.sud-chemie.com>>. 26 de enero de 2011.