



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

**MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE  
DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS  
EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES**

**Yolanda Guilá Reina**

Asesorado por la Inga. María Mercedes Asencio

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE  
DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS  
EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**YOLANDA GUILÁ REINA**

ASESORADO POR LA INGA. MARÍA MERCEDES ASENCIO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Manuel Emilio Figueroa Solares
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez ( a.i. )

## **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:

**MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE  
DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS  
EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química.

**Yolanda Guilá Reina**

Guatemala 30 de octubre de 2019

Ingeniero  
Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejia  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ingeniero Williams:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "Modificación en la relación de surfactantes usados en una planta de detergentes líquidos para aumentar la eficiencia y disminuir los costos en la producción de una industria de jabones", así como los artículos en español e inglés, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Yolanda Guilá Reina, quien se identifica con el registro académico 2011-14281 y con el CUI 2128 20087 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,

 **Mercedes Asencio**  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1658

Inga. María Mercedes Asencio  
ASESOR  
Ingeniero Químico  
Colegiado activo no. 1658



Guatemala, 11 de octubre de 2019.  
Ref.EPS.DOC.702.10.19.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

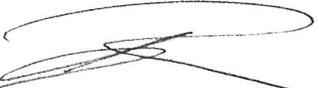
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Yolanda Guilá Reina** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201114281**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Sergio Alejandro Recinos  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo  
SAR/ra



Guatemala, 11 de octubre de 2019.  
Ref.EPS.D.359.10.19.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Yolanda Guilá Reina, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

/ra





Guatemala, 17 de enero de 2020.  
 Ref. IQ.TG-IF.001.2020.

Ingeniero  
 Williams Guillermo Álvarez Mejía  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **048-2017**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL**

Solicitado por el estudiante universitario: **Yolanda Guilá Reina**.  
 Identificado con número de carné: **2128200870101**.  
 Identificado con registro académico: **201114281**.  
 Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.  
 En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

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

**MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**María Mercedes Asencio Díaz, profesional de la Ingeniería Química**

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



"ID Y ENSEÑAN A TODOS"

  
 Jorge Rodolfo García Carrera  
 Profesional de la Ingeniería Química  
 COORDINADOR DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica  
EIQD-REG-SG-007

Guatemala, 12 de agosto de 2020.

Ref. EIQ.218.2020

**Aprobación del informe final del trabajo de graduación**

Ingeniera  
Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO), DENOMINADO **MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES** del(la) estudiante Yolanda Guilá Reina, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.Q.,  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo  
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA**



DTG. 181.2020.

La Decana 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 Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MODIFICACIÓN EN LA RELACIÓN DE SURFACTANTES USADOS EN UNA PLANTA DE DETERGENTES LÍQUIDOS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y DISMINUIR LOS COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE UNA INDUSTRIA DE JABONES**, presentado por la estudiante universitaria: **Yolanda Guilá Reina**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, agosto de 2020

**AACE/asga**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por su guía y protección en todo el trayecto de mi vida.

### **Mi abuela**

Yolanda Aldana de Reina (q. e. p. d.), por todo su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida. Por ser un ángel que me cuida y protege desde el cielo.

### **Mi madre**

Carmen Yolanda Reina Alonso por su guía, amor y apoyo. Por ser el ejemplo de la mujer en que quiero convertirme y ser la mayor influencia en mi vida. Su amor es mi mayor fortaleza.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por recibirme con los brazos abiertos, por ser la <i>alma máter</i> .
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por tantos momentos vividos en las aulas y pasillos.
<b>Mis hermanos</b>	Analucia y Giancarlo Guilá Reina por su apoyo y cariño incondicional.
<b>Mis amigos de la facultad</b>	Ronald Echeverría, José Reyes, Luis Cruz, Karla Casado y demás amigos, por todas las risas, enojos y desvelos en tantos momentos compartidos.
<b>Industria La Popular</b>	Por su apoyo en el último paso de mi carrera. Al departamento de Investigación y Desarrollo por brindarme todo su conocimiento y cariño.
<b>Inga. María Mercedes Asencio</b>	Por su apoyo, cariño y paciencia, por todos los consejos y la confianza brindada.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XVII
GLOSARIO .....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
Hipótesis .....	XXVI
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.2. Detergentes .....	2
1.3. Estudio deteritivo .....	3
1.4. Formas físicas de los detergentes .....	4
1.4.1. Detergente líquido .....	4
1.4.2. Detergente sólido.....	5
1.5. Composición de los detergentes .....	5
1.5.1. Surfactantes.....	6
1.5.1.1. Clasificación de surfactantes .....	7
1.5.1.1.1. Surfactantes catiónicos.....	7
1.5.1.1.2. Surfactantes aniónicos.....	9
1.5.1.1.3. Surfactantes no iónicos.....	11
1.5.1.1.4. Surfactantes anfóteros .....	12
1.5.2. Coadyuvantes.....	14
1.5.3. Aditivos.....	14
1.6. Prueba de desempeño de lavado .....	15

1.7.	Preparación del detergente .....	15
1.8.	Biodegradabilidad .....	16
1.9.	Metil éter sulfato de sodio .....	18
1.9.1.	Método de cultivo con agitación .....	18
1.9.2.	Método de eliminación en el río.....	19
1.9.3.	Método de medición de la demanda de oxígeno.....	19
1.9.4.	Método analítico .....	19
2.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
2.1.	Variables .....	21
2.2.	Delimitación de campo de estudio .....	21
2.3.	Recursos humanos disponibles .....	21
2.4.	Recursos materiales disponibles.....	22
2.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	23
2.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	24
2.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	25
2.7.1.	Promedio.....	25
2.7.2.	Porcentaje de reflectancia .....	25
2.8.	Análisis estadístico.....	26
3.	RESULTADOS.....	27
4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	31
	CONCLUSIONES.....	35
	RECOMENDACIONES .....	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	39
	APÉNDICES.....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fases del proceso de detergencia .....	4
2.	Componentes de las formulaciones en los detergentes.....	6
3.	Surfactantes catiónicos .....	8
4.	Surfactante aniónico.....	10
5.	Surfactantes no iónicos .....	12
6.	Surfactantes anfóteros .....	13
7.	Elaboración de un detergente líquido.....	16
8.	Porcentaje de sólidos removidos de cada mancha en cada proporción de surfactantes.....	27
9.	Porcentaje de sólidos removidos de cada mancha con metil éter sulfato de sodio .....	29

### TABLAS

I.	Variables relacionadas al proyecto .....	21
II.	Porcentaje de sólidos removidos .....	27
III.	Suma total de sólidos removidos en cada proporción de surfactantes ..	28
IV.	Relación de surfactantes con mayor eficiencia en remoción de sólidos	28
V.	Propuesta de materia prima biodegradable.....	28
VI.	Porcentaje de sólidos removidos con materia prima propuesta .....	28
VII.	Porcentaje de costo de cada proporción de surfactantes.....	30
VIII.	Comparación de porcentaje de costos respecto a la proporción de surfactantes actualmente utilizada .....	30

IX. Comparación de costos por unidad de detergente líquido actual con la proporción de surfactantes propuesta .....30

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$X_{prom}$	Media de una muestra
$n$	Número de datos
$RW$	Rango de reflectancia promedio de la pieza de tela lavada.
$RS$	Rango de reflectancia promedio de la pieza de tela lavada en el ciclo anterior.
$X_i$	Valores obtenidos.



## GLOSARIO

<b>Acción bactericida</b>	Acción que produce la muerte de las bacterias presentes en la sustancia.
<b>Adsorción</b>	Proceso por el cual átomos, iones, líquidos o sólidos disueltos son atrapados en una superficie.
<b>Agitadores</b>	Dispositivos utilizados en laboratorios de química para mezclar líquidos o preparar disoluciones y suspensiones.
<b>Antimicrobiana</b>	Sustancia que elimina o inhibe el crecimiento de microorganismos.
<b>Antisépticos</b>	Sustancias que, aplicadas de forma tópica, sobre el tejido vivo, tienen la capacidad de destruir los microorganismos o de inhibir su reproducción.
<b>Anillo aromático</b>	Compuesto orgánico cíclico conjugado que posee una mayor estabilidad.
<b>Aditivos</b>	Sustancias que se agregan para aumentar o mejorar cualidades.

<b>Biodegradable</b>	Sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, bajo condiciones naturales.
<b>Bactericida</b>	Un efecto bactericida es aquel que produce la muerte a una bacteria y está provocado por alguna sustancia bactericida.
<b>Coadyuvantes</b>	Químicos que ayudan a la disminución de la tensión superficial.
<b>Detergencia</b>	Efecto de limpieza intensificado a través de un baño líquido.
<b>Estudio deteritivo</b>	Estudio específico de las siguientes propiedades: la composición del baño, el sustrato a limpiar, la temperatura del sistema deteritivo, entre otros.
<b>Eutrofización</b>	Acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino, que causa la proliferación de ciertas algas.
<b>Emulsificación</b>	Mezcla de dos líquidos inmiscibles.
<b>Esterificación</b>	Proceso por el cual se sintetiza un éster.
<b>Fotómetro</b>	Instrumento utilizado para medir la intensidad de la luz.

<b>Fosfatos</b>	Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico.
<b>Grupo hidrofílico</b>	Moléculas que tienen la propiedad de ser solubles en agua.
<b>Grupo hidrofóbico</b>	Moléculas que repelen el agua.
<b>Hidrogenación</b>	Reacción química cuyo resultado es la adición de hidrógeno a otro compuesto.
<b>Micela</b>	Es la asociación de moléculas anfifílicas formando agregados moleculares, iónicos o mixtos.
<b>Punto isoeléctrico</b>	pH en el cual el número de cargas positivas se iguala al número de cargas negativas que aportan los grupos ionizables de una molécula.
<b>Quelante</b>	Agente que forma complejos fuertes con iones de metales pesados.
<b>Reflectómetro</b>	Instrumento para medir la reflectancia de superficies reflectoras.
<b>Surfactantes</b>	Son utilizados como ingredientes limpiadores en la formulación; químicos que reducen la tensión superficial entre dos líquidos.
<b>Sustrato</b>	Sustancia química que se considera objeto de la acción de otros reactivos.

<b>Sulfonación</b>	Proceso por el cual se introduce el grupo sulfónico a un átomo de carbono o nitrógeno.
<b>Sulfatación</b>	Proceso por el cual se introduce el grupo $\text{SO}_2\text{OH}$ sobre un oxígeno.
<b>Tergotómetro</b>	Lavadora múltiple a escala de laboratorio que simula la acción de seis lavados domésticos.
<b>Tensión superficial</b>	En un líquido, la tensión superficial es la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.
<b>Van der Waals</b>	Fuerza de estabilización molecular.
<b>Vigorizantes</b>	Grupo conformado por aditivos orgánicos, los cuales tienen la propiedad de disminuir la suciedad sobre el sustrato, aumentar el poder limpiador del detergente, aumentar el poder espumante y la estabilidad de la espuma.

## RESUMEN

El proyecto de la modificación en la relación de surfactantes tiene como objetivo determinar la proporción en la cual se obtiene mayor eficiencia del detergente y la reducción del costo de la fórmula del detergente en la línea productiva. Esta proporción se determinará mediante un estudio detergente en el cual, a cada muestra se le realizarán lecturas de reflectancia después de cada ciclo de lavado. Al cuantificar el porcentaje de reflectancia de cada muestra analizada se realizará una tabulación de los datos para determinar qué proporción de surfactantes obtuvo un mayor porcentaje de blancura.

En el estudio se mantienen constantes las condiciones mecánicas del tergotómetro, la duración del lavado, la cantidad de sustrato y el grado de acción mecánica.

El proceso se desarrolla con un tergotómetro que imita el movimiento de la paleta de una lavadora doméstica. Este consta de seis agitadores que realizan movimientos dentro de un recipiente, con capacidad de dos litros, que está introducido en un baño termostático. El porcentaje de reflectancia se determina midiendo el grado de blancura de las muestras sucias y de las muestras después de lavadas; para esto se utilizó el fotómetro eléctrico.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la relación óptima de surfactantes utilizados en la formulación de detergentes líquidos en la línea productiva de una empresa de jabones.

### **Específicos**

1. Determinar mediante una prueba de desempeño de lavado, el porcentaje de sólidos removidos en la tela, por cada relación de surfactantes utilizada, en el proceso de elaboración de detergentes líquidos.
2. Determinar qué relación de surfactantes tiene un mayor porcentaje de sólidos removidos mediante un estudio de fotometría.
3. Proponer una nueva materia prima biodegradable en la formulación de detergentes.
4. Evaluar el metil éter sulfato de sodio para utilizarlo como materia prima en la aplicación de detergentes líquidos.
5. Comparar los costos por unidad de detergente líquido actual con la proporción de surfactantes propuesta.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis nula:**

La relación óptima de surfactantes en un detergente líquido no garantiza mayor eficiencia en el proceso de lavado.

### **Hipótesis alternativa:**

La relación óptima de surfactantes en un detergente líquido garantiza mayor eficiencia en el proceso de lavado.

## INTRODUCCIÓN

La industria de productos de cuidado del hogar se encarga de la elaboración de productos de limpieza que se utilizan para eliminar suciedad de todo tipo y bacterias que puedan poner en riesgo la salud de los seres humanos.

En la producción de detergentes líquidos hay una gran cantidad de componentes o compuestos químicos, los cuales son: surfactantes, coadyuvantes, vigorizantes y aditivos especiales para mejorar la eficiencia de estos.

Existen varios tipos de surfactantes, cuyo uso depende de las características que deba tener el producto final. Pueden ser surfactantes aniónicos, catiónicos, no iónicos o anfóteros.

Para la medición de la eficiencia de los detergentes líquidos se realizan diferentes estudios, entre los cuales se puede mencionar la medición del ingrediente activo, determinación de fosfatos o materiales quelantes para la eliminación de los iones calcio y magnesio presentes en el agua de lavado, el análisis deterativo de los detergentes líquidos, entre otros.

El método por utilizar en este estudio es el del análisis deterativo. Este es un factor esencial para desarrollar nuevos constituyentes que mejoren las formulaciones o verificar la calidad de los detergentes. Este estudio se realiza con el objetivo de determinar qué proporción de surfactantes es más eficiente en la formulación de un detergente líquido y proponer una nueva materia prima que sea biodegradable.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes históricos

El primer producto de limpieza fabricado por el hombre fue el jabón en el año 600 a.c.. La importancia en la formulación y producción de productos de limpieza ha ido en aumento a través de la historia. En el siglo XVIII se extendió el campo en la industria de fabricación de jabones. En 1890 se fabricó el primer detergente por el químico alemán A. Kraft, quien identificó que ciertas moléculas de cadenas cortas producían espuma al unirse con alcohol.<sup>1</sup>

El primer detergente en polvo fabricado de manera industrial fue introducido en Alemania en el año 1907 por la empresa Henkel; dadas las competiciones empresariales de ese momento, los detergentes requerían una serie de requisitos de calidad del producto tales como efectividad de su función, biodegradabilidad, baja irritabilidad de la piel, entre otras.<sup>2</sup>

En 1910, Spring inició una investigación sobre el mecanismo detergente, la cual explica que la detergencia tiene un equilibrio entre el jabón, la suciedad y sus efectos de adsorción entre los mismos.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*.p.182.

<sup>2</sup> ALTMAYER, Deisi. *Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de lavado*.p.297.

<sup>3</sup> FUENTES, Claudia. *Elaboración de dos detergentes líquidos experimentales y su correspondiente evaluación de calidad detergente*. p.68.

En 1928, H. Bertsh y colaboradores desarrollaron un nuevo proceso para la elaboración de detergentes por medio de alcoholes grasos y sulfatación. Durante los años 1932-1933 fue introducido el primer detergente formulado con sulfatos de alcoholes por la empresa Henkel y Procter & Gamble.

Con la fabricación de los detergentes se observó que en ríos y lagos había espuma persistente, reducción del oxígeno disuelto y desaparición de la flora y fauna. Por tanto, en 1960 se desarrollaron nuevos procesos en la producción de los detergentes, con alquilatos lineales, comúnmente llamados LAS biodegradables. Se considera a un surfactante biodegradable si existe como mínimo un 80 % de degradación cuando se emplea el ensayo continuo y simulado de fangos activos según la norma UNE 55-844-91.<sup>4</sup>

## **1.2. Detergentes**

La Organización Internacional de Normalización expone en la norma ISO 2870-2009 que un detergente es un producto especialmente para limpieza mediante un proceso que desarrolle fenómenos de detergencia.

Los detergentes son sustancias que, debido a su formulación, eliminan la suciedad, penetran en materiales porosos y le agregan ciertas propiedades a la tela en la que son aplicados, como la humectación, la formación de espuma, la dispersión y la emulsificación.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> ALTMAYER, Deisi. *Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de lavado*. p.297.

<sup>5</sup> FUENTES, Claudia. *Elaboración de dos detergentes líquidos experimentales y su correspondiente evaluación de calidad detergiva*. p.68.

Los detergentes son sustancias que, debido a su formulación, eliminan la suciedad, penetran en materiales porosos y le agregan ciertas propiedades a la tela en la que son aplicados, como la humectación, la formación de espuma, la dispersión y la emulsificación.<sup>6</sup>

Uno de los principales activos en la formulación de un detergente son los surfactantes, los cuales son un conjunto de moléculas compuestas en dos grupos: un grupo hidrofílico y un grupo hidrofóbico. Este activo, en combinación con otras sustancias, incrementan la eficiencia de la limpieza en un detergente.<sup>7</sup>

### **1.3. Estudio deterativo**

El estudio deterativo está ligado al proceso de detergencia, el cual consiste en la eliminación del sucio en un sustrato. Para la eliminación de este se explica la interacción de los surfactantes en contacto con el agua.

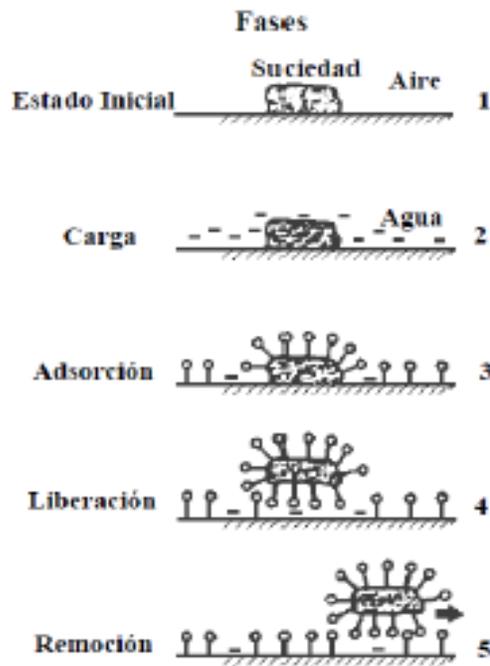
Al momento de añadir un surfactante a una fase acuosa, se rompe la tensión superficial del agua e interacciona el extremo hidrofóbico del surfactante con la suciedad adherida al tejido. La rodea para reducir las fuerzas de Van der Waals y el extremo hidrofílico forma pares iónicos con un catión. El resultado es que el surfactante se une con una afinidad mayor a la suciedad que la suciedad al tejido por lo que se libera y elimina la suciedad del sustrato.

---

<sup>6</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. p.182.

<sup>7</sup> ADALID, Nieves. *Fabricación de detergente en polvo*. p.146.

Figura 1. **Fases del proceso de detergencia**



Fuente: ADALID, Nieves. *Fabricación de detergente en polvo*. p.146.

#### 1.4. **Formas físicas de los detergentes**

Los detergentes se pueden clasificar, según su estado físico, en detergente sólido o líquido.

##### 1.4.1. **Detergente líquido**

El detergente líquido tiene buena funcionalidad con partículas finas, una mejor solubilidad con el agua, por lo que penetra suavemente entre las fibras de la ropa delicada. Este tipo de detergentes son mayormente comercializados para aplicaciones como el lavado de ropa, lavaplatos, entre otros.

### **1.4.2. Detergente sólido**

El detergente sólido tiene buena funcionalidad con partículas gruesas; representan más del 60 % de fabricación y comercialización mundial. La densidad de los detergentes sólidos oscila entre 200 g/l y 700 g/l.<sup>8</sup>

### **1.5. Composición de los detergentes**

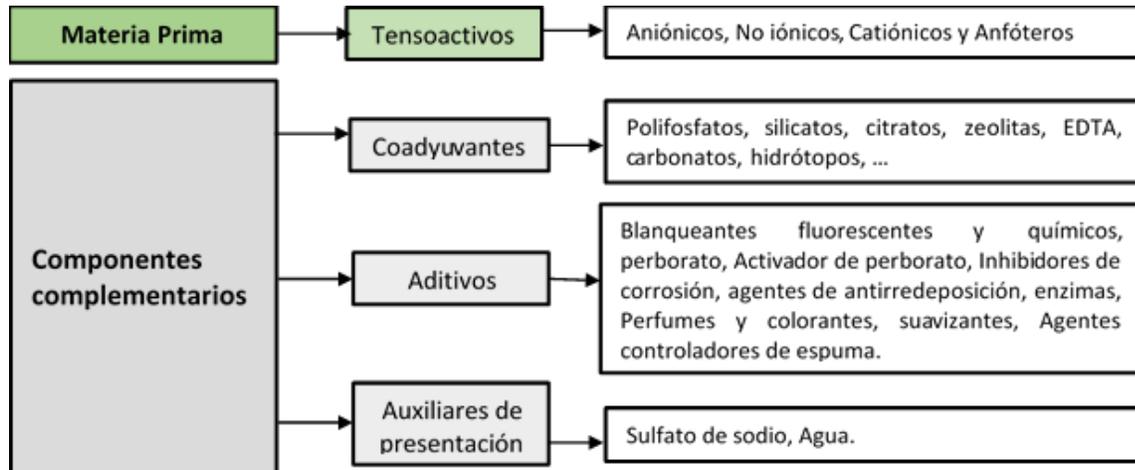
La formulación de un detergente líquido está constituida por una mezcla de surfactantes que mejoran la acción detergente y un grupo de materias complementarias como los aditivos, los coadyuvantes y los auxiliares de presentación; esto con el fin de elaborar un detergente que contenga mejores características de limpieza, seguro para el consumidor, para los fabricantes y para el medio ambiente.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. p.182.

<sup>9</sup> ADALID, Nieves. *Fabricación de detergente en polvo*. p.146.

Figura 2. **Componentes de las formulaciones en los detergentes**



Fuente: DOMÍNGUEZ, Juan. *Tensioactivos y Detergencia*. p.166.

### 1.5.1. **Surfactantes**

También son llamados agentes tensoactivos. Poseen un carácter dual donde en su estructura molecular, que consiste en una cadena no polar, presentan un extremo que es soluble en aceite y otro extremo que es soluble en agua; también son llamados grupo hidrofóbico y grupo hidrofílico. Los surfactantes presentan diversas propiedades como humectación, emulsificación, dispersión y tienen la propiedad de adsorberse en una interfaz, modificando así la tensión superficial de la fase acuosa en la que están contenidos.<sup>10</sup>

- Grupo hidrofílico: extremidad polar que interacciona fuertemente con las moléculas de agua. Puede variar en su estructura molecular, puede ser no iónico, catiónico, aniónico o anfótero.

<sup>10</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. p.182.

- Grupo hidrofóbico: cadena apolar de hidrocarburo que repele al agua. Tiene entre 12 a 20 átomos de carbono, puede ser hidrogenada, lineal o ramificada.

### **1.5.1.1. Clasificación de surfactantes**

Los surfactantes se pueden clasificar según la estructura molecular del grupo hidrofílico en: catiónicos, aniónicos, no iónicos y anfóteros.

#### **1.5.1.1.1. Surfactantes catiónicos**

Son de baja utilidad en limpieza, ya que el grupo polar de estos posee una carga positiva y la mayoría de las superficies tiene una carga negativa.

Los surfactantes catiónicos son compuestos terciarios o cuaternarios de hidróxido de amonio, que presentan actividad antimicrobiana. Son utilizados en la fabricación de antisépticos y bactericidas, por sus propiedades desinfectantes. Los de mayor importancia industrial son compuestos grasos nitrogenados y bases de amonio cuaternario. El más utilizado es el cloruro de dimetil amonio de doble ramificación.<sup>11</sup>

En la figura 3, se muestran ejemplos de los surfactantes catiónicos con su estructura molecular, donde R indica una cadena hidrofoba generalmente de 12 a 18 átomos de carbono o un anillo aromático y X representa un anión apropiado, generalmente cloruro o bromuro.

---

<sup>11</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. p.182.

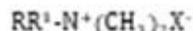
Figura 3. **Surfactantes catiónicos**

**Sales simples de amonio cuaternario en las cuales el nitrógeno está unido directamente a la unidad hidrofóbica**

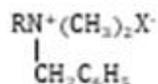
Sales de alquiltrimetil amonio



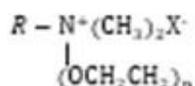
Sales de dialquildimetil amonio



Sales de alquildimetilbenzil amonio



Sales de alquildimetil amonio etoxiladas

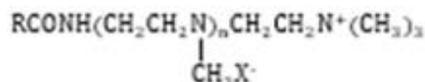


**Grupo catiónico separado del grupo hidrófobo**

Aminas cuaternizadas de etilendiamina



Amidas cuaternizadas de polietilenimina



**Grupo catiónico localizado en un anillo heterocíclico**

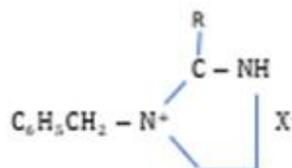
Sales de alquil piridinio



Sales de alquil morfolinio



Sales de alquil imidazolinio



**Tensoactivos catiónicos no nitrogenados**

Sales de sulfonio



Sales de fosfonio



**Tensoactivos di catiónicos**

Sales de diamina cuaternizada



Fuente: WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p.1 039.

#### 1.5.1.1.2. Surfactantes aniónicos

Representan alrededor del 55 % de los surfactantes producidos anualmente. Tienen un extremo polar con carga negativa y un catión, el cual comúnmente es un amonio, potasio o sodio.

Son utilizados a nivel doméstico. El más utilizado en la formulación del detergente es el LAS, el cual posee diversas ventajas como su alta biodegradabilidad, baja toxicidad, compatible con todo tipo de fórmulas, bajo costo y fácil de procesar.

Cuando los surfactantes aniónicos se encuentran en una fase acuosa, los extremos lipofílicos se agrupan entre sí, formando una estructura denominada micela, la cual proporciona un alto poder solubilizante de sustancias insolubles en fase acuosa.<sup>12</sup>

En la figura 4 se muestran ejemplos de los surfactantes aniónicos con su estructura molecular, donde R indica una cadena hidrófoba generalmente de 12 a 18 átomos de carbono, un anillo o sistema de anillos y M representa un catión apropiado, generalmente sodio, potasio, amonio o una base orgánica.

---

<sup>12</sup> ADALID, Nieves. *Fabricación de detergente en polvo*. p.146.

Figura 4. Surfactante aniónico

**Grupos aniónicos unidos directamente a la unidad hidrófoba**

Jabones de ácidos grasos	$\text{RCOO}^- \text{M}^+$
Alquil sulfatos	$\text{ROSO}_3^- \text{M}^+$
Alquil sulfonatos	$\text{RSO}_3^- \text{M}^+$
Alquil aril sulfonatos	$\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{M}^+$
$\alpha$ -Sulfonil ácidos grasos	$\text{RCHCOO}^- \text{M}^+$
	$\text{SO}_3^- \text{M}^+$
Alquil sulfatos secundarios	$\text{RCH}(\text{OSO}_3^-) \text{R}' \text{M}^+$
Alquil fosfatos	$\text{ROPO}_3^{2-} 2\text{M}^+$

**Grupos aniónicos unidos por enlace ésteres**

Sulfatos de monoglicérido	$\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OSO}_3^- \text{M}^+$
Dialquil sulfosuccinatos	$\text{ROCOCH}_2$
(R generalmente $\text{C}_8$ - $\text{C}_{10}$ )	$\text{ROCOCHSO}_3^- \text{M}^+$
Polietilenglicol éster sulfato	$\text{RCO}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n \text{OSO}_3^- \text{M}^+$
Isotionatos	$\text{RCOOCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^- \text{M}^+$

**Grupo aniónicos unidos por enlaces éteres**

Alquil éter sulfatos	$\text{R}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n \text{OSO}_3^- \text{M}^+$
Fenol éter sulfatos	$\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n \text{OSO}_3^- \text{M}^+$
Alquil éter carboxilatos	$\text{R}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n \text{OCH}_2\text{COO}^- \text{M}^+$

**Grupos aniónicos unidos por enlaces amidas**

Alcanolamida sulfatos	$\text{RCONHCH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3^- \text{M}^+$
Taurinas	$\text{RCONHCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^- \text{M}^+$
Sarcosinatos	$\text{RCON}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{COO}^- \text{M}^+$

**Grupos aniónicos unidos por enlaces amídicos**

Imidazol sulfatos	$  \begin{array}{c}  \text{N} - \text{CH}_2 \\    \quad   \\  \text{RC} \quad \text{CH}_2 \\  \diagdown \quad / \\  \text{N} \\    \\  \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_3^- \text{M}^+  \end{array}  $
-------------------	--

Fuente: WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p. 1 039.

### 1.5.1.1.3. Surfactantes no iónicos

Se caracterizan porque el extremo hidrofílico de la molécula está constituido por una multiplicidad de pequeños grupos polares no cargados. Los más conocidos son los alcoholes grasos polietoxilados, alquil fenoles polietoxilados y ácidos grasos polietoxilados.<sup>13</sup>

Poseen propiedades humectantes, son compatibles con los surfactantes aniónicos y catiónicos, no son afectados por los iones de calcio y magnesio del agua dura.<sup>14</sup>

En la figura 5 se muestran ejemplos de los surfactantes no iónicos con su estructura molecular, donde R indica una cadena hidrófoba generalmente de 12 a 18 átomos de carbono y N es un número entero.

---

<sup>13</sup> WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p.1039.

<sup>14</sup> ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. p.182.

Figura 5. **Surfactantes no iónicos**

**Alcanolamidas**

Alcanolamidas de ácidos grasos	$RCONHCH_2CH_2OH$ (etanolamidas)
Dialcanolamidas de ácidos grasos	$RCON(CH_2CH_2OH)$

**Derivados de Polietilenglicol**

Alquil poli glicol éteres	$R(OCH_2CH_2)_nOH$
Alquil aril poli glicol éteres	$RC_6H_4(OCH_2CH_2)_nOH$
Esteres de poli glicol	$RCO(OCH_2CH_2)_nOH$
Tioéteres	$RS(CH_2CH_2O)_nH$

**Derivados de polietilenimina**

Alquil polietilenimina	$R(NHCH_2CH_2)_nNH_2$
Polietilenimin amidas	$CONH(CH_2CH_2NH)_nH$

Fuente: WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p.1 039.

**1.5.1.1.4. Surfactantes anfóteros**

Se caracterizan por su capacidad para formar un ion con carga tanto positiva como negativa. En la mayoría de los casos, es el pH el que determina el carácter dominante, favoreciendo una u otra de las posibles disociaciones: aniónico a pH alcalino y catiónico a pH ácido. Cerca de su punto isoeléctrico estos surfactantes poseen dos cargas a la vez y presentan a menudo un mínimo de actividad superficial.

Los surfactantes anfóteros no son irritables y son compatibles con otros surfactantes, pueden utilizarse en formulaciones farmacéuticas o cosméticas.<sup>15</sup>

En la figura 6 se muestran ejemplos de los surfactantes anfóteros con su estructura molecular, donde R indica una cadena hidrocarbonada de 12 a 18 átomos.

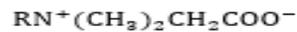
Figura 6. **Surfactantes anfóteros**

**Alquilaminoácidos**

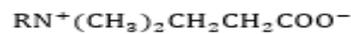
Alquil β-amino propionatos



Betainas



Y

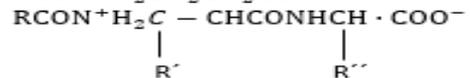


**Acilaminoácidos**

Acil β-amino propionatos

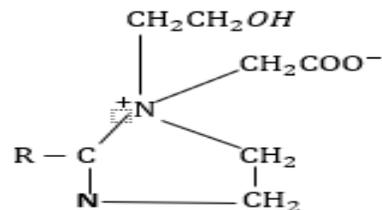


Acil péptidos



R' y R'' = Grupo alquilo de bajo peso

**Alquil Imidazolinas**



Fuente: WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p. 1 039.

15. WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. p. 1 039.

### **1.5.2. Coadyuvantes**

Los coadyuvantes, también llamados *builders*, son utilizados para aumentar la propiedad detergente, ablandar el agua del sistema detergente, mantener las partículas de grasa en suspensión, inhibir la precipitación de metales pesados sobre el sustrato y mantener la alcalinidad. Este grupo está conformado por sales, ácidos y bases inorgánicas.

Se puede mencionar como coadyuvantes al ácido etilendiaminotetraacético, el tripolifosfato de sodio, carbonatos de sodio, silicatos de sodio, zeolitas sódicas, sales sódicas de ácidos hidro carboxílicos.<sup>16</sup>

### **1.5.3. Aditivos**

Los aditivos son componentes que le aportan características al poder detergente. Son utilizados en pequeñas dosis y pueden tener una acción directa en el proceso de lavado. También son utilizados para que el producto de limpieza no sea abrasivo para la piel del consumidor. Los más comunes son colorantes, aroma, enzimas, estabilizadores de espuma, entre otras.

---

<sup>16</sup> ALTMAJER, Deisi. *Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de lavado*. p.297.

## **1.6. Prueba de desempeño de lavado**

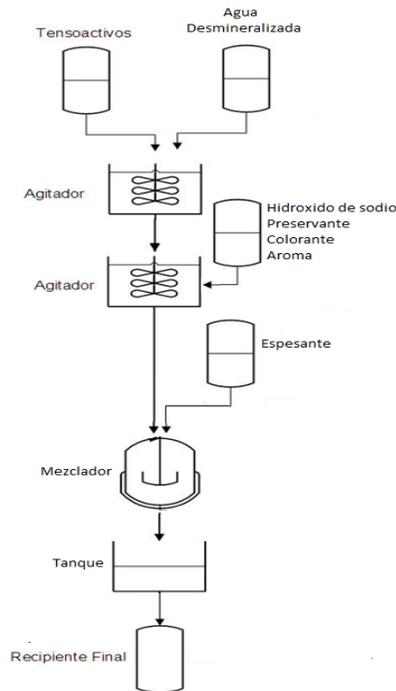
Consiste en la evaluación de diferentes proporciones de surfactantes planteadas en un detergente líquido contra un estándar. Se realizan soluciones estándar de manchas de refresco, grama, sangre, tierra, carbón y una mancha de tierra mezclada con grasa. Estas son aplicadas bajo las mismas condiciones y la misma cantidad a una muestra de tejido de algodón. Este tejido es sometido a lavado en un tergotómetro con las diferentes proporciones de detergente líquido y secado en las mismas condiciones. Los tejidos después de secos son expuestos al reflectómetro y por medio de la lectura de la cantidad de luz reflejada se determina qué proporción eliminó la mayor cantidad de la mancha en el tejido.

Para la realización de la prueba de desempeño de lavado se debe contar con un tergotómetro, el cual imita el movimiento de una paleta de una lavadora doméstica. Consta de seis agitadores con la misma acción mecánica que realizan movimientos dentro de un recipiente de dos litros, introducidos en un baño termostático y un reflectómetro fotoeléctrico, el cual determina la blancura y opacidad del tejido sucio mediante lecturas de reflectancia.

## **1.7. Preparación del detergente**

En la figura 7 se ilustra la manera de la elaboración de un detergente líquido en una planta piloto.

Figura 7. **Elaboración de un detergente líquido**



Fuente: elaboración propia.

## 1.8. Biodegradabilidad

En los años 50 aumentó el consumo de detergentes y la aparición de espuma persistente en los ríos, razón por la cual se han realizado diversas investigaciones para producir detergentes que fueran más biodegradables y pruebas para determinar la biodegradabilidad de los mismos. La biodegradación se puede definir como la descomposición de un compuesto químico por la acción biológica de microorganismos vivos a través del tiempo.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> PONCE, Miguel. *Determinación de la Biodegradabilidad de varios detergentes aniónicos*.p.46.

El mecanismo de acción para que se pueda dar la biodegradación es por medio de una oxidación, ya que la materia orgánica se va descomponiendo en partículas más simples, que puedan ser utilizadas por las bacterias para su metabolismo.<sup>18</sup>

Del concepto de biodegradación se deduce la biodegradabilidad, la cual es la susceptibilidad de un surfactante a ser descompuesto por las bacterias de las aguas de desecho.

Para que un detergente sea biodegradable debe cumplir con un orden de biodegradación:

- Biodegradabilidad primaria: es la desaparición completa de las moléculas originales y la reducción de la tensión superficial.
- Biodegradabilidad avanzada: en esta etapa, la molécula del sustrato se divide en segmentos más pequeños donde estos no serán tóxicos a la flora y fauna, y no causará eutrofización.
- Biodegradabilidad total: es cuando el sustrato se convierte totalmente en dióxido de carbono o metabolitos naturales.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> VILLENA, Manuela. *Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales*. p.457.

<sup>19</sup> BALDODANO, Ángel; MORENO, Karol. *Evaluación de capacidad adsorptiva del carbón activado industrial darco en agente surfactante dodecil benceno sulfonato de sodio lineal, presentes en detergentes, realizados en los laboratorios de química Unan-Managua, de marzo a noviembre del 2012*. p.109.

## **1.9. Metil éter sulfato de sodio**

El metil éter sulfato de sodio (MESS) es un surfactante aniónico, derivado de las grasas y aceites naturales a través de esterificación, hidrogenación, sulfonación, blanqueo y neutralización de metil ésteres de ácidos grasos. Posee propiedades limpiadoras y emulsificantes; es compatible con otros surfactantes, tolerante al agua dura, mejora el espesamiento, mejora la redeposición del calcio, posee baja irritabilidad y toxicidad.

La biodegradabilidad del MESS se estudió mediante el método de cultivo con agitación, la prueba de eliminación en ríos y el método de medición de la demanda de oxígeno, seguida por el análisis de sustancias activas con azul de metileno y carbón orgánico disuelto. Con estos métodos se observó que la biodegradación de MESS inicia con rapidez y posteriormente procede rápidamente a la degradación final en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en el agua natural de los ríos.

### **1.9.1. Método de cultivo con agitación**

Con el método de cultivo con agitación se determinó que el MESS es un surfactante fácilmente biodegradable, tanto en degradación primaria como en degradación final, dado que pierde el 90 % de su contenido en 1 día y el 100 % en 2 días.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> MASUDA, Mitsuteru; et. al. *Biodegradation of 2-Sulfonatofatty Acid Methyl Ester ( $\alpha$ -SFMe)*. p. 643-647.

### **1.9.2. Método de eliminación en el río**

Con el método de eliminación en el río se observó que el MESS tiene una biodegradación rápida y suave en el agua del río. Su contenido desaparece en 3 días.

### **1.9.3. Método de medición de la demanda de oxígeno**

Con el método de medición de la demanda de oxígeno, la biodegradación del MESS comenzó y avanzó rápidamente. Se observó que los microorganismos se aclimatan fácilmente al MESS y se degradan.<sup>21</sup>

### **1.9.4. Método analítico**

El método analítico determina el grado de biodegradación primaria. Los métodos utilizados para analizar la biodegradación primaria del MESS fueron el método de principios activos del azul de metileno, método del carbón orgánico disuelto y el método de la demanda total de oxígeno.

---

21. MASUDA, Mitsuteru; et. al. *Biodegradation of 2-Sulfonatofatty Acid Methyl Ester ( $\alpha$ -SFMe)*. p. 643-647.



## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1. Variables

En la tabla I se identificarán las variables relacionadas al proyecto.

Tabla I. **Variables relacionadas al proyecto**

Parámetros	Controlable/No controlable	Dependiente/Independiente
Viscosidad (m <sup>2</sup> /s)	Controlable	Independiente
pH	Controlable	Independiente
Peso (g)	Controlable	Independiente
Tiempo (s)	Controlable	Independiente
Concentración de surfactantes (%)	Controlable	Dependiente
Reflectancia (%)	No controlable	Dependiente

Fuente: elaboración propia.

### 2.2. Delimitación de campo de estudio

Se medirá el porcentaje de reflectancia en cada prueba de lavado para determinar la proporción óptima de surfactantes utilizados en el detergente líquido fabricado en una industria de jabones.

### 2.3. Recursos humanos disponibles

Para la realización del proyecto se contará con el siguiente apoyo de personal:

- Investigador: encargado de realizar el proyecto; hacer las mediciones, calcular pérdidas, realizar diagramas de flujo, entre otros.
- Asesor docente: Ing. Sergio Recinos, designado por EPS para guiar la parte práctica del proyecto y enfocarlo hacia la industria y objetivos del EPS.
- Asesor técnico: Inga. Mercedes Asencio, asesora responsable en la empresa encargada de guiar el proyecto a las necesidades de la empresa y de programar con el estudiante los pasos del proyecto.

#### **2.4. Recursos materiales disponibles**

Para el proyecto se contará con los siguientes recursos materiales:

- Equipo de oficina
  - Computadora
  - Impresora
  - Hojas
  - Insumos de oficina (lápices, lapiceros, entre otros)
- Equipo de laboratorio
  - Balanza analítica
  - Agitadores
  - Bureta
  - *Beackers*
  - Tergotómetro
  - Guantes de vinilo

- Materia prima
  - Tela de algodón de 15x10 cm
  - Refresco
  - Tierra
  - Grama
  - Grasa
  - Sangre
  
- Equipos de medición
  - Medidor de reflectancia 577PC PHOTOVOLT INSTRUMENTS

## **2.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

El experimento se efectuó en tres etapas, que son, las siguientes:

- Preparación de los materiales: Inicialmente, se cortó la tela en fragmentos de 10 centímetros de ancho y 13 centímetros de longitud. La suciedad se preparó, con todos los elementos que lo conforman para cada tipo de mancha. El detergente experimental se realizó bajo la supervisión de la industria de jabones donde se realizó el proyecto.
  
- Ensuciamiento del sustrato: Cada tela fue dividida en seis espacios de igual tamaño. Cada fragmento se clasifica en cuatro diferentes lotes para las 5 diferentes proporciones de surfactantes evaluadas. Las proporciones de surfactantes son: la actualmente utilizada, 7:1, 1:7, 5:2 y otra con la nueva materia prima propuesta.  
 Cada lote de tela se ensucia con la correspondiente solución de suciedad. Se agrega 1 ml de cada tipo de suciedad a cada espacio correspondiente

para cada fragmento de tela y se agita con el propósito de uniformizar la suciedad en el tejido.

Cada fragmento de tela se deja secar expuesto a la luz solar durante 24 horas.

- Lavado: como método de lavado se utiliza el procedimiento descrito por WeudHead, Vitale y Frantz. El experimento se modificó por la industria de jabones donde se realizó el estudio. Al efectuar una serie de lavados en lugar de uno solo, el lavado incluye los siguientes pasos:
  - Llenar la unidad de lavado hasta un volumen de dos litros de agua a temperatura ambiente.
  - Verter lentamente dentro de la unidad de lavado, 3 gramos del detergente líquido.
  - Introducir dentro del tergotómetro uno a uno cada fragmento de tela.
  - Encender el tergotómetro, deja durante 30 minutos el proceso de lavado y enjuague.
  - Finalizados los 30 minutos, sacar las piezas de tela del equipo y exponerlas a la luz solar.

## **2.6. Recolección y ordenamiento de la información**

Para el presente estudio se realizó un análisis de los datos obtenidos del estudio detergente de cada tela, estos datos se obtuvieron para posteriormente obtener un promedio de los datos detallados y proceder a obtener un análisis del porcentaje en el aumento de reflectancia de cada tela. Con estos datos se procedió a determinar qué proporción de surfactantes tuvo una mayor eficiencia en el proceso de lavado.

## 2.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para el ordenamiento y tabulación de los datos obtenidos, se utilizaron las tablas de toma de datos. Ver apéndice 2. Para el resultado de porcentaje de blancura y determinación del aumento de esta, la información obtenida se manejó de la siguiente forma:

### 2.7.1. Promedio

Se calculará el promedio de las lecturas de reflectancia sobre la tela obtenidas a partir de la lectura del fotómetro, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$X_{prom} = \sum_i^n \frac{x_i}{n}$$

Donde:

$X_{prom}$  = Media de una muestra

$X_i$  = Valores obtenidos

$n$  = Número de datos

### 2.7.2. Porcentaje de reflectancia

El porcentaje de reflectancia determina la eficiencia de lavado de cada fragmento de tela de algodón, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ de reflectancia} = \frac{(RW - RS)}{89,6 - RS}$$

Donde:

RW= Rango de reflectancia promedio del fragmento de tela lavada.

RS= Rango de reflectancia promedio del fragmento de tela lavada en el ciclo anterior.

## **2.8. Análisis estadístico**

Los datos de interés en este estudio son las lecturas del porcentaje de sólidos removidos. Para esto se realizaron cinco lecturas en diferentes puntos de cada mancha en todas las telas; esto fue realizado para cuatro lotes, con cinco diferentes proporciones de surfactantes. Esta cantidad de proporciones se decidió debido a evaluaciones realizadas en la empresa para funcionalidad en el área de producción.

Los valores obtenidos del promedio del porcentaje de sólidos removidos se encuentran en apéndice 3.

Para la elaboración del estudio se detalla el procedimiento en el apartado Técnica Cualitativa o Cuantitativa, numeral 2.5, página No. 23-24

### 3. RESULTADOS

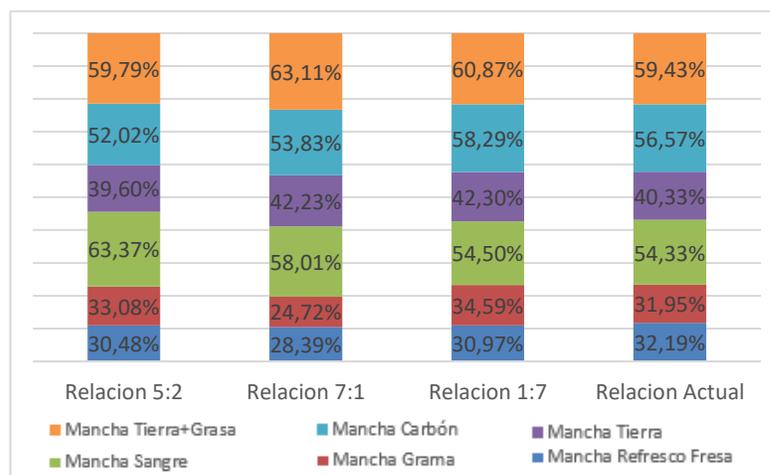
Por medio de este estudio se lograron obtener los siguientes resultados.

Tabla II. **Porcentaje de sólidos removidos**

Relación de Surfactantes	Mancha de Refresco	Mancha de Grama	Mancha de Sangre	Mancha de Tierra	Mancha de Carbón	Mancha de Tierra y Grasa
5:2	30,48 %	33,08 %	63,37 %	39,60 %	52,02 %	59,79 %
7:1	28,39 %	24,72 %	58,01 %	42,23 %	53,83 %	63,11 %
1:7	30,97 %	34,59 %	54,50 %	42,30 %	58,29 %	60,87 %
Actual	32,19 %	31,95 %	54,33 %	40,33 %	56,57 %	59,43 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Porcentaje de sólidos removidos de cada mancha en cada proporción de surfactantes**



Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Suma total de sólidos removidos en cada proporción de surfactantes**

Relación de surfactantes	5:2	7:1	1:7	Actual
Suma total de solidos removidos (%)	278,34	270,28	281,52	274,81

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Relación de surfactantes con mayor eficiencia en remoción de solidos**

Relación de surfactantes	Porcentaje de remoción total
Relación 1:7	281,52 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Propuesta de materia prima biodegradable**

Surfactante propuesto
Metil éter sulfato de sodio (MESS)

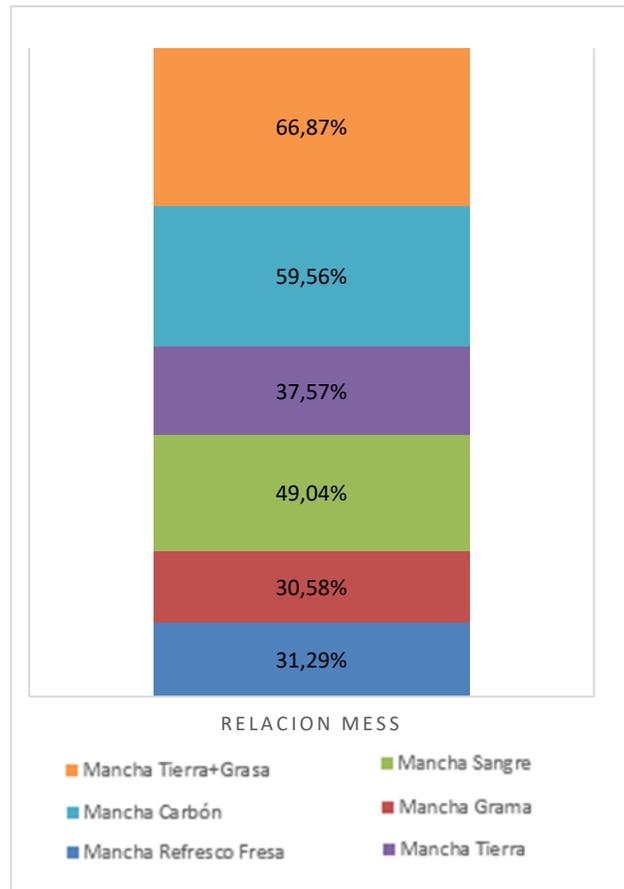
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Porcentaje de sólidos removidos con materia prima propuesta**

Surfactante propuesto	Mancha de refresco	Mancha de grama	Mancha de sangre	Mancha de tierra	Mancha de carbón	Mancha de tierra-grasa
MESS	31,29 %	30,58 %	49,04 %	37,57 %	59,56 %	66,87 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Porcentaje de sólidos removidos de cada mancha con metil éter sulfato de sodio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Porcentaje de costo de cada proporción de surfactantes**

Componente	Proporción de surfactantes				
	Propuesta 1:7	Propuesta 5:2	Propuesta 7:1	Propuesta MESS	Propuesta Actual
Surfactantes	55,46 %	56,64 %	58,51 %	56,72 %	59,01 %
Auxiliares de presentación	5,01 %	4,88 %	4,40 %	4,39 %	4,13 %
Aditivos	39,12 %	38,08 %	36,71 %	38,50 %	36,49 %
Coadyuvantes	0,41 %	0,40 %	0,38 %	0,39 %	0,37 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Comparación de porcentaje de costos respecto a la proporción de surfactantes actualmente utilizada**

	Propuesta 1:7	Propuesta 5:2	Propuesta 7:1	Propuesta MESS	Propuesta Actual
Porcentaje de costo total de un detergente líquido	91,40 %	93,91 %	97,42 %	94,02 %	100 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Comparación de costos por unidad de detergente líquido actual con la proporción de surfactantes propuesta**

Proporción de surfactantes	Actual	Propuesta (1:7)
Costo por unidad (%)	100 %	91,4 %

Fuente: elaboración propia.

## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la información obtenida al finalizar este estudio, se determinó el porcentaje de sólidos removidos de cada mancha, para cada proporción de surfactantes evaluada. La relación de surfactantes que removió más sólidos en la mancha de refresco fue el detergente líquido que actualmente se utiliza en la industria de jabones. La mancha de grama que obtuvo una mayor remoción fue con la relación 1:7; en la mancha de sangre se logró retirar más de la mitad de sólidos con la relación 5:2; en la mancha de tierra se removió solamente el 42 % con la relación 1:7; en la mancha de carbón se removió más del 50 % utilizando la relación de surfactantes 1:7. La mancha que obtuvo un mayor porcentaje de remoción de sólidos fue la de tierra mezclada con grasa, con un porcentaje de 63 %, en la cual se utilizó un detergente líquido con una relación de surfactantes 7:1. Dicha información se encuentra en la tabla II y figura 8 en la sección de resultados.

La proporción de surfactantes que obtuvo un mayor porcentaje de sólidos removidos se debió al surfactante aniónico principal que tenía en su formulación, el cual se encarga de la remoción de la suciedad y de un compuesto complejo denominado ácido dodecil bencen sulfónico lineal, el cual se forma al mezclar el ácido sulfónico lineal y la soda cáustica. Este complejo se encarga de la remoción de suciedad y grasa adherida al tejido de la tela.

La tabla III muestra el porcentaje total de sólidos removidos de todas las manchas en cada tela para cada proporción de surfactantes evaluados. La tabla IV muestra qué proporción de surfactantes evaluados fue la que removió más sólidos en la tela con las diferentes manchas aplicadas. Se obtuvo en la relación

1:7 con la cual se logra remover 281,52 % de todas las manchas analizadas; sin embargo, esta relación logra remover más del 50 % solamente de las manchas de sangre, carbón y la mezcla de tierra con grasa.

En la tabla V se propuso el metil éter sulfato de sodio como una nueva materia prima biodegradable y que no modifica los aspectos fisicoquímicos del detergente líquido final. Esta materia prima es biodegradable. Después de utilizar, el detergente líquido se descompone en moléculas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O; así mismo tiene una alta detergencia; es una materia prima que reduce la dosificación utilizada en un detergente líquido.

Se determinó el porcentaje de sólidos removidos con un detergente líquido experimental. Se utilizó la materia prima metil éter sulfato de sodio (MESS), donde la mancha que se removió en mayor porcentaje fue la de una mezcla de tierra con grasa con un porcentaje de 66 %. Posteriormente, este detergente líquido removió más del 50 % de la mancha de carbón, por lo que solo logró remover un 274,91 % del total de las manchas. Dicha información se encuentra en la tabla VI y figura 9 en la sección de Resultados.

En la tabla VII se presenta un detalle de los costos de cada propuesta según su composición. En la tabla VIII se comparó el costo por unidad entre el detergente líquido actual utilizado en una industria de jabones y las 4 proporciones de surfactantes propuestas a la industria.

En la tabla VIII se observó que con la propuesta MESS, el costo por unidad se reduce un 5,98 %. Debido a lo anterior, se determinó que la propuesta MESS es económica y amigable con el medio ambiente.

En la tabla IX se determinó que al utilizar la proporción 1:7 se disminuye un 8,6 % del costo actual por unidad producida a nivel industrial.



## CONCLUSIONES

1. La relación óptima de surfactantes utilizados en la formulación de un detergente líquido es de 10,5 % de surfactantes aniónicos.
2. El porcentaje de sólidos removidos utilizando la relación de surfactantes 5:2 fue de 278,34 %; para la relación 7:1 fue de 270,28 %; en la relación de 1:7 fue de 281,52 %. Para la relación actual, el porcentaje de sólidos removidos fue 274,81 %.
3. La relación de surfactantes que tiene un mayor porcentaje de remoción de sólidos es la proporción 1:7 con 281,52 %.
4. Se propuso como materia prima biodegradable para la mejora en la eficiencia de lavado el metil éter sulfato de sodio (MESS), ya que remueve el 274,91 % de sólidos.
5. En la evaluación del metil éter sulfato de sodio se obtuvo que, para las manchas de refresco, grama, sangre, tierra, mezcla de tierra con grasa, el porcentaje de sólidos removidos fue de 31,29 %, 30,58 %, 49,04 %, 37,57 %, 59,56 % y 66,87 %, respectivamente.
6. El costo por unidad con la proporción de surfactantes propuesta disminuye un 8,6 %.



## RECOMENDACIONES

1. Modificar la relación de surfactantes actual a la proporción 1:7 que obtuvo un mayor porcentaje de sólidos removidos en este estudio.
2. Revisar la relación de surfactantes de las fórmulas utilizadas actualmente en la industria de jabones, para evaluar su modificación sin afectar negativamente los costos a nivel industrial.
3. Realizar un estudio comparativo de la calidad detergente de los detergentes líquidos de la competencia y los utilizados actualmente en la industria de jabones. Evaluar si los resultados se podrían utilizar para reforzar las estrategias de marketing.



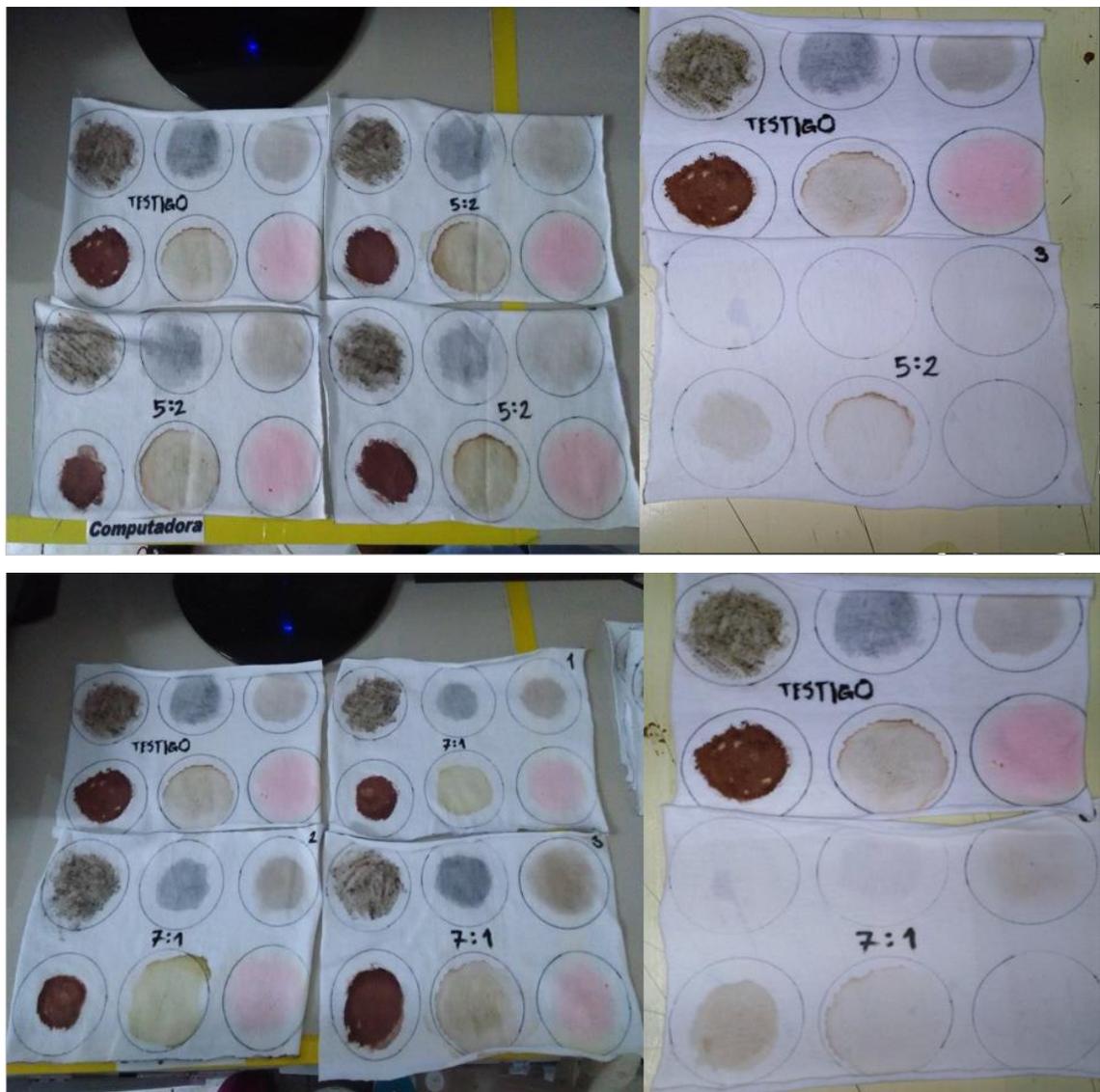
## BIBLIOGRAFÍA

1. ADALID, Nieves. *Fabricación de detergente en polvo*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad politécnica de Catalunya, España: 2011. 146 p.
2. ALTMAJER, Deisi. *Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de lavado*. Trabajo de graduación de doctor en ing. Química. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias Químicas, España: 2004. 297 p.
3. BALTODANO, Angel; MORENO, Karol. *Evaluación de capacidad adsortiva del carbón activado industrial darco en agente surfactante dodecil benceno sulfonato de sodio lineal, presentes en detergentes, realizados en los laboratorios de química Unan-Managua, de marzo a noviembre del 2012*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Química. Universidad nacional autónoma de Managua, Nicaragua: 2013. 109 p.
4. DOMÍNGUEZ, Juan. *Tensioactivos y Detergencia. 2a ed.* Madrid: Editorial Dossat, 1986. 166 p.
5. FUENTES, Claudia. *Elaboración de dos detergentes líquidos experimentales y su correspondiente evaluación de calidad detergiva*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: 1990. 68 p.

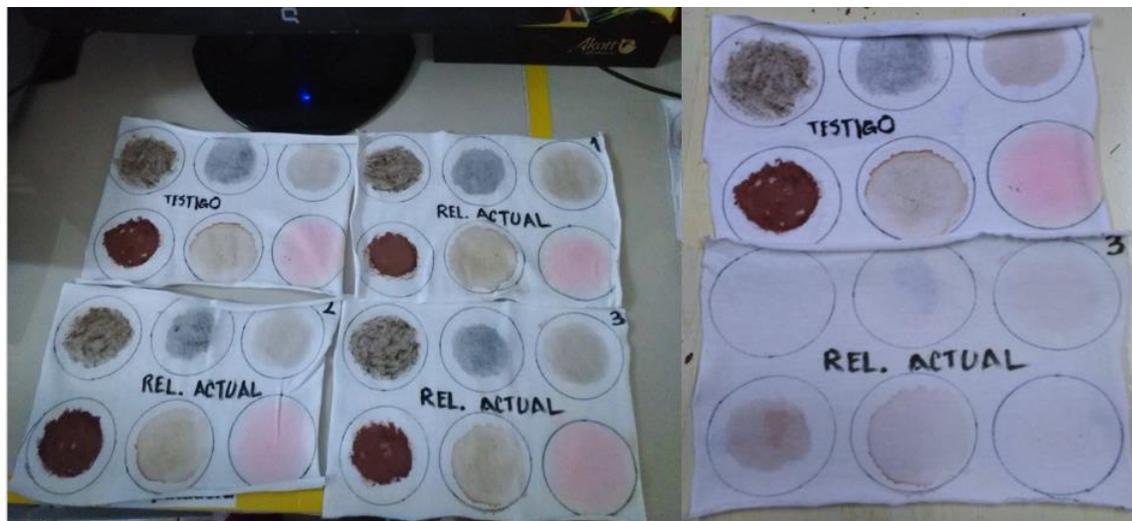
6. MASUDA, Mitsuteru; et. al. *Biodegradation of 2-Sulfonatofatty Acid Methyl Ester ( $\alpha$ -SFMe)*, 1993. 647 p.
7. PONCE, Miguel. *Determinación de la Biodegradabilidad de varios detergentes aniónicos*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala: 1985. 46 p.
8. VILLENA, Manuela. *Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales*. Tesis de doctorado. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. España: 2005. 457 p.
9. WILKINSON, John; MOORE, Raymond. *Cosmetología de Harry*. 6a ed. España: Días de santos, 1990. 1 039 p.
10. ZAMBRANO, Joel. *Ingeniería básica de una planta comercial de detergente líquido*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad Simón Bolívar. Colombia: 2010. 182 p.

## APÉNDICES

Apéndice 1. Comparación en pruebas de lavado de las relaciones de surfactantes analizadas



Continuación de apéndice 1.



Continuación de apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Control de registro de mediciones de lavado**

TESTIGO					
		Punto de medición	Ciclo 0		
		Punto de medición	Ciclo 0	Punto de medición	Ciclo 0
Mancha 1	1	51,5	Mancha 2	1	47,5
	2	52,1		2	48,2
	3	52,4		3	49,6
	4	51,9		4	47,5
	5	51,8		5	49,9
		Punto de medición	Ciclo 0	Punto de medición	Ciclo 0
Mancha 3	1	12,3	Mancha 4	1	45,7
	2	12,4		2	48,1
	3	12,8		3	47,2
	4	12,5		4	45,1
	5	11,8		5	46,5

Continuación del apéndice 2.

	Punto de medición	Ciclo 0		Punto de medición	Ciclo 0
Mancha 5	1	36,5	Mancha 6	1	22,1
	2	36,0		2	22,0
	3	33,9		3	21,4
	4	36,2		4	22,8
	5	37,1		5	22,4

Relación 5:2					
Mancha de refresco					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	51,1	60,9		
	2	51,9	61,4		
	3	51,2	61,4		
	4	51,4	62,0		
	5	52,0	61,5		
2	1	51,3	61,7	61,7	
	2	51,4	58,9	61,5	
	3	51,2	61,7	62,5	
	4	50,6	61,5	62,0	
	5	51,7	61,8	62,6	
3	1	50,7	60,3	61,7	62,3
	2	51,0	61,0	62,0	62,5
	3	51,3	60,2	62,4	62,5
	4	50,7	59,9	61,1	62,1
	5	51,0	60,7	62,4	62,7

Relación 5:2					
Mancha de grama					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	47,7	56,6		
	2	46,8	56,3		
	3	46,7	56,6		
	4	45,1	55,8		
	5	48,6	56,5		

Continuación del apéndice 2.

2	1	45,7	55,6	59,4	
	2	49,6	56,4	59,3	
	3	45,8	55,1	59,6	
	4	46,1	54,8	58,8	
	5	47,8	55,5	57,5	
3	1	49,4	56,0	58,6	60,0
	2	50,3	56,9	58,8	60,2
	3	47,7	56,1	58,5	60,0
	4	47,7	55,7	58,0	60,1
	5	50,2	55,2	58,5	61,2

Relación 5:2					
Mancha de sangre					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	14,1	50,6		
	2	14,4	50,8		
	3	13,3	51,3		
	4	13,7	50,1		
	5	14,3	50,2		
2	1	14,1	48,0	51,9	
	2	14,7	48,9	51,7	
	3	14,2	48,8	51,9	
	4	14,0	48,2	52,2	
	5	14,8	48,4	51,6	
3	1	12,0	51,1	52,9	55,7
	2	12,2	52,4	52,9	55,4
	3	11,5	51,3	54,9	56,4
	4	11,6	50,3	55,0	56,1
	5	12,2	51,8	53,8	55,9

Relación 5:2					
Mancha de tierra					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	45,2	57,9		
	2	45,0	58,9		
	3	43,7	58,2		

Continuación del apéndice 2.

	4	45,7	57,0		
	5	44,5	57,4		
2	1	42,6	57,7	58,8	
	2	42,4	56,7	57,9	
	3	40,9	57,8	59,0	
	4	43,9	56,5	59,4	
	5	43,0	56,9	61,4	
3	1	50,8	59,0	60,8	61,5
	2	48,4	58,9	60,5	61,5
	3	47,5	59,4	60,9	61,2
	4	50,3	58,3	60,7	61,5
	5	50,1	59,0	60,7	61,8

Relación 5:2						
Mancha de carbón						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	32,6	59,4			
	2	36,0	60,3			
	3	35,1	58,9			
	4	33,0	59,2			
	5	32,4	59,3			
2	1	31,6	59,3	61,1		
	2	30,8	59,1	61,5		
	3	35,7	59,6	62,0		
	4	38,5	58,9	61,2		
	5	41,1	58,8	61,2		
3	1	39,5	57,9	60,1	61,1	
	2	41,4	58,4	61,1	61,8	
	3	40,8	59,1	61,8	62,3	
	4	40,5	58,1	60,5	61,5	
	5	41,0	58,1	62,0	63,0	

Relación 5:2						
Mancha de tierra-grasa						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	23,2	58,3			

Continuación del apéndice 2.

	2	20,0	59,1		
	3	19,7	57,5		
	4	22,3	58,1		
	5	24,1	59,1		
	1	24,5	57,8	60,2	
2	2	22,8	58,6	60,7	
	3	23,4	58,1	60,1	
	4	24,8	57,6	60,5	
	5	24,6	57,6	60,5	
	1	18,4	55,3	57,9	59,2
3	2	20,3	56,6	58,4	60,2
	3	19,1	55,6	59,2	60,2
	4	19,2	55,9	57,6	59,0
	5	17,0	56,8	58,7	59,9

Relación 7:1						
Mancha de refresco						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	53,9	60,5			
	2	53,7	59,2			
	3	54,3	61,0			
	4	54,4	60,8			
	5	54,9	60,4			
2	1	53,8	61,3	62,7		
	2	55,0	60,8	62,4		
	3	55,3	61,5	62,9		
	4	55,2	61,6	61,7		
	5	53,6	62,1	63,1		
3	1	52,2	61,2	63,2	63,2	
	2	53,2	60,7	62,7	62,9	
	3	51,6	61,6	62,4	62,9	
	4	52,3	61,4	63,2	63,2	
	5	51,7	61,1	63,9	64,1	

Continuación del apéndice 2.

Relación 7:1						
Mancha de grama						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	52,3	57,2			
	2	51,7	57,1			
	3	52,6	57,7			
	4	52,8	57,8			
	5	51,9	57,5			
2	1	52,8	58,1	61,1		
	2	53,6	58,2	61,0		
	3	53,2	58,8	61,2		
	4	52,3	57,7	61,2		
	5	54,1	58,4	61,9		
3	1	45,1	53,5	57,8		60,1
	2	47,9	53,9	57,6		58,9
	3	48,9	52,9	59,8		61,0
	4	47,0	52,6	58,5		59,6
	5	46,8	55,1	58,1		59,7

Relación 7:1						
Mancha de sangre						
Número de lavado	Puntos de edición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	12,9	44,6			
	2	12,1	46,0			
	3	18,7	43,3			
	4	12,7	45,3			
	5	14,2	45,7			
2	1	15,2	43,0	47,4		
	2	14,6	44,5	46,9		
	3	15,5	43,3	47,0		
	4	14,6	43,0	48,3		
	5	14,2	43,0	47,1		
3	1	14,1	47,0	50,6		51,8
	2	13,8	47,2	52,4		53,8
	3	14,3	47,5	52,0		52,8
	4	14,5	47,9	51,0		52,0
	5	13,5	48,4	51,1		51,9

Continuación del apéndice 2.

Relación 7:1						
Mancha de tierra						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	41,5	55,1			
	2	42,0	55,0			
	3	42,1	55,2			
	4	41,8	55,7			
	5	41,7	56,0			
2	1	39,8	55,0	57,6		
	2	41,0	54,8	58,7		
	3	40,4	55,3	57,2		
	4	40,3	55,3	57,2		
	5	40,9	55,1	59,6		
3	1	33,7	52,7	57,1	57,3	
	2	37,2	53,7	56,9	57,0	
	3	34,1	55,0	57,2	57,5	
	4	35,2	54,1	59,4	60,4	
	5	37,5	52,1	60,7	61,2	

Relación 7:1						
Mancha de carbón						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	36,5	57,0			
	2	37,0	57,7			
	3	36,7	58,7			
	4	37,0	57,5			
	5	37,1	58,6			
2	1	36,6	58,1	60,7		
	2	37,1	58,2	59,9		
	3	35,5	59,0	60,6		
	4	35,5	58,9	61,0		
	5	36,1	58,2	61,5		
3	1	29,5	57,3	61,0	61,3	
	2	30,6	57,5	59,2	59,9	
	3	29,0	57,6	61,0	61,4	
	4	27,9	56,5	62,1	62,6	
	5	28,8	56,5	60,9	61,2	

Continuación del apéndice 2.

Relación 7:1					
Mancha de tierra-grasa					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	25,2	56,9		
	2	23,5	57,3		
	3	23,6	56,1		
	4	24,6	56,3		
	5	24,4	58,1		
2	1	22,2	58,2	59,7	
	2	22,1	58,5	59,5	
	3	22,2	58,7	60,0	
	4	22,3	58,3	60,3	
	5	20,3	58,4	59,5	
3	1	24,8	57,6	59,6	61,0
	2	26,3	58,4	59,8	61,0
	3	25,1	58,2	60,2	61,4
	4	24,6	57,7	61,1	61,9
	5	27,3	58,3	60,8	61,5

Relación 1:7					
Mancha de refresco					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	51,0	60,1		
	2	51,4	59,4		
	3	51,8	59,5		
	4	50,8	59,3		
	5	50,6	59,6		
2	1	51,6	59,9	62,9	
	2	51,5	59,7	62,7	
	3	52,6	60,6	62,6	
	4	52,0	60,4	62,2	
	5	52,2	60,3	62,9	
3	1	51,7	60,4	62,5	62,6
	2	54,7	61,4	62,6	62,9
	3	50,8	60,3	62,1	62,4
	4	53,1	61,0	62,7	63,3
	5	51,3	61,1	62,5	62,6

Continuación del apéndice 2.

Relación 1:7						
Mancha de grama						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	46,2	52,8			
	2	48,5	52,9			
	3	48,3	51,9			
	4	47,6	52,8			
	5	50,2	54,6			
2	1	47,4	53,5	58,7		
	2	48,4	52,4	59,4		
	3	48,5	53,8	59,0		
	4	48,0	55,4	57,7		
	5	48,2	54,4	58,4		
3	1	46,8	56,6	60,9	62,1	
	2	51,0	56,1	60,6	61,4	
	3	48,0	56,4	59,9	61,1	
	4	49,7	56,3	60,1	60,4	
	5	51,4	55,5	60,5	61,3	

Relación 1:7						
Mancha de sangre						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	15,6	45,1			
	2	14,0	44,5			
	3	13,3	45,2			
	4	15,4	46,1			
	5	15,8	45,8			
2	1	12,9	46,2	50,7		
	2	12,9	46,4	50,4		
	3	13,3	46,7	52,4		
	4	12,5	46,5	50,9		
	5	12,5	48,3	51,6		
3	1	13,1	45,9	49,0	50,0	
	2	13,1	47,2	51,3	52,2	
	3	13,7	47,0	50,7	51,1	
	4	14,7	47,7	50,2	51,8	
	5	13,2	46,9	51,1	51,3	

Continuación del apéndice 2.

Relación 1:7						
Mancha de tierra						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	38,6	53,6			
	2	41,3	53,7			
	3	41,8	55,5			
	4	40,8	54,8			
	5	40,4	54,5			
2	1	46,9	58,4	60,5		
	2	47,6	57,7	62,8		
	3	47,9	58,3	60,9		
	4	45,9	58,1	60,6		
	5	48,0	58,5	60,7		
3	1	47,2	59,3	61,4	61,5	
	2	47,3	59,4	61,7	62,0	
	3	47,9	59,7	61,4	62,0	
	4	45,8	59,6	61,2	62,1	
	5	46,6	59,5	61,7	62,1	

Relación 1:7						
Mancha de carbón						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	30,4	57,9			
	2	30,3	58,1			
	3	30,5	58,4			
	4	30,1	57,2			
	5	30,3	57,8			
2	1	29,5	57,1	60,2		
	2	29,5	57,8	62,6		
	3	33,0	57,3	60,1		
	4	31,1	56,5	62,0		
	5	28,6	56,9	61,5		
3	1	30,4	58,7	61,1	61,1	
	2	31,7	58,8	61,3	61,3	
	3	31,8	59,3	61,1	61,3	
	4	30,3	59,2	61,8	62,2	
	5	31,1	59,0	62,2	62,6	

Continuación del apéndice 2.

Relación 1:7					
Mancha de tierra-grasa					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	25,8	57,4		
	2	24,6	58,7		
	3	28,3	57,3		
	4	24,4	57,1		
	5	25,4	58,2		
2	1	21,1	58,3	61,2	
	2	20,3	59,3	63,2	
	3	21,9	58,4	61,1	
	4	22,5	57,6	61,4	
	5	20,5	58,6	60,8	
3	1	23,4	57,7	59,8	60,1
	2	24,7	56,5	60,9	61,2
	3	24,0	59,3	59,7	60,9
	4	26,1	59,2	59,7	60,9
	5	22,0	57,9		61,0

Relación MESS					
Mancha de refresco					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	51,4	60,4		
	2	50,7	60,1		
	3	51,7	60,2		
	4	50,7	60,6		
	5	51,9	60,8		
2	1	52,5	61,0	64,1	
	2	52,5	60,6	63,5	
	3	52,7	61,2	63,5	
	4	52,5	61,2	63,4	
	5	52,1	60,8	63,9	
3	1	51,9	61,0	62,8	63,0
	2	52,8	60,7	62,5	63,2
	3	53,5	61,4	62,3	
	4	53,4	61,3		63,2
	5	51,1	61,4	62,7	

Continuación del apéndice 2.

Relación MESS						
Mancha de grama						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	49,7	55,8			
	2	50,8	54,6			
	3	51,9	55,6			
	4	51,0	55,3			
	5	50,0	55,9			
2	1	48,9	56,3	61,0		
	2	52,6	55,7	60,5		
	3	49,2	55,0	61,3		
	4	50,5	55,9	60,5		
	5	53,3	56,6	59,6		
3	1	48,9	57,1	60,8	61,1	
	2	50,0	57,0	60,6	62,0	
	3	49,5	57,3	60,6	61,6	
	4	50,3	57,2	60,9	61,5	
	5	50,3	57,4	60,7	60,8	

Relación MESS						
Mancha de sangre						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	12,8	47,5			
	2	12,8	47,9			
	3	13,0	47,7			
	4	13,2	47,4			
	5	13,4	48,3			
2	1	13,8	48,0	51,7		
	2	13,5	49,1	51,8		
	3	14,0	49,4	52,3		
	4	16,3	48,4	52,1		
	5	13,9	49,2	52,6		
3	1	30,9	44,9	47,1	51,7	
	2	31,3	44,2	47,7	52,4	
	3	32,3	45,5	48,6	52,7	
	4	19,2	44,6	46,3	48,3	
	5	19,7	44,1	44,7	47,9	

Continuación del apéndice 2.

Relación MESS						
Mancha de tierra						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	44,3	59,1			
	2	45,7	59,1			
	3	46,8	60,2			
	4	43,8	60,0			
	5	43,8	58,6			
2	1	46,3	58,7	61,2		
	2	47,6	59,1	62,0		
	3	46,3	58,8	61,6		
	4	46,9	58,3	62,1		
	5	47,2	58,7	61,9		
3	1	49,0	59,1	61,1	61,7	
	2	48,9	58,8	61,1	61,5	
	3	48,1	58,9	61,3	62,0	
	4	49,5	60,5	61,7	62,0	
	5	49,2	58,8	61,6	61,9	

Relación MESS						
Mancha de carbón						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	30,9	58,8			
	2	31,3	59,1			
	3	32,2	59,1			
	4	31,6	59,1			
	5	30,3	60,2			
2	1	30,4	57,9	60,3		
	2	30,6	58,8	62,1		
	3	30,5	58,2	60,3		
	4	30,4	59,3	61,2		
	5	30,0	57,8	60,8		
3	1	25,1	56,8	59,3	59,3	
	2	27,7	62,4	63,1	66,7	
	3	25,4	58,6	61,3	61,3	
	4	25,2	56,7	61,1	61,2	
	5	28,0	57,5	61,2	61,3	

Continuación del apéndice 2.

Relación MESS					
Mancha de tierra-grasa					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	22,9	56,3		
	2	24,9	55,5		
	3	24,5	55,7		
	4	22,9	56,9		
	5	21,1	58,2		
2	1	23,9	58,2	60,7	
	2	23,3	58,6	64,7	
	3	23,1	57,7	59,4	
	4	23,3	58,4	60,6	
	5	27,1	58,2	59,5	
3	1	23,4	59,7	61,9	62,0
	2	23,7	59,1	64,1	65,7
	3	21,1	60,1	61,2	61,8
	4	23,0	60,2	61,6	62,4
	5	26,6	59,6	61,0	61,1

Relación actual					
Mancha de refresco					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	49,9	61,7		
	2	49,4	62,3		
	3	48,3	60,4		
	4	50,8	61,9		
	5	51,3	62,5		
2	1	51,0	60,1	62,9	
	2	53,1	60,7	62,7	
	3	51,8	60,8	63,5	
	4	51,8	60,5	62,3	
	5	51,2	61,2	62,6	
3	1	52,0	61,4	63,4	63,6
	2	52,2	61,3	62,4	62,5
	3	53,3	61,0	62,4	62,4
	4	52,6	60,7	63,4	63,4
	5	51,6	59,8	62,9	63,1

Continuación del apéndice 2.

Relación actual					
Mancha de grama					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	43,0	48,1		
	2	43,9	46,8		
	3	44,5	45,3		
	4	44,8	47,9		
	5	43,3	48,7		
2	1	46,6	51,5	56,4	
	2	46,9	51,2	57,2	
	3	49,1	51,8	59,2	
	4	47,0	51,9	55,7	
	5	48,2	53,0	57,7	
3	1	48,0	51,9	58,0	59,2
	2	48,4	52,0	57,8	59,3
	3	50,0	50,6	58,4	60,0
	4	48,3	51,6	56,2	58,3
	5	47,4	54,4	56,7	58,7

Relación actual					
Mancha de sangre					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	14,6	51,5		
	2	14,0	51,2		
	3	14,3	53,2		
	4	14,5	52,6		
	5	14,7	50,2		
2	1	13,2	46,2	50,9	
	2	12,3	46,0	52,4	
	3	12,6	47,2	53,0	
	4	12,6	47,2	52,1	
	5	12,4	48,3	50,6	
3	1	13,0	44,6	50,0	51,2
	2	13,1	46,9	50,6	50,6
	3	12,7	49,3	49,8	50,3
	4	13,2	45,7	51,1	52,5
	5	12,5	44,7	54,2	54,3

Continuación del apéndice 2.

Relación actual						
Mancha de tierra						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	38,0	58,6			
	2	41,3	59,0			
	3	39,9	58,9			
	4	42,9	58,9			
	5	38,0	59,4			
2	1	44,7	58,5	60,7		
	2	44,8	58,4	60,2		
	3	44,9	59,2	60,8		
	4	45,0	59,1	60,4		
	5	47,1	58,2	61,4		
3	1	43,9	57,4	60,5		60,6
	2	42,9	56,9	60,9		61,2
	3	44,6	57,6	60,4		60,4
	4	43,8	57,7	60,9		60,9
	5	46,7	57,5	60,7		60,7

Relación actual						
Mancha de carbón						
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo				
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	
1	1	30,7	60,7			
	2	31,7	60,3			
	3	30,9	60,3			
	4	32,2	60,5			
	5	31,4	61,1			
2	1	30,3	58,9	60,8		
	2	31,6	59,5	60,8		
	3	29,2	59,2	60,8		
	4	30,9	58,7	62,0		
	5	30,2	58,5	63,2		
3	1	30,3	57,1	61,0		61,4
	2	29,6	57,5	60,3		60,7
	3	31,7	58,1	61,3		62,1
	4	30,5	57,7	60,8		61,2
	5	29,5	57,4	62,0		62,6

Continuación del apéndice 2.

Relación actual					
Mancha de tierra-grasa					
Número de lavado	Puntos de medición	Número de ciclo			
		Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
1	1	22,3	59,4		
	2	22,2	59,2		
	3	23,8	59,4		
	4	23,4	59,0		
	5	20,9	59,7		
2	1	21,7	56,2	57,8	
	2	22,3	55,5	57,2	
	3	24,5	56,1	57,8	
	4	21,8	55,7	57,6	
	5	21,0	56,2	57,3	
3	1	23,3	57,9	59,2	60,4
	2	24,0	58,4	58,7	59,7
	3	22,5	58,3	59,3	59,6
	4	21,9	58,1	59,6	60,6
	5	23,0	57,9	58,4	59,6

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Promedio del control de registro de mediciones de lavado**

Relación 5:2				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Sumatoria
Mancha refresco	25,44%	3,48%	1,56%	30,48%
Mancha grama	19,70%	8,20%	5,18%	33,08%
Mancha sangre	48,22%	6,93%	8,22%	63,37%
Mancha tierra	28,12%	6,44%	5,04%	39,60%
Mancha carbón	42,12%	7,47%	2,43%	52,02%
Mancha tierra-grasa	52,77%	5,95%	1,06%	59,79%

Continuación de apéndice 3.

Relación 7:1				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Sumatoria
Mancha refresco	20,43 %	6,32 %	1,64 %	28,39 %
Mancha grama	14,37 %	10,21 %	0,13 %	24,72 %
Mancha sangre	41,17 %	9,18 %	7,66 %	58,01 %
Mancha tierra	30,59 %	9,98 %	1,65 %	42,23 %
Mancha carbón	42,78 %	9,35 %	1,70 %	53,83 %
Mancha tierra-grasa	51,60 %	7,08 %	4,43 %	63,11 %

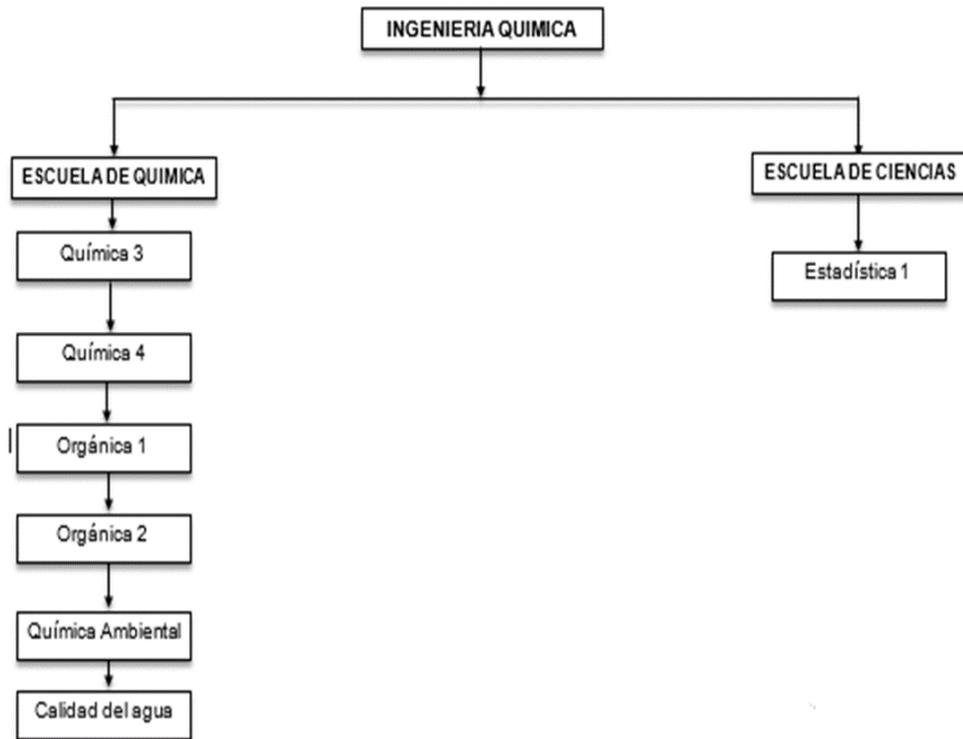
Relación 1:7				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Sumatoria
Mancha refresco	22,21 %	8,06 %	0,70 %	30,97 %
Mancha grama	14,16 %	14,64 %	5,78 %	34,59 %
Mancha sangre	43,01 %	10,32 %	1,16 %	54,50 %
Mancha tierra	27,85 %	12,15 %	2,30 %	42,30 %
Mancha carbón	46,46 %	10,73 %	1,10 %	58,29 %
Mancha tierra-grasa	52,22 %	8,52 %	0,13 %	60,87 %

Relación MESS				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Sumatoria
Mancha refresco	23,34 %	7,93 %	0,02 %	31,29 %
Mancha grama	14,61 %	13,38 %	2,59 %	30,58 %
Mancha sangre	40,61 %	5,67 %	2,77 %	49,04 %
Mancha tierra	28,61 %	8,03 %	0,93 %	37,57 %
Mancha carbón	48,73 %	7,71 %	3,12 %	59,56 %
Mancha tierra-grasa	52,33 %	10,53 %	4,02 %	66,87 %

Relación actual				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Sumatoria
Mancha refresco	25,45 %	6,18 %	0,56 %	32,19 %
Mancha grama	8,89 %	17,58 %	5,48 %	31,95 %
Mancha sangre	45,89 %	7,63 %	0,81 %	54,33 %
Mancha tierra	32,61 %	7,48 %	0,24 %	40,33 %
Mancha carbón	48,09 %	7,42 %	1,06 %	56,57 %
Mancha tierra-grasa	52,49 %	1,54 %	5,40 %	59,43 %

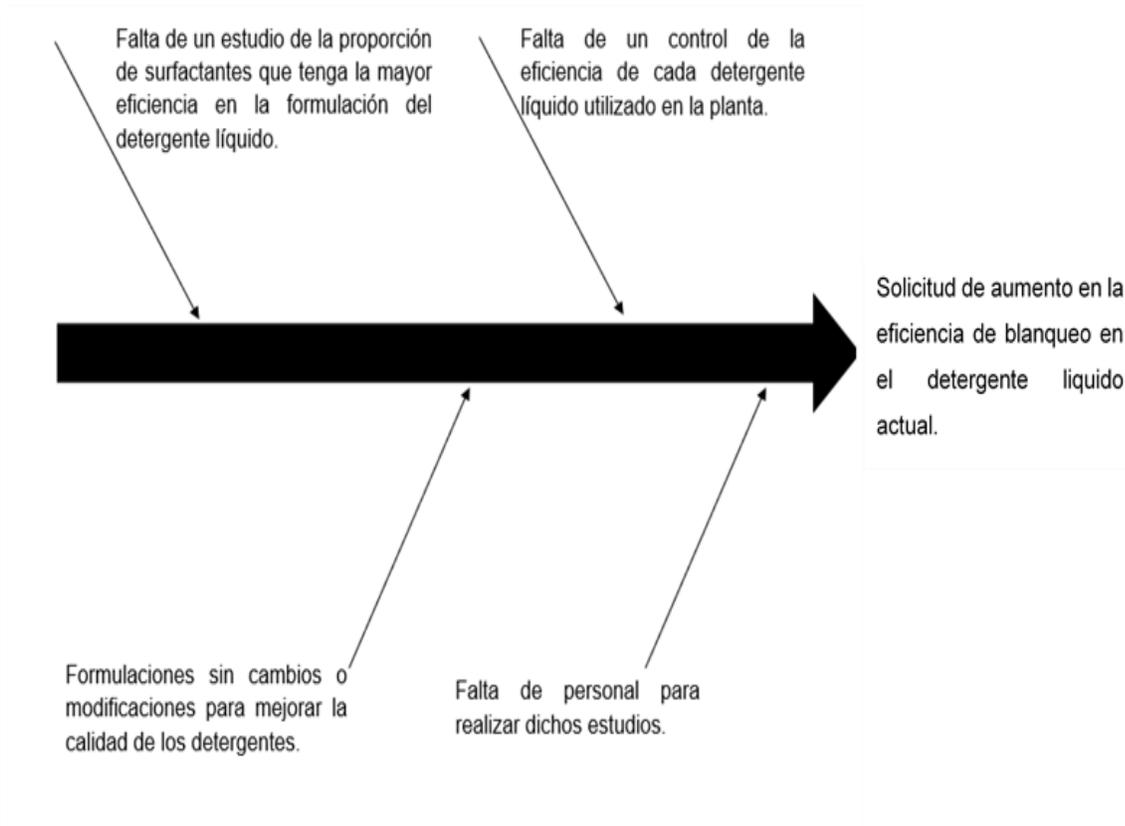
Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.