



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

**EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE  
TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**

**Jacobo Josué Martínez de la Rosa**

Asesorado por el Ing. Leonidas Antonio Martínez Zúñiga

Guatemala, noviembre de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE  
TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JACOBO JOSUÉ MARTÍNEZ DE LA ROSA**  
ASESORADO POR EL ING. LEONIDAS ANTONIO MARTÍNEZ ZÚÑIGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
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 DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de noviembre de 2013.



**Jacobo Josué Martínez de la Rosa**





Guatemala, 24 de Julio de 2014

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

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación del informe final de trabajo de graduación titulado "Evaluación de la formulación de limpiadores industriales a base de tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica a nivel laboratorio", del estudiante de Ingeniería Química Jacobo Josué Martínez de la Rosa quien se identifica con el carné número 2008-19130.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,

  
Ing. Leonidas Antonio Martínez Zúñiga  
Asesor  
Colegiado no. 529  
Ing. Químico Leonidas Martínez  
COLEGIADO 529

Guatemala, 24 de Julio de 2014

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Monzón:

Por este medio solicito a usted, la asignación de fecha para la presentación y defensa del informe final de trabajo de graduación, titulado "Evaluación de la formulación de limpiadores industriales a base de tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica a nivel laboratorio", asesorado por el Ingeniero Químico Leonidas Antonio Martínez Zúñiga, colegiado activo número quinientos veintinueve (529).

Agradezco de antemano,



Jacobo Josué Martínez de la Rosa

Carné No. 2008-19130



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

Guatemala, 28 de noviembre de 2013  
Ref. EI.Q.TG-DI.140.2013

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-141-2013-DI le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Jacobo Josué Martínez de la Rosa.**

Identificado con número de carné: **2008-19130.**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**


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

**EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE  
TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Leonidas Antonio Martínez Zúñiga.**

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

  
Ing. César Alfonso García Guerra  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Periodo 2009 - 2015

FORMANDO INGENIEROS QUÍMICOS EN GUATEMALA Desde 1939



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.241.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JACOBO JOSUÉ MARTÍNEZ DE LA ROSA** titulado: "**EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2014

Cc: Archivo  
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN DE LIMPIADORES INDUSTRIALES A BASE DE TENSOACTIVOS DE NATURALEZA IÓNICA Y NO IÓNICA A NIVEL LABORATORIO**, presentado por el estudiante universitario: **Jacobo Josué Martínez de la Rosa** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno  
Decano en Funciones

Guatemala, noviembre de 2014



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por brindarme sabiduría y haberme guiado en todo momento.
<b>Mis padres</b>	Leonidas Martínez y Carolina de la Rosa, por su apoyo incondicional, ejemplo e inspiración.
<b>Mis hermanos</b>	Gerson y Claudia Martínez de la Rosa, por su ejemplo y apoyo.
<b>Mis sobrinos</b>	Edgar, Adriana y Marcela Andrade Martínez, por su cariño.
<b>Mi abuela</b>	Concepción García de la Rosa, por brindar su experiencia y amor.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera,  
entre otras cosas.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser una importante influencia en mi carrera,  
entre otras cosas.

**Ing. Leonidas Martínez**

Por su conocimiento excepcional compartido y  
apoyo.

**Licda. Carolina de la  
Rosa de Martínez**

Por su apoyo incondicional.

**Polchemical**

Por permitirme realizar la investigación y  
desarrollo de este trabajo de graduación.







## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Materias tensoactivas .....	5
2.2. Clasificación .....	11
2.2.1. Tensoactivos aniónicos .....	11
2.2.2. Tensoactivos catiónicos.....	15
2.2.3. Tensoactivos no iónicos .....	17
2.2.4. Tensoactivos anfóteros.....	18
2.3. Balance hidrófilo-hidrófobo .....	20
2.4. Limpieza .....	22
2.5. La suciedad y su clasificación .....	23
2.6. Mecanismo de acción detergente .....	24
2.7. Detergencia .....	25
2.7.1. Variables que afectan la detergencia.....	27
2.8. Consumos y usos .....	27
2.9. Los tensoactivos y el ambiente.....	30
2.9.1. Concepto de biodegradación.....	31

2.9.2.	El impacto ambiental de los tensoactivos.....	32
2.10.	Formulaciones detergentes.....	34
2.10.1.	Tensoactivo aniónico.....	35
2.10.2.	Tensoactivo catiónico.....	37
2.10.3.	Tensoactivo no iónico.....	38
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
3.1.	Flujo de proceso para elaboración de limpiador aniónico .....	41
3.2.	Flujo de proceso para elaboración de limpiador catiónico.....	42
3.3.	Flujo de proceso para elaboración de limpiador no iónico .....	43
3.4.	Sistema para ensayos de lavado .....	44
3.5.	Procedimiento de impregnación del ácido oleico en el sustrato .....	45
3.6.	Procedimiento para ensayos de eficacia detergente .....	46
3.7.	Detergencia.....	46
3.8.	Métodos univariantes .....	47
3.9.	Métodos multivariantes .....	48
3.10.	Variables .....	49
3.11.	Delimitación de campo de estudio .....	49
3.12.	Recursos humanos disponibles .....	50
3.13.	Recursos materiales disponibles.....	50
3.13.1.	Espacio físico .....	50
3.13.2.	Equipo, cristalería y materiales .....	50
3.14.	Técnica cuantitativa.....	52
3.15.	Recolección y ordenamiento de la información.....	52
3.16.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	54
3.16.1.	Datos obtenidos de los ensayos de eficacia detergente aplicados en la investigación .....	54

3.17.	Análisis estadístico .....	57
3.17.1.	Regresión lineal .....	57
3.17.2.	Coefficiente de correlación .....	58
4.	RESULTADOS .....	61
4.1.	Composiciones de los limpiadores formulados.....	61
4.2.	Eficacia detergente en función de la temperatura .....	62
4.2.1.	Modelos matemáticos que gobiernan el comportamiento detergente de los tensoactivos en función de la temperatura .....	65
4.3.	Eficacia detergente en función de la agitación .....	65
4.3.1.	Modelos matemáticos que gobiernan el comportamiento detergente de los tensoactivos en función de la agitación .....	68
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69
	CONCLUSIONES .....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	ANEXOS.....	79



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Acción detergente .....	6
2.	Estructura de un tensoactivo .....	7
3.	Monocapa de tensoactivo .....	9
4.	Burbuja de jabón .....	10
5.	Formación de micelas .....	11
6.	Ejemplos de tensoactivos aniónicos.....	12
7.	Diagrama de flujo para fabricación de detergente.....	14
8.	Diagrama de flujo para la producción de las principales formas de alcoholato detergente sulfonado .....	15
9.	Ejemplos de tensoactivos catiónicos.....	16
10.	Ejemplos de tensoactivo no iónico .....	18
11.	Ejemplos de tensoactivo anfotérico.....	19
12.	Esquema resumido del proceso detergente con las etapas básicas y principales factores que intervienen en el desarrollo del mismo .....	26
13.	Producción de tensoactivos en Europa Occidental-1. Miles de toneladas.....	28
14.	Producción de tensoactivos en Europa Occidental-2. Millones de toneladas.....	29
15.	Emisión de detergentes al medio .....	33
16.	Componentes de las formulaciones detergentes .....	35
17.	Sistema equipo-baño-sustrato, utilizado para el estudio de la eficacia detergente .....	45
18.	Procedimiento de recolección de datos.....	53

19.	Eficacia detergente en función de la temperatura en ensayos de lavado (agitación = 50 rpm, dureza de agua = 80 ppm, grasa estándar = ácido oleico 72 % pureza, tiempo de lavado = 5 min, sustrato = esferas de vidrio 1,5 cm diámetro) .....	64
20.	Eficacia detergente en función de la agitación en ensayos de lavado (Temperatura = 25 °C, dureza de agua = 80 ppm, grasa estándar = ácido oleico 72% pureza, tiempo de lavado = 5 min, sustrato = esferas de vidrio 1,5 cm diámetro).....	67

## TABLAS

I.	Evolución histórica de los tensoactivos.....	3
II.	Características y composición de los tensoactivos .....	20
III.	Usos de los tensoactivos .....	30
IV.	Concentraciones referentes para limpiador aniónico .....	42
V.	Concentraciones referentes para limpiador catiónico .....	43
VI.	Concentraciones referentes para limpiador no iónico .....	44
VII.	Variables relacionadas al proceso .....	49
VIII.	Equipo, cristalería y materiales relacionados al proceso .....	51
IX.	Variables relacionadas al proceso .....	52
X.	Resultado de peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con agitación constante.....	55
XI.	Resultado peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con temperatura constante .....	56
XII.	Interpretación de valores de R .....	59
XIII.	Composición de limpiador aniónico formulado .....	61
XIV.	Composición de limpiador catiónico formulado.....	62
XV.	Composición de limpiador no iónico formulado .....	62



XVI.	Eficacia detergente de los tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica en función de la temperatura en ensayos de lavado.....	63
XVII.	Eficacia detergente de los tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica en función de la agitación en ensayos de lavado.....	66



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Agitación en sistema de lavado
<b>cm</b>	Centímetro
<b>R</b>	Coeficiente de correlación
<b>De</b>	Detergencia
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>min</b>	Minuto
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>T</b>	Temperatura
<b>W</b>	Peso



## GLOSARIO

<b>Ácido oleico</b>	Ácido graso mono-insaturado de la serie omega 9, presente en casi la totalidad de los aceites vegetales.
<b>CESIO</b>	Comité Europeo de Tensoactivos Orgánicos, comité que controla la producción de tensoactivos en Europa y sus efectos ecológicos.
<b>C.M.C.</b>	Concentración micelar crítica, es la concentración mínima de surfactante a partir de la cual se forman micelas espontáneamente en una disolución.
<b>Detergencia</b>	Proceso de limpieza de una superficie sólida o de una estructura fibrosa mediante un baño líquido, en el cual la acción limpiadora del solvente está considerablemente aumentada por procesos físico-químicos atribuible al surfactante y demás componentes del detergente.
<b>Detergente</b>	Es una sustancia tensioactiva y anfipática que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo.
<b>EDAR</b>	Estación depuradora de aguas residuales, tiene el objetivo genérico de conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante diferentes

procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

<b>EDTA</b>	Ácido etildiaminotetraacético, es un importante agente quelante. Tiene una alta afinidad para los iones metálicos libres, puede crear complejos que tenga una estructura de coordinación octaédrica.
<b>Emulsión</b>	Es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera semihomogénea.
<b>Hidrófilo</b>	Es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua. En una disolución o coloide, las partículas hidrófilas tienden a acercarse y mantener contacto con el agua.
<b>Hidrófobo</b>	Se aplica a aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella.
<b>Hidrosoluble</b>	Sustancia capaz de disolverse en agua.
<b>LAS</b>	Sulfonato de alquilbenceno lineal, es un componente de los detergentes y productos de limpieza, muy empleado por sus propiedades como surfactante y por ser completamente biodegradable.

<b>Lipófilo</b>	Es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por los lípidos. Las partículas lipófilas tienden a acercarse y mantener contacto con los lípidos.
<b>Micela</b>	Es la asociación de moléculas anfifílicas formando agregados moleculares, iónicos o mixtos.
<b>Molécula anfifílica</b>	También llamadas anfipáticas, son aquellas moléculas que poseen un extremo hidrofílico o sea que es soluble en agua y otro hidrófobo o sea que rechaza el agua.
<b>Organoléptico</b>	Descripción de las características físicas de los materiales, según se percibe sensorialmente, por ejemplo sabor, textura, olor, color.
<b>ppm</b>	Partes por millón, medida de concentración que expresa la cantidad de unidades de una sustancia en un total que equivale a un millón de unidades
<b>Solubilidad</b>	Medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (sóluto) en un determinado medio (solvente).
<b>Sustrato</b>	Material sólido el cual se desea limpiar.

**Tensoactivos**

Son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.

**Tensión superficial**

En un líquido, la tensión superficial es la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.



## RESUMEN

La evaluación de la formulación de los limpiadores industriales se realizó a nivel laboratorio, en función de variables influyentes en los procesos deteritivos, la temperatura y la acción mecánica.

En los ensayos se utilizó el ácido oleico como grasa estándar, modificando las variables de operación seleccionadas, se garantizó formulaciones surfactantes eficientes, donde se comprobó que afectan de forma significativa la eficacia deteritiva.

Los modelos matemáticos que gobiernan el comportamiento deteritivo de los surfactantes, en función de la temperatura y la agitación son expresiones polinómicas de tercer grado.

Los resultados experimentales muestran que en los tensoactivos formulados, las composiciones utilizadas fueron las correctas con respecto a la grasa estándar utilizada.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la formulación de limpiadores industriales a base de tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica, en función de una grasa estándar a nivel de laboratorio.

### **Específicos**

1. Evaluar la formulación de un limpiador de pH neutro, neutralizando un tensoactivo aniónico con hidróxido de sodio, para limpiar cristalería de laboratorio.
2. Evaluar la formulación de un tensoactivo catiónico.
3. Evaluar la formulación de un desengrasante a base de un tensoactivo no iónico, utilizando un agente alcalinizante y cloruro de benzalconio como sinérgico.
4. Determinar la relación o modelo matemático que gobiernen el comportamiento de los tensoactivos de cada limpiador formulado con el ácido oleico como referente de grasa estándar.

## **Hipótesis**

La evaluación de la formulación de limpiadores industriales a base de tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica a nivel laboratorio, responde a modelos matemáticos ante una grasa común: ácido oleico.

## INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de los agentes tensoactivos y su asociación a los compuestos llamados secuestrantes han permitido abrir un nuevo camino en el terreno de los productos limpiadores.

Este hallazgo cobra valor fundamental en los casos en que para el lavado de material para laboratorio solo se disponga de aguas duras. No se menoscaba el poder detergente aún en el caso de emplear aguas de máxima dureza, ya que los agentes secuestrantes remueven los cationes del medio y los tensoactivos no iónicos no forman sales por no estar disociados en medio acuoso.

Un correcto balance entre secuestrantes permite complejar la totalidad de los cationes que eventualmente pudieran estar presentes, asegurando la total ausencia de esa fuente de contaminación, tan peligrosa en ensayos enzimáticos o reacciones de óxido-reducción.

La riqueza de una nación y su grado de civilización se mide por la cantidad de jabón que consume.



## 1. ANTECEDENTES

Los primeros artículos de limpieza se remontan al año 600 a.C, época en la cual los fenicios obtuvieron el primer jabón a través de una mezcla de grasa de cabra con cenizas de madera. Sin embargo, desde entonces los métodos de lavado avanzaron muy poco.

Durante la Venecia del siglo XI, su fabricación se transformó en un negocio floreciente. El descubrimiento de los efectos limpiadores en el siglo XIX mediante la adición de sustancias abrasivas e insolubles, como el talco, el yeso, la piedra pómez o el cuarzo molido, dio lugar a excelentes productos de limpieza.

En esos tiempos, los químicos ya habían comenzado a descifrar el misterio del jabón. El jabón está formado por moléculas con dos “brazos” muy diferentes. Mientras el lado hidrófilo atrae las moléculas de agua, el hidrofóbico repele el agua y se aferra a moléculas de grasa y suciedad.

En 1890 el investigador químico alemán, A. Krafft, observó que ciertas moléculas de cadena corta, que no eran sustancias jabonosas, también producían espuma al unirse con alcohol. Así nació el primer detergente del mundo. Sin embargo, en aquel momento el descubrimiento no interesó.

Luego de la primera guerra mundial, el bloqueo privó a Alemania del suministro de grasas naturales utilizadas para fabricar lubricantes, por lo que se vieron obligados a utilizar las grasas de los jabones. Con el fin de solucionar la

carencia de jabón, los químicos H. Gunther y M. Hetzer recordaron el hallazgo de Krafft y elaboraron el primer detergente sintético comercial.

Las ventajas de este detergente no tardaron en manifestarse, y hacia 1930 gran parte del mundo industrializado ya fabricaba una amplia gama de detergentes sintéticos, superiores al jabón en muchos aspectos. En 1946 apareció Tide, el primer gran detergente para lavar la ropa, cuyo surgimiento coincidió con la creación de las primeras lavadoras automáticas.

El éxito del detergente a nivel mundial fue rotundo, transformándose en el precursor de una gran cantidad de detergentes para múltiples y variadas aplicaciones.

En la tabla I, se resume el desarrollo histórico de los detergentes.



Tabla I. **Evolución histórica de los tensoactivos**

ÉPOCA Y HECHOS CRONOLÓGICOS	OBSERVACIONES
<b>Era antes de Cristo</b>	
Año 3000, en Sumeria	Tablilla sumeria de arcilla donde se habla de “azufre jabonoso”
Año 2500, en Mesopotamia	Placa de arcilla con la descripción de la fabricación de jabón (aceite + hierba jabonosa)
Año 1500, en Egipto	Grabados y papiros. Descripción (aceites animales + vegetales + sales)
<b>Era Cristiana</b>	
<b>Primera generación de detergentes</b>	
Imperio Romano	Extractos de cenizas + grasas para ungüentos
Año 800, Almonas, Andalucía	Fabricación con aceite de oliva y el álcali obtenido de las cenizas de la combustión de los amarjos
Año 1000, Marsella y Venecia	Centros del negocio de fabricación de jabón (siglo IX-XIV)
Año 1300, fundación de gremios europeos	Desarrollo importante de fabricación de jabón.
Año 1791, descubrimiento de Leblanc	Método Leblanc para la preparación de carbonato sódico. Inicio de la Industria Química.
Año 1799, Aportación de Tennant	Obtención de cloruro de cal, que permitía obtener Cl <sub>2</sub> para blanqueamiento del algodón.
Año 1823, Trabajos de Chevreul	Inicio de nuevas industrias. Repercusión en el incremento exponencial de la población Europea.
<b>Segunda generación de detergentes</b>	
Año 1917, descubrimiento de Harkins y Langmuir	Sustancias sintéticas equiparables al jabón.
Año 1925, en Alemania, después de la Primera Guerra Mundial	Alquilaril sulfonatos y butilnaftal en sulfonatos.
Año 1928, hidrogenación y posterior sulfatación del grupo carboxílico	Obtención de alcoholes grasos y sulfatados.
Año 1930, condensación de ácidos grasos	Desarrollo de tensoactivos no iónicos.
<b>Tercera generación de detergentes</b>	
Período 1950-1980	Fabricación de mesolatos. Desarrollo de los “Builders”. Principios de la Química-Física interfacial.
Año 2000-Actualidad	Desarrollo de detergentes biodegradables.

Fuente: CANTANERO MALAGÓN, Antonio Samuel. *Determinación de tensoactivos aniónicos en matrices ambientales. Comportamiento del jabón en una parcela agrícola.* p.19.



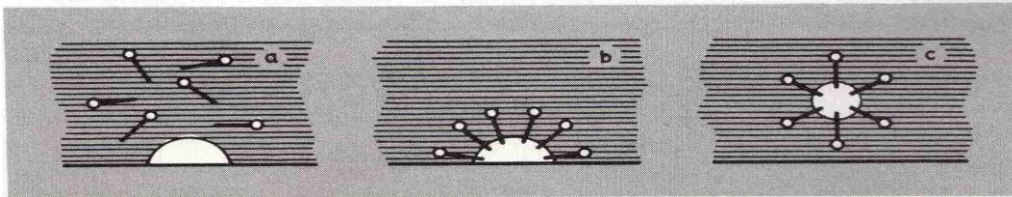
## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Materias tensoactivas**

Los jabones son las materias tensoactivas conocidas más antiguas y cuya estructura ha servido de pauta para la obtención de los tensoactivos modernos, de más amplio campo de aplicación que aquellos.

En general, son tensoactivas las moléculas de naturaleza dífila – hidrófila e hidrófuga— por lo que dispersas en el agua tienden a disponerse en la superficie de la interfase agua-aire produciendo cambios físicos en la misma basados en la disminución de la tensión interfacial. Si la interfase es agua-aire el descenso de la tensión superficial facilita la formación de espuma, al agitar; si la interfase es agua-aceite, se producirán emulsiones; igualmente se explica la facultad de los tensoactivos de mantener a los sólidos dispersos en el agua o para facilitar el mojado de los mismos por las disoluciones acuosas que contiene los tensoactivos. Análogamente, limpiar y separar de la piel o de un tejido la suciedad que tiene adherida y en ello intervienen decisivamente las moléculas dífilas.

Figura 1. **Acción detergente**



Fuente: ORTUÑO, Ángel Vian. *Curso de introducción a la química industrial*. p. 383.

De la figura 1, los iones dispersos en el agua (a) acaban por fijarse sobre la mota de grasas (suciedad) por su extremo hidrófobo (lipófilo) (b). Las cabezas hidrófilas tiran de la grasa dispersándola en el agua, pues el recubrimiento hidrófilo hace compatible el complejo con el agua

Aunque las propiedades; espumabilidad, emulsibilidad, dispersabilidad, mojabilidad, detergencia, tienen por base la capacidad de las moléculas anfífilas de rebajar la tensión superficial, este descenso no puede utilizarse como medida práctica de tales propiedades, pues aunque todos los tensoactivos participan de dichas propiedades, la distinta estructura molecular y el carácter más o menos acusado de los grupos activos determina diferencias grandes entre unas y otras moléculas.

Generalmente se llama tensoactivos detergentes, porque la acción de los agentes de lavado o detergentes entra en juego todas las propiedades citadas; la suciedad debe ser mojada, emulsificada la grasa y disperso el polvo que la forma, y la espuma se encargaría de arrastrar estas impurezas.

Los jabones tienen una amplitud de constitución muy limitada, pues los ácidos grasos útiles al efecto, como ya se ha dicho, son los  $C_{12}$  a  $C_{18}$ ; esto en cuanto a la parte hidrófoba-- lipófila, de la molécula. La parte hidrófila---lipófila, no puede ser otra que el carboxilo salificado con los pocos cationes que dan sales acuosolubles con los ácidos grasos: las alcalinas y el amonio, y moderadamente las etanolaminas. De ahí la moderna industria de detergentes haya tratado de superar esas limitaciones modificando ambas partes de la molécula dífila. Así se han conseguido efectos de mayor especificidad e intensidad, y se ha ampliado enormemente o en pocos años, el repertorio de los tensioactivos.

En cuanto a su estructura la constitución química de un tensioactivo comprende:

- Un grupo hidrofílico
- Un grupo hidrofóbico

Figura 2. **Estructura de un tensioactivo**



Fuente: ADAMSON, Arthur W; GAST, Alice P. *Physical chemistry of surfaces*. p. 784.

De la figura anterior 1. Parte hidrofílica, 2. Parte hidrofóbica

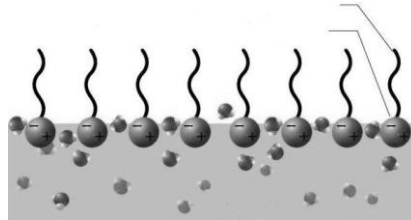
En dilución acuosa, la parte hidrofílica de la molécula se orienta hacia el interior de la disolución, mientras que la parte hidrofóbica lo hace hacia la superficie. Las moléculas de tensoactivos así orientadas se acumulan en la interfase agua/aire, con lo que reducen la tensión superficial del agua.

Respecto a las propiedades generales de los tensoactivos son importantes las siguientes:

- **Compuestos anfifílicos:** contienen, a la vez en su molécula a uno o varios grupos polares y uno o varios grupos no polares, generalmente, una cadena hidrocarbonada soluble en disolventes orgánicos y un grupo iónico soluble en agua. Debido a su estructura, cuando se pone en contacto una cantidad muy pequeña de tensoactivo con el agua aparecen dos tendencias opuestas; por una parte, el grupo hidrófilo del tensoactivo tiende a situarse en el interior del medio acuoso; y por otra, las moléculas de agua tienden a expulsar del medio acuoso las cadenas hidrófobas de las moléculas e iones anfifílicos.

El estado de equilibrio se alcanza cuando las moléculas y/o iones de tensoactivo se distribuyen entre el interior de las moléculas o iones de tensoactivo, de forma que los grupos hidrófilos puedan estar convenientemente hidratados, y las cadenas hidrófobas estén libres del contacto del medio acuoso.

Figura 3. **Monocapa de tensoactivo**

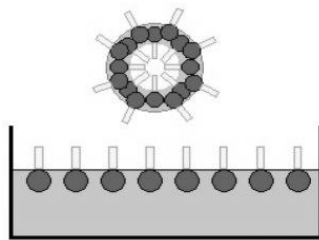


Fuente: VELÁZQUEZ SALICIO, Mercedes. *Coloides e interfases*. p. 814.

- Humectabilidad: el mojado constituye un mecanismo fundamental que interviene en la mayor parte de las aplicaciones de los agentes tensoactivos es una característica que depende de las propiedades superficiales.
- Poder detergente: desincrusta la suciedad.
- Poder solubilizante: disolución de la suciedad soluble y emulsión de la suciedad insoluble.
- Poder dispersante: evita la sedimentación.
- Poder espumante: la espuma se puede definir como un conjunto de celdas gaseosas separadas por láminas delgadas de líquido, el cual está formado por la superposición de burbujas originadas por una dispersión de un gas o líquido.

La formación de espuma es otro de los efectos que depende de las propiedades superficiales de las disoluciones de los agentes tensoactivos. No existe una explicación satisfactoria para exponer todos los fenómenos relativos a las espumas, pero se admite, por lo general, que el fenómeno se debe a la tendencia que tiene una burbuja de aire, introducida en una disolución de agente tensoactivo, para rodearse inmediatamente de una capa monomolecular, cuando la burbuja rompe la superficie, consigue formar una película superficial monomolecular, y de esta manera, se encuentra compuesta por una lámina que está formada por dos capas monomoleculares de agentes tensoactivos, las cuales están separadas por una película de agua.

Figura 4. **Burbuja de jabón**

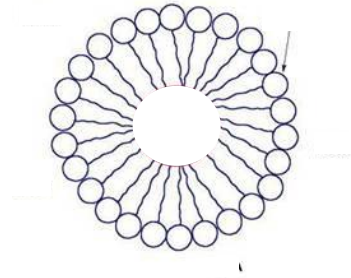


Fuente: VELÁZQUEZ SALICIO, Mercedes. *Coloides e interfases*. p. 823.

- Formación de micelas: cuando un compuesto anfifílico está en disolución acuosa, para evitar el contacto desfavorable entre la parte hidrófoba y el disolvente, además de adsorberse en la interfaz, existe otra alternativa: la de asociarse moléculas anfifílicas formando agregados moleculares, iónicos o mixtos llamados micelas, que se forman por encima de una cierta concentración, denominada concentración crítica micelar (C. M. C.), que se define como el pequeño margen de concentraciones, por debajo del cual, no existen micelas, y por encima del mismo, las moléculas e iones se asocian en forma micelar.



Figura 5. **Formación de micelas**



Fuente: VELÁZQUEZ, MA. Mercedes. *Coloides e interfases*. p. 836.

## 2.2. Clasificación

La cadena alquílica (parte hidrófoba) de los tensoactivos está constituida, por lo general, por entre 12-20 átomos de carbono, pudiendo ser hidrogenada o fluorada, lineal o ramificada, conteniendo o no doble enlace. Los grupos hidrófilos, por su parte, pueden diferir bastante en su naturaleza química, pudiendo ser no iónicos, iónicos (catiónicos o aniónicos) o anfóteros.

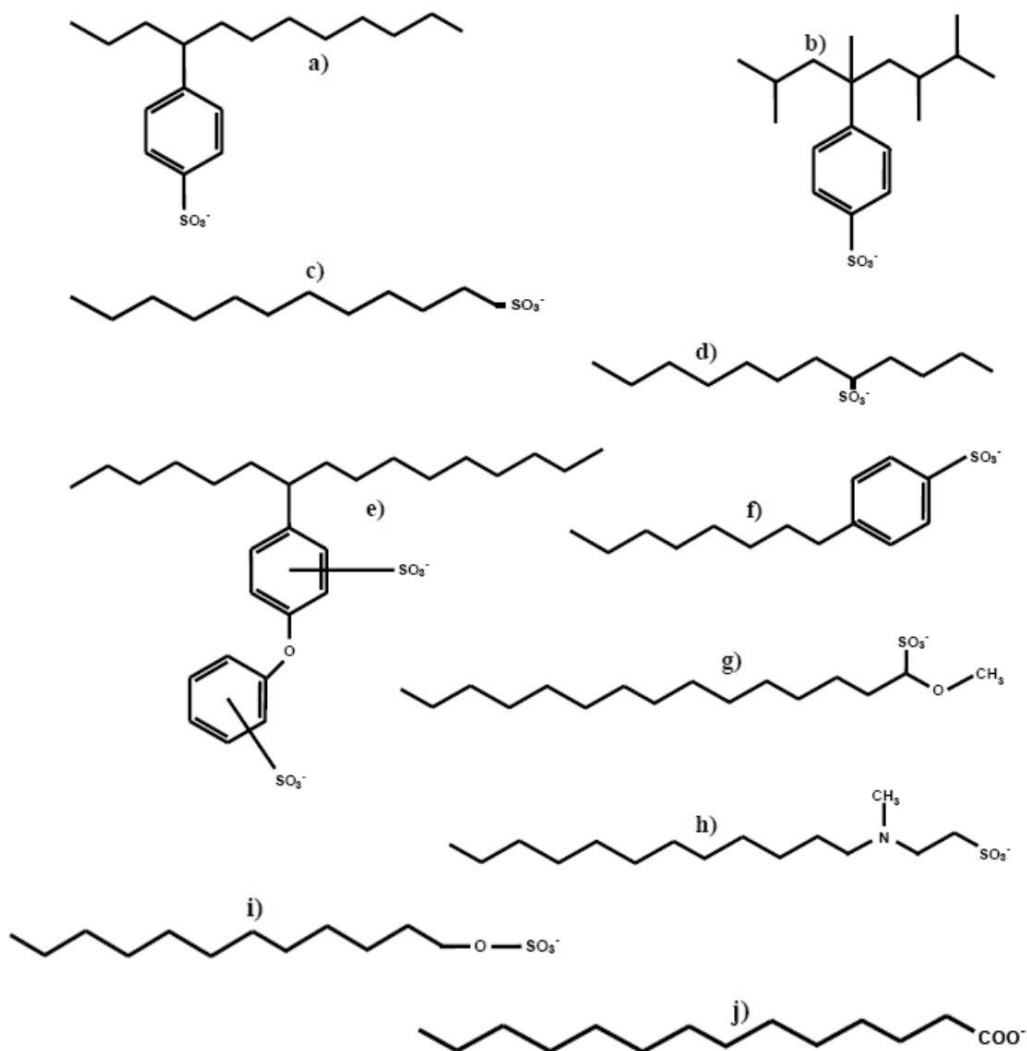
Atendiendo la naturaleza de grupo hidrófilo, los tensoactivos se pueden clasificar en no iónicos, catiónicos y aniónicos.

### 2.2.1. Tensoactivos aniónicos

Son los tensoactivos más consumidos en términos absolutos. Se caracterizan por tener, en su parte hidrofílica, grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa, originando iones orgánicos con carga negativa, los cuales son responsables de la actividad superficial. Contiene, por lo general, grupos solubles, sulfatos o sulfonatos de sodio; aunque, tradicionalmente, consistían en grupos carboxilatos como los que hay presentes en el jabón.

Existen, por lo tanto, varias clases de tensoactivos aniónicos, como por ejemplo: los sulfonatos de aquilbenceno lineal (LAS), los alcoholes etoxisulfatos (AES) y los alcoholes sulfatos (AS). A continuación, se recogen algunos ejemplos de tensoactivos aniónicos:

Figura 6. Ejemplos de tensoactivos aniónicos



Fuente: FUENTES DE PIEDRAHITA, Cilia L.; DE ROMÁN, Ana Lucía. *Los surfactantes: clases, propiedades y usos con herbicidas*. p.152.

De la figura anterior: a) Sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS); b) Sulfonato de alquilbenceno ramificado; c) Sulfonato de n-alquilo; d) Sulfonato de alquilo secundario; e) Difeníléterdisulfonato de hexadecano lineal; f) Sulfonato de 4-(1-n-octil) benceno; g) Sulfonato de metiléster; h) taurato de alquilmetil; i) sulfonato de n-alquilo; j) Carboxilato de alquilo (jabón)

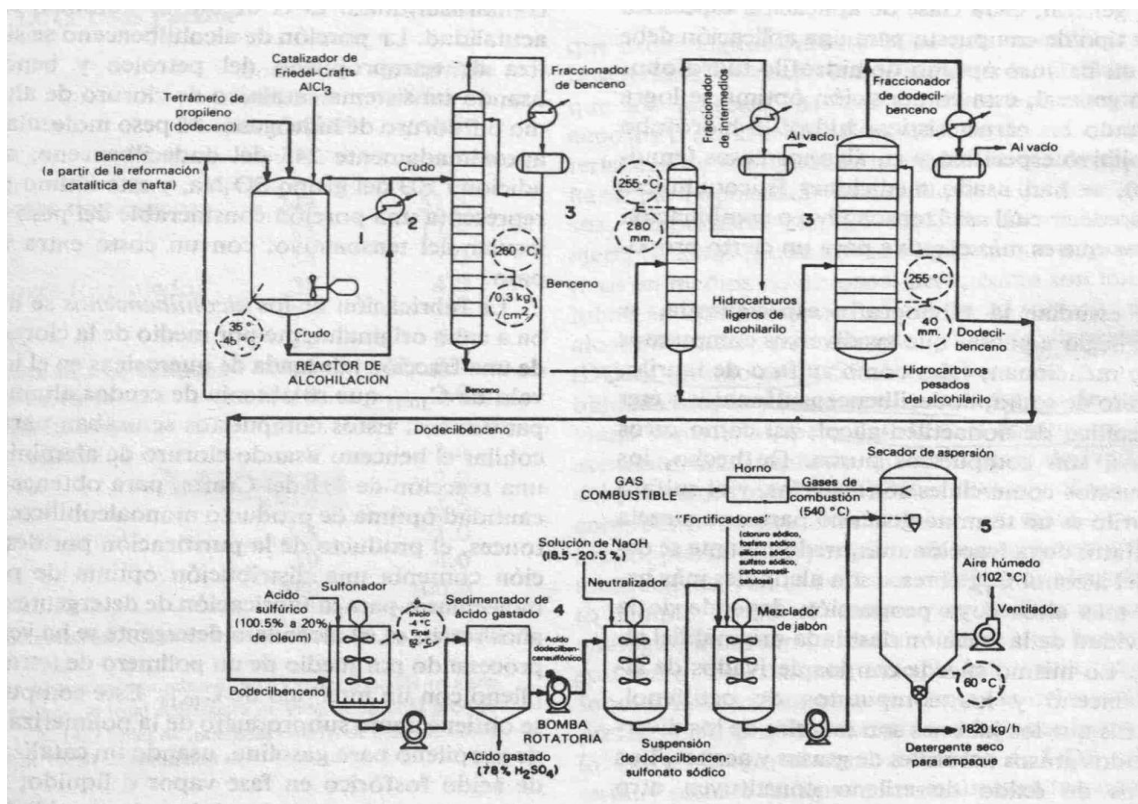
El tensoactivo de tipo alcoholisulfonato es el de mayor volumen en la actualidad. La porción de alcoholbenceno se sintetiza de tetrapropileno del petróleo y benceno usando un sistema catalítico de cloruro de aluminio o fluoruro de hidrógeno. Al peso molecular de aproximadamente 245 del dodecilbenceno, se le adiciona 103 grupo  $\text{SO}_3\text{Na}$ , y este último peso representa una porción considerable del peso molecular del tensoactivo, con un costo extra muy bajo.

La fabricación de los alcoholbencenos se lleva a cabo originalmente por medio de la cloración de una fracción adecuada de querosinas en el intervalo de  $\text{C}_{10-15}$  que se obtenía de crudos altamente parafínicos. Estos compuestos se usaban para alcoholar el benceno usando cloruro de aluminio en una reacción de Friedel-Crafts, para obtener una cantidad óptima de producto monoalcohílico. Entonces, el producto de la purificación por destilación contenía una distribución óptima de pesos moleculares para la fabricación de detergentes.

En años recientes, el alcoholato detergente se ha venido procesando por medio de un polímero de tetrapropileno con un intervalo de  $\text{C}_{10-15}$ . Este compuesto se obtiene como subproducto de la polimerización de propileno para gasolina, usando un catalizador de ácido fosfórico en fase vapor o líquido; además, para aumentar al máximo la cantidad del producto deseado, e intervalo de gasolina puede recircularse.

La alcoholación del benceno con el polímero tetrapropilénico puede catalizarse ya sea con fluoruro de hidrógeno o con cloruro de aluminio. Purificada nuevamente por destilación, la fracción final queda en el intervalo de  $C_{11-15}$ . En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

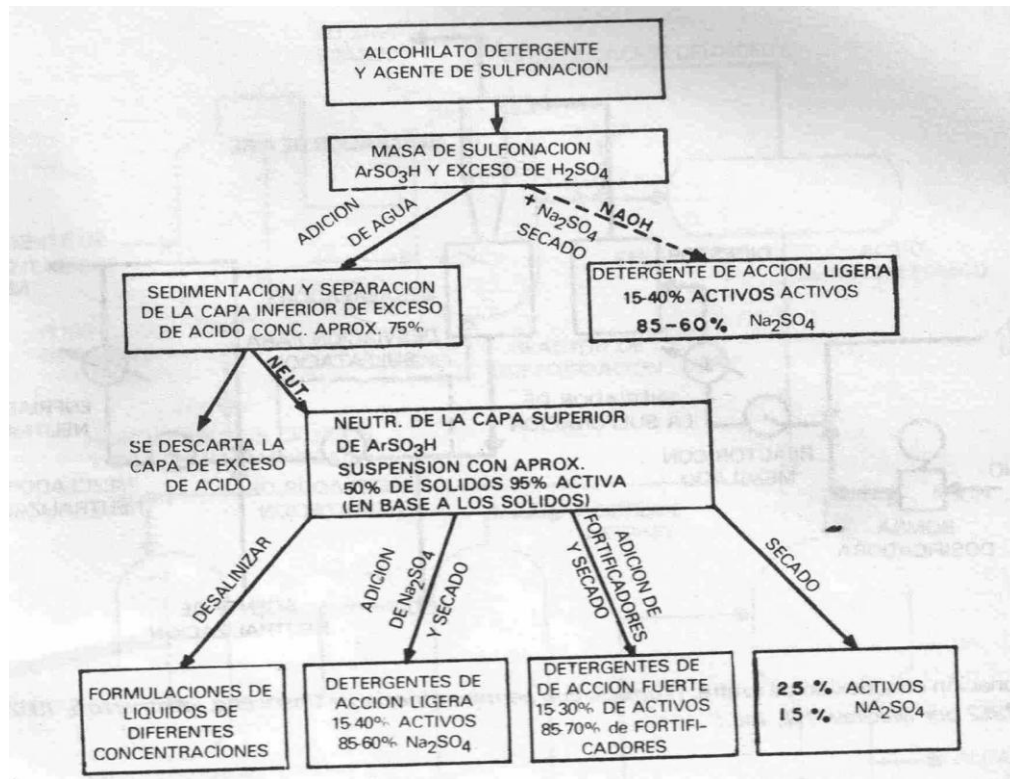
Figura 7. Diagrama de flujo para fabricación de detergente



Fuente: RIEGEL, Emil Raymond; KENT, James Albert. *Manual de Riegel de Química Industrial*. p. 416.

De la figura anterior: (1) Reactores de Friedel-Crafts; (2) intercambiadores de calor para el control de la temperatura de la alcoholación del benceno; (3) torres fraccionadas; (4) Tanque de sedimentación y neutralizadores; (5) equipo de secado por aspersión.

Figura 8. Diagrama de flujo para la producción de las principales formas de alcoholato detergente sulfonado



Fuente: RIEGEL, Emil Raymond; KENT, James Albert. *Manual de Riegel de Química Industrial*. p. 417.

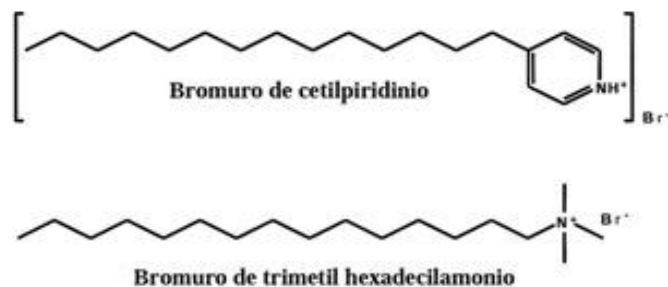
## 2.2.2. Tensoactivos catiónicos

Al contrario que los aniónicos, estos compuestos presentan un grupo catiónico en su parte polar; son, normalmente, una sal de amonio cuaternaria, amina o sal de fosfinio, la cual está unida a una cadena carbonada de distinta naturaleza. Presentan la ventaja de que son compatibles con los tensoactivos no iónicos y anfotéricos, y la desventaja de ser incompatibles con los tensoactivos aniónicos.

Puede darse el caso, en disoluciones ácidas, que los tensoactivos no iónicos puedan adoptar carácter catiónicos, debido a la protonación del heteroátomo; sin embargo, estrictamente hablando, los tensoactivos aniónicos son aquellos que para poseer una carga negativa no requieren protonación.

Su uso es más limitado, siendo utilizados, principalmente, en la industria textil como ablandadores de fibras, actuando sobre la fibra de algodón, adhiriéndose a ella y confiriéndole cierta lubricidad y suavidad, de aquí que su principal aplicación sea en formulaciones de productos suavizantes. A este tipo de compuestos se le atribuyen propiedades antibacterianas; además, se usan como inhibidor de la corrosión, de procesos de oxidación y son muy utilizados en procesos de síntesis como agente transferente entre fases.

Figura 9. **Ejemplos de tensoactivos catiónicos**



Fuente: FUENTES DE PIEDRAHITA, Cilia L.; DE ROMÁN, Ana Lucía. *Los surfactantes: clases, propiedades y usos con herbicidas*. p. 214.

El primer uso práctico de los tensoactivos catiónicos fue quizá como suavizadores en la industria textil. Debido a que estos productos químicos tienen afinidad específica por las fibras de algodón, impartiendo suavidad y lubricación, se usan mucho para este propósito.

En años recientes se han venido usando como suavizadores de telas que el ama de casa aplica a las toallas y a las prendas después del lavado usual. Puesto que son agentes antiestáticos, también se usan como aplicación de acabado, las telas sintéticas que desarrollan cargas estáticas indeseables, y debido a su carácter bactericida, también se emplean como agentes antibacterianos y algicidas en los detergentes sanitarios.

### **2.2.3. Tensoactivos no iónicos**

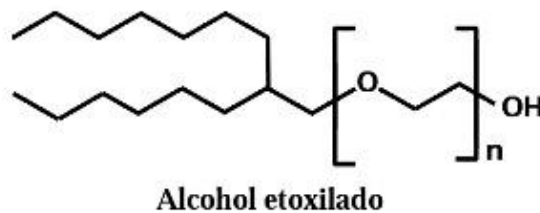
En disolución acuosa no originan iones, su solubilidad en agua es debida a la polaridad del átomo de oxígeno, en cual permanece unido covalentemente en los oligoetilenglicol éteres (también denominados poliglicol éteres) y compuestos oligohidróxidos. El grado de hidratación decrece con el aumento de la temperatura, disminuyendo, por tanto, su solubilidad. La cadena carbonada (parte hidrofóbica) tiene que estar en una adecuada relación con el número de grupos polares, debido a que una relación demasiado baja entre el número de heteroátomos y la cadena carbonada puede derivar en problemas de insolubilidad en agua. Los tensoactivos de este tipo más ampliamente utilizados son los alcoholes etoxilados (AE). Dependiendo del grado de etoxilación, se obtienen productos con un balance hidrófilo-lipófilo distinto y con múltiples aplicaciones.

Se producen a partir de la condensación de óxidos de etileno, aunque también existen ciertos compuestos de este tipo basados en azúcares, polioles, etc. Los productos con menor peso molecular se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente, sin embargo, a medida que aumenta su peso molecular, tienden a ser más pastosos, llegando, en caso más extremo, a formar un estado sólido céreo. Forman micelas con mayor facilidad que los tensoactivos iónicos,

debido a que las repulsiones electrostáticas en la superficie de los no iónicos son menores.

Otra característica que los diferencia es su comportamiento en el “agua dura”, ya que en presencia de iones de calcio y magnesio, los alcoholes etoxilados presentan menor tendencia a precipitar que los tensoactivos aniónicos.

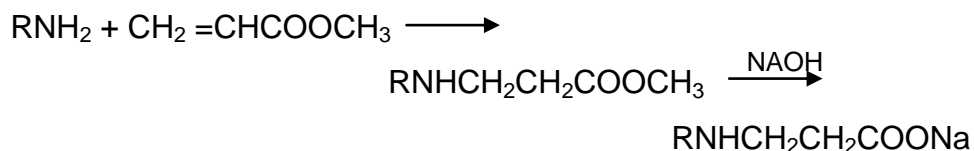
Figura 10. **Ejemplos de tensoactivo no iónico**



Fuente: FUENTES DE PIEDRAHITA, Cilia L.; DE ROMÁN, Ana Lucía. *Los surfactantes: clases, propiedades y usos con herbicidas*. p. 224.

#### 2.2.4. **Tensoactivos anfóteros**

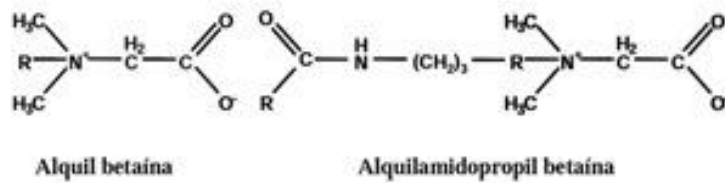
El nombre de estos productos se debe a que contienen grupos tanto catiónicos como aniónicos. Uno de los ejemplos típicos se prepara haciendo reaccionar una amina grasa primaria con acrilato de metilo, para producir el éster del ácido N-graso-β-aminopropiónico, que se saponifica a la sal soluble en agua.





Uno de los usos específicos del lauril sarcosinato es en la formulación de pastas dentífricas, en las que se ha reportado que estos tensoactivos inhibidores de enzimas reducen las caries dentales. Estos compuestos también se usan en champús, cosméticos, pinturas en emulsión acuosa, etc.

Figura 11. **Ejemplos de tensoactivo anfotérico**



Fuente: FUENTES DE PIEDRAHITA, Cilia L.; DE ROMÁN, Ana Lucía. *Los surfactantes: clases, propiedades y usos con herbicidas*. p. 233.

Tabla II. **Características y composición de los tensoactivos**

<b>TENSIOACTIVO</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Aniónicos</b>	Su grupo liposoluble está formado por un ácido graso desprotonado (anión). Ejemplo: Sales de ácidos grasos.	Se inactivan en agua calcárea. Compatibles con los hipocloritos
<b>Catiónicos</b>	Su grupo liposoluble está formado por una base (catión). Ejemplo: Amonios cuaternarios	Se inactivan en presencia de materia orgánica. Incompatibles con hipocloritos y detergentes aniónicos. Bacteriostáticos de baja potencia.
<b>No iónicos</b>	Equilibrio entre el grupo lípofilo e hidrófilo. Ejemplo: Jabones naturales	Neutros: no irritan la piel
<b>Anfóteros</b>	Se comportan como aniónicos o catiónicos según las condiciones del medio. Ejemplo: Ácidos, aminos.	Poco agresivos (aptos para el lavado de manos)

Fuente: BAIRD, Colin. *Química ambiental*. p. 87.

### 2.3. Balance hidrófilo-hidrófobo

Tal como el término lo implica, los agentes tensoactivos actúan sobre las superficies por la orientación preferencial de sus moléculas. Estos sugieren que existe alguna característica que contribuye a la actividad molecular o que la controla.

Debido a que los tensoactivos son efectivos en sistemas acuosos o no acuosos, dependiendo de sus características de solubilidad, la molécula puede diseñarse para aplicaciones en cualquiera de estos casos. Empezando con los

alcoholbencenos como ejemplo, estos productos son ligeramente tensoactivos en medio no acuosos, pero, como son insolubles en agua, son poco efectivos.

Al sulfonar un alcoholbenceno, por ejemplo, el dodecilbenceno (DDB), un solo grupo  $\text{SO}_3\text{Na}$  proporciona la solubilidad en agua y excelentes características de actividad superficial, pero entonces el compuesto es esencialmente insoluble en disolventes derivados del petróleo. Cuando el DDB es di-o trisulfona, el compuesto resulta más soluble en agua y, de hecho, pierde la mayor parte de sus características tensoactivas, con lo cual se asemeja a un electrolito simple como el sulfato de sodio, o, por analogía, a un compuesto simple de tipo bencensulfonato.

En cualquier caso, la influencia hidrófoba es insuficiente para aumentar la orientación preferencial, pues ha excedido el balance hidrófilo. Sin embargo, el monosulfato de DDB, que es muy soluble en agua y constituye un tensoactivo excelente para sistemas acuosos, puede hacerse hidrófobo y útil para sistemas no acuosos, neutralizando el grupo  $\text{SO}_3\text{H}$  con una amina de cadena larga, para que la molécula sea insoluble en agua.

También es posible, en el caso de un tensoactivo no acuoso con un solo grupo  $\text{SO}_3\text{Na}$ , aumentar la cadena lateral  $\text{C}_{12}$  o más; se obtiene el mismo efecto que el que resulta de la neutralización de un alcoholbenceno sulfonato más corto con una amina.

En los sistemas no iónicos existe el mismo balance hidrófilo-hidrófobo, excepto que en lugar de los grupos  $\text{SO}_3$  o  $\text{SO}_4$  que le dan la solubilidad en agua y forman las soluciones acuosas ionizadas, los no iónicos dependen en una multiplicidad de grupos o enlaces oxigenados, que se pueden unir al agua por medio de enlaces de hidrógeno, con lo cual se induce su solubilidad.

Los no iónicos del tipo de aductos de óxido de etileno introducen de esta manera una dimensión adicional con respecto a los iónicos, pues no solo es posible modificar el hidrófobo, sino también el hidrófilo. Esta característica dimensional extra puede ser la razón principal del aumento de consumo de este tipo de compuesto.

En general, cada clase de aplicación específica y cada tipo de compuesto para una aplicación debe tener un balance óptimo de hidrófilo-hidrófobo. Por lo general, esta composición óptima se logra evaluando las características hidrófilo-hidrófobo del objetivo específico y en algunos casos, se han usado mediciones fisicoquímicas para predecir cuál es el tensoactivo o combinación de estos que es más efectiva para un cierto propósito.

#### **2.4. Limpieza**

La suciedad está constituida en su mayor parte por sustancias grasas (y por tanto hidrófobas), que el agua por sí misma no puede eliminar. La limpieza es el proceso mediante el cual se elimina con agua o detergente la suciedad y todos los componentes que no forman parte de un determinado objeto, superficie o lugar. La limpieza, incluyendo un aclarado meticuloso, es el paso más importante para la utilización posterior de cualquier material reutilizable.

Mediante la limpieza y el aclarado no solo se elimina la materia orgánica y la suciedad, sino que también se logra la reducción de un número importante de microorganismos, hecho que facilita la desinfección.

## **2.5. La suciedad y su clasificación**

Las sustancias que se localizan en un sustrato pueden ser consideradas, según las condiciones concretas de utilización, como sustancia no deseada, tolerable o incluso deseada. Por tanto, es posible hacer alusión a la normativa militar MIL-STD-1246C de los EE.UU. (Normativa Militar, Niveles de Limpieza de Producto y Programa para el Control de la Contaminación), que describe la suciedad como material no deseado.

Para su clasificación se debe estar atentos a su eliminación, pues solo de esta forma es posible establecer la suciedad y los procesos de limpieza a usar. Por ejemplo, sustancias que poseen propiedades físicas similares quizá no pueda eliminarse recurriendo a procedimientos parecidos, dadas las distintas propiedades adicionales sean químicas o de otra naturaleza. Así, resulta esencial su clasificación en grupos que permitan una determinación directa de los correspondientes métodos de limpieza.

La Sociedad Americana de Testado y Materiales (ASTM American Society for Testing and Materials) establece seis grupos de suciedad y los relaciona con métodos de limpieza más usuales, y así describe en detalle la idoneidad de los métodos de limpieza para la eliminación de cada tipo. Los grupos de suciedad individuales son:

- Compuestos pigmentados de estampación.
- Grasa y aceite no pigmentados.
- Virutas y fluidos a corte.
- Compuestos de pulido y abrillantado.
- Óxido.
- Otros.

## **2.6. Mecanismo de acción detergente**

La cadena hidrófoba del tensoactivo tiene afinidad preferente por las grasas (parte mayoritaria de la suciedad); así pues, la superficie de las partículas grasas adsorbe el tensoactivo. Este proceso de adsorción dura hasta que la partícula de grasa se recubre por una capa monomolecular de tensoactivo, orientado con sus grupos hidrófilos hacia el exterior. Los tensoactivos actúan formando micelas sobre las partículas lipídicas, desprendiéndolas del substrato sobre el que se hallan.

El substrato de la grasa adquiere una capa eléctrica negativa en contacto con el agua, mientras que la grasa se carga positivamente. Este hecho explica la notable fuerza de adhesión de la suciedad al substrato.

Las moléculas de detergente se introducen en los intersticios existentes entre el substrato y la grasa; tienden a recubrir completamente las partículas de grasa, impartiendo a su superficie una carga idéntica a la del substrato. Se consigue así una repulsión mutua entre la grasa y el substrato. El tensoactivo adsorbido sobre la superficie de la partícula de grasa hace disminuir la superficie de contacto grasa-substrato. Una vez producido el arranque parcial de la grasa del substrato, la eliminación de la misma puede conseguirse mecánicamente, por movimiento enérgico del agua y fricción del substrato.

Hay que destacar que, si bien se asocia la presencia de espuma con la acción detergente, los dos fenómenos son simplemente concomitantes. Existen detergentes de gran eficacia que producen muy poca espuma y muchas sustancias espumógenas con acción detergente muy limitada.

## 2.7. Detergencia

Se conoce bajo el término detergencia el proceso de eliminación de las sustancias indeseadas adheridas a objetos o a la piel de los seres vivos.

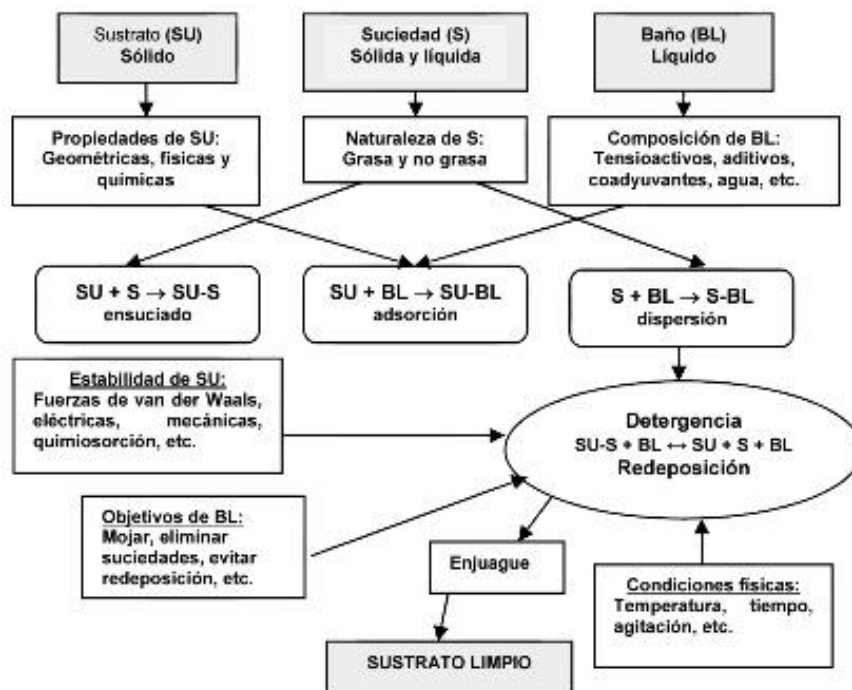
El efecto de limpieza que se logra mediante la aplicación de un detergente no se debe tan solo a la acción del tensoactivo, sino a la adecuada combinación de distintos efectos que actúan sinérgicamente sobre el sustrato sucio. Habitualmente se utiliza también el termino deferencia para referirse a la eficacia del proceso deterativo.

Tres son los elementos esenciales que intervienen en un proceso deterativo típico:

- El sustrato: material sólido que se desea limpiar.
- La grasa: materias extrañas a eliminar de la superficie del sustrato.
- El sistema de lavado: medio líquido que actúa sobre el sustrato para eliminar la suciedad.

Debido a las casi infinitas posibilidades de variación que se pueden plantear con los elementos sustrato-grasa-sistema de lavado, los mecanismos de la detergencia no son únicos, ni sencillos. Naturalmente es distinta la superficie del cristal de acero, como también son distintas la grasa, la tinta o la arcilla, que constituyen formas clásicas de suciedad. La figura 12 presenta un esquema simplificado del proceso deterativo.

Figura 12. Esquema resumido del proceso detergente con las etapas básicas y principales factores que intervienen en el desarrollo del mismo



Fuente: BAILEY, Alton E. *Aceites y grasas industriales*. p. 322.

Los sustratos varían ampliamente en composición química y estructura superficial, pudiendo pertenecer a la clase de las superficies duras (vidrios, cerámicas, metales, etc.), tejidos y materiales fibrosos. Del mismo modo, se pueden distinguir tipos de suciedad, tales como los materiales solubles en agua (sales inorgánicas, azúcar, urea, etc.), pigmentos, grasas (animales y vegetales), proteínas (procedentes de sangre, huevos, leche y residuos de piel), carbohidratos, etc.

Con relación al líquido de lavado, se diferencian dos componentes fundamentales: el agua (ingrediente mayoritario) y los ingredientes de la



formulación detergente. El agua ocupa un papel importante en el proceso detergente, ya que actúa como disolvente para el detergente y para las sales contenidas en la suciedad. Por otro lado, la dureza del agua puede llevar a la formación de sales insolubles con los componentes del detergente, impidiendo que cumplan su función. Los tensoactivos facilitan la eliminación de la suciedad adherida al sustrato a través de distintos mecanismos.

La acción del líquido de lavado no solamente se limita a la eliminación de la suciedad adherida a la superficie del sustrato; sino que también estabiliza la suciedad suspendida en el agua para que no vuelva a depositarse sobre las superficies.

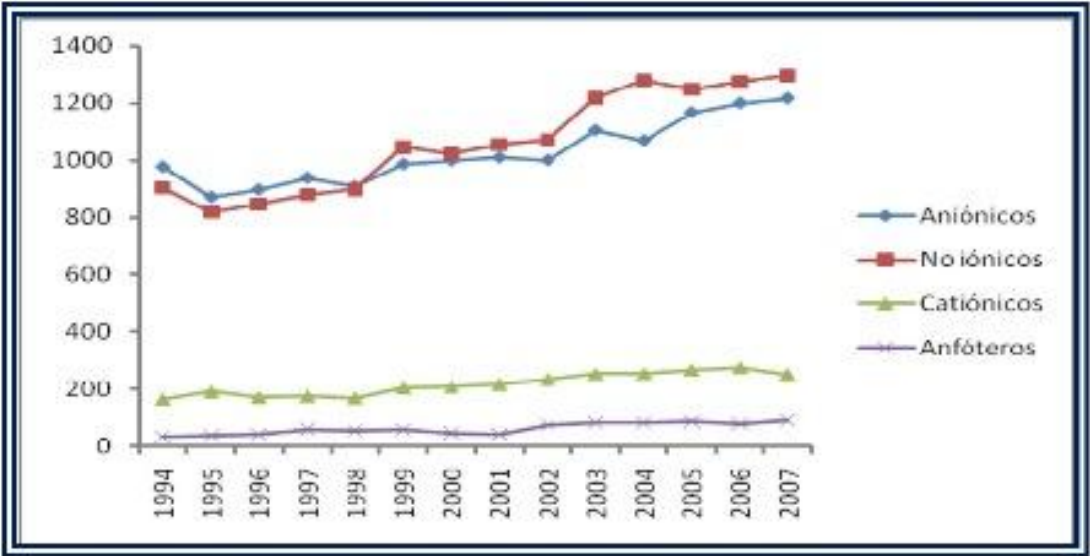
### **2.7.1. Variables que afectan la detergencia**

Las principales variables que afectan la detergencia son: la naturaleza y características del sustrato, la suciedad, el líquido de lavado (concentración y estructura del tensoactivo, dureza del agua, coadyuvantes, enzimas, etc.), la temperatura, el tiempo de duración de lavado, la acción mecánica (agitación, caudal). Asimismo, otros factores que también influyen en la eficacia del proceso detergente son la presencia de electrolitos, el pH del líquido, la capacidad espumante del detergente y el método de lavado utilizado.

### **2.8. Consumos y usos**

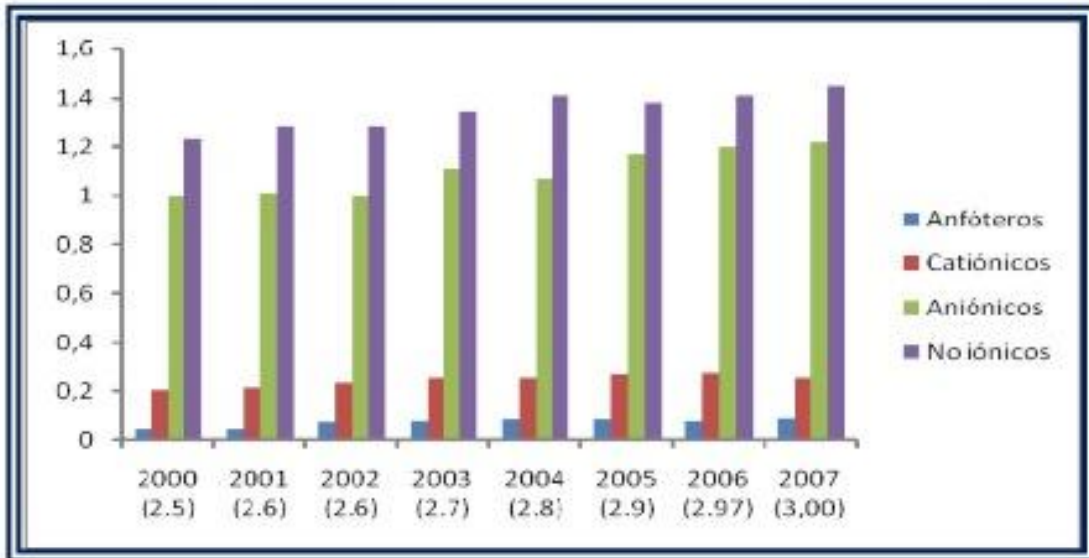
Tanto el consumo como el uso de los tensoactivos dependen de sus propiedades, siendo las más demandadas aquellas sustancias que tienen un mayor rango de aplicaciones. Por lo tanto, los tensoactivos no iónicos como los aniónicos son, por este orden, los que se producen en mayor cantidad.

Figura 13. Producción de tensoactivos en Europa Occidental-1. Miles de toneladas



Fuente: Cominte European Des Agents De Surface Et De Leurs Intermediaires Organiques (CESIO). Cesium surfactants statistics for Western Europe 2007.

Figura 14. **Producción de tensoactivos en Europa Occidental-2.**  
**Millones de toneladas**



Fuente: Cominte European Des Agents De Surface Et De Leurs Intermediaires Organiques (CESIO). Cesio surfactants statistics for Western Europe 2007.

En cuanto a sus aplicaciones, en la siguiente tabla se enumeran los usos más frecuentes de los tensoactivos.

Tabla III. **Usos de los tensoactivos**

Detergentes y productos de limpieza Cosméticos Tratamientos de metales Aditivos de aceites lubricantes Aditivos de gasolinas, gas-oil y otros combustibles Inhibidores de corrosión Agentes de mojado y auxiliares de proceso en industria textil Dispersión de colorantes Flotación de minerales Plásticos, lacas y pinturas Eliminación de polvo Construcción Industria del papel	Curtido de piel Polimerización de latex Dispersantes y emulsificadores en agricultura Emulsificadores de petróleo, ceras y disolventes Agentes espumantes Espuma para extinción de incendios Operaciones de extracción de petróleo Inhibidores de precipitación Desengrasado de metales Efectos antiespumantes Lavado en seo Plastificación/ Fluidizaciones de cementos Industrias de alimentos
---	---

Fuente: BAILEY, Alton E. *Aceites y grasas industriales*. p. 231.

## 2.9. Los tensoactivos y el ambiente

Una molécula de tensoactivo se degrada más cuando el número de ramificaciones es menor, es decir cuánto más cortos sean los grupos alquilo situados en dichas ramificaciones.

### **2.9.1. Concepto de biodegradación**

Se entiende por biodegradación la ruptura molecular de un sustrato orgánico, resultante de la acción enzimática de microorganismos vivos que utilizan este sustrato como alimento. La problemática medioambiental, surgida en la biodegradación de las moléculas complejas, determinó la importancia de la distinción de diferentes tipos de biodegradabilidad, se distingue entre:

- a) Biodegradación primaria: se refiere a la que ocurre en el sustrato que permite la pérdida de las propiedades características de la molécula intacta. En el caso de los tensoactivos, está relacionada con la pérdida de su capacidad de formar espuma o con la reducción de la tensión superficial.
- b) Biodegradabilidad avanzada: se alcanza cuando la molécula de sustrato se divide en segmentos más pequeños.
- c) Biodegradación final última o mineralización: es la que, a través de una secuencia de ataques enzimáticos, reduce el sustrato a la estructura más simple posible. Bajo este término se engloban todos aquellos procesos realizados por agentes microbiológicos ambientales, que convierten, a través de diferentes procesos químicos, la materia orgánica compleja en compuestos inorgánicos más simples, que pueden ser utilizados como nutrientes y generar energía.

Cabe destacar que estos procesos se pueden llevar a cabo bajo diferentes niveles ambientales de oxígeno:

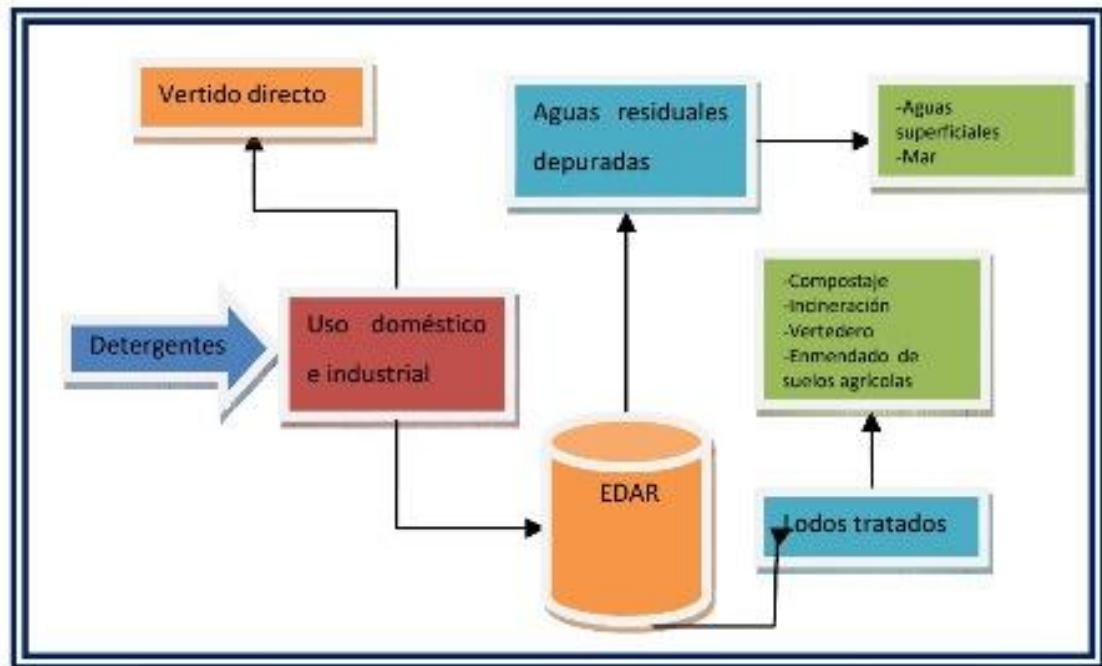
- Condiciones aerobias: donde el flujo de oxígeno excede a la demanda de este gas que la actividad bacteriológica pueda requerir.
- Condiciones anaerobias: donde se pueden distinguir a su vez dos tipos de situaciones:
  - Aquellas donde la velocidad de consumo de oxígeno excede a la velocidad de difusión (condiciones anóxicas).
  - Aquellas donde el oxígeno es totalmente excluido (condiciones estrictamente anaerobias).

### **2.9.2. El impacto ambiental de los tensoactivos**

La principal aplicación de los tensoactivos, es la formulación de detergentes. La gran variedad de los mismos, unido a su creciente consumo, da lugar a un aumento de sus incorporaciones a las aguas de los vertidos domésticos e industriales, ya que el consumidor, por ejemplo, elimina los detergentes a través de los sistemas domésticos de canalización de aguas residuales, existiendo un peligro potencial de afectar a la calidad de las aguas.

Los detergentes, al ser vertidos después de su uso, pueden terminar en varias matrices ambientales, bien a través de descargas directas (sin tratamiento) o después de tratamiento EDAR.

Figura 15. Emisión de detergentes al medio



Fuente: ALTMAYER VAZ, Deisi. *Formulación de detergentes biodegradables: ensayos de lavado*. p. 54.

Los problemas ambientales que puede provocar un detergente industrial, como consecuencia de su presencia en las aguas, puede resumirse en:

- Aumento de pH de las aguas residuales a valores superiores a 12.
- Puede aumentar la presencia de niveles elevados de cloro y de compuestos organoclorados; algunos, posiblemente, de carácter tóxico y/o carcinógeno.
- Se requiere una cierta cantidad de oxígeno para degradar a los diferentes compuestos orgánicos que forman al detergente, lo que podría conducir a unas condiciones anóxicas peligrosas para las diferentes especies que habitan en el medio.

- Algunos de los compuestos de la formulación presentan efectos tóxicos, tanto sobre los microorganismos como sobre los organismos superiores que allí habitan.
- Efecto sobre la coagulación y sedimentación en las plantas depuradoras.
- Contaminación de aguas subterráneas, aunque no es muy frecuente y siempre como síntoma de una contaminación más importante.
- Tienen tendencia a absorberse y precipitarse, generando grandes cantidades ( $\text{gxKg}^{-1}$ ) en los lodos tratados, los cuales pueden ser usados en suelos agrícolas.
- En presencia de aguas con alto contenido en sales (aguas duras), los tensoactivos (aniónicos principalmente), tienen tendencia a precipitar, dando lugar a grandes acumulaciones de sales alcalinotérreas de estos compuestos en diferentes matrices medioambientales.

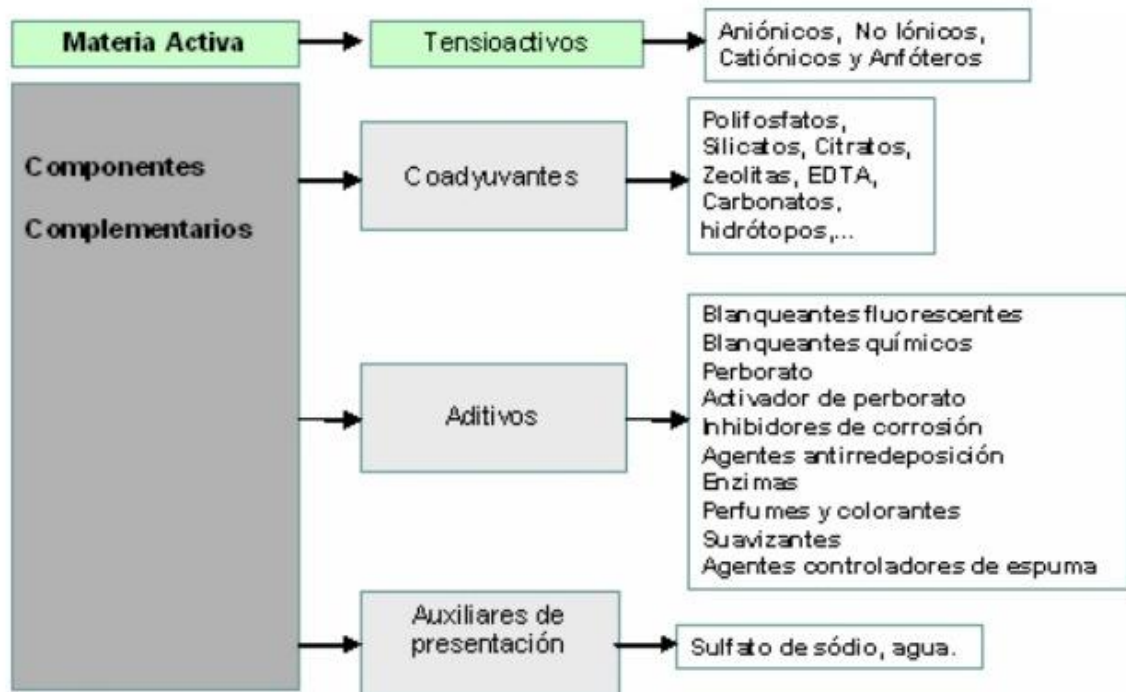
Por todo lo anteriormente expuesto, se ha potenciado en las últimas décadas la formulación de detergentes con sustancias fácilmente biodegradables.

## **2.10. Formulaciones detergentes**

Un detergente está formado por uno o varios tensoactivos y una serie de componentes que complementan la acción de los primeros, tales como aditivos, coadyuvantes y auxiliares de presentación. El resultado final es un producto que además de producir una limpieza eficiente, ejerce un efecto de protección sobre las superficies a las cuales se aplica, proporciona al objeto lavado una serie de características deseadas en cuanto al color, olor, tacto, etc. La figura muestra los componentes típicos presentes en las formulaciones detergentes.



Figura 16. Componentes de las formulaciones detergentes

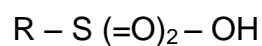


Fuente: ALTMAYER VAZ, Deisi. *Formulación de Detergentes Biodegradables: Ensayos de Lavado*. p. 22.

### 2.10.1. Tensoactivo aniónico

Para este estudio se utilizará como material activo para el limpiador aniónico el ácido sulfónico lineal.

Su fórmula general es:



Donde R es generalmente una cadena lateral hidrocarbonada.

Este compuesto es un tensoactivo potente por el carácter anfipático de sus moléculas, formadas por dos partes:

- Parte polar o hidrófila: la presencia de los grupos sulfonato,  $\text{SO}_3^-$ , ionizados y con carga negativa, hace que esta parte de la molécula sea soluble en agua.
- Parte apolar o hidrófoba: la cadena hidrocarbonada (alquílica) no es soluble en agua. Cuanto más larga sea la cadena, menos soluble es el compuesto.

Cuando son disueltos estos compuestos, se concentran en la superficie del agua, con sus colas hidrófobas hacia fuera y las cabezas hidrófilas disueltas en agua. Esto disminuye la tensión superficial y favorece la limpieza mediante el mecanismo de formación de micelas.

El ácido sulfónico lineal, es una sustancia con elevada biodegradabilidad aerobia y con facilidad de depuración. Una planta de tratamiento de aguas residuales elimina el 98-99 % de los sulfonatos de alquilbenceno lineales.

Entre sus ventajas, se puede citar:

- Excelente propiedades como tensoactivo.
- Buen comportamiento ambiental, pues su biodegradabilidad tanto primaria como final son elevadas, es decir, presenta alta biodegradabilidad y muy baja toxicidad.
- Compatibilidad con todo tipo de fórmulas e ingredientes. Puede ser usado en formulación de polvos concentrados y líquidos para lavado de ropa, lavavajillas.
- Versatilidad de uso en todo tipo de fórmulas.

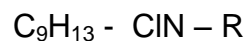
- Sinergismo con otros ingredientes habituales de las formulaciones.
- Muy baja relación costo/rendimiento.
- Compatibilidad con agentes tensoactivos para constitución de sistemas activos mixtos.

Como coadyuvantes para el limpiador aniónico, se utilizará:

- Hidróxido de sodio
- EDTA
- Alcohol isopropílico
- Formaldehido
- Colorante amarillo tartrazina

### **2.10.2. Tensoactivo catiónico**

Para la formulación del limpiador catiónico se empleara como sustancia activa el cloruro de benzalconio, el cual es un desinfectante, bactericida e inhibidor de la actividad viral. Su fórmula es:



Donde R es generalmente una cadena lateral hidrocarbonada.

Es muy utilizado como sanitizante y desinfectante sin considerar su propiedad fungicida, específicamente sobre los géneros Trichophyton, Epidermophyton y Candida, al igual que otros compuestos de amonio cuaternario.

Su acción se ha atribuido a la inactivación de las enzimas productoras de energía, desnaturalización de las proteínas celulares esenciales y la ruptura de la membrana celular. Es ahí donde radica su importancia.

Los alquilfenoles son sometidos a etoxilación para dar etoxilatos de alquilfenol (APE), que son ampliamente utilizados como agentes tensioactivos industriales. Se utilizan en aplicaciones tan dispares como el procesamiento de lana y metales, como emulsionantes para polimerización en emulsión, como detergentes de laboratorio, y como pesticidas. APE son un componente de algunos detergentes domésticos

Es un potente desengrasante y emulsionante. Se lo utiliza en la fabricación de productos para la limpieza y desengrasado de maquinarias en la industria gráfica, entre otros, para la fabricación de agroquímicos.

Los coadyuvantes que se utilizarán para el limpiador catiónico son:

- Ácido cítrico
- EDTA

### **2.10.3. Tensoactivo no iónico**

Para la formulación del limpiador no iónico se empleará como materia activa el nonil fenol.



El nonilfenol es una familia de compuestos orgánicos estrechamente relacionados, un subconjunto de los alquilfenoles. Esta colección de compuestos es un precursor a los detergentes comercialmente importantes.

El nonilfenol dispone de ambas subunidades polares e hidrófobas, el fenol y la cola hidrocarburo.

Como coadyuvantes para el limpiador no iónico se utilizarán:

- Hidróxido de sodio
- Cloruro de benzalconio
- Cloruro de sodio
- Ácido cítrico
- EDTA



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Flujo de proceso para elaboración de limpiador aniónico**

Añadir agua cruda a beaker de 500 ml.

Tratar el agua con EDTA.

Adicionar ácido sulfónico.

Después de 1 hora, esto es al ocurrir la ionización completamente, se mezclan con hidróxido de sodio.

Luego que la mezcla ha adquirido pH =7, se agrega alcohol isopropílico y formol.

Ya mezclado y homogenizado, se adiciona colorante artificial amarillo.

Se deja 1 hora en reposo para observar que no exista precipitado.

Evaluar formulación con metodología indicada.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones referentes para la formulación del limpiador aniónico.

Tabla IV. **Concentraciones referentes para limpiador aniónico**

	<b>Materia Prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERSIVO</b>	Ácido sulfónico lineal	48.38 mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Hidróxido de sodio	8.38 mg/ml solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
	Alcohol isopropílico	0.006 ml/ml de solución
	Formaldehído	$2.2 \times 10^{-5}$ ml/ml de solución
	Colorante amarillo tartrazina	0.054mg/ml de solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Flujo de proceso para elaboración de limpiador catiónico

- Añadir agua cruda a beaker de 500 ml.
- Tratar el agua con EDTA.
- Adicionar cloruro de benzalconio, después de tres horas.
- Agregar a la solución nonil fenol, después de cuatro horas.
- Añadir ácido cítrico
- Adicionar formol
- Evaluar formulación con metodología indicada.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones referentes para la formulación del limpiador catiónico.



Tabla V. **Concentraciones referentes para limpiador catiónico**

	<b>Materia prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERATIVO</b>	Cloruro de benzalconio	22.76mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Nonil fenol etoxilado	2.27 mg/ml solución
	Ácido cítrico	2.27mg/ml de solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Flujo de proceso para elaboración de limpiador no iónico

- Añadir agua cruda a beaker de 500 ml.
- Tratar el agua con EDTA.
- Adicionar nonil fenol.
- Después de tres horas, mezclar con hidróxido de sodio hasta homogenizar la mezcla. Mantener la disolución en reposo hasta completar la reacción exotérmica. Esta etapa comprende 2 horas.
- Luego que la mezcla ha adquirido temperatura ambiente se le agrega cloruro de benzalconio.
- Se deja reposar 1 hora y se añade ácido cítrico
- Adicionar formol
- Evaluar formulación con metodología indicada.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones referentes para la formulación del limpiador no iónico.

Tabla VI. **Concentraciones referentes para limpiador no iónico**

	<b>Materia Prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERSIVO</b>	Nonil fenol etoxilado	47.82 mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Hidróxido de sodio	50.10 mg/ml solución
	Cloruro de benzalconio	7.71 mg/ml solución
	Cloruro de sodio	2.27 mg/ml solución
	Ácido cítrico	2.27 mg/ml solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

### **3.4. Sistema para ensayos de lavado**

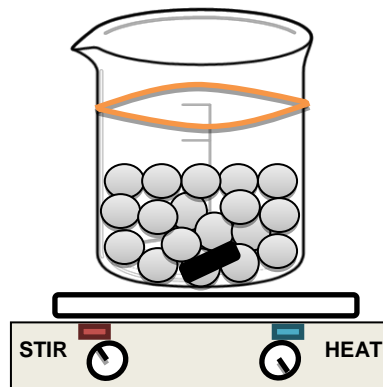
Para el estudio de la acción de lavado de los tensoactivos formulados, se empleó un sistema ideado para la determinación de la eficacia deterativa. Este sistema se compone por un beaker de 500 ml en la cual se depositan las esferas de vidrio impregnadas con la grasa estándar y luego se adiciona el tensoactivo al cual se desea medir su eficacia deterativa.

El beaker está colocado sobre una plancha de agitación, la cual permite modificar dos elementos principales que intervienen en el proceso deterativo, la temperatura y la acción mecánica de lavado.

Para controlar la temperatura en el sistema de lavado, la plancha de agitación dispone de la opción de selección de cantidad de calor que se desea aplicar, la cual se verifica con un termómetro de mercurio.

Asimismo, la plancha de agitación dispone de una opción de control de la velocidad de agitación en el sistema de lavado, la cual es medida en revoluciones por minuto (rpm).

Figura 17. **Sistema equipo-baño-sustrato, utilizado para el estudio de la eficacia detergente**



Fuente: elaboración propia, con base a los programas Illustrator CS4 y Word 2007.

### 3.5. Procedimiento de impregnación del ácido oleico en el sustrato

Para los ensayos a realizar se utilizará ácido oleico como grasa estándar. Esta grasa se añadirá al sustrato compuesto por esferas de vidrio de 1,5 cm de diámetro. El conjunto se agita para que el ácido oleico se adhiera sobre la superficie del sustrato. Asimismo, antes de empezar el lavado, es conveniente agitar nuevamente el sustrato con el auxilio de una espátula. La cantidad exacta de ácido oleico depositada sobre el sustrato se determinará por diferencia pesada.

En cada ensayo se utilizarán nuevas esferas de vidrio para evitar que el deterioro de las mismas modifique las condiciones de lavado.

### **3.6. Procedimiento para ensayos de eficacia deterativa**

El procedimiento adoptado para la realización de los ensayos donde se evalúa eficacia deterativa de los tensoactivos consta de los siguientes pasos:

- Preparación de la solución de ácido oleico.
- Pesaje de sustrato
- Impregnación del sustrato con el ácido oleico.
- Secado del ácido oleico sobre el sustrato.
- Pesar sustrato con ácido oleico.
- Preparación de las soluciones detergentes.
- Inserción del sustrato con ácido oleico impregnado en un beaker 500 mL.
- Adición de disolución de tensoactivo al beaker con el sustrato adherido.
- Iniciar agitación, utilizando plancha de agitación a diferentes velocidades de agitación y temperaturas.
- Transcurrido el tiempo necesario, se procede a análisis de muestras mediante metodología.

### **3.7. Detergencia**

La detergencia se determinará como la relación porcentual entre la masa de grasa extraída de la superficie del sustrato hacia el líquido de lavado y la masa de grasa presente en el sistema.

La cantidad de ácido oleico removido, se mide a partir de una diferencia en masa, de las esferas con ácido oleico adherido inicialmente y las esferas con cantidad de ácido oleico, luego del proceso de lavado.

$$De \% = \frac{m_{inicial} - m_{muestra}}{m_{inicial}} * 100$$

Dónde: De (%) corresponde a la detergencia o eficacia detergente,  $m_{muestra}$  a la masa de grasa presente en la muestra y  $m_{inicial}$  a la masa de grasa puesta inicialmente en el sistema.

### **3.8. Métodos univariantes**

El empleo de la metodología univariante consiste en modificar sólo una variable en cada experimento. Una vez terminada la optimización para esa variable, se procede a repetir el procedimiento con la siguiente.

La manera de proceder es la siguiente:

- Selección de variables influyentes.
- Elección de una de ellas.
- Fijación del resto de variables en un valor determinado.
- Modificación de la variable escogida en un rango adecuado.
- Representación gráfica de la señal obtenida frente la variable.
- Ajuste de los datos a un modelo adecuado.
- Obtención del óptimo.
- Fijación de esta variable en ese valor.
- Repetición del proceso para otra variable.

### **3.9. Métodos multivariantes**

El empleo de la metodología multivariante se ha extendido bastante en las últimas décadas por diferentes motivos:

- Proporciona una mayor información del dominio experimental.
- Reduce el número de experiencias.
- Contempla la posible interacción entre variables.

Por una parte hay una reducción del número de experiencias necesarias para la optimización de variables conllevando con esto a un menor costo, menor tiempo de análisis, mayor durabilidad de los instrumentos, etc., y por otra parte, el uso de métodos multivariantes de optimización permite un conocimiento más profundo sobre el sistema analítico objeto de estudio.

Si existe una dependencia entre algunas variables ocurrirá que en función de que la primera tome un valor y otro, se obtendrá un óptimo distinto para la segunda. Pues bien, si esto ocurre, no se podrá utilizar la optimización univariante pues puede llevar a valores óptimos para variables equivocadas.

La alternativa, es el uso de los métodos multivariantes que permiten conocer si existe o no dependencia entre las variables del sistema analítico. Además, el hecho de modificar en cada experiencia más de una variable a la vez, puede reducir el número de experiencias necesarias para obtener la misma información o más que en el caso de la optimización univariante.

El empleo de estos métodos multivariantes para detectar dependencias de variables, variables significativas y optimización de variables, implica la realización de uno o varios diseños experimentales.

### 3.10. Variables

El tipo de variables manejadas se definen con relación a su naturaleza dependiente o independiente y se presentan en la tabla VII.

Tabla VII. **Variables relacionadas al proceso**

Variable	Unidades	Naturaleza de variable	
		Independiente	Dependiente
pH	Adimensional	X	
Peso	Kg	X	
Volumen	mL	X	
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	X	
Dureza de agua	ppm	X	
Eficacia detergente	Escala arbitraria	X	
Temperatura	°C		X
Agitación sistema de lavado	rpm		X
Tiempo	Min		X

Fuente: elaboración propia.

### 3.11. Delimitación de campo de estudio

La elaboración de los detergentes sintéticos, se realizara a nivel de laboratorio y se realizaran pruebas de calidad para verificar su eficiencia.

### **3.12. Recursos humanos disponibles**

- Investigador:

Jacobo Josué Martínez de la Rosa

Estudiante de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Asesor de investigación

Leonidas Antonio Martínez Zúñiga

Ingeniero químico, gerente general de la empresa Polchemical.

### **3.13. Recursos materiales disponibles**

Constituye el espacio físico, la instrumentación, equipo y los diferentes materiales que se utilizarán para llevar a cabo el trabajo de investigación.

#### **3.13.1. Espacio físico**

- Laboratorio de investigación y Laboratorio de Control de Calidad de la empresa Polchemical.

#### **3.13.2. Equipo, cristalería y materiales**

El equipo, la cristalería y los materiales que se utilizarán se clasifican en relación al objeto en la investigación, se presentan en la tabla VIII.



Tabla VIII. **Equipo, cristalería y materiales relacionados al proceso**

<b>EQUIPO</b>	<b>Instrumento de medición</b>	<b>Equipo Auxiliar</b>	<b>Materiales</b>
Balanza analítica marca Mettler Toledo, new classic 54	X		
Computadora		X	
Picnómetro	X		
Potenciómetro	X		
Termómetro	X		
Plancha de agitación marca Thermo Scientific, Cimarec series, SP131320-33Q	X		
<b>Cristalería</b>			
Beacker 250 mL			X
Probetas 100, 500 y 10mL			X
Varilla de agitación			X
Tubos de ensayo			X
Balones aforados de 1000, 100, 75 y 50 mL	X		
Erlenmeyer			X
Buretras 10 y 25 mL	X		
Pipetas varias	X		
Esferas de vidrio de 1,5 cm de diámetro			X
<b>Materiales del producto</b>			
Ácido oleico			X
Ácido sulfónico lineal			X
Hidróxido de sodio			X
EDTA			X
Alcohol isopropílico			X
Formaldehído			X
Colorante Amarillo Tartrazina			X
Cloruro de benzalconio			X
Nonil fenol etoxilado			X
Ácido cítrico			X
Cloruro de sodio			X
Agua			X

Fuente: elaboración propia.

### 3.14. Técnica cuantitativa

Las variables de análisis son medibles y cuantificables, por lo tanto la técnica es de tipo cuantitativa. La tabla IX, muestra las variables involucradas en la investigación.

Tabla IX. **Variables relacionadas al proceso**

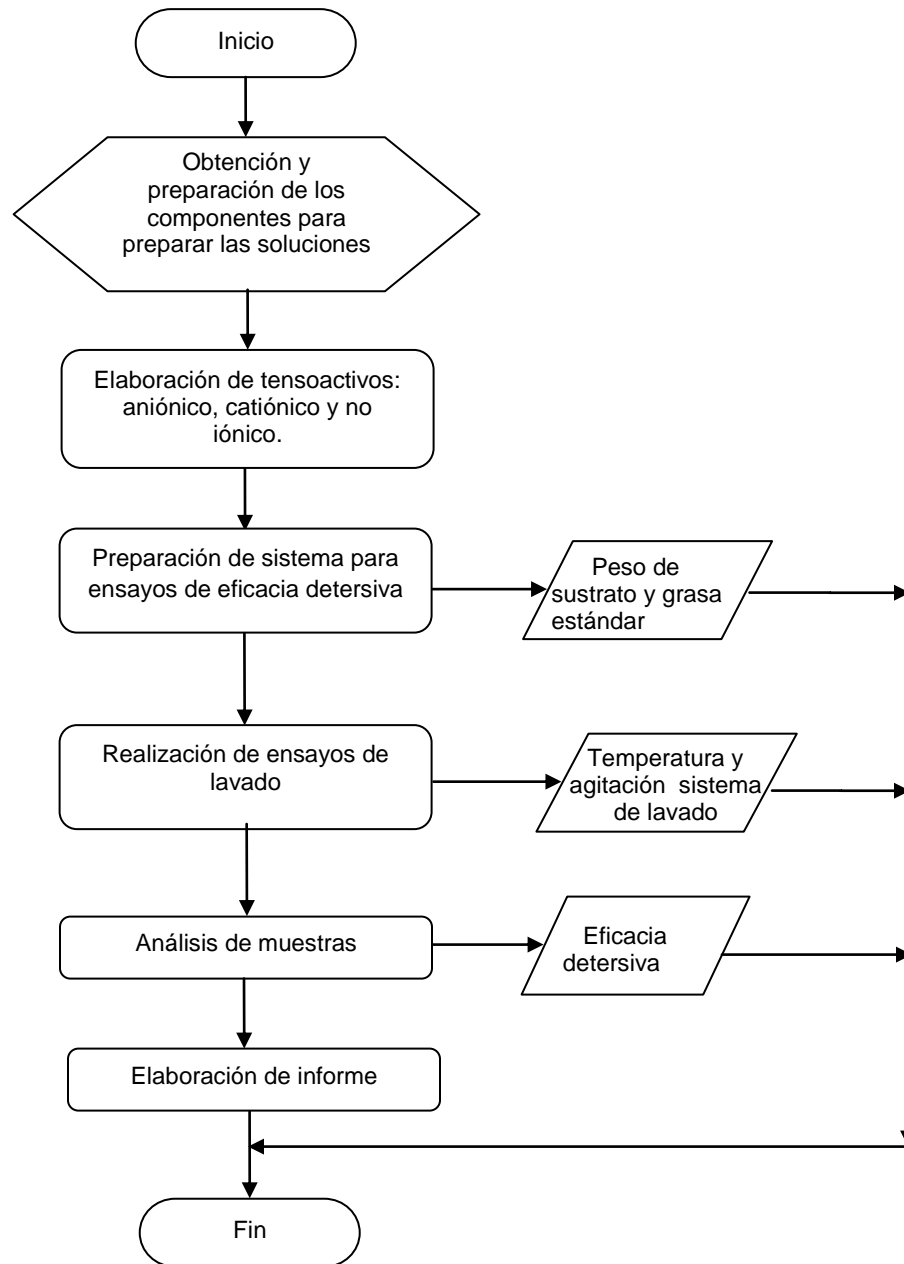
<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Tipo</b>	<b>Instrumento de medición</b>
<b>Temperatura</b>	°C	De cálculo	Termómetro
<b>Peso</b>	Kg	De cálculo	Balanza analítica
<b>Volumen</b>	mL	De cálculo	Probeta
<b>Agitación sistema lavado</b>	rpm	De cálculo	Plancha agitación
<b>Eficacia detergente</b>	Escala arbitraria	De respuesta	N/A

Fuente: elaboración propia.

### 3.15. Recolección y ordenamiento de la información

En la figura 18, se presenta en un diagrama de flujo el procedimiento para recolección de información en la investigación.

Figura 18. Procedimiento de recolección de datos



Fuente: elaboración propia.

### **3.16. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

En esta sección se muestra la forma en que se procesaron los datos obtenidos, a partir de la experimentación.

#### **3.16.1. Datos obtenidos de los ensayos de eficacia detergente aplicados en la investigación**

Al realizar las evaluaciones de eficiencia a los tensoactivos formulados, los resultados experimentales se ordenaron como se muestra a continuación, en las tablas X y XI.

Tabla X. **Resultado de peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con agitación constante**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b>			
<b>Agitación sistema de lavado (rpm): 50</b>			
<b>Tiempo (min): 5</b>			
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>Peso inicial de ácido oleico (gr)</b>	<b>Peso ácido oleico después de lavado (gr)</b>
10	Aniónico	$W_{A1}$	$W_{A1}$
	Catiónico	$W_{C1}$	$W_{C1}$
	No lónico	$W_{N1}$	$W_{N1}$
20	Aniónico	$W_{A2}$	$W_{A2}$
	Catiónico	$W_{C2}$	$W_{C2}$
	No lónico	$W_{N2}$	$W_{N2}$
30	Aniónico	$W_{A3}$	$W_{A3}$
	Catiónico	$W_{C3}$	$W_{C3}$
	No lónico	$W_{N3}$	$W_{N3}$
40	Aniónico	$W_{A4}$	$W_{A4}$
	Catiónico	$W_{C4}$	$W_{C4}$
	No lónico	$W_{N4}$	$W_{N4}$
50	Aniónico	$W_{A5}$	$W_{A5}$
	Catiónico	$W_{C5}$	$W_{C5}$
	No lónico	$W_{N5}$	$W_{N5}$
60	Aniónico	$W_{A6}$	$W_{A6}$
	Catiónico	$W_{C6}$	$W_{C6}$
	No lónico	$W_{N6}$	$W_{N6}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultado peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con temperatura constante**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b> <b>Temperatura: 25</b> <b>Tiempo (min.): 5</b>			
<b>Agitación sistema de lavado (rpm)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>Peso inicial de ácido oleico (gr)</b>	<b>Peso ácido oleico después de lavado (gr)</b>
0	Aniónico	$W_{A1}$	$W_{A1}$
	Catiónico	$W_{C1}$	$W_{C1}$
	No Iónico	$W_{N1}$	$W_{N1}$
10	Aniónico	$W_{A2}$	$W_{A2}$
	Catiónico	$W_{C2}$	$W_{C2}$
	No Iónico	$W_{N2}$	$W_{N2}$
20	Aniónico	$W_{A3}$	$W_{A3}$
	Catiónico	$W_{C3}$	$W_{C3}$
	No Iónico	$W_{N3}$	$W_{N3}$
30	Aniónico	$W_{A4}$	$W_{A4}$
	Catiónico	$W_{C4}$	$W_{C4}$
	No Iónico	$W_{N4}$	$W_{N4}$
40	Aniónico	$W_{A5}$	$W_{A5}$
	Catiónico	$W_{C5}$	$W_{C5}$
	No Iónico	$W_{N5}$	$W_{N5}$
50	Aniónico	$W_{A6}$	$W_{A6}$
	Catiónico	$W_{C6}$	$W_{C6}$
	No Iónico	$W_{N6}$	$W_{N6}$

Fuente: elaboración propia.

### 3.17. Análisis estadístico

Los datos obtenidos a partir de la experimentación se analizaron estadísticamente. El análisis se explica en esta sección.

#### 3.17.1. Regresión lineal

Regresión lineal es una aproximación a la relación lineal entre las variables utilizando una ecuación lineal a datos observados de modelado. Es idéntico a todas las formas de análisis de regresión, se centra en la distribución de probabilidad condicional de  $Y$  dado  $X$ , más que en la distribución de probabilidad conjunta de  $Y$  y  $X$ , que es el dominio de análisis multivariante.

Modela la relación entre una variable dependiente  $Y$ , las variables independientes  $X_i$  y un término aleatorio  $\varepsilon$ . Este modelo puede ser expresado como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

En donde  $\beta_0$  es la intersección o término constante, las  $\beta_i$   $i > 0$  son los parámetros respectivos a cada variable independiente, y  $p$  es el número de parámetros independientes a tener en cuenta en la regresión. La regresión lineal puede ser contrastada con la regresión no lineal.

El modelo lineal relaciona la variable dependiente  $Y$  con  $K$  variables explícitas  $X_k$   $k = 1, \dots, k$ , o cualquier transformación de estas que generen un hiperplano de parámetros  $\beta_k$  desconocidos:

$$Y = \beta_k X_k + \varepsilon$$

Donde  $\varepsilon$  es la perturbación aleatoria que recoge todos aquellos factores de la realidad no controlables u observables y que por tanto se asocian con el azar, y es la que confiere al modelo su carácter estocástico. En el caso más sencillo, con una sola variable explícita, el hiperplano es una recta:

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

El problema de la regresión consiste en elegir unos valores determinados para los parámetros desconocidos  $\beta_k$ , de modo que la ecuación quede completamente especificada. Para ello se necesita un conjunto de observaciones. En una observación  $i$ -ésima ( $i = 1, \dots, I$ ) cualquiera, se registra el comportamiento simultáneo de la variable dependiente y las variables explícitas (las perturbaciones aleatorias se suponen no observables).

$$Y_i = \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

### 3.17.2. Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación, explica la importancia relativa de la relación entre dos variables (“X” y “Y”); es decir si existe cierta dependencia de una variable hacia la otra, siendo “X” la variable independiente, mientras que “Y” es la dependiente. Este factor de relación solo puede tomar valores entre -1 hasta +1. En la tabla XII, se muestran las interpretaciones de los valores de R.



Tabla XII. Interpretación de valores de R

R	Tipo de relación
-1	Relación negativa perfecta
-0.8	Relación negativa fuerte
0	No existe relación
0.3	Relación positiva débil
1	Relación positiva fuerte

Fuente: LIND, Douglas; MARCHAL, Williams. *Estadística para administración y economía*. p.67.

El coeficiente de correlación es obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Donde el signo r muestra la dirección de la relación, el valor muestra la fuerza de la relación.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Composiciones de los limpiadores formulados

En esta sección se muestran las composiciones de los tres limpiadores formulados, indicando la proporción de cada componente por mililitros de solución.

Tabla XIII. **Composición de limpiador aniónico formulado**

	<b>Materia prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERSIVO</b>	Ácido sulfónico lineal	48.38 mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Hidróxido de sodio	8.38 mg/ml solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
	Alcohol isopropílico	0.006 ml/ml de solución
	Formaldehído	$2.2 \times 10^{-5}$ ml/ml de solución
	Colorante amarillo tartrazina	0.054mg/ml de solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Composición de limpiador catiónico formulado**

	<b>Materia Prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERSIVO</b>	Cloruro de benzalconio	22.76mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Nonil fenol etoxilado	2.27 mg/ml solución
	Ácido cítrico	2.27mg/ml de solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Composición de limpiador no iónico formulado**

	<b>Materia Prima</b>	<b>Proporción en fórmula</b>
<b>AGENTE DETERSIVO</b>	Nonil fenol etoxilado	47.82 mg/ml solución
<b>ADITIVOS</b>	Hidróxido de sodio	50.10 mg/ml solución
	Cloruro de benzalconio	7.71 mg/ml solución
	Cloruro de sodio	2.27 mg/ml solución
	Ácido cítrico	2.27 mg/ml solución
	EDTA	2.27mg/ml solución
<b>VEHÍCULO</b>	Agua	

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Eficacia deterativa en función de la temperatura**

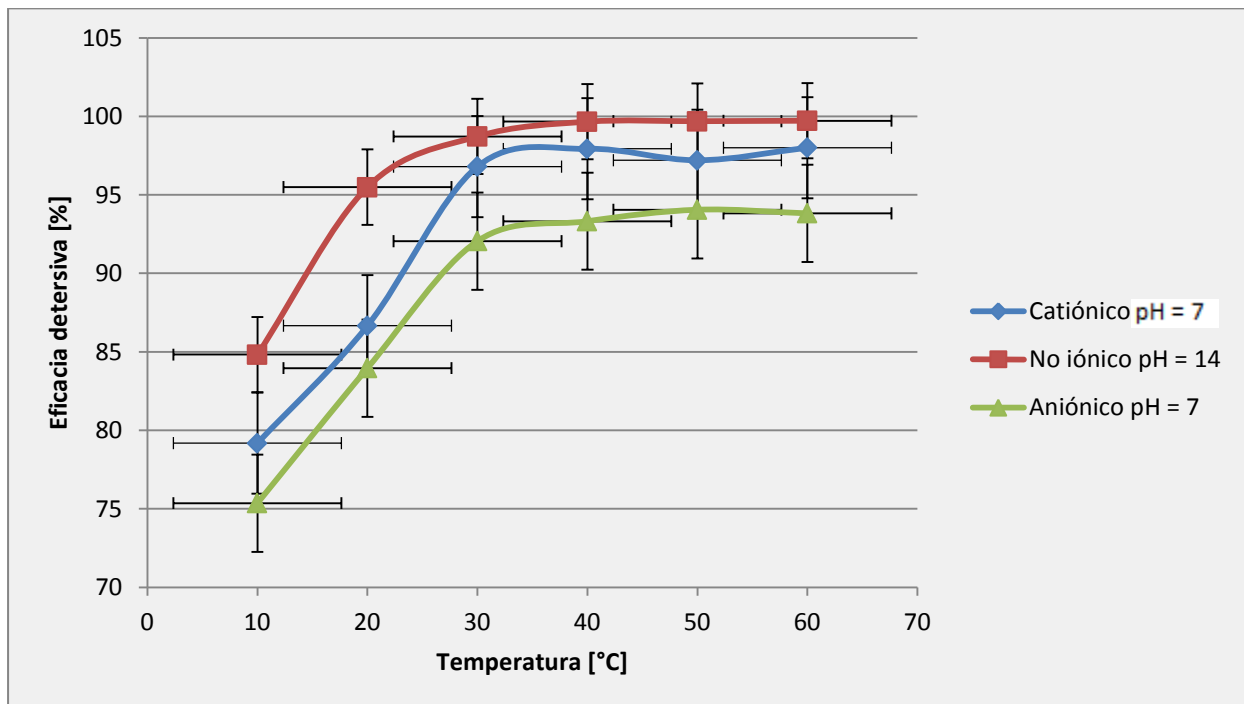
En esta sección se muestra el efecto de la temperatura sobre la eficacia deterativa, para los tensoactivos formulados.

Tabla XVI. **Eficacia deterativa de los tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica en función de la temperatura en ensayos de lavado**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b>		
<b>Agitación sistema de lavado (rpm): 50</b>		
<b>Tiempo (min.): 5</b>		
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>De (%)</b>
10	Aniónico	<b>75.36</b>
	Catiónico	<b>79.18</b>
	No Iónico	<b>84.82</b>
20	Aniónico	<b>83.96</b>
	Catiónico	<b>86.66</b>
	No Iónico	<b>95.49</b>
30	Aniónico	<b>92.05</b>
	Catiónico	<b>96.80</b>
	No Iónico	<b>98.72</b>
40	Aniónico	<b>93.32</b>
	Catiónico	<b>97.93</b>
	No Iónico	<b>99.66</b>
50	Aniónico	<b>94.05</b>
	Catiónico	<b>97.20</b>
	No Iónico	<b>99.69</b>
60	Aniónico	<b>93.82</b>
	Catiónico	<b>98.00</b>
	No Iónico	<b>99.72</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Eficacia deterativa en función de la temperatura en ensayos de lavado (agitación = 50 rpm, dureza de agua = 80 ppm, grasa estándar = ácido oleico 72 % pureza, tiempo de lavado = 5 min, sustrato = esferas de vidrio 1,5 cm diámetro)



Fuente: elaboración propia, basado en tabla XVI.

#### 4.2.1. Modelos matemáticos que gobiernan el comportamiento deteritivo de los tensoactivos en función de la temperatura

Tensoactivo catiónico:

$$De = 0,0003T^3 - 0,05T^2 + 2,4154T + 59,443 \quad R^2 = 0,9946$$

Tensoactivo no iónico:

$$De = 0,0004T^3 - 0,052T^2 + 2,2899T + 66,9 \quad R^2 = 0,996$$

Tensoactivo aniónico:

$$De = 0,0002T^3 - 0,0293T^2 + 1,7607T + 60,24 \quad R^2 = 0,996$$

Donde:

$De$  =Eficacia deteritiva %

$T$  =Temperatura °C

#### 4.3. Eficacia deteritiva en función de la agitación

En esta sección se muestra el efecto de la agitación en proceso de lavado sobre la eficacia deteritiva, para los tensoactivos formulados.

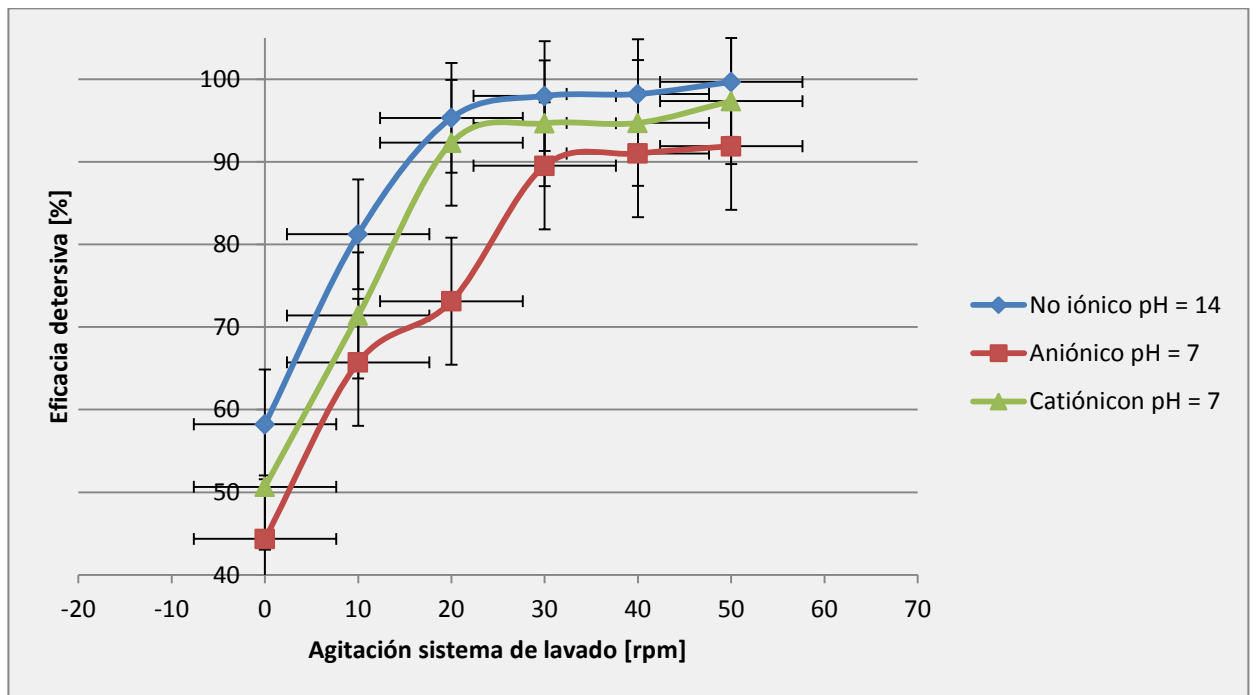
Tabla XVII. **Eficacia deterdensiva de los tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica en función de la agitación en ensayos de lavado**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b>		
<b>Temperatura (°C): 25</b>		
<b>Tiempo (min.): 5</b>		
<b>Agitación sistema de lavado (rpm)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>De (%)</b>
0	Aniónico	<b>44.35</b>
	Catiónico	<b>50.66</b>
	No Iónico	<b>58.23</b>
10	Aniónico	<b>65.72</b>
	Catiónico	<b>71.39</b>
	No Iónico	<b>81.23</b>
20	Aniónico	<b>73.12</b>
	Catiónico	<b>92.30</b>
	No Iónico	<b>95.30</b>
30	Aniónico	<b>89.52</b>
	Catiónico	<b>94.66</b>
	No Iónico	<b>97.97</b>
40	Aniónico	<b>91.00</b>
	Catiónico	<b>94.70</b>
	No Iónico	<b>98.20</b>
50	Aniónico	<b>91.89</b>
	Catiónico	<b>97.34</b>
	No Iónico	<b>99.66</b>

Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Eficacia deterdensiva en función de la agitación en ensayos de lavado (Temperatura = 25 °C, dureza de agua = 80 ppm, grasa estándar = ácido oleico 72% pureza, tiempo de lavado = 5 min, sustrato = esferas de vidrio 1,5 cm diámetro)



Fuente: elaboración propia, basado en tabla XVII.

#### 4.3.1. Modelos matemáticos que gobiernan el comportamiento deteritivo de los tensoactivos en función de la agitación

Tensoactivo catiónico:

$$De = 0,0005A^3 - 0,0696A^2 + 3,2083A + 50,66 \quad R^2 = 0,9987$$

Tensoactivo no iónico:

$$De = 0,0007A^3 - 0,0863A^2 + 3,399A + 58,23 \quad R^2 = 0,9859$$

Tensoactivo aniónico:

$$De = -0,0216A^2 + 2,0095A + 44,35 \quad R^2 = 0,9859$$

Dónde:

$De$  = Eficacia deteritiva %

$A$  = Agitación en sistema de lavado *rpm*

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con el objeto de diseñar formulaciones detergentes con características óptimas de lavado, se determinó experimentalmente las proporciones de materia activa y aditivos que compondrían cada detergente.

Las composiciones utilizadas para análisis, están indicadas en las tablas XIII, XIV y XV. Estas proporciones muestran las combinaciones de componentes con mayor poder detergente para cada detergente formulado. Al utilizar proporciones mayores de materia activa en la fórmula, el efecto de limpieza no presentó variaciones considerables. Un mayor porcentaje de materia activa no siempre representa una mejor eficacia detergente, el éxito de un detergente con elevado poder detergente dependerá en gran medida de los aditivos que se agreguen a la formulación.

Para el caso del detergente aniónico, se utilizó como materia activa el ácido sulfónico lineal, cuyas características ya han sido comentadas en el apartado 2.10.1 de esta memoria. Como aditivos se utilizó; hidróxido de sodio como neutralizador de pH, EDTA como secuestrador de dureza, alcohol isopropílico como homogeneizador de la solución, formaldehído como preservante y colorante amarillo tartrazina para mejorar sus características organolépticas.

El ingrediente activo para el detergente catiónico fue el cloruro de benzalconio, las características de esta sustancia se mencionan en el apartado 2.10.2. Los aditivos sinérgicos fueron el nonil fenol etoxilado con función detergente, quien mejoró notablemente la eficacia del detergente, la regulación

del pH la realizó el ácido cítrico y el EDTA redujo la dureza para optimizar el lavado.

En el detergente no iónico, se utilizó el nonil fenol etoxilado como ingrediente activo, cuyas características se describen en el apartado 2.10.3, de esta memoria. Los aditivos se fueron, hidróxido para alcalinizar la solución, cloruro de benzalconio, para incrementar el poder detergente, el ácido cítrico como regulador de pH y EDTA como ablandador de aguas.

Para realizar los ensayos de lavado, se diseñó el sistema que se muestra en la figura 17, con el fin de evaluar la respuesta de las formulaciones detergentes con respecto a una grasa estándar, para el estudio se utilizó el ácido oleico como referente. Se evaluó la detergencia en función de dos variables influyentes en los procesos de lavado: la acción mecánica y la temperatura.

En la figura 20, se representa el efecto de acción mecánica, expresada como agitación en el sistema de lavado, sobre la eficacia detergente de los tensoactivos formulados. Al aumentar las revoluciones por minuto se proporciona mayor dispersión de los constituyentes, ayudando al detergente a desprender la grasa del sustrato.

Se observa una gran variación en el comportamiento cuando no existe agitación, lo cual indica que es necesario mantener una buena acción mecánica para generar una alta eficacia detergente. Con agitación se observa una menor dispersión de los resultados experimentales, consiguiendo una detergencia ideal. La grasa estándar se elimina no solo por las buenas propiedades detergentes del detergente formulado, sino también por el arrastre mecánico.

Con relación al efecto de la temperatura en los procesos de lavado, se realizaron ensayos con agitación constante, para tener homogenización de las muestras analizadas y realizando variaciones en las temperatura.

La figura 19, muestra que el aumento de la temperatura influye de forma positiva sobre la detergencia, como resultado de la disminución de las fuerzas de adhesión entre el sustrato-grasa y de la tensión superficial del agua, incrementando la cantidad de grasa estándar desprendida del sustrato, debido al calor aplicado y a las buenas propiedades deterativas de los detergentes formulados.

El aumento de la temperatura conlleva a un incremento en la detergencia, hasta temperaturas entre 30 – 50 °C, esto debido a que 30 °C es la temperatura de fusión de la grasa, en este punto se hace líquida y se consigue una mayor eficacia en el lavado.

Los detergentes formulados tuvieron buena respuesta ante los ensayos de lavado realizados, manifestando que en las formulaciones, las proporciones de las partes hidrofílicas e hidrofóbicas, fueron las correctas con respecto a la grasa estándar utilizada.

En las figuras 19 y 20, se observa que no existe una gran diferencia en el comportamiento de los tres tensoactivos formulados, especialmente en condiciones de temperatura y agitación mayores que 30 °C y 30 rpm, en condiciones menores, el detergente no iónico fue quien presentó mejores resultados a los ensayos con ácido oleico.

El limpiador catiónico presentó buenos resultados ante la grasa estándar, debido a la adición de una pequeña cantidad de un componente no iónico a la

formula, lo cual produjo una mejora notable en la eficacia del detergente. Este tipo de detergentes suelen tener una alta adherencia en sustratos sólidos lisos, como el utilizado en los ensayos.

El tensoactivo no iónico obtuvo mejores resultados de eficacia detergente ante la grasa estándar, su carácter no-iónico hace que, en solución, su molécula no sufra ninguna escisión electrolítica y por ello se presenta activo en rangos de pH muy variable. En la formulación se utilizó una gran proporción de hidróxido de sodio la cual brindó un medio alcalino, favoreciendo notablemente la acción detergente.

## CONCLUSIONES

1. La evaluación de la formulación de limpiadores industriales a base de tensoactivos de naturaleza iónica y no iónica a nivel laboratorio resiste el análisis, las altas propiedades deterativas obtenidas, se deben a las relaciones estequiométricas que guardan los ingredientes activos con los aditivos.
2. Se logró evaluar la formulación aniónica, donde se obtuvieron niveles altos de eficacia deterativa, indicando una buena formulación del tensoactivo.
3. El tensoactivo catiónico presentó buenos resultados ante los ensayos realizados, mostrando que la combinación de los componentes en la formulación fue correcta.
4. La formulación del tensoactivo no iónico muestra mayor eficiencia deterativa en comparación con los otros dos surfactantes, diferencia que es explicada por la alta cantidad de carbonos en su fórmula, aceptando más hidróxido de sodio en su composición.
5. Las evaluaciones realizadas muestran, que tanto el aumento de la temperatura como el de la agitación, conllevan a un aumento en la detergencia, el cual puede ser expresado con modelos matemáticos polinómicos de tercer grado.

6. El déficit de la formulación aniónica en relación a la catiónica y no iónica, obedece a su cadena hidrocarbonada que es de un máximo de diez carbonos, aceptando para su neutralización un mínimo de hidróxido de sodio.
  
7. Las diferencias observadas en las gráficas 19 y 20, en el comportamiento de los tres tensoactivos, es debida a la grasa estándar en el sustrato, que es común y cada tensoactivo, tiene su campo de aplicación específico, el aniónico para grasa débil, el catiónico para grasa fuerte y el no iónico para grasa petrificada.



## RECOMENDACIONES

1. Es importante tener en cuenta las propiedades toxicológicas y contaminantes de las sustancias a utilizar, con el fin de reducir la carga de contaminantes en los efluentes.
2. Verificar que todo el material de producción cumpla con los estándares para mantener una calidad óptima.
3. Realizar pruebas de eficiencia deterativa con diferentes diluciones de los tensoactivos, para observar comportamiento.
4. Para que en cada etapa de los procesos de elaboración de los tensoactivos, las mezclas permanezcan estrictamente homogéneas. Aplicar aditivos homogeneizadores o sustancias antiespumantes con el fin de evitar la formación de grumos.
5. Asegurarse que los limpiadores formulados se encuentren dentro de los pH deseados antes de realizar las evaluaciones de eficacia deterativa.
6. Dejar reposando los tensoactivos dos horas luego de su elaboración, para que solubilicen completamente y confirmarlo observando si existe algún precipitado en la mezcla.
7. Para mejorar este tipo de investigaciones, es aconsejable planificar pruebas con diferentes tipos de grasas estándar, a fin de realizar comparaciones de eficiencia.



## BIBLIOGRAFÍA

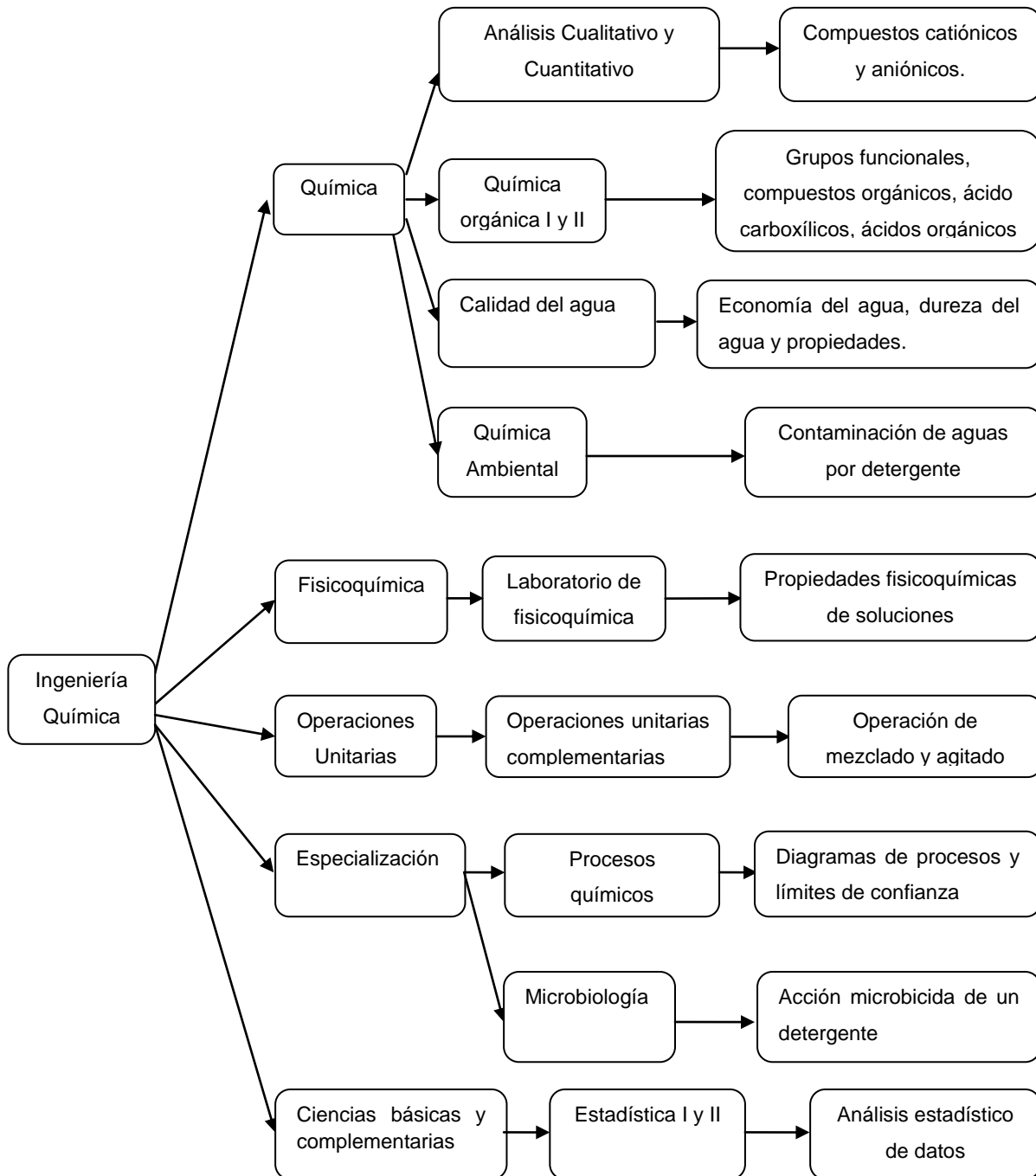
1. ADAMSON, Arthur W; GAST, Alice P. *Physical chemistry of surfaces*. 6a ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1997. 950 p. ISBN: 978-0-471-14873-9.
2. ALTMAJER VAZ, Deisi. *Formulación de Detergentes Biodegradables: Ensayos de Lavado*. Dirección: Encarnación jurado Alameda. Tesis doctoral. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química, 2004. 150 p.
3. BAILEY, Alton E. *Aceites y grasas industriales*. Cartaya, Luis Morán (trad.). España: Reverté, 1984. 500 p. ISBN: 84-291-7901-1.
4. BAIRD, Colin. *Química ambiental*. Domènech, Xavier (trad.). 2a ed. España: Reverté, 2001. 490 p.
5. CANTANERO MALAGÓN, Antonio Samuel. *Determinación de tensoactivos aniónicos en matrices ambientales. Comportamiento del jabón en una parcela agrícola*. Dirección: José Luis Vílchez Quero. Tesis doctoral. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Analítica, 2010. 100 p.
6. DELORME, José María. *Formulas y procedimientos de la industria química moderna en grande y pequeña escala*. Madrid, España: Studium, 1958. 470 p.

7. FUENTES DE PIEDRAHITA, Cilia L.; DE ROMÁN, Ana Lucía. *Los surfactantes: clases, propiedades y usos con herbicidas*. Cali, Colombia: W. K. Kellogg, 1980. 110 p.
8. MEYER, Paul L. *Probabilidad y aplicaciones estadísticas*. México: Alhambra, 1999. 90 p. ISBN: 9789684442214.
9. ORTUÑO, Ángel Vian. *Curso de introducción a la química industrial*. España: Reverté, 2006. 396 p.
10. RIEGEL, Emil Raymond, KENT, James Albert. *Manual de Riegel de Química Industrial*. México: Continental, 1974. 450 p.
11. VELÁZQUEZ SALICIO, Mercedes. *Coloides e interfases*. España: Salamanca, 2005. 110 p. ISBN: 84-7800-524-2.
12. ZINI, Paolo. *Polymeric additives for high performance detergents*. Pennsylvania, Estados Unidos: Technomic Publishing Company, 1995. 433 p. ISBN: 1-56676-143-3.

# ANEXOS

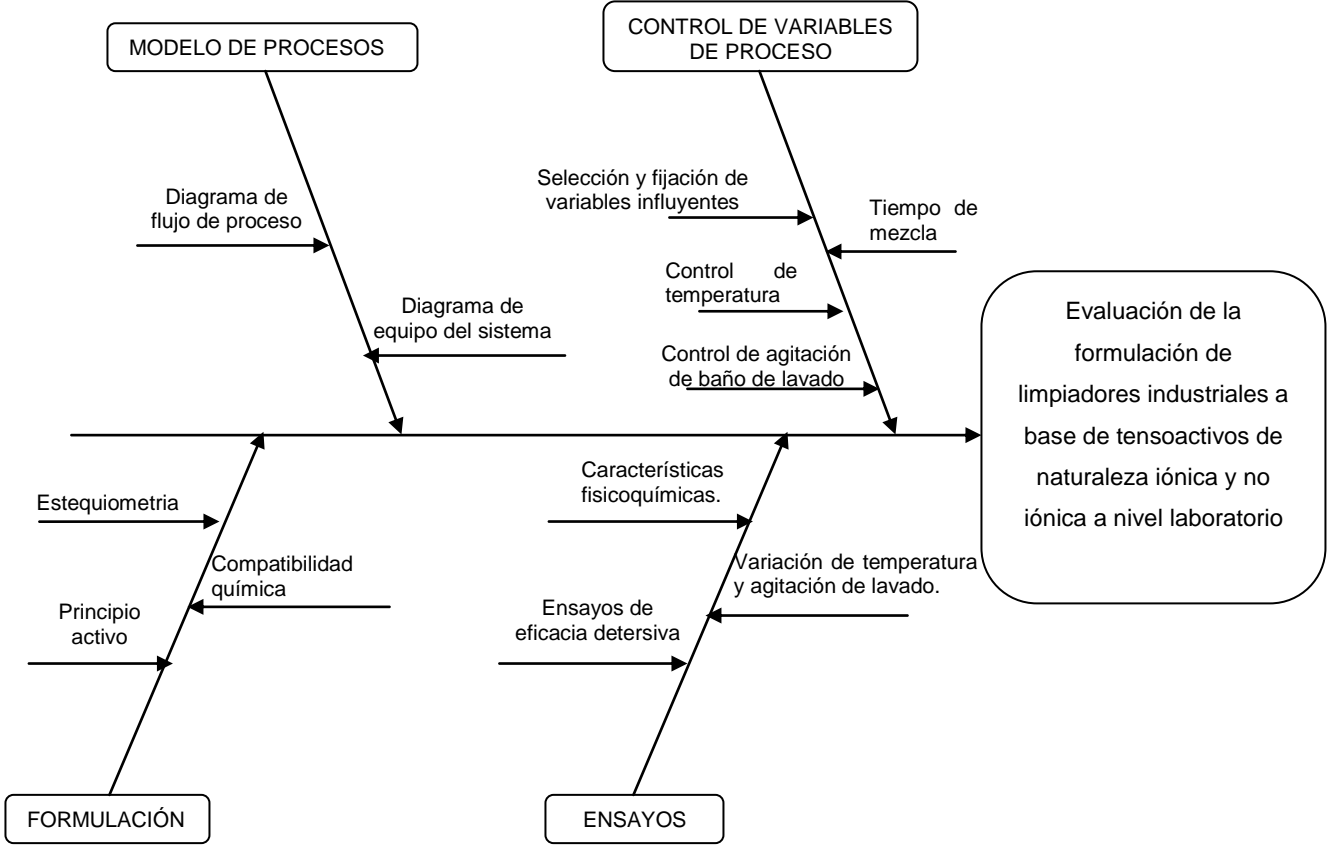


## ANEXO I. REQUISITOS ACADÉMICOS



Fuente: elaboración propia.

**ANEXO II. DIAGRAMA DE CAUSAS EFECTO**



Fuente: elaboración propia



### ANEXO III. MUESTRA DE CÁLCULO

Determinación de eficacia detergente en los ensayos de lavado para los diferentes detergentes formulados.

$$De \% = \frac{m_{inicial} - m_{muestra}}{m_{inicial}} * 100 \text{ [Ecuación No.6]}$$

Donde:

$De \%$  : Eficacia detergente

$m_{muestra}$ : Masa de grasa estándar después de ensayo de lavado (g)

$m_{inicial}$ : Masa de grasa estándar agregada al sistema antes de lavado (g)

Ejemplo: Determinación de eficacia detergente, para sistema de lavado donde se adicionó 10 g de grasa estándar al sistema. Luego del ensayo de lavado se obtuvo un peso de 1.89 g de grasa estándar en el sistema de lavado.

$$De \% = \frac{10g - 1.89g}{10g} * 100$$

$$De \% = 81.1\%$$

De la misma forma se determinó para todos los tensoactivos formulados la eficacia detergente, en los casos analizados. Los datos obtenidos se encuentran en las tablas XVI y XVII.

Determinación de ecuaciones de eficacia detergente de los detergentes en función de la temperatura

$$y = mx + b$$

Donde:

y: Eficacia detergente [adimensional]

x: Temperatura °C

m: pendiente obtenida de la gráfica realizada con los datos originales

b: Intercepto en la ordenada

Ejemplo: determinación de la ecuación de eficacia detergente de tensoactivo aniónico formulado en función de la temperatura.

Se toma la pendiente de la ecuación obtenida y se ingresa en el modelo de la ecuación.

$$y = 0.0003x^3 - 0.05x^2 + 2.4154x + 59.443$$

De la misma forma se determinaron las ecuaciones para los demás tensoactivos formulados.

Determinación de ecuaciones de eficacia detergente de los detergentes en función de la agitación de sistema de lavado.

$$y = mx + b$$

Donde:

y: Eficacia detergente [adimensional]

x: Agitación sistema de lavado *rpm*

m: pendiente obtenida de la gráfica realizada con los datos originales

b: Intercepto en la ordenada

Ejemplo: determinación de la ecuación de eficacia detergente de tensoactivo aniónico formulado en función de la agitación en sistema de lavado.

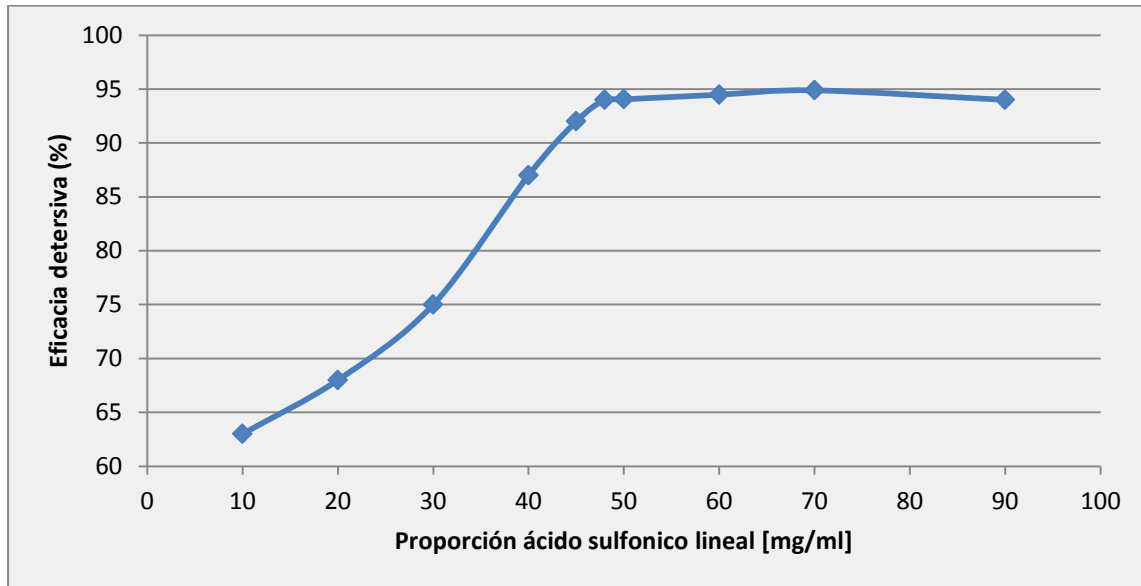
Se toma la pendiente de la ecuación obtenida y se ingresa en el modelo de la ecuación.

$$y = 0.0005x^3 - 0.0696x^2 + 3.2083x + 49.666$$

De la misma forma se determinaron las ecuaciones para los demás tensoactivos formulados.

## ANEXO IV. DATOS CALCULADOS

### Eficacia deterativa en función de proporción de materia prima en tensoactivo aniónico



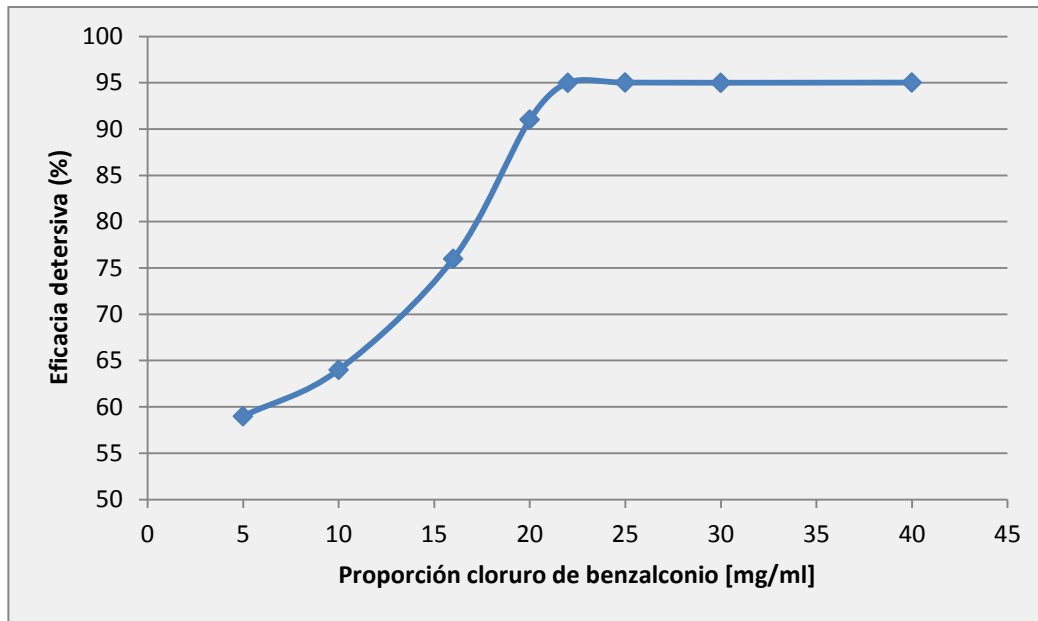
Fuente: elaboración propia.

### Datos de figura anterior

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [mg/ml]
	$y = 0.4393x + 65.301$	0.712	10 - 90

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa en función de proporción de materia prima en  
tensoactivo catiónico**



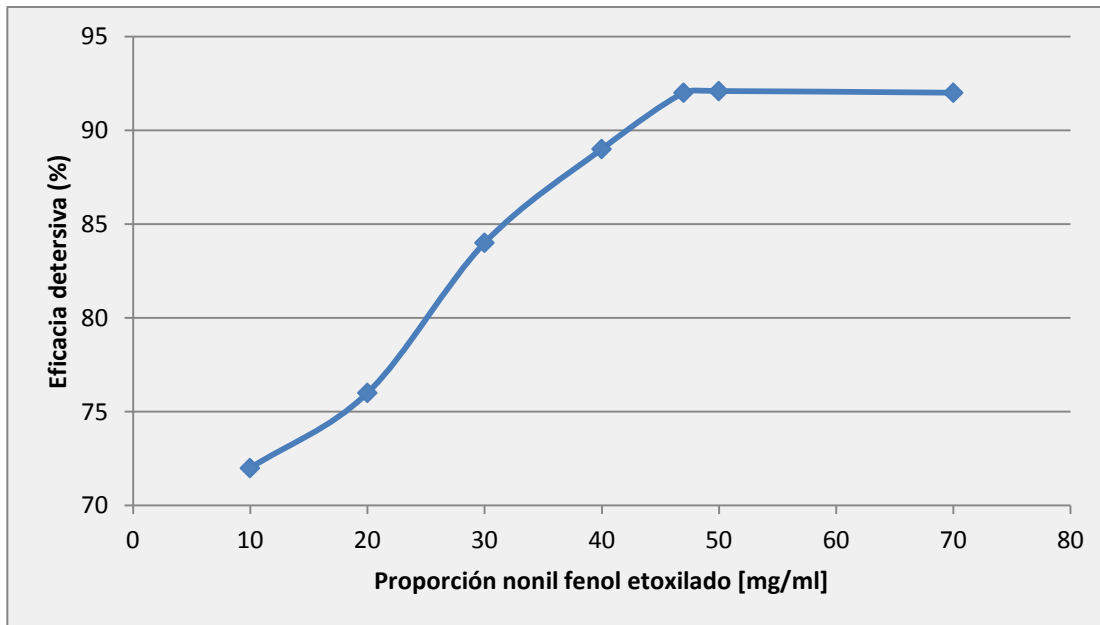
Fuente: elaboración propia.

**Datos de figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [mg/ml]
	$y = 1.1792x + 58.992$	0.7388	5 - 40

Fuente: elaboración propia

**Eficacia deterativa en función de proporción de materia prima en  
tensoactivo no iónico**



Fuente: elaboración propia.

**Datos de figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [mg/ml]
	$y = 0.3768x + 70.925$	0.8305	10 - 70

Fuente: elaboración propia.

**Peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con agitación de sistema constante**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b> <b>Agitación sistema de lavado (rpm): 50</b> <b>Tiempo (min.): 5</b>			
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>Peso inicial de ácido oleico (gr)</b>	<b>Peso ácido oleico después de lavado (gr)</b>
10	Aniónico	2.00	0.41
	Catiónico	2.15	0.32
	No lónico	2.72	0.67
20	Aniónico	2.87	0.38
	Catiónico	2.52	0.11
	No lónico	3.08	0.49
30	Aniónico	3.33	0.10
	Catiónico	2.06	0.02
	No lónico	2.94	0.23
40	Aniónico	3.33	0.06
	Catiónico	2.06	0.01
	No lónico	2.94	0.19
50	Aniónico	3.15	0.08
	Catiónico	2.40	0.01
	No lónico	3.29	0.19
60	Aniónico	3.15	0.06
	Catiónico	2.40	0.01
	No lónico	3.29	0.20

Fuente: elaboración propia.

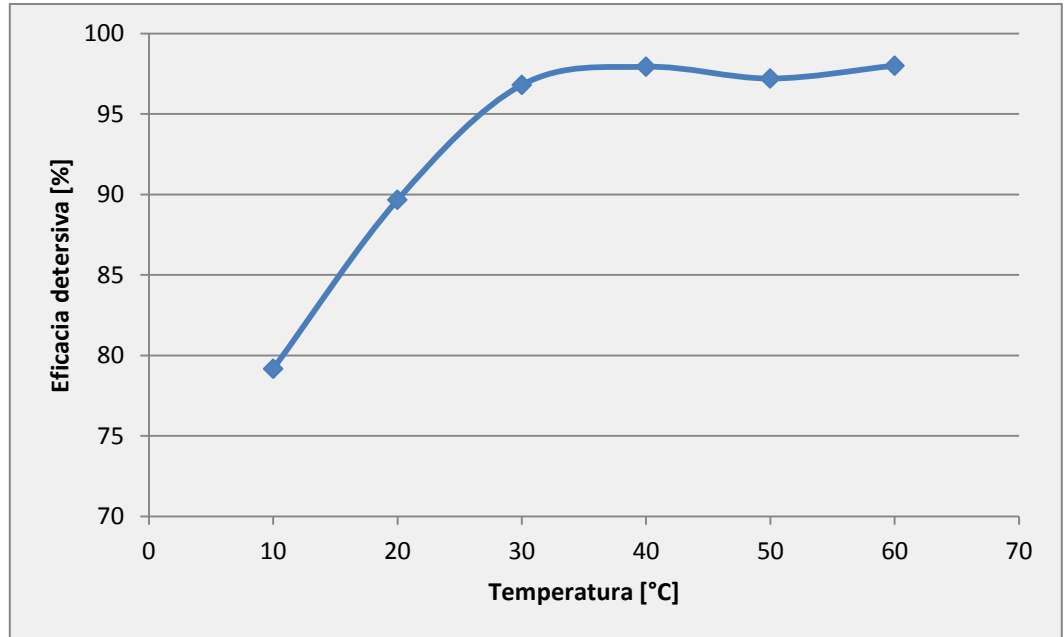
**Peso inicial y final de ácido oleico en sistema de lavado con temperatura constante**

<b>Grasa estándar: ácido oleico</b>			
<b>Temperatura: 25</b>			
<b>Tiempo (min.): 5</b>			
<b>Agitación sistema de lavado (rpm)</b>	<b>Tensoactivo</b>	<b>Peso inicial de ácido oleico (gr)</b>	<b>Peso ácido oleico después de lavado (gr)</b>
0	Aniónico	3.88	1.91
	Catiónico	2.34	1.59
	No Iónico	3.23	1.76
10	Aniónico	2.64	0.83
	Catiónico	2.34	0.67
	No Iónico	3.54	1.21
30	Aniónico	2.56	0.72
	Catiónico	3.23	0.67
	No Iónico	2.37	0.63
50	Aniónico	3.71	0.19
	Catiónico	2.38	0.04
	No Iónico	2.09	0.21
30	Aniónico	2.56	0.13
	Catiónico	3.23	0.05
	No Iónico	2.37	0.21
50	Aniónico	3.71	0.09
	Catiónico	2.38	0.01
	No Iónico	2.09	0.16

Fuente: elaboración propia.



**Eficacia detergente de tensoactivo aniónico en función de temperatura en sistema de lavado**



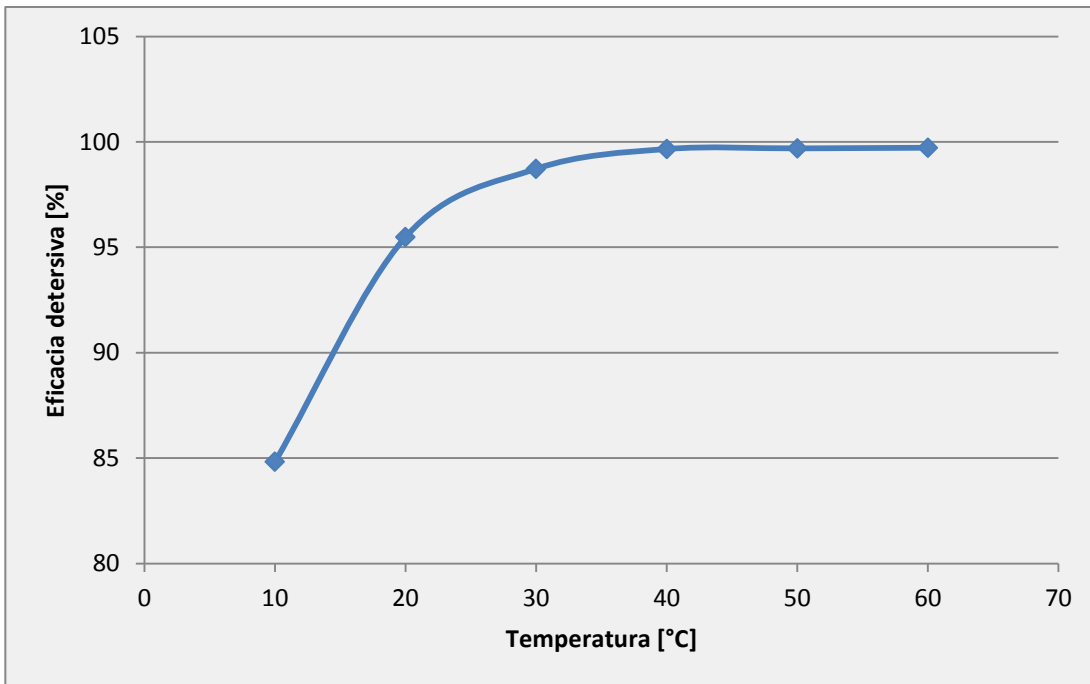
Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = 0.0003x^3 - 0.05x^2 + 2.4154x + 59.443$	0.9946	10 - 60

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa de tensoactivo catiónico en función de temperatura  
en sistema de lavado**



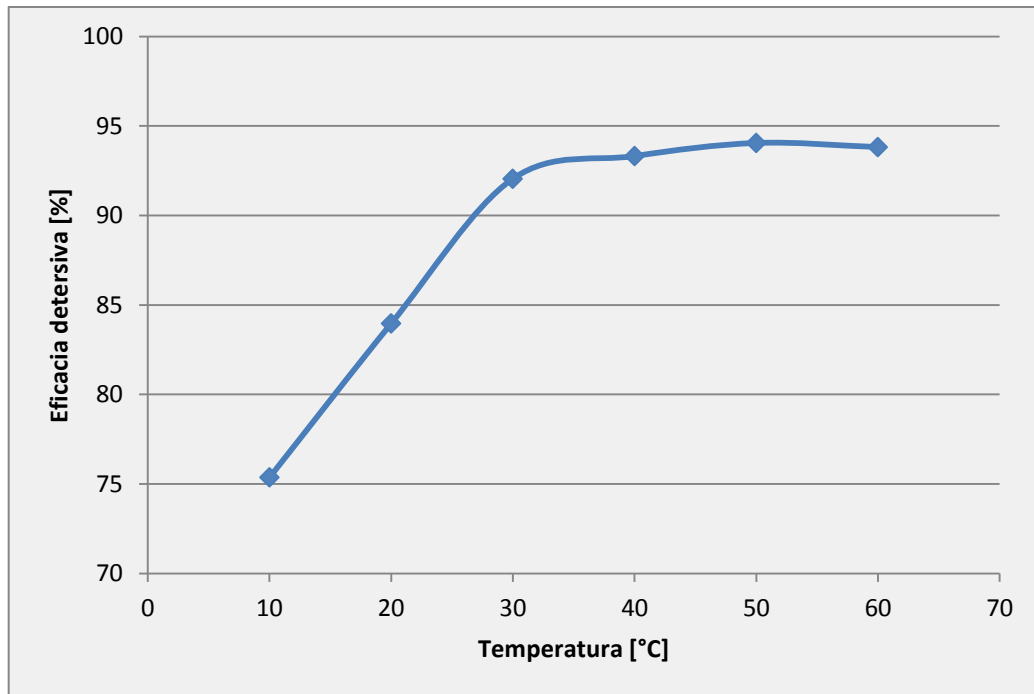
Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = 0.0004x^3 - 0.052x^2 + 2.2899x + 66.9$	0.996	10 - 60

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa de tensoactivo no iónico en función de temperatura en sistema de lavado**



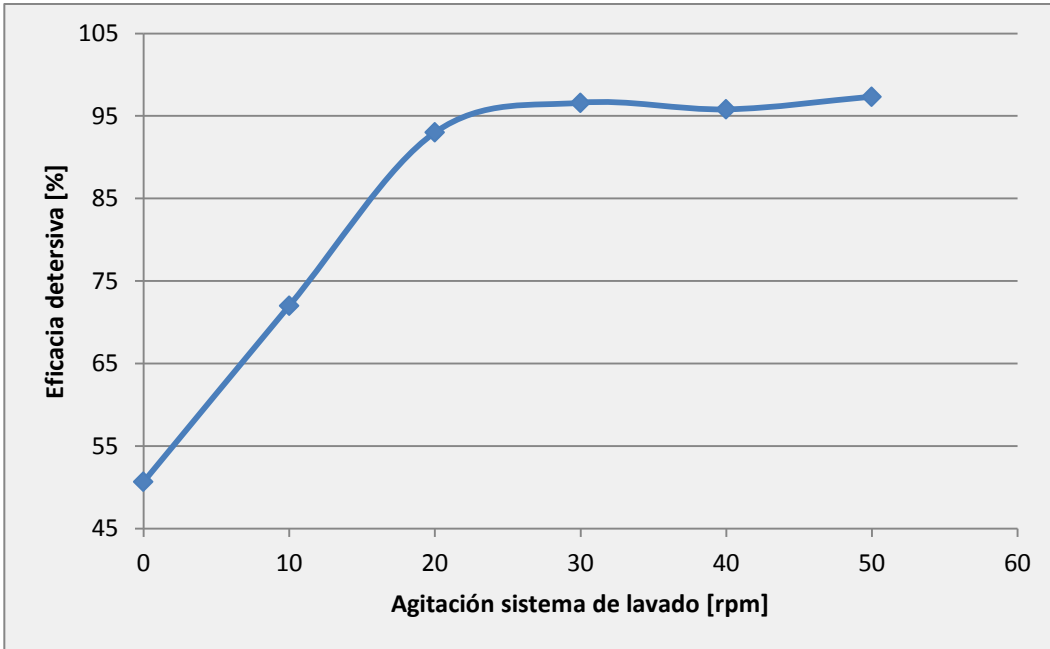
Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = 0.0002x^3 - 0.0293x^2 + 1.7607x + 60.24$	0.996	10 - 60

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa de tensoactivo aniónico en función de la agitación en sistema de lavado**



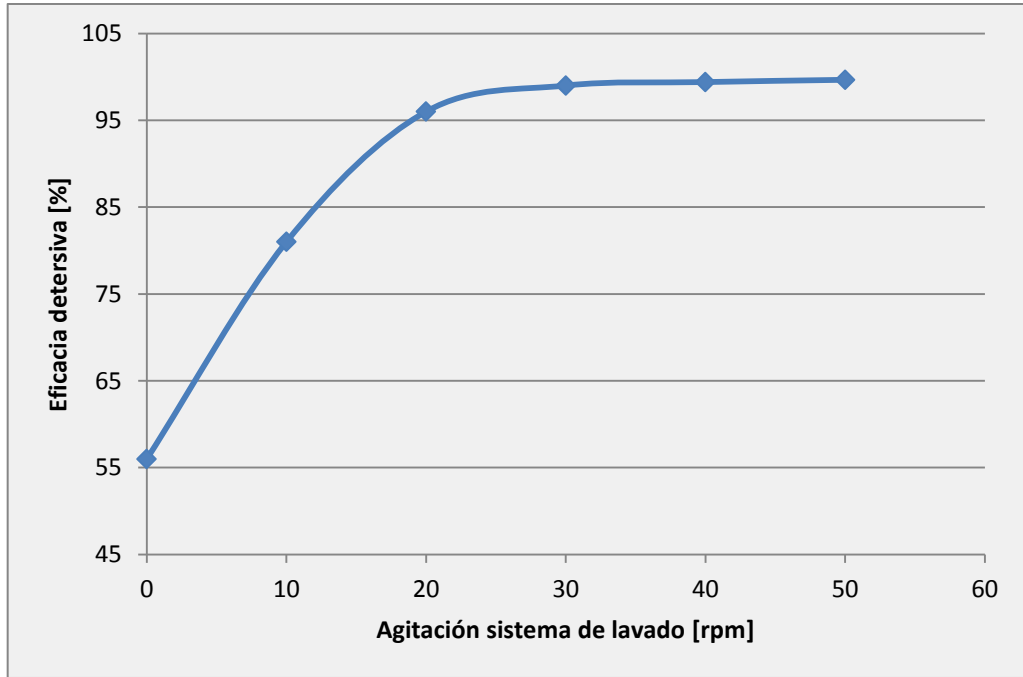
Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = 0.0005x^3 - 0.0696x^2 + 3.2083x + 49.666$	0.9987	0 - 50

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa de tensoactivo catiónico en función de la agitación en sistema de lavado**



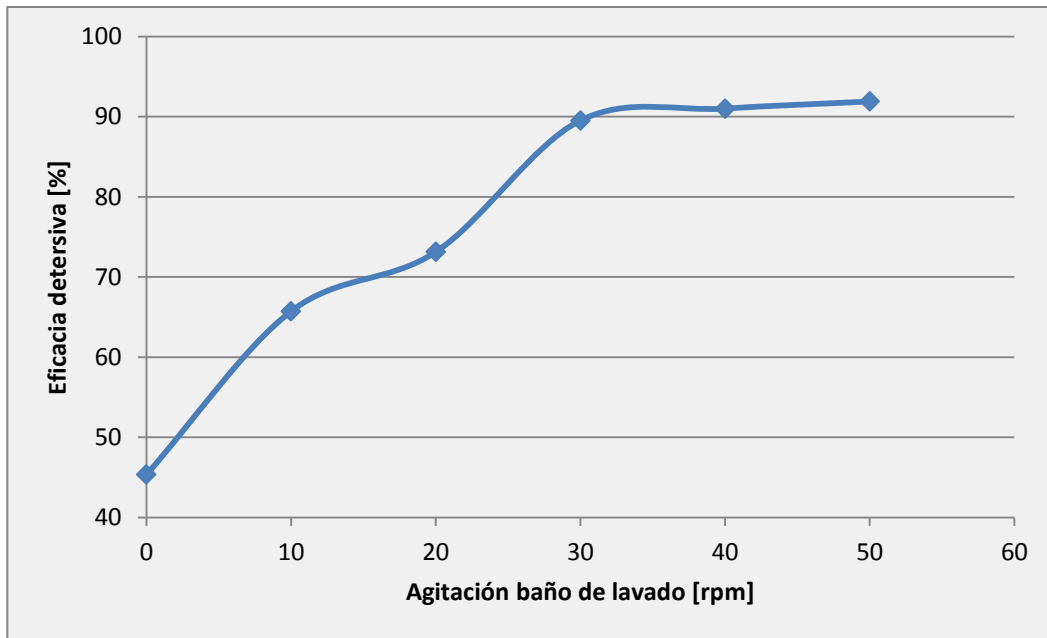
Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = 0.0007x^3 - 0.0863x^2 + 3.399x + 55.768$	0.9859	0 - 50

Fuente: elaboración propia.

**Eficacia deterativa de tensoactivo no iónico en función de la agitación en sistema de lavado**



Fuente: elaboración propia.

**Datos figura anterior**

Color	Modelo matemático	Correlación	Rango de validez [°C]
	$y = -0.0216x^2 + 2.0095x + 45.683$	0.9859	0 - 50

Fuente: elaboración propia.