



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

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DETERSIVA DEL LAURIL ÉTER SULFATO SÓDICO
($C_{12}H_{25}NaO_3S$) POR COMPARACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES PARA
DETERGENTE LÍQUIDO LAVAVAJILLA MANUAL, BASADO EN LA NORMA NTC 5131**

Laura Melissa Méndez Quevedo

Asesorado por el Ing. Manuel Emilio Figueroa Solares

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DETERSIVA DEL LAURIL ÉTER SULFATO SÓDICO
(C₁₂H₂₅NaO₃S) POR COMPARACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES PARA
DETERGENTE LÍQUIDO LAVAVAJILLA MANUAL, BASADO EN LA NORMA NTC 5131**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LAURA MELISSA MÉNDEZ QUEVEDO

ASESORADO POR EL ING. MANUEL EMILIO FIGUEROA SOLARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
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 EFICACIA DETERSIVA DEL LAURIL ÉTER SULFATO SÓDICO
(C₁₂H₂₅NaO₃S) POR COMPARACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES PARA
DETERGENTE LÍQUIDO LAVAVAJILLA MANUAL, BASADO EN LA NORMA NTC 5131**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 27 de mayo 2019.

Laura Melissa Méndez Quevedo

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Referente de fe y guía, que con sus bendiciones me permite culminar este gran paso de en mi vida.
- Mis padres** Werner Méndez y Ana Quevedo, que con su paciencia, esfuerzo, sacrificio y educación son forjadores de lo que hoy soy.
- Mis hermanos** Eduardo y Kristel Méndez. Por ser una importante influencia en mi carrera.
- Mis abuelos** Engracia y Jorge Quevedo, Erika Duarte y Gonzalo Méndez. Por ser los ángeles de mi vida.
- Mi novio** Fabricio Vega, por su amor, apoyo y comprensión incondicional a lo largo de esta etapa.
- Mis amigos** Leslie Velásquez, William Montenegro, Wanda Gatica, Carlos Figueroa, Katherine Sazo, José Andrés Valenzuela, Helen Escobar, Jonathan López, Diego Álvarez y Julio Villacinda, por su apoyo ante cualquier dificultad y por los momentos de alegría que me brindaron.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, estoy orgullosa de pertenecer a esta <i>alma máter</i> .
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para desempeñarme como profesional.
Ingeniero	Emilio Figueroa por compartir su conocimiento a lo largo del desarrollo de mi trabajo de graduación.
Catedráticos de la Escuela de Ingeniería Química	Por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales durante los años de mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	5
1.3. Determinación del problema.....	6
1.3.1. Definición	6
1.3.2. Delimitaciones	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Tensioactivos.....	9
2.2. Principales familias de tensioactivos	10
2.2.1. Tensioactivos aniónicos.....	10
2.2.2. Tensioactivos catiónicos.....	11
2.2.3. Tensioactivos no iónicos.....	11
2.2.4. Tensioactivos anfotéricos	11
2.3. Detergencia	12
2.4. Variables que afectan la detergencia	14
2.4.1. Sustrato	14

2.4.2.	Suciedad	14
2.4.3.	Concentración y estructura del tensioactivo	15
2.4.4.	Dureza del agua	15
2.4.5.	Temperatura.....	15
2.4.6.	Tiempo de lavado.....	16
2.5.	Detergentes lavavajillas	16
2.6.	Componentes de detergente lavavajilla	17
2.6.1.	Tensioactivo	17
2.6.2.	Agua.....	17
2.6.3.	Aditivos solubilizantes	18
2.6.4.	Agente secuestrante	18
2.6.5.	Conservante	18
2.6.6.	Colorantes-esencias.....	18
2.6.7.	Espesante	19
2.6.8.	Aditivos protectores de la piel.....	19
2.6.9.	Nacarantes / opacificantes	19
2.6.10.	Regulador de pH	19
2.7.	Lauril éter sulfato de sódico	20
2.8.	Norma Técnica Colombiana 5131	21
2.8.1.	Prueba de laboratorio de eficacia para detergentes	21
3.	METODOLOGÍA	23
3.1.	Variables	23
3.1.1.	Variables independientes	23
3.1.2.	Variables dependientes	23
3.2.	Delimitación de campo de estudio	23
3.3.	Recursos humanos disponibles	24
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25

3.4.1.	Equipo	25
3.4.2.	Cristalería	26
3.4.3.	Reactivos	26
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	27
3.5.1.	Elaboración de detergente.....	27
3.5.2.	Prueba de laboratorio de eficacia para detergente	29
3.5.2.1.	Preparación de la mezcla de suciedad	29
3.5.2.2.	Potencia de limpieza o eficacia de limpieza	30
3.5.3.	Características de detergente.....	33
3.5.3.1.	Densidad	33
3.5.3.2.	pH.....	35
3.5.3.3.	Nivel de espuma.....	36
3.6.	Análisis estadístico	37
3.6.1.	Diseño experimental	38
3.7.	Plan de análisis de los resultados	39
3.7.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variable	39
3.7.1.1.	Microsoft Excel 365	39
4.	RESULTADOS.....	41
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55

APÉNDICES.....59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Orientación anfífilica	9
2.	Micelas	10
3.	Clasificación de tensioactivos.....	12
4.	Proceso de detergencia	13
5.	Estructura molecular de SLES	20
6.	Curva de potencia de limpieza de detergente lavaplatos líquido con SLES como tensioactivo.....	41
7.	Concentración óptima de SLES vs referencia y agua	42

TABLAS

I.	Modelo de curva de potencia.....	42
II.	Matriz de Pugh de las formulaciones de detergente	42
III.	Modelos de concentración de SLES.....	43
IV.	Costo de fabricación de detergente lavavajilla líquido comprobación de hipótesis.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ρ	Densidad (gramos/mililitros)
g	Gramos
L	Litro
M	Masa total de detergente lavaplatos líquido
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetro
%R	Porcentaje masa/masa del reactivo
A	Peso de la suciedad inicial
B	Peso de la suciedad después del lavado
E	Volumen de espuma
L	Volumen de líquido agregado

GLOSARIO

Biodegradabilidad	Capacidad de un material de que, por medio de una acción biológica, cambia y pierde sus propiedades originales y a nivel químico las moléculas se convierten en forma más simple y estable.
Concentración	Proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución.
Costo	Representa el monto requerido para la fabricación de un producto, considerando la materia prima, material de empaque y la mano de obra directa.
Detergencia	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 en el proceso fisicoquímico atribuible al tensioactivo.
Detergente lavavajillas	Limpiador que se emplea para remover suciedad de utensilios de cocina.
DID	Base de datos de ingredientes para detergente.

Dureza del agua	Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.
Eficacia detergente	Capacidad de un detergente para eliminar suciedad de un sustrato.
Grasa	Término genérico para designar varias clases de lípidos.
Hidrofílico	Que puede enlazarse temporalmente con el agua a través de un enlace hidrógeno.
Hidrofóbico	Una molécula no es capaz de interactuar con las moléculas de agua por ningún enlace.
LAS	Dodecylbenzen sulfato de sodio.
Matriz de Pugh	Herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional, identificando criterios por evaluar.
Micela	Estructura de agrupación molecular que une un conjunto de partículas de una forma peculiar. Por medio de este mecanismo las grasas son solubles en agua.
NTC	Norma Técnica Colombiana.

P	Pureza del reactivo (g/100 g).
SLES	Lauril éter sulfato de sodio.
Suciedad	Residuos de material que se adhiere a una superficie por fuerzas electroestáticas, por oxidación, acumulación o generación de mohos.
Surfactante	Elemento que actúa como detergente, emulsionante o humectante y que permite reducir la tensión superficial que existe en un fluido.
Sustrato	Superficie que se clasifican según su naturaleza química que determina sus características eléctricas y su mojabilidad.
Tensioactivo	Son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.
Tensioactivo aniónico	Tensioactivo que posee grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa formando iones con carga negativa.
TM	Total de muestra.
TP	Total de platos utilizados en la prueba.

RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación fue desarrollar y determinar la concentración óptima de tensioactivo lauril éter sulfato de sodio (SLES) para lavaplatos líquido manual utilizando la herramienta matriz de Pugh, en la cual se evaluaron cuatro criterios del producto final: densidad, nivel de espuma y eficacia detergente comparable contra el detergente líder del mercado, y tener un pH neutro.

La prueba se realizó en un sustrato de cerámica con suciedad que contenía tanto grasa animal como vegetal. Al mismo tiempo se realizó un análisis de costo por unidad de detergente lavavajilla para la comparación con el producto líder del mercado de la misma clasificación.

El experimento constó de dos etapas generales, la primera fue la elaboración de diversas formulaciones de detergente a temperatura y presión ambiente variando la concentración masa/masa del tensioactivo SLES. Cada formulación fue evaluada para determinar su capacidad de remover y eliminar la suciedad, utilizando la prueba de laboratorio para eficacia de detergentes lavavajillas líquido.

La concentración óptima de tensioactivo lauril éter sulfato de sodio (SLES) para lavaplatos líquido manual fue de 15 %, siendo la que se equiparaba contra el detergente de la marca líder, generando un 131 % de ganancia, tomando como referencia el precio de venta del producto líder.

OBJETIVOS

General

Evaluar la capacidad de remoción de suciedad y grasas en sustratos de cerámica del agente tensoactivo lauril éter sulfato sódico ($C_{12}H_{25}NaO_3S$) por medio de la elaboración de diversas formulaciones para detergente lavaplatos líquido manual, basándose en los anexos A, E y F de la norma NTC 5131.

Específicos

1. Desarrollar diversas formulaciones para detergente lavaplatos líquido manual variando el porcentaje masa/masa del tensoactivo lauril éter sulfato sódico ($C_{12}H_{25}NaO_3S$) en un rango de 5 % a 25 % en intervalos de 5, auxiliándose en la lista DID del anexo A de la norma NTC 5131.
2. Obtener la formulación óptima de detergente lavaplatos líquido por medio de la evaluación de la capacidad de remoción de suciedad y grasas de las diferentes formulaciones planteadas por medio de pruebas de lavado de grasa de superficies en condiciones controladas de temperatura y humedad del laboratorio, como también la temperatura del agua de lavado, respaldándose en la metodología establecida en el anexo E de la norma NTC 5131.
3. Determinar el costo por unidad de la formulación óptima de detergente lavaplatos líquido, definida con anterioridad para realizar una comparación

con el precio de mercado del detergente lavaplatos líquido con tensioactivo LAS utilizado como referencia en las diferentes pruebas.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

H01: no existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre las diferentes formulaciones de lavavajilla líquido propuestas.

H02: no existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre el lavaplatos líquido elaborado y el lavavajilla líquido de referencia.

H03: no existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre el lavaplatos líquido elaborado y el agua desmineralizada.

Hipótesis alternativa

HA1: existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre las diferentes formulaciones de lavavajilla líquido propuestas.

HA2: existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre el lavaplatos líquido elaborado y el lavavajilla líquido de referencia.

H03: existe una diferencia significativa entre la eficacia deterativa entre el lavaplatos líquido elaborado y el agua desmineralizada.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los detergentes se han convertido en uno de los productos químicos de mayor uso diario. A nivel industrial es un mercado muy competitivo, debido a las diversas marcas de detergentes con diferentes presentaciones ofrecidas a los consumidores. Una de las ramas de los detergentes con demanda ascendente es el lavaplatos líquido de uso manual debido a que diariamente en los hogares guatemaltecos se limpian los utensilios de cocina.

Los lavavajillas actuales utilizan como tensioactivo los alquilobencenos lineales (LAS) que poseen la propiedad de disolver la suciedad e impurezas de un material sin corroerlo. Sin embargo, estos tienden a irritar la piel de los usuarios con uso constante, siendo un problema para este tipo de productos.

Por ello, en el presente trabajo de graduación se elaborará y evaluará la eficacia detergente de una formulación para lavaplatos líquidos de uso manual basado en los anexos A, E y F de la Norma NTC 5131. Se utilizará como tensioactivo el lauril éter sulfonato de sodio (SLES), un compuesto que es altamente biodegradable debido a su estructura química lineal y, al obtenerse de fuentes naturales como el aceite de palma o de coco, tiene una alta compatibilidad con la piel evitando que esta se irrite.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Los jabones fueron los primeros agentes limpiadores creados por el hombre, las primeras referencias están descritas en las Tablas de Lagas procedentes de los sumerios en el año 2500 a.C. Estas tablas son notables debido a que presentan de forma detallada el procedimiento y cantidad de materia prima utilizada (aceite y ceniza de madera) para la fabricación del jabón. Este se empleaba principalmente tanto para el lavado de algodón y el lino, como para combatir enfermedades de la piel.

En la segunda mitad del siglo VIII, el jabón pasó de ser un artículo de lujo a convertirse en un producto barato y de utilización generalizada en todas las clases sociales, lo que permitió una extraordinaria mejora de las condiciones higiénicas. En Europa, durante el siglo XIX la esperanza de vida del hombre pasó de los 30 a los 50 años, lo que evidentemente no solo se debió a una mayor higiene personal, sino también a los enormes progresos médicos en la lucha contra la enfermedad y en la protección para el contagio.

Esto fue debido a los excelentes trabajos de investigación desarrollados por Chevreul sobre la estructura de aceites y grasas. Pero sin duda fue Nicolás Leblanc (1783), quien brindó a la humanidad la oportunidad de fabricar jabón a escala industrial y de crear en cierta manera la industria química, al abrir las puertas a las múltiples aplicaciones del carbonato sódico.

Las nuevas generaciones de detergentes surgieron de las investigaciones de dos norteamericanos, Harkins y Langmuir, quienes descubrieron sustancias sintéticas equiparables a los jabones utilizados hasta ese momento y dotadas, asimismo, de la propiedad de acumularse preferentemente en las superficies de las disoluciones y en una concentración mayor que en el seno de esta. La investigación de Harkins y Langmuir mostró el comportamiento de estas sustancias por su especial estructura molecular, compuesta por un grupo polar, con afinidad por el agua, y con otro grupo apolar con afinidad por las grasas. A estas sustancias se les dio el nombre de “agentes de superficie” y más tarde el de “tensoactivo”, en este concepto están basados los detergentes actuales.

Debido a necesidades de mayor volumen de producción, aparecieron en el mercado los alquilbencenos sulfonatos (ABS): el tetrapropilénbenceno sulfonato (TBS) que en 1950 satisfacía el 60 % de la demanda de detergentes en el mercado mundial. Sin embargo, en 1960, fue remplazado por los alquilbencenos sulfonatos de cadena lineal debido a que eran más biodegradables.

Actualmente, la demanda de tensoactivos está cubierta por menos de diez tipos, siendo los alquilbenceno sulfonatos (LABS), sulfatos de alcoholes grasos (FAS), los sulfatos éteres de alcoholes grasos (FAES), alcoholes grasos etoxilados (FAEO) y los jabones, los que ocupan las principales posiciones. Estos tensoactivos son utilizados en distintos segmentos del mercado para la fabricación de productos de consumo (detergentes y cosméticos) y para aplicaciones industriales (alimentos, pinturas, fotografía, textiles, pieles, plásticos y otros).

En Guatemala uno de los detergentes lavaplatos con mayor volumen de venta y con sello ambiental de fórmula libre de fosfatos, utiliza Dodecilsulfato de sodio (LAS) como tensoactivo comúnmente. La

formulación genera de estos detergentes es que la siguiente composición: agua, Dodecilbencensulfato de sodio <20 %, C12-14 Alcohol EO 3:1 sulfato de sodio <20 %, Dodecilbencensulfato de magnesio <20 %, Dodecilbencensulfato de trietanolamina <20%, óxido de amonio <20 %, etanol, fragancia, agente quelante, preservante, colorante. El precio de mercado de estos productos para el primer trimestre de 2019 en promedio es de Q 19,99 para una presentación de 25,04 oz.

En los últimos años a nivel mundial, se ha visto con preocupación como cada día son más los cuerpos de agua contaminados por la presencia de residuos de detergentes, estos afectan la vida en los ecosistemas acuáticos debido a que agotan el oxígeno presente en el agua para la degradación de sus componentes activos y favorecen el fenómeno que se conoce como eutrofización, por ello se ha estudiado la biodegradación de los detergentes comerciales.

En la tesis doctoral de Manuela Lechuga, la autora definió los parámetros que caracterizan las curvas de crecimiento de microorganismos durante el proceso de biodegradación, que fueron: la velocidad específica de crecimiento, el número máximo de unidades formadoras de colonias UFC/mL_{max} y el rendimiento de producción de biomasa por gramo de tensioactivo tratado. Estos parámetros han servido para establecer los modelos cinéticos que explican la biodegradación de los tensioactivos ensayados: alcohol graso etoxilado (AGE), Tensioactivos del tipo alquilpoliglucósidos (APG), Nonifenol monoetoxilado (NPEO) y lineal alquilbenceno sulfonatos (LAS).

Mientras en Bogotá, Colombia se realizó un estudio de la biodegradabilidad de cuatro detergentes comerciales denominados A, B, C y D efectuados en el laboratorio CENIA C. Ltda. que fueron analizados bajo la norma ASTM y la norma SAAM concluyendo que ningún detergente comercializado analizado es considerado biodegradable en su país. En Guatemala el Ing. Químico Miguel

Ángel Ponce en su trabajo de graduación de 1985 determinó que los detergentes aniónicos se biodegradan en mayor proporción durante los primeros dos días de actividad microbiana. Es importante resaltar que la biodegradabilidad analizada fue la primaria.

Los principales materiales primas para la producción de tensioactivos son aceites y grasas, tanto animales como vegetales, y el petróleo. La producción de aceites naturales fue de 90 millones de toneladas en 1994 con un incremento del 3,7 % desde 1993. Actualmente, el rápido aumento en la producción mundial de los aceites de palma ha impactado el sector de jabones y detergentes debido al aumento de los precios de tensioactivos a partir de petróleo.

Algunos derivados oleoquímicos están tomando una posición más importante en el campo de los detergentes, como alcoholes sulfatados, sulfatos éteres de alcoholes grasos y ésteres metílicos sulfonados están desplazando gradualmente al alquilbenceno sulfonado.

El lauril éter sulfato sódico (SLES), un oleoquímico, proviene de la etoxilación del alcohol dodecilico presente en el aceite de palma y el coco, es un surfactante o tensioactivo encontrado en numerosos productos de cuidado personal como jabón, champú y pasta de dientes debido a su alta compatibilidad con la piel.

La Inga. Química Ximena Herrera presenta en su trabajo de graduación de 2017 que la evaluación de la cinética de biodegradabilidad expresada en porcentaje de biodegradabilidad del tensioactivo aniónico lauril éter sulfonato de sodio (SLES), con una concentración inicial de 0,5 mg/L en quince días alcanzó hasta un 95 % de biodegradabilidad con lo que confirmó en dicho estudio la alta capacidad de biodegradarse. Según la Norma Técnica Colombiana

5131 (NTC-5131) el lauril éter sulfato sódico (SLES) es fácilmente degradable en condiciones aeróbicas como anaeróbicas según las orientaciones establecidas en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

1.2. Justificación

En Guatemala el uso de detergentes para lavaplatos es ascendente, debido a la facilidad de adquisición, la variedad de marcas y los beneficios de limpieza que estos proporcionan. Sin embargo, los detergentes con tensioactivos 100 % biodegradables se encuentran con un costo elevado en el mercado y son menos asequibles.

Actualmente los tensioactivos más empleados en las formulaciones de detergentes y otros productos de limpieza que se utilizan diariamente, son los tensioactivos aniónicos y dentro de ellos el alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), que representa el 40 % de todos los tensioactivos producidos debido a que su producción es más económica y posee una elevada capacidad de biodegradabilidad primaria a diferencia que los jabones utilizados como tensioactivos anteriormente.

Sin embargo, este tensioactivo, particularmente, inhibe las bacterias reductoras de hierro y las bacterias oxidadoras de amonio. Además, se sabe que suele irritar la piel de los usuarios si se utiliza de manera constante, una problemática para el producto debido a que en la mayoría de los hogares guatemaltecos se limpian las vajillas de manera manual y diaria.

Por ello se elaborará una formulación en la que se utilizará como tensioactivo el Lauril éter sulfonato de sodio (SLES). Este compuesto presenta una estructura química lineal permitiéndole ser altamente biodegradable tanto

aeróbica como anaeróticamente. Al obtenerse de fuentes naturales como el aceite de palma o de coco tiene una alta compatibilidad con la piel evitando que esta se irrite. Cabe destacar que el tensoactivo Lauril éter sulfonato de sodio (SLES) es económico y muy efectivo agente formador de espuma, una característica relevante para los productos de limpieza.

1.3. Determinación del problema

A continuación, se establece el problema en las dimensiones de definición y delimitaciones.

1.3.1. Definición

El uso de vajillas para el consumo de alimentos en las familias guatemaltecas es diario. Por ser, en su mayoría, cerámica las vajillas son reutilizables por lo que estas se deben lavar después de su uso con productos que eliminen la suciedad, grasa y microorganismos presentes. En el mercado existen diversos productos que contienen un elemento tensoactivo que combate y desprende la suciedad de la superficie de la vajilla y la dispersa en el líquido de lavado, que es agua municipal. Sin embargo, tienden a ser irritantes para la piel de los usuarios para uso constante.

El lauril éter sulfonato de sodio (SLES) es un compuesto que presenta tanto una alta biodegradabilidad primaria como una alta compatibilidad con la piel evitando que esta se irrite. Además, es económico y muy efectivo agente formador de espuma, por lo que se considera como sustituto para los actuales tensoactivos utilizados en el mercado.

1.3.2. Delimitaciones

La formulación que el detergente lavaplatos líquido utilizará como tensioactivo el lauril éter sulfonato de sodio (SLES) en su presentación en polvo con un grado de pureza del 90 %.

Para la evaluación de la eficacia detergente del detergente lavaplatos líquido se establecerá una metodología en la cual se mantendrá constante la temperatura y dureza del agua para la prueba de lavado de grasas de superficies, el tiempo y el equipo de fregado para la superficie. Así como también la temperatura y humedad del Laboratorio de Fisicoquímica del Área de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

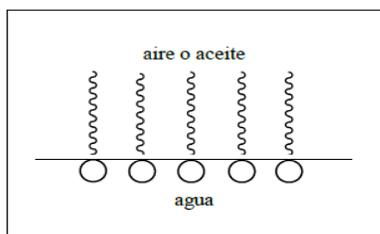
2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tensioactivos

Los sistemas tensioactivos poseen un enorme interés industrial debido a sus múltiples aplicaciones tecnológicas. Todos los sectores de la industria química los utilizan en la producción o en la aplicación de sus productos. Son fundamentales en la industria farmacéutica, alimentaria, cosmética, textil, de pigmentos y pinturas y lubricantes entre otras. La industria de los agentes tensioactivos consume grandes cantidades de materias primas petroquímicas tales como alcanos lineales, n-alcoholes, alquilbencenos y óxido de etileno entre otros y de grasas naturales.

El interés de las sustancias tensioactivas radica en su carácter anfifílico que indica que una molécula se compone de una parte hidrófoba o hidrófuga y un resto hidrófilo, o soluble en agua. Al contacto con el agua las moléculas individuales se orientan de tal modo que la parte hidrofóbica sobresale del nivel del agua, encarándose al aire, mientras tanto la parte hidrofílica se queda sumergida (figura 1).

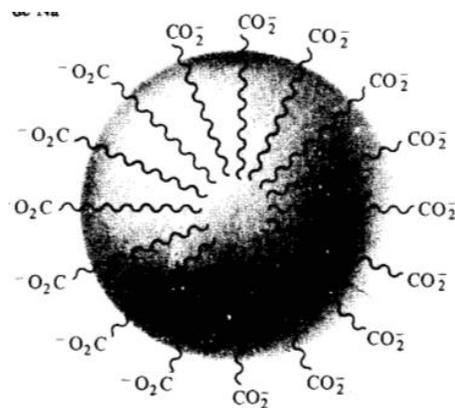
Figura 1 **Orientación anfifílica**



Fuente: SANZ, Ascensión. *Química orgánica industrial*. p.321.

Otro fenómeno que generan los tensioactivos son las micelas, en el que las moléculas anfifílicas se alinean de tal manera que las partes hidrofílicas quedan de un lado y las partes hidrófobas del otro lado, por lo que se forman burbujas, la parte hidrófoba queda en el centro encapsulando moléculas insolubles en agua como las grasas.

Figura 2 **Micelas**



Fuente: FESSENDEN, Ralph. *Química orgánica*. p.322.

2.2. Principales familias de tensioactivos

Respecto de la clasificación genérica de los agentes tensioactivos puede decirse que existen cuatro grandes grupos.

2.2.1. Tensioactivos aniónicos

Poseen grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa formando iones orgánicos con carga negativa y responsables de la actividad superficial. Contienen comúnmente grupos solubles, sulfatos y sulfonatos de sodio. Son los más utilizados en formulaciones detergentes en polvo para lavado de ropa y en productos líquidos para uso en lavaplatos.

2.2.2. Tensioactivos catiónicos

Sus grupos funcionales se ionizan en disolución acuosa originando iones orgánicos con carga negativa y responsables de la actividad superficial. Son principalmente compuestos cuaternarios de amonio. Presentan la ventaja de que son compatibles con los tensioactivos no iónicos y anfotéricos. Así mismo, su capacidad detergente y su biodegradabilidad es baja y su costo económico es más elevado que el de los tensioactivos aniónicos y no iónicos. Se suelen usar como agentes emulsionantes a pH inferiores a 7, además, presenta propiedades suavizantes y desinfectantes.

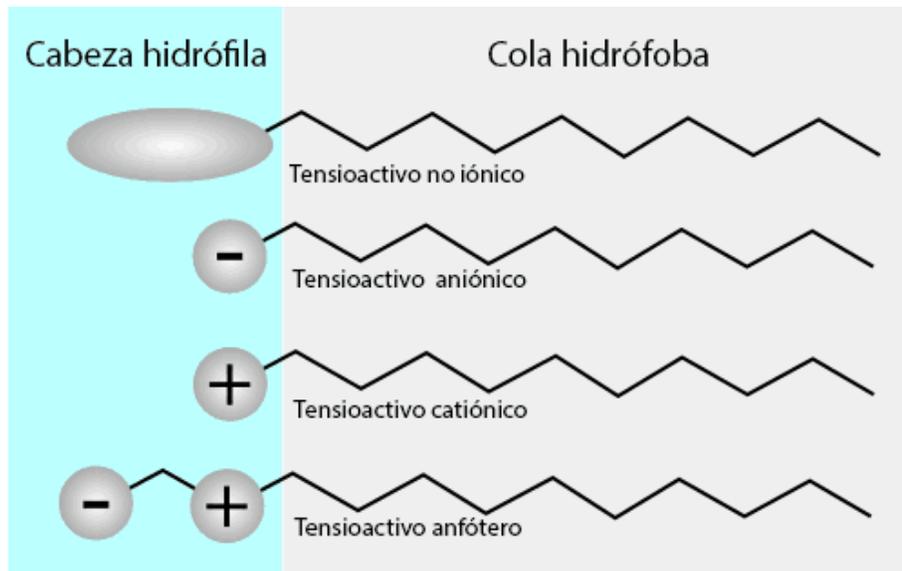
2.2.3. Tensioactivos no iónicos

En disolución acuosa no origina iones. Posee grupos funcionales con elevada afinidad por el agua, lo que los hace solubles en esta. Algunos son productos de condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o grasos. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos. En general, poseen bajo poder espumante y suelen ser productos líquidos o pastosos.

2.2.4. Tensioactivos anfotéricos

Sus grupos funcionales pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter de aniónico o catiónico, según las condiciones del medio. No se utilizan mucho como materias primas para detergentes. Algunos proporcionan una excelente espumación y bajo nivel de irritabilidad cutánea y ocular, por lo que resultan muy apropiados en las formulaciones de champú. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos.

Figura 3 **Clasificación de tensioactivos**



Fuente: HERRÁEZ, Ángel. Biomodel, Universidad de Alcalá de Henares.

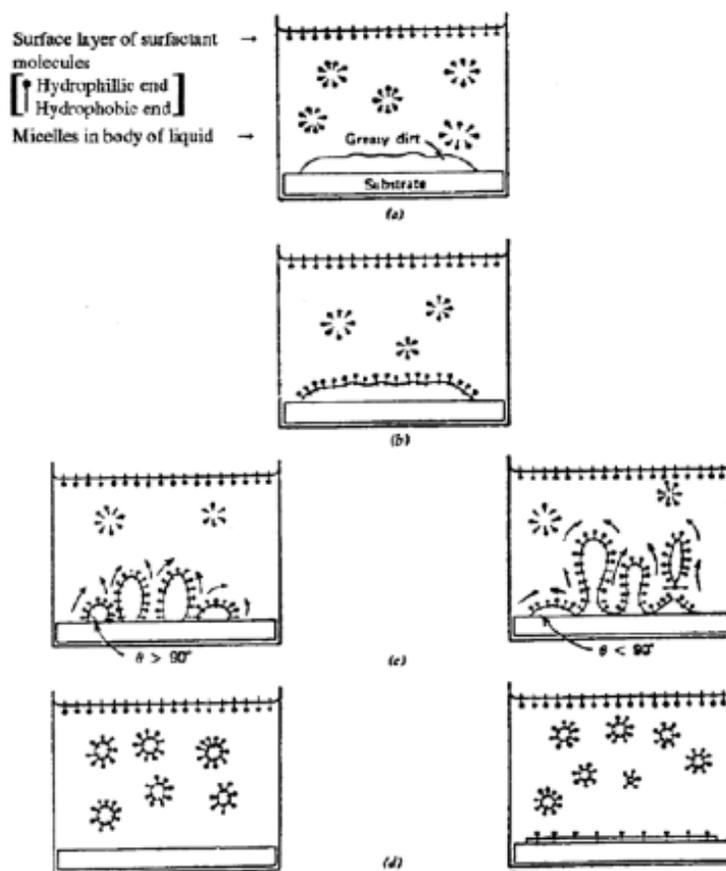
2.3. Detergencia

Un sistema detergente eficaz debe realizar dos funciones, desprender la suciedad de la superficie a limpiar, y dispersar la suciedad en el líquido de lavado, de tal forma que el sustrato limpio se separe del líquido de lavado sin que la suciedad se deposite sobre él. La clave de ambos requisitos radica en la naturaleza de las interfases entre el sustrato, la suciedad y el líquido de lavado. Por ellos los detergentes contienen moléculas que son adsorbidas por estas superficies, modificando la tensión superficial de las interfases.

Se refiere al 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 por medio de la rotura de la capa de grasa utilizando medios mecánicos (agitación, restregado,

vibración, y otros) para formar gotitas microscópicas que se estabilizan y se dispersen en el baño líquido como partículas coloidales.

Figura 4 **Proceso de detergencia**



Fuente: SANZ, Ascensión. *Química orgánica industrial*. p.335.

En la figura 4 se observa el efecto solubilizador de los agentes tensioactivos, primero la mugre grasienta entra en contacto con la solución de tensioactivo (a); después los extremos hidrofóbicos de las moléculas de tensioactivo se disuelven en la grasa (b). posteriormente en el paso C el tensioactivo modifica el ángulo de contacto, θ , entre la suciedad y el sustrato (si $\theta < 90^\circ$ es imposible que haya una

eliminación total de la grasa). Por último, más agitación desplaza la suciedad en forma de partículas macroscópicas formando una emulsión.

2.4. Variables que afectan la detergencia

A continuación, se establecen factores que afectan la detergencia, estos son sustrato, suciedad, dureza del agua, temperatura y tiempo de lavado.

2.4.1. Sustrato

El proceso de lavado de es menos complicado en superficies duras debido al fenómeno de difusión de los componentes en el interior del sustrato comparado con superficies rugosas y agrietadas. La hidrofobicidad del sustrato también es un punto importante. Las fuerzas de adhesión entre sustrato y suciedad disminuyen para sustratos hidrofóbicos; las fuerzas aumentan si el sustrato tiende a ser hidrofílico. La composición química del sustrato condiciona el tipo de detergente que se debe usar.

Lo sustratos pueden clasificarse según su naturaleza química (superficie alta o baja energía) que determina sus características eléctricas (doble capa) y su mojabilidad, pero también según su estructura geométrica (poros, fibras, área específica) que influye sobre ciertos aspectos físicos del proceso de remoción del sucio.

2.4.2. Suciedad

Entre suciedades líquidas oleosas, aquellas que contienen ácidos grasos en su composición son eliminadas rápidamente, seguidos por glicéridos neutros y aceites minerales menos polares. Las suciedades deshidratadas tienen mayor

fuerza de Van Der Waals, por lo que es más difícil la limpieza. Cuanto mayor es el tamaño de la partícula, es más fácil de limpiar.

2.4.3. Concentración y estructura del tensioactivo

La detergencia aumenta con la concentración de tensioactivos y alcanza un valor máximo en los alrededores de la concenciación micelar crítica. No es posible formular reglas que justifiquen el comportamiento de los tipos de tensioactivos en función a su estructura química.

Algunas investigaciones muestran que la eficacia del tensioactivo aumenta con la longitud del grupo hidrofóbico.

2.4.4. Dureza del agua

La presencia de cationes polivalentes (calcio y magnesio mayormente) provenientes de agua, suciedad o sustrato, influyen de forma negativa en la detergencia haciendo que se instalen en la superficie del sustrato.

2.4.5. Temperatura

El aumento de la temperatura contribuye a un mejor lavado, debido a un aumento en la de velocidad de reacción química y enzimática, disminuyendo la fuerza de adhesión entre el sustrato y la suciedad. Sin embargo, si aumenta excesivamente la temperatura, ocurre la desnaturalización de suciedades del tipo proteicas, desestabilización enzimática y disminución en la solubilidad de la suciedad.

2.4.6. Tiempo de lavado

La duración de lavado depende de la concentración del detergente, temperatura, agitación mecánica y las características químicas y físicas del sustrato y la suciedad. El mantener el proceso detergente a tiempo superior para obtener una eficacia máxima estacionaria no supone ventaja alguna, puesto que la redeposición aumentará con el transcurso del tiempo. Tampoco es conveniente un proceso corto de lavado, puesto que la separación de la suciedad podría ser incompleta dejando el sustrato sucio.

2.5. Detergentes lavavajillas

Los detergentes lavavajillas tienen como propósito principal retirar la suciedad, principalmente residuos de material de alimentación de las superficies de cocina, incluyendo ollas, sartenes, utensilios y una amplia gama de otros artículos. El detergente líquido para lavaplatos a mano se desarrolló en la década de 1940, la eficiencia y la eficacia del proceso de lavado se determinan por varios factores clave.

En primer lugar, la eficacia de los detergentes es crucial para el lavado, estos detergentes son generalmente diseñados para facilitar la remoción de los restos de alimentos y hacer el trabajo de lavado más fácil y agradable para el consumidor. En segundo lugar, la cantidad de la acción mecánica es muy variable en el proceso de lavado, en algunos casos es difícil eliminar la suciedad por lo que los consumidores aplican en general una gran cantidad de acción mecánica de lavado con la ayuda de un utensilio.

En tercer lugar, la remoción de la suciedad está altamente influida por la temperatura de lavado; para los residuos grasos las altas temperaturas de lavado ayudan a derretir las partículas de grasa.

2.6. Componentes de detergente lavavajilla

Es importante obtener un producto que no produzca daños en la salud, debido a que es un producto que muchas veces se pone en contacto con la piel, por lo que se debe seleccionar materia prima que sea fácil de manipular.

2.6.1. Tensioactivo

Es el componente principal del detergente lavavajilla. Es el encargado de arrastrar la suciedad durante el lavado. Los que se utilizan para este fin son los tensioactivos aniónicos y, dentro de ellos, los más usados comercialmente son el lauril etoxisulfato de sodio, conocido también como lauril éter sulfato de sodio (SLES) y el dodecil bencenosulfonato de sodio (DDBS), comercializado como ácido sulfónico.

Este cumple el porcentaje de biodegradabilidad mínima especificada en la norma NTC-5131.

2.6.2. Agua

Es el componente mayoritario y el medio en el cual se disuelve el resto de los componentes del detergente. Debido a que puede facilitar la contaminación es importante que sea microbiológicamente apta, ya sea corriente o de pozo.

2.6.3. Aditivos solubilizantes

Se utilizan para favorecer la solubilidad en agua de los tensioactivos. Dependiendo del tensioactivo elegido puede no ser necesaria su utilización. Como ejemplos se detallan: etanol, glicerina, propilenglicol, UREA.

2.6.4. Agente secuestrante

Son utilizados para disminuir la dureza del agua. Si se tienen aguas duras, las sales presentes podrían desestabilizar la fórmula haciendo que el detergente se corte. La cantidad por agregar dependerá de la dureza del agua que se utilizara, uno de los más utilizados es el EDTA (ácido etilendiaminotetra acético).

2.6.5. Conservante

Es para mantener la estabilidad evitando la contaminación bacteriana del detergente. Por ejemplo, propil y metil parabenos.

2.6.6. Colorantes-esencias

Son para darle la terminación agradable al producto y disminuir posibles feos olores debido a los tensioactivos o algún otro componente. La elección de estos dependerá de la propia necesidad o de las preferencias de los clientes a los cuales se destinará.

2.6.7. Espesante

Aumenta la viscosidad del detergente y mejora su apariencia generando una sensación de mayor calidad. Por lo general, debido a su bajo costo, se utiliza cloruro de sodio (sal gruesa común) disuelta en agua.

2.6.8. Aditivos protectores de la piel

Contrarrestan la acción nociva de los tensioactivos sobre la piel. Es importante que se utilicen para obtener un producto de calidad y seguro para su uso. Algunos ejemplos serían glicerina, colágeno, aloe vero o trietanolamina.

2.6.9. Nacarantes / opacificantes

Su finalidad es dar un aspecto opaco o perlado al detergente. No cumple ninguna función específica más que una percepción visual diferente, por lo tanto, su uso es opcional. Debe ser compatible con el resto de los componentes de la fórmula de tal manera que no la desestabilice. Por ejemplo, estearatos de polietilenglicol.

2.6.10. Regulador de pH

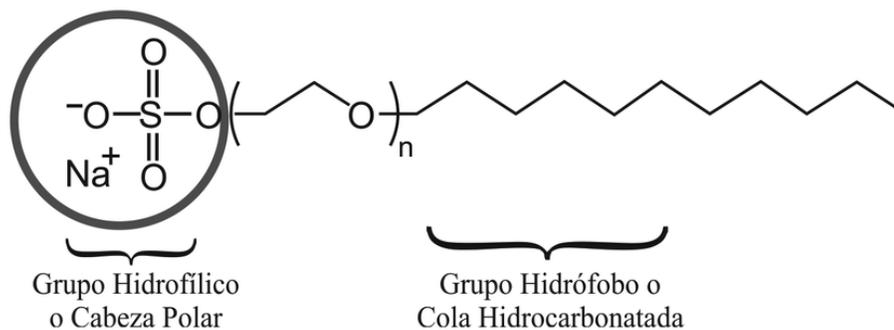
Dado que para obtener un detergente neutro el pH debe arrojar un valor entre 6 o 7, se utilizan reguladores de pH para ajustar el mismo. Para aumentar el pH se utilizarán álcalis como, por ejemplo, hidróxido de sodio (soda cáustica) diluido o trietanolamina. Para disminuir el pH se utilizarán ácidos como el ácido cítrico, bórico o clorhídrico.

2.7. Lauril éter sulfato de sódico

Su fórmula es $C_{12}H_{25}NaO_3S$, es el surfactante de aniones activos más corrientes en la producción de productos para la limpieza, el fregado y lavado doméstico, así como, en la producción de productos cosméticos y de higiene personal. Este surfactante tiene buen poder de humectación, alta compatibilidad con la piel y ayuda al mojado, además, es un excelente formador de espuma incluso en aguas duras.

Cuenta con buenas propiedades de detergencia, al ser una sustancia tensioactiva tienen afinidad con el agua y la grasa, reduce la tensión superficial del líquido, emulsificando las grasas y facilitando el proceso de limpieza. A estas propiedades hay que sumarle su ligero olor que permite que sea perfumado sin inconvenientes y por ser casi incoloro es fácilmente coloreado. También tiene la capacidad de aumentar la viscosidad de algunos productos.

Figura 5 Estructura molecular de SLES



Fuente: HERRERA, Juan. *Estructura esquemática de un surfactante*. p.32.

2.8. Norma Técnica Colombiana 5131

La norma se enmarca en la implementación del esquema del Sello Ambiental Colombiano, cuya reglamentación de uso se estableció mediante la Resolución 1555 de 2005 de los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y de Comercio, Industria y Turismo.

De acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme, CIIU, los productos objeto de esta norma están contemplados en el Grupo 242, Clase 2424 Descripción: fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador.

Esta norma especifica los criterios ambientales que deben cumplir los productos de limpieza institucional, industrial y de uso doméstico, en cualquier presentación (barra, polvo, líquido, entre otros) para obtener el sello ambiental colombiano.

La lista DID (*Detergent Ingredient Database*) es una base de datos de ingredientes de detergentes, revisada, con versión de enero de 2007, que contiene una lista de productos químicos empleados en detergentes y que permite armonizar los criterios de ecotoxicidad para los diferentes detergentes.

2.8.1. Prueba de laboratorio de eficacia para detergentes

El ensayo de laboratorio tiene como objetivo confirmar que el producto de ensayo limpia igual de bien mejor que el de un producto de referencia genérico o líder del mercado, y mejor que el agua pura, a esto se le conoce como la eficacia de limpieza. La prueba se basará en la Norma Técnica Colombiana 5131.

El producto de ensayo y el de producto de referencia deben pertenecer a la misma categoría de productos y el producto de referencia debe ser uno de los 3 o 4 productos con mayor volumen de ventas en el mercado de la región con sello ambiental.

Se debe preparar una mezcla de una cantidad de suciedad suficiente para toda la prueba, esta debe elaborarse con sustancias de uso común, especificando su contenido y debe ser una mezcla homogénea. Para la experimentación se propone utilizar manteca de cerdo como grasa animal y chocolate como grasa vegetal.

En todas las subpruebas debe pamparse el mismo volumen y temperatura del agua. También se debe considerar la dureza del agua, en este caso el agua por utilizar será agua desmineralizada por lo que el agua se considera suave, evitando que esta influya en las diferentes pruebas.

Cada producto debe probarse al menos en cinco rondas de prueba, además de realizar prueba únicamente con agua desmineralizada y con el detergente lavaplatos líquido de referencia.

Se considera que el producto de prueba cumple los requisitos de eficacia cuando se obtengan resultados positivos en, al menos, el 80 % de las rondas de prueba.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Las variables de este estudio se clasifican entre dependientes e independientes, en este caso se posee una única variable independiente que es el porcentaje masa/masa del tensioactivo.

3.1.1. Variables independientes

- Porcentaje masa/masa del tensioactivo lauril éter sulfato sódico ($C_{12}H_{25}NaO_3S$) en la formulación del detergente lavaplatos líquido.

3.1.2. Variables dependientes

- Tiempo de fregado (segundos)
- Peso de suciedad en el sustrato (gramos)
- Temperatura del agua de lavado ($^{\circ}C$)
- Homogeneidad de la suciedad
- Peso de detergente para lavado (gramos)
- Tiempo de secado de la suciedad (minutos)

3.2. Delimitación de campo de estudio

Este estudio se limita a la elaboración de diversas formulaciones para detergente lavaplatos al variar únicamente el porcentaje masa-masa del tensioactivo Lauril éter sulfato de sodio (SLES) basado en la guía de productos

de limpieza y mantenimiento de uso doméstico del Servicio Médico de Información Toxicológica del Instituto Nacional de Toxicología, Madrid. Según la Norma Técnica Colombiana 5131 se realiza la prueba de laboratorio de eficacia para detergentes lavavajillas a mano, con la que se evaluará la eficacia de limpieza.

- Área: microbiología.
- Usuario: los resultados pueden implementarlos personas que estén interesados en realizar y evaluar la capacidad detergente de un detergente lavavajilla líquido manual.
- Fin: producir un detergente lavaplatos líquido con concentración óptima de tensioactivo y eficacia detergente.
- Línea de investigación: química microbiológica.
- Proceso: remoción de suciedad del sustrato por medio de fregado.
- Localidad: tanto la elaboración del detergente lavaplatos líquido manual como la evaluación de eficacia de la potencia de limpieza se llevarán a cabo en el laboratorio de docencia del área de Fisicoquímica (FQ1) ubicado en el tercer nivel del edificio T-5, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para realizar el estudio de la elaboración y evaluación de detergente lavavajilla líquido para uso manual por medio de pruebas de eficacia de potencial

de limpieza y microbiológicas para obtener un producto amigable tanto con los usuarios como con el medio ambiente, se hace mención como investigadores y colaboradores:

- Investigador: Br. Laura Melissa Méndez Quevedo
- Asesor: Ing. Manuel Emilio Figueroa Solares

3.4. Recursos materiales disponibles

En este punto se describen los materiales necesarios para realizar este estudio en base a la clasificación de equipo, cristalería y reactivos.

3.4.1. Equipo

Se presenta el listado del equipo requerido para la correcta realización del estudio y obtener datos experimentales confiables.

- Balanza
- Termómetro
- Brocha de goma
- Cronometro
- Estufa eléctrica
- Recipiente de aluminio
- Recipientes plásticos
- Refrigeradora
- Recipiente plástico de 2 L
- Paño de limpieza
- Escurridor de platos
- Equipo de protección personal (gafas, guantes, entre otros)

3.4.2. Cristalería

Se enlista el equipo de cristalería requerido para proceder de manera correcta el experimento de forma análoga.

- *Beacker*
- Probeta
- Bureta
- Tubos de ensayo
- Vidrio de reloj
- Varilla de vidrio
- Platos de cerámica
- Espátula
- Cuchara de metal

3.4.3. Reactivos

Se hace mención de los reactivos requeridos para la elaboración y evaluación del detergente lavaplatos líquido a mano.

- Lauril éter sulfato de sodio al 70 %
- Agua desmineralizada
- Cloruro de sodio
- Fragancia de limón
- Colorante color amarillo
- Manteca de cerdo
- Chocolate
- Harina

- Salsa de tomate
- Detergente lavaplatos líquido de referencia

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Como técnica cuantitativa se establece la formulación o elaboración del detergente, y las pruebas que se realizan al mismo en base a ciertas características que debe poseer.

3.5.1. Elaboración de detergente

Reactivos

- Lauril éter sulfato de sodio al 70 %
- Agua desmineralizada
- Cloruro de sodio
- Fragancia de limón
- Colorante color amarillo
- Alcafor molido

Material y equipo

- Balanza
- Recipiente plástico
- *Beacker*
- Probeta
- Bureta
- Vidrio de reloj
- Varilla de vidrio

- Espátula
- Cuchara de metal

Procedimiento

- Definir una formulación base para el detergente lavaplatos líquido en unidad de porcentaje masa/masa, variando en intervalos de cinco la concentración en porcentaje masa/masa del tensioactivo SLES en un rango total del 5 % al 20 %.
- Calcular la masa o volumen por utilizar de los diferentes reactivos que compone el detergente lavaplatos líquido con presentación de 200 g.
- Pesar los reactivos sólidos determinados con anterioridad con ayuda de una balanza y colocarlos en diferentes recipientes.
- Medir el volumen de los reactivos líquidos determinados con anterioridad y colocarlos en diferentes recipientes.
- Mezclar los reactivos en un *beacker* y agitar con una varilla de vidrio hasta que se tenga una composición homogénea.
- Colocar las diferentes formulaciones en recipientes plásticos para almacenar.

Cálculos

Cantidad en peso de reactivos sólidos

$$\text{Reactivos sólidos (g)} = M * \%R \text{ [Ecuación No. 1]}$$

Donde:

M = masa total de detergente lavaplatos líquido (g)

%R = porcentaje masa/masa del reactivo sólido.

Cantidad de volumen de reactivos líquidos

$$\text{Reactivos líquidos (mL)} = M * \%R * \frac{1}{\rho} * P \text{ [Ecuación No. 2]}$$

Donde:

M = masa total de detergente lavaplatos líquido (g)

%R = porcentaje masa/masa del reactivo sólido.

ρ = densidad del reactivo (g/mL)

P = p del reactivo (g/100 g)

3.5.2. Prueba de laboratorio de eficacia para detergente

Para realizar la prueba de laboratorio se requiere de la preparación de la mezcla de suciedad, y la eficacia de la limpieza o potencia de limpieza.

3.5.2.1. Preparación de la mezcla de suciedad

Reactivos

- Manteca vegetal
- Chocolate
- Harina de trigo

- Salsa de tomate

Material y equipo

- Balanza
- *Beacker*
- Varilla de vidrio
- Cuchara de metal

Procedimiento

- Pesar 95,57 g de chocolate, 85 g de manteca vegetal, 106 g de salsa de tomate y 35 g de harina de trigo.
- Mezclar en un *beacker* a temperatura constante de 50 °C hasta tener una consistencia homogénea.

3.5.2.2. Potencia de limpieza o eficacia de limpieza

Reactivos

- Formulación N de detergente lavavajilla líquido
- Suciedad
- Detergente lavaplatos líquido de referencia
- Agua desmineralizada

Material y equipo

- Balanza
- Termómetro
- Brocha de goma
- Cronometro
- Estufa eléctrica
- Recipiente plástico de 2 L
- Platos de cerámica
- Paño de limpieza
- Escurridor de platos

Procedimiento

- Medir temperatura y humedad de laboratorio donde se efectuará la prueba.
- Pesar el plato de cerámica (sustrato) que se usará en la prueba tres veces.
- Aplicar con la brocha de goma una capa gruesa de suciedad preparada sobre la superficie de la vajilla y pesar nuevamente tres veces el sustrato para conocer la cantidad de suciedad aplicada.
- Dejar secar a la intemperie la suciedad aplicada durante 20 minutos.
- Agregar 5 mL de la formulación N de detergente lavavajilla líquido sobre la superficie sucia del sustrato.
- Introducir el sustrato en 250 mililitros de agua desmineralizada a una temperatura constante.

- Fregar durante 15 segundos el sustrato, esparciendo el detergente hacia toda la superficie con ayuda de un paño de limpieza.
- Sacar la vajilla de cerámica del agua de lavado, colocándola en un escurridor de platos para dejar estilar y secar durante 20 minutos.
- Pesarse tres veces el sustrato lavado.
- Repetir la prueba cuatro veces más con la formulación N escogida.
- Realizar la prueba con cada formulación propuesta.
- La prueba se llevará a cabo cinco veces con el detergente lavaplatos líquido de referencia.
- La prueba se llevará a cabo cinco veces solo con agua desmineralizada de lavado.
- Los resultados de las pruebas para el detergente elaborado se comparan con los resultados del detergente de referencia y la prueba solo con agua.
- La vajilla se considera limpia cuando por lo menos el 80 % de la suciedad es eliminada del sustrato.

Cálculos

Potencia de limpieza

$$\text{Potencia de Limpieza (\%)} = \frac{\sum \left[\frac{(A - B)}{A} * 100 \right]}{TP} \quad [\text{Ecuación No. 3}]$$

Donde:

A = peso de la suciedad inicial (g)

B = peso de la suciedad después del lavado (g)

TP = total de platos utilizados en la prueba

3.5.3. Características de detergente

A continuación, se describen las características que debe tener el detergente, así como el procedimiento para medirlas.

3.5.3.1. Densidad

Reactivos

- Formulación N de detergente lavavajilla líquido
- Detergente lavaplatos líquido de referencia
- Agua desmineralizada

Material y equipo

- Balanza
- Probeta de 25 mL
- Termómetro

Procedimiento

- Tarar la probeta por utilizar.
- Medir la temperatura de la formulación N de detergente lavavajilla líquido.
- Medir 10 mL de la formulación N de detergente lavavajilla líquido con la probeta.
- Pesar la probeta que contiene la formulación N de detergente lavavajilla líquido.
- Repetir la prueba cuatro veces más con la formulación N escogida.
- Realizar la prueba con cada formulación propuesta.
- La prueba se llevará acabo cinco veces con el detergente lavaplatos líquido de referencia.
- La prueba se llevará acabo cinco veces solo con agua desmineralizada de lavado.
- Los resultados de las pruebas para el detergente elaborado se comparan con los resultados del detergente de referencia y la prueba solo con agua.

3.5.3.2. pH

Reactivos

- Formulación N de detergente lavavajilla líquido
- Detergente lavaplatos líquido de referencia
- Agua desmineralizada

Material y equipo

- Probeta de 25 mL
- Potenciómetro

Procedimiento

- Medir 25 mL de la formulación N de detergente lavavajilla líquido con la probeta.
- Introducir el potenciómetro en la muestra de detergente y esperar la lectura de este.
- Repetir la prueba cuatro veces más con la formulación N escogida.
- Realizar la prueba con cada formulación propuesta.
- La prueba se llevará acabo cinco veces con el detergente lavaplatos líquido de referencia.
- La prueba se llevará acabo cinco veces solo con agua desmineralizada de lavado.

- Los resultados de las pruebas para el detergente elaborado se comparan con los resultados del detergente de referencia y la prueba solo con agua.

3.5.3.3. Nivel de espuma

Reactivos

- Formulación N de detergente lavavajilla líquido
- Detergente lavaplatos líquido de referencia
- Agua desmineralizada

Material y equipo

- Balanza
- Probeta de 100 mL
- Probeta de 500 mL
- Batidora

Procedimiento

- Medir 25 mL de agua desmineralizada.
- Medir 25 mL de la formulación N de detergente lavavajilla líquido con la probeta.
- Batear el agua desmineralizada y la formulación N de detergente lavavajilla líquido de forma constante durante 10 minutos.

- Traspasar la mezcla a una probeta de 500 mL y medir los centímetros cúbicos de espuma.
- Repetir la prueba cuatro veces más con la formulación N escogida.
- Realizar la prueba con cada formulación propuesta.
- La prueba se llevará acabo cinco veces con el detergente lavaplatos líquido de referencia.
- Los resultados de las pruebas para el detergente elaborado se comparan con los resultados del detergente de referencia.

Cálculos

Nivel de espuma

$$Nivel\ de\ espuma\ (\%) = \frac{\sum \left[\frac{(E)}{L} * 100 \right]}{TM} \quad [Ecuación\ No.\ 4]$$

Donde:

E = volumen de espuma (mL)

L = volumen de líquido agregado (g)

TM = total de muestras

3.6. Análisis estadístico

En los siguientes enunciados se establece el análisis estadístico para desarrollar el diseño experimental de este estudio. Para esto se determina la cantidad de tratamientos que se debe hacer en el experimento y el

establecimiento del análisis de hipótesis correspondiente al diseño experimental del estudio.

3.6.1. Diseño experimental

La norma NTC 5131 regula realizar cinco repeticiones en el experimento, se considera una probabilidad de éxito de 90 % (p) con una probabilidad de fracaso de 10 % (q), con un nivel de confianza del 95 %. Se estimó el error para el experimento.

$$E = \sqrt{\frac{z^2 pq}{N}} \text{ [Ecuación No.5]}$$

Donde:

N = número de repeticiones

Z = confiabilidad

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

E = error estimado

$$E = \sqrt{\frac{1,96^2 * 0,9 * 0,1}{5}} = 0,263$$

Al variar la concentración masa/masa del tensioactivo Lauril éter sulfato de sodio (SLES) y las pruebas de referencia con el detergente de referencia y con agua. Se realizarán 7 tratamientos diferentes, y 5 repeticiones de cada uno, con un total de 35 observaciones experimentales con un error estimado del 26,3 %.

Se utilizará el análisis ANOVA para determinar si existe diferencia significativa entre las diversas formulaciones que se obtendrá al variar la concentración masa/masa del tensioactivo Lauril éter sulfato de sodio (SLES). De las formulaciones propuestas se seleccionará la más eficiente y con ella se analizará una posible diferencia significativa entre la formulación seleccionada y el detergente de referencia como también con el agua desmineralizada.

3.7. Plan de análisis de los resultados

El plan de análisis de resultados se basa en las variables que se analizan en este estudio, las cuales se encuentran vinculadas a la concentración del tensioactivo utilizado.

3.7.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variable

Los métodos y modelos de datos se analizan de manera cuantitativa utilizando softwares que apoyan en análisis estadístico.

3.7.1.1. Microsoft Excel 365

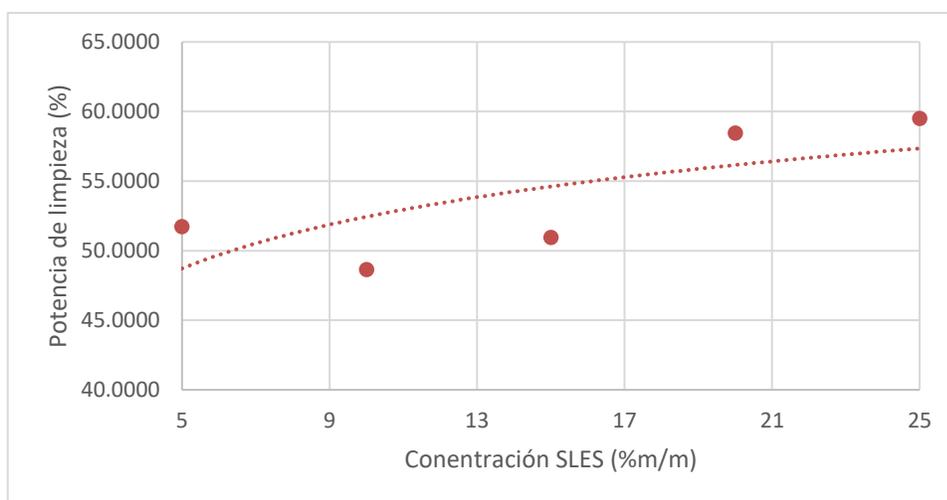
Se utilizó este programa como una hoja de cálculos para ordenar los resultados obtenidos, análisis estadísticos, pruebas de hipótesis planteadas y cálculos relacionados.

4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del trabajo de investigación, los cuales describen la comparativa entre el agua desmineralizada, el detergente lavaplatos líquido líder en el mercado y las diferentes formulaciones elaboradas de detergente lavavajillas líquido con laurel éter sulfato de sodio como tensioactivo.

También se observa el comportamiento de la eficacia de limpieza en función de la concentración de tensioactivo y el costo de fabricación del detergente líquido en función de la concentración óptima de tensioactivo.

Figura 6 **Curva de potencia de limpieza de detergente lavaplatos líquido con SLES como tensioactivo**



Fuente: Datos obtenidos del apéndice 3 de este trabajo.

Tabla I **Modelo de curva de potencia**

Modelo	R ²	Rango	Color
$y = 5,3654\ln(x) + 40,083$	0,4991	5 %-25 %	

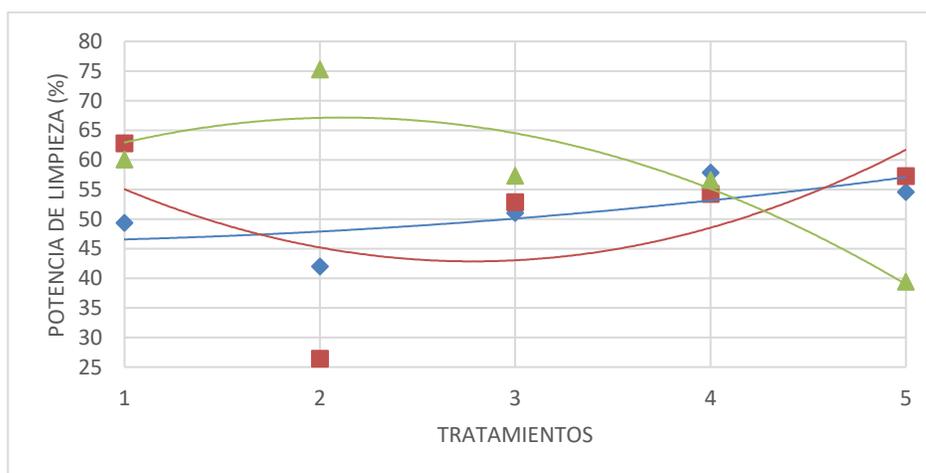
Fuente: datos obtenidos del apéndice 3 de este trabajo.

Tabla II **Matriz de Pugh de las formulaciones de detergente**

Criterio	Formulación N					
	Agua	F5 %	F10 %	F15 %	F20 %	F25 %
Densidad	-1	-1	0	0	-1	-1
Ph	0	-3	0	0	-3	-3
Nivel de espuma	-2	-2	-2	0	2	2
Potencia de limpieza	-4	-4	-4	0	4	4
Sumatoria	-7	-10	-6	0	2	2

Fuente: datos obtenidos del apéndice 4 de este trabajo.

Figura 7 **Concentración óptima de SLES vs referencia y agua**



Fuente: datos obtenidos del apéndice 3 de este trabajo.

Tabla III **Modelos de concentración de SLES**

Modelo	R ²	Curva	Color
$y = -3,3871X^2+14,334X+51,972$	0,8013	Referencia	
$y=0,4327X^2+0,0287X+46,103$	0,5008	15 % SLES	
$y=3,8337X^2-21,335+72,537$	0,2935	Agua	

Fuente: datos obtenidos del apéndice 3 de este trabajo.

Tabla IV **Costo de fabricación de detergente lavavajilla líquido
comprobación de hipótesis**

Ingredientes	Porcentaje (%)	Precio por g (Q)	Cantidad (mL)	Costo (Q)
Lauril éter sulfato de sodio al 70 %	20 %	0,03	80,000	2,00
Cloruro de sodio	6 %	0,01	24,000	0,240
Colorante amarillo	0,50 %	0,04	2,000	0,085
Fragancia	0,50 %	0,02	2,000	0,030
Agua	73 %	0,00	292,000	0,000
Total	100 %		400,000	2,355
Empaque	Precio (Q)		Cantidad	Costo (Q)
Botella con tapa dosificadora	1,50		1,00	1,50
Corrugado para 24 UxC	5,00		0,04	0,21
Tape	5,00		0,00	0,01
Stretch Film	5,00		0,05	0,25
Total material y empaque				Q 4,32
Costo manufacturación	50 %			Q 2,16
Total de costo de manufactura				Q 6,48

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se procede a la discusión de los resultados experimentales que han sido presentados en el apartado anterior. Se analizaron los datos obtenidos y se desarrolló el modelo que describe el comportamiento de la potencia detergente del lavaplatos líquido con lauril éter sulfato de sodio (SLES) como tensoactivo con concentración entre rangos de 5 a 25 %. Además de determinar la concentración óptima de SLES en el lavavajillas por medio de la matriz de Pugh y se determinó el costo de este.

Para el desarrollo de la formulación del detergente, se estudió el tensoactivo más común utilizado por la marca líder, Dodecibenceno Sulfato de Sodio, tensoactivo aniónico seleccionado por sus propiedades emulsionantes, alta solubilidad en agua y por ser completamente biodegradable al tener una estructura lineal. Sin embargo, como la mayoría de los surfactantes, su uso constante genera irritabilidad a la piel al ser derivados del petróleo.

Los tensoactivos provenientes de aceites naturales como el lauril éter sulfato de sodio (SLES), obtenido del aceite de coco o de palma, son menos irritantes para la piel por lo que son utilizados en la industria cosmética y productos de cuidado personal. Además, el SLES es un gran espumante, emulsificante y tiene mayor biodegradabilidad que Dodecibenceno Sulfato de Sodio, según la Universidad de los Andes, Venezuela.

Para determinar la concentración óptima de lauril éter sulfato de sodio se realizaron diversas formulaciones entre 5 % y 25 % de SLES a las que se le aplicaron pruebas de desempeño y medición de propiedades fisicoquímicas

principales comparándolas contra la marca líder. La prueba de desempeño constó de aplicar suciedad preparada a vajillas limpios blancos, la que se dejó secar por un periodo de 20 minutos y se pesó con ayuda de una balanza analítica.

Posteriormente se agregaron 5ml de la formulación por evaluar sobre el plato sucio y se introdujo en un recipiente con agua desmineralizada con el fin de evitar influencia por parte de la dureza del agua sobre la prueba de desempeño, ya que la parte aniónica (que está cargada negativamente) reaccionaría con los cationes de magnesio y calcio (con carga positiva). Con ayuda de un paño no texturizado se fregó la vajilla durante 15 segundos, se estiló y dejó secar durante 20 minutos más para, posteriormente, pesarla nuevamente. La diferencia de peso representó la cantidad de suciedad retirada.

La concentración óptima del detergente lavalozas se determinó por medio de la evaluación de diferentes criterios relevantes para el producto utilizando la matriz de Puhg, una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional al cual se les asigna una ponderación según su relevancia, los pesos establecidos se observan en el apéndice 4.

En la tabla I se observan los criterios evaluados para la toma de decisión de la formulación óptima, el primero es la densidad del detergente líquido donde se buscó la formulación que tuviera el valor más cercano al lavavajillas de referencia ya que el que sea menos denso da la percepción al consumidor que es menos efectivo, mientras que si su densidad es elevada el detergente tiende a dejar residuos adicionados a la loza.

El segundo criterio fue pH debido a que la irritabilidad que sufre la piel al contacto con el detergente se debe a pHs no neutros. Al comparar con el

lavaplatos líquido de referencia se observó que el pH de este era de 6,8 por lo que las formulaciones que presentaron un pH entre 6,8 y 7,5 se evaluaron con carácter superior al de referencia. El tercer criterio fue el nivel de espuma generado por el detergente ya que, según los consumidores, la presencia de espuma representa eficiencia y profundidad de limpieza.

Para su determinación se agregaron partes iguales de detergente líquido y agua desmineralizada, se agitó de manera constante durante 10 minutos y, posteriormente, se trasegó a una probeta para medir el volumen que representaba la espuma formada. Las formulaciones que tuvieron mayor volumen de espuma respecto del detergente de referencia se evaluaron superior a este.

Los tensioactivos forman micelas como mecanismos para solubilizar moléculas insolubles en agua aniónicos tienen la característica de tener un extremo hidrofílico, cargado negativamente que es atraído a uno de los hidrógenos del agua, y el otro extremo hidrofóbico que encapsula la suciedad o sustancias insolubles en medios polares, formando esferas que son arrastradas por el solvente.

Este mecanismo es el que genera el último criterio evaluado, la eficacia de limpieza, que representa la eficiencia al retirar suciedad del sustrato obtenido por medio de pruebas de lavado utilizando platos de cerámica, los cuales se untaron con distintas sustancias grasas (de origen animal y vegetal), la cual se retiró aplicando las diferentes formulaciones propuestas y comparando contra el detergente líquido lavalozza y agua desmineralizada, repitiendo cada ensayo cinco veces. Según la norma NTC 5131.

En la figura 6 se observó el comportamiento de la potencia de limpieza en función de la concentración de tensioactivo presente que es representado por un modelo matemático logarítmico, demostrando que al aumentar el porcentaje de concentración de SLES la eficiencia de limpieza aumenta.

Al evaluar todos los criterios, donde la potencia de limpieza representa el mayor peso, los resultados obtenidos por las formulaciones propuestas que fueron menores que el resultado del detergente de referencia se calificó negativamente, de lo contrario la evaluación fue positiva. Si el resultado igualó al detergente de referencia se colocó el valor cero.

En la tabla I se observa que la concentración óptima es del 15 % debido a que en todos los criterios evaluados fueron iguales al detergente de referencia, por lo que se podría sustituir con este tensioactivo al dodecilsulfato de sodio, generando una buena limpieza del sustrato, alto nivel de espuma y reduciendo la irritabilidad en la piel de los usuarios.

En la figura 7 se observó la comparación de la eficacia de limpieza en función de los tratamientos realizados de los comportamientos del detergente líquido lavalozas de referencia, agua desmineralizada y la formulación óptima con SLES como tensioactivo. En el caso del agua desmineralizada tiene un comportamiento decreciente al inicio y que se eleva en los últimos tratamientos, sin embargo, la mayoría de los tratamientos se encontraron por debajo del detergente de referencia.

El comportamiento del detergente líder fue constante al inicio, pero decae en la última prueba, mientras que la formulación propuesta incrementa su potencia de limpieza de manera constante debido a que el tensioactivo está

suspendido en el diluyente y con forme se deja reposar, por gravedad, se asienta en la parte baja del contenedor generando una mayor concentración.

Por último, se observa en la tabla II el costo de materia prima y empaque para detergente líquido lavavajillas en presentación botella de 400 ml (peso neto trabajado por la marca líder) el que se estimó en Q 4,32. En el costo final se debe considerar el monto por la fabricación del producto, el que se estableció como el 50 % del costo total de material de empaque y materia prima. Al comparar el precio de venta de esta presentación, se tendría una ganancia del 131 %.

CONCLUSIONES

1. Se escogió el lauril éter sulfato de sodio (SLES) como tensioactivo debido que, al ser proveniente de aceites naturales, como aceite de coco o palma, son menos irritantes para la piel. Además, es un gran espumante, emulsificante y tiene mayor biodegradabilidad que dodecilbenceno sulfato de sodio, tensioactivo más común en la industria.
2. Se elaboraron cinco formulaciones con concentración en un rango de 5 % a 25 % de lauril éter sulfato sódico ($C_{12}H_{25}NaO_3S$) como tensioactivo, que tiene la función de encapsular la suciedad y volverla soluble en un medio polar, aprobado por la norma NTC 5131. Conforme se aumentaba la concentración la potencia de limpieza incrementaba con un comportamiento logarítmico caracterizado por el modelo matemático $y = 5,3654 \ln(x) + 40,083$.
3. La concentración óptima de lauril éter sulfato sódico ($C_{12}H_{25}NaO_3S$) es de 15 %. Según la matriz de Pugh, herramienta que por medio de ponderaciones ayuda a la toma de decisiones, se evaluaron diversos criterios comparables contra el lavaplatos líquido manual líder del mercado como la densidad, pH, nivel de espuma y eficacia de limpieza.
4. El costo total de manufactura para la elaboración de detergente líquido lavavajillas manual, utilizando SLES como tensioactivo, para una presentación de 400 mL es de Q 6,48, teniendo el 131 % de ganancia al compararse al precio de venta del lavalozas líquido de la marca líder con tensioactivo dodecilbenceno sulfato de sodio (LAS).

RECOMENDACIONES

1. Según la base de datos de ingredientes para detergente (DID) existen una gran variedad de tensioactivos que podrían ser potenciales componentes activos para la elaboración de detergentes lavavajillas, por su alta biodegradabilidad, potencia de limpieza y compatibilidad con la piel.
2. Aumentar el rango de concentraciones del lauril éter sulfato de sodio (SLES) presente en la formulación para generar un modelo matemático con mayor exactitud.
3. Considerar otros criterios de evaluación para la matriz de Pugh, que sean relevantes en la investigación de tensioactivos idóneos para la elaboración de detergentes lavavajillas como la viscosidad o el tiempo de vida del tensioactivo en base a la reducción de la eficacia de limpieza.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALTMAJER VAZ, Deisi. *Formulaciones detergentes biodegradables: ensayos de lavado*. Trabajo de graduación en Ing. Química. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España. 2004. 297 p.
2. BROZE, Guy. *Handbook of detergents. Part A & D: Properties & Formulation*. Marcel Dekker Inc. Nueva York, Estados Unidos. 1999. 787 p.
3. CARRILLO, José, SERRES, Gabriela, MORENO, Jesús, *et al.* *Elaboración de detergente lavaplatos líquido*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 2012. 36 p.
4. CENIA C. Ltda. *Estudio de la biodegradación de los detergentes comerciales domésticos de nuestro país*. Laboratorio CENIA C. Bogotá, Colombia. S.f. 95 p.
5. DORADO, A.P. *Detergentes*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España. 1996. 208 p.
6. FESSENDEN, Ralph J. *Química orgánica*. Universidad de Montana, Estados Unidos. 1983. 1 032 p. ISBN 0-534-03144-9.

7. FUENTES, Claudia. *Elaboración de dos detergentes líquidos experimentales y su correspondiente evaluación de calidad detergiva*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 1990. 108 p.
8. GIL MUÍÑO, Ana. *Análisis y caracterización de agentes tensioactivos, polímeros y química fina en un laboratorio de control*. Trabajo de graduación de Máster en Ciencias, Tecnologías y Gestión Ambiental, Universidade da Caruña. 2014. 68 p.
9. HERRERA, Juan. *Estructura esquemática de un surfactante aniónico*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Estructura-esquemática-de-un-surfactante-anionico-Genapol-LRO-lauril-eter_fig1_291522012>. [consulta: 15 febrero 2019].
10. HERRERA TORREBLANCA, Ximena Johana. *Determinación y evaluación comparativa de la cinética de biodegradabilidad de los tensioactivos Lauril éter sulfato de sodio (aniónico), alcohol etoxilado (no aniónico) y cocoamido propil betaína (anfótero) en condiciones ambientales*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 2017. 160 p.
11. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Etiquetas ambientales tipo I. sello ambiental colombiano, criterios para productos limpiadores Institucionales Industriales y para uso doméstico*. Bogotá, Colombia. 2011. 59 p. ICS 13.020.50; 71.100.35.

12. Instituto Nacional de Toxicología. *Productos de limpieza y mantenimiento de uso doméstico*. Madrid, España. s.f. 56 p.
13. Kreienfeld, G y Stoll, G. *Surfactants in consumer products and raw material situation-a brief survey*. Alkyl Polyglycosides. 1997. 242 p. ISBN 978-352-729-451-0.
14. KURLAT, José. *Química: Elaboración de detergente lavavajilla*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina. 2009. 24 p. ISBN 978-950-532-144-5.
15. LECHUGA VILLENA, Manuela María. *Biodegradación y toxicidad de tensioactivos comerciales*. Trabajo de graduación de Doctor en Ing. Química. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España. 2005. 457 p.
16. PONCE, Miguel Ángel. *Determinación de la biodegradabilidad de varios detergentes aniónicos*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 1985. 99 p.
17. QUIMINET. *Conozca los usos y aplicaciones del lauril éter sulfato de sodio*. [en línea]. <<https://www.quiminet.com/articulos/conozca-los-usos-y-aplicaciones-del-lauril-eter-sulfato-de-sodio-3403327.htm>>. [Consulta 04 de febrero 2019].
18. SALAGER, Jean Louis. y FERNÁNDEZ, A. *Surfactantes: Surfactantes aniónicos*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 2004. 29 p.

19. SÁNCHEZ-LEAL, Joaquín. *Aspectos ecológicos de los detergentes*. GPE: Colección temas medioambientales, Barcelona, España. 1990. 273 p.
20. SANZ TEJADOR, Ascensión. *La industria de los agentes tensoactivos*. [en línea]. <<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>> [Consulta 07 de febrero 2019].
21. VELÁSQUEZ, Mario Alberto. *Comparación teórica del uso de un compuesto activo en un detergente líquido lavavajillas de alta biodegradabilidad y baja toxicidad a partir de tensioactivos aniónicos y no iónicos*. Trabajo de graduación de técnico Químico. Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 2016. 151 p.
22. WOLFGANG, Rupilius. *Uso de los aceites de palma*. PALMAS, Vol. 28 No. Especial, Tomo 1. Alemania. 2007. 6 p.

APÉNDICES

Apéndice 1 Datos originales para la descripción del comportamiento de la potencia de limpieza del detergente líquido lavavajillas elaborado

Formulación con concentración de tensioactivo al 15 %						
	No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	220,05	220,15	219,14	220,18	219,25
	2	220,12	220,12	219,14	220,20	219,26
	3	220,08	220,10	219,15	220,20	219,26
	Promedio	220,08	220,12	219,14	220,19	219,26
Masa suciedad inicial (g)	1	238,19	238,13	240,17	242,81	235,99
	2	238,20	238,24	240,19	242,83	235,99
	3	238,22	238,18	240,09	242,82	236,00
	Promedio	238,20	238,18	240,15	242,82	235,99
Masa suciedad final (g)	1	228,88	227,92	228,86	230,22	229,14
	2	228,88	227,93	228,87	230,21	229,14
	3	228,86	227,92	228,88	230,22	229,14
	Promedio	228,87	227,92	228,87	230,22	229,14

Formulación con concentración de tensioactivo al 10 %						
	No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	219,23	220,11	220,05	219,14	220,18
	2	219,24	220,12	220,04	219,16	220,20
	3	219,24	220,11	220,05	219,14	220,20
	Promedio	219,24	220,11	220,05	219,14	220,20

Continuación apéndice 1.

Masa suciedad inicial (g)	1	248,32	244,99	248,61	249,77	256,08
	2	248,33	244,99	248,60	249,78	256,08
	3	244,99	248,60	248,60	249,77	256,07
	Promedio	247,21	246,19	248,60	249,77	256,08
Masa suciedad final (g)	1	235,14	233,97	235,78	232,76	236,97
	2	235,14	233,97	235,79	232,78	236,97
	3	235,16	233,96	235,79	232,78	236,97
	Promedio	235,15	233,97	235,78	232,77	236,97

Formulación con concentración de tensioactivo al 15 %						
	No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	219,17	220,20	220,08	219,24	220,03
	2	219,15	220,21	220,10	219,25	220,05
	3	219,15	220,21	220,10	219,24	220,05
	Promedio	219,16	220,20	220,09	219,24	220,04
Masa suciedad inicial (g)	1	241,42	242,99	243,58	244,41	243,03
	2	241,41	242,99	243,58	244,41	243,04
	3	241,41	242,99	243,58	244,41	243,03
	Promedio	241,41	242,99	243,58	244,41	243,03
Masa suciedad final (g)	1	230,43	233,42	231,60	229,87	230,49
	2	230,44	233,42	231,61	229,86	230,49
	3	230,42	233,42	231,60	229,86	230,48
	Promedio	230,43	233,42	231,60	229,86	230,49

Continuación apéndice 1.

		Formulación con concentración de tensioactivo al 25 %					
		No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	219,25	220,07	220,11	220,19	219,15	
	2	219,25	220,06	220,11	220,20	219,14	
	3	219,26	220,07	220,12	220,20	219,13	
	Promedio	219,25	220,07	220,11	220,20	219,14	
Masa suciedad inicial (g)	1	247,32	244,68	253,98	261,68	258,09	
	2	247,31	244,66	254,02	261,67	258,09	
	3	247,32	244,65	253,99	261,67	258,09	
	Promedio	247,31	244,66	254,00	261,67	258,09	
Masa suciedad final (g)	1	231,05	230,80	232,20	239,24	234,95	
	2	231,03	230,79	232,21	239,23	234,95	
	3	231,04	230,79	232,20	239,23	234,94	
	Promedio	231,04	230,79	232,20	239,23	234,95	

		Formulación con concentración de tensioactivo al 25 %					
		No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	220,21	219,14	220,10	220,04	219,28	
	2	220,19	219,14	220,10	220,03	219,27	
	3	220,19	219,14	220,10	220,04	219,28	
	Promedio	220,19	219,14	220,10	220,04	219,27	
Masa suciedad inicial (g)	1	248,16	242,56	248,60	245,21	252,09	
	2	248,15	242,56	248,60	245,21	252,09	
	3	248,15	242,56	248,61	245,21	252,09	
	Promedio	248,15	242,56	248,60	245,21	252,09	

Continuación apéndice 1.

Masa suciedad final (g)	1	229,53	228,18	232,05	231,65	233,18
	2	229,54	228,19	232,04	231,65	233,17
	3	229,53	228,18	232,04	231,65	233,19
	Promedio	229,53	228,19	232,04	231,65	233,18

		Agua					
		No. De muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	219,23	220,10	219,11	220,07	220,19	
	2	219,21	220,10	219,13	220,06	220,22	
	3	219,22	220,12	219,11	220,05	220,18	
	Promedio	219,22	220,10	219,12	220,06	220,20	
Masa suciedad inicial (g)	1	243,44	238,76	247,77	241,01	242,62	
	2	243,45	238,77	247,79	241,03	242,64	
	3	243,44	238,79	247,78	241,03	242,65	
	Promedio	243,44	238,77	247,78	241,02	242,64	
Masa suciedad final (g)	1	228,22	233,86	232,64	226,33	229,78	
	2	228,25	233,84	232,64	226,33	229,81	
	3	228,23	233,83	232,62	236,31	229,81	
	Promedio	228,23	233,84	232,63	229,65	229,80	

		Referencia					
		No. De Muestra	1	2	3	4	5
Masa sustrato (g)	1	219,23	220,07	220,18	220,06	219,13	
	2	219,30	220,07	220,21	220,02	219,14	
	3	219,24	220,08	220,22	220,05	219,13	
	Promedio	219,26	220,07	220,20	220,04	219,13	

Continuación apéndice 1.

Masa suciedad inicial (g)	1	246,31	256,29	247,07	256,85	260,93
	2	246,35	256,32	247,09	256,86	260,95
	3	246,35	256,31	247,10	256,86	261,00
	Promedio	246,34	256,30	247,09	256,85	260,96
Masa suciedad final (g)	1	230,08	229,04	231,69	236,03	244,47
	2	230,06	229,06	231,69	236,00	244,46
	3	230,08	229,05	231,68	236,02	244,47
	Promedio	230,07	229,05	231,69	236,02	244,47

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2 **Datos originales para la descripción del comportamiento de la densidad, pH y nivel de espuma generado por el detergente líquido lavavajillas elaborado**

	Repetición	Formulación N					
		Ref	F5%	F10%	F15%	F20%	F25%
Masa detergente lavavajilla (g)	1	10,282	10,217	10,409	10,775	10,802	11,13
	2	10,294	10,182	10,377	10,757	10,832	10,97
	3	10,518	10,289	10,765	10,732	10,852	10,904
	Promedio	10,365	10,229	10,517	10,755	10,829	11,001
Densidad detergente lavavajilla (g/ml)	1	1,028	1,022	1,041	1,078	1,080	1,113
	2	1,029	1,018	1,038	1,076	1,083	1,097
	3	1,052	1,029	1,077	1,073	1,085	1,090
	Promedio	1,036	1,023	1,052	1,075	1,083	1,100
Nivel de espuma (ml)	1	23,000	19,000	21,000	22,000	26,000	29,000
	2	25,000	20,000	20,000	25,000	25,000	27,000
	3	23,000	16,000	23,000	24,000	23,000	30,000
	Promedio	23,667	18,333	21,333	23,667	24,667	28,667
pH detergente lavavajilla	1	7,100	4,700	7,500	7,300	8,000	8,100
	2	6,700	4,800	7,300	7,600	8,200	8,500
	3	6,600	4,900	7,500	7,600	8,300	8,300
	Promedio	6,800	4,800	7,433	7,500	8,167	8,300

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3 **Datos calculados para la determinación de la potencia
detersiva del detergente líquido lavavajillas**

	No. De muestra	1	2	3	4	5
F5%	1	51,276	56,759	53,773	55,640	40,913
	2	51,554	56,887	53,751	55,740	40,944
	3	51,571	56,755	53,567	55,697	40,974
	Promedio	51,467	56,800	53,697	55,692	40,943
F10%	1	45,298	44,282	44,930	55,532	53,219
	2	45,359	44,319	44,851	55,501	53,264
	3	38,184	51,399	44,895	55,478	53,255
	Promedio	42,947	46,667	44,892	55,504	53,246
F15%	1	49,395	41,973	50,974	57,765	54,547
	2	49,283	42,014	50,997	57,847	54,591
	3	49,389	42,020	51,016	57,824	54,591
	Promedio	49,356	42,003	50,996	57,812	54,576
F20%	1	57,948	56,376	64,302	54,071	59,430
	2	58,026	56,387	64,311	54,123	59,409
	3	58,015	56,405	64,332	54,103	59,416
	Promedio	57,996	56,389	64,315	54,099	59,419
F25%	1	66,632	61,389	58,081	53,874	57,623
	2	66,571	61,383	58,096	53,863	57,642
	3	66,588	61,399	58,133	53,859	57,600
	Promedio	66,597	61,390	58,103	53,865	57,622
AGUA	1	62,850	26,248	52,811	70,120	57,243
	2	62,727	26,401	52,868	70,114	57,249
	3	62,810	26,587	52,869	22,493	57,159
	Promedio	62,796	26,412	52,849	54,243	57,217
REFERENCIA	1	59,934	75,240	57,180	56,589	39,363
	2	60,208	75,204	57,311	56,612	39,431
	3	60,031	75,217	57,343	56,619	39,477
	Promedio	60,058	75,221	57,278	56,607	39,424

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4 **Datos calculados para matriz de Pugh**

Peso			
Densidad	1	pH	3
Nivel de espuma	2	Potencia de limpieza	4

Formulación N						
Criterio	Agua	F5%	F10%	F15%	F20%	F25%
Densidad	-1	-1	0	0	1	1
pH	0	-1	0	0	-1	-1
Nivel de espuma	-1	-1	-1	0	1	1
Potencia de limpieza	-1	-1	-1	0	1	1
Sumatoria	-3	-4	-2	0	2	2

Formulación N						
Criterio	Agua	F5%	F10%	F15%	F20%	F25%
Densidad	-1	-1	0	0	-1	-1
pH	0	-3	0	0	-3	-3
Nivel de espuma	-2	-2	-2	0	2	2
Potencia de limpieza	-4	-4	-4	0	4	4
Sumatoria	-7	-10	-6	0	2	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5 **Análisis estadístico obtenido por hoja de cálculo de Microsoft Excel**

Análisis de varianza de un factor Hipótesis 1

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	258,599	51,719	40,423
Columna 2	5	243,255	48,651	29,669
Columna 3	5	254,742	50,948	35,709
Columna 4	5	292,217	58,443	14,680
Columna 5	5	297,577	59,515	22,792

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	465,920	4	116,480	4,064	0,014	2,866
Dentro de los grupos	573,1017	20	28,655			
Total	1039,022	24				

Análisis de varianza de un factor hipótesis 2

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	258,599	51,719	40,423
Columna 2	5	243,255	48,651	29,669
Columna 3	5	254,742	50,948	35,709
Columna 4	5	292,217	58,443	14,680
Columna 5	5	297,577	59,515	22,792
Columna 6	5	253,517	50,703	198,960

Continuación apéndice 5.

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	507,324	5	101,464	1,778	0,155	2,620
Dentro de los grupos	1368,945	24	57,039			
Total	1876,269	29				

Análisis de varianza de un factor Hipótesis 3

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	5	258,599	51,719	40,423
Columna 2	5	243,255	48,651	29,669
Columna 3	5	254,742	50,948	35,709
Columna 4	5	292,217	58,443	14,680
Columna 5	5	297,577	59,515	22,792
Columna 6	5	288,586	57,717	161,980

Análisis de varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	528,052	5	105,610	2,075	0,103	2,620
Dentro de los grupos	1221,025	24	50,876			
Total	1749,077	29				

Fuente: elaboración propia.

