

**PROPUESTA DE UN TENSOACTIVO DE ORIGEN VEGETAL COMO SUSTITUTO
PARCIAL DE MATERIALES DERIVADOS DEL PETRÓLEO EN LA FABRICACIÓN
DE CREMA LAVALOZA EN LA PLANTA DE ASEO LA JOYA, CASALUKER S.A.**

PAULA CATALINA RÍOS BOHÓRQUEZ

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

DIRECTOR

ADRIANA SUESCA DIAZ

INGENIERA QUÍMICA, MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Adriana Suesca Diaz

Firma del Director

Jurado 1

Firma del Jurado

Jurado 2

Firma del Jurado

Bogotá D.C., Junio de 2024.

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector de Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavidez Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Nalily Patricia Guerra Prieto

Directora Departamento de Ingeniería Química

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado está dedicado en primer lugar a Dios, por guiarme durante este camino, por brindarme salud, tenacidad y resiliencia a lo largo de la carrera, por mantenerme firme en los momentos en que los cuales desvanecía, por permitirme crecer como persona y como profesional y alcanzar un logro tan importante en mi vida y la de mi familia.

A mi papá Wveymar Edilberto Ríos Ríos quien creyó en mí, me dio la oportunidad y las herramientas para estudiar, quien estuvo conmigo en cada paso y me brindó su apoyo incondicional. Gracias a él se construyó la persona que soy hoy en día y he podido cosechar cada logro.

A mi mamá, Sandra Yaneth Bohórquez Téllez quien me acompañó durante las decaídas, me brindó las fuerzas para continuar, su apoyo en los días difíciles y en las noches eternas. Mi mamá quien ha creído y ha visualizado en mí una gran mujer de la cual se ha sentido orgullosa desde el primer día.

A Lorena Julieth Hurtado Bernal quien me dio la oportunidad, la confianza y el apoyo en el desarrollo de este trabajo, quien desde el día número uno me brindó de su tiempo, transmitió su conocimiento y me ha permitido aprender de la mejor ingeniera química, formuladora y persona que he conocido.

Por último, está dedicado a cada persona que hizo parte de este maravilloso recorrido, a aquellos que iniciaron conmigo, a quienes conocí en el camino y quienes llegaron hasta el final, a cada persona que me brindó alegrías, enseñanzas y aportó en la persona y profesional que se construyó durante estos 5 años.

AGRADECIMIENTOS

Este camino me ha permitido aprender, crecer y especialmente agradecer por cada vivencia, es por ello por lo que agradezco a Dios por estos 5 años de trayectoria, por permitirme vivir momentos únicos que me harán recordar a la Universidad de América con un inmenso cariño. Un lugar en el que reí, lloré, me estresé y sentí la mejor de las satisfacciones al cosechar cosas bonitas de grandes esfuerzos. Me llevo maravillosos recuerdos de personas pasajeras, a quienes agradezco porque su compañía me hizo inmensamente feliz y aquellas que espero tener por siempre en mi vida, quienes batallaron a mi lado por conseguir este logro.

Quiero agradecerle a cada persona que hizo posible el desarrollo de este trabajo, a quienes tomaron de su tiempo para guiarme y enseñarme de cada proceso, me ayudaron en la elaboración de cada prototipo, análisis y pruebas. Esta tesis lleva el trabajo de personas maravillosas, quienes pese a que no aparezcan como autores sin ellos no hubiera sido posible su ejecución.

Le agradezco a mi familia, porque sin ellos no hubiera sido posible llegar hasta aquí, porque fueron los primeros en creer que se podía antes que yo, nunca dudaron que llegaría este gran momento, por mantenerse a mi lado en cada paso, acompañarme en cada momento y disfrutar junto a mí de la finalización de este gran proyecto, el cual espero pueda ayudar a los próximos estudiantes que incursionen en la implementación de materiales que impacten de manera positiva el medio ambiente y la sociedad.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
OBJETIVOS	13
INTRODUCCIÓN	14
JUSTIFICACIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Formulación crema lavalozza	18
1.2. Tensoactivos	20
<i>1.2.1. Clasificación de tensoactivos</i>	21
<i>1.2.2. Reacciones de obtención</i>	22
<i>1.2.3. Propiedades de los tensoactivos</i>	24
1.3. Características y atributos de la crema lavalozza	26
1.4. Estabilidad	27
1.5. Marco legal y normativo	28
1.6. Moléculas Tensoactivas de Origen Vegetal	30
<i>1.6.1. Hidroxisultaina</i>	30
<i>1.6.2. Alquilpoliglucósido</i>	31
<i>1.6.3. Alfa Olefinas Sulfonadas</i>	33
2. DIAGNOSTICO ACTUAL CREMA LAVALOZA LA JOYA	38
2.1. Estructura La Joya - Casa Luker S.A.	38
<i>2.1.1. Historia</i>	38
<i>2.1.2. Áreas involucradas</i>	38
2.2. Caracterización general del proceso	39
<i>2.2.1. Diagrama de bloques</i>	39
2.3. Tensoactivos	44
<i>2.3.1. Tensoactivo de origen petroquímico</i>	44
<i>2.3.2. Tensoactivo de origen oleoquímico</i>	48
2.4. Comportamiento del producto	52
<i>2.4.1. Análisis fisicoquímicos y características del producto</i>	53
<i>2.4.2. Estabilidad del producto</i>	60

2.4.3. <i>Control de peso y dureza</i>	63
3. DISEÑO EXPERIMENTAL	65
3.1. Variables independientes	65
3.1.1. <i>Tipos de co-tensoactivos</i>	65
3.1.2. <i>Relación</i>	68
3.2. Variables dependientes	70
3.3. Variables de respuesta	70
3.4. Hipótesis	70
3.4.1. <i>Hipótesis nula</i>	70
3.4.2. <i>Hipótesis alternativa</i>	71
3.5. Tipo de diseño de experimentos	71
3.6. Matriz de experimentos	72
4. RESULTADOS	74
4.1. Prototipos	74
4.1.1. <i>Hidroxisultaina</i>	74
4.1.2. <i>Alquilpoliglucósido</i>	76
4.1.3. <i>Alfa Olefina Sulfonada</i>	78
4.2. Variable de respuesta: Desempeño	79
4.2.1. <i>Análisis ANOVA</i>	80
4.3. Factibilidad financiera	83
4.3.1. <i>Alquilbenceno Sulfonato Lineal</i>	84
4.3.2. <i>Tensoactivos de origen vegetal</i>	85
4.4. Prototipo 85:15 (LAS:AOS)	88
4.4.1. <i>Prueba en planta</i>	89
4.4.2. <i>Estabilidad</i>	92
4.4.3. <i>Costo formulación</i>	94
5. CONCLUSIONES	96
REFERENCIAS	98
ANEXOS	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Crema Lavalozza La Joya.	18
Figura 2. Representación de un tensoactivo y su actividad.	21
Figura 3. Tendencia de los tensoactivos anfóteros según su pH.	22
Figura 4. Reacción de Friedel-Crafts.	23
Figura 5. Reacción de transesterificación.	24
Figura 6. Escala de HLB.	25
Figura 7. Síntesis Hidroxisultaínas.	31
Figura 8. Ruta de fabricación de los Alquilpoliglucósidos.	32
Figura 9. Síntesis Alquilpoliglucósidos.	33
Figura 10. Procesos de obtención Olefinas.	35
Figura 11. Deshidratación del bioetanol.	36
Figura 12. Metátesis del etileno.	36
Figura 13. Conversión de biometanol en Olefinas.	37
Figura 14. Estructura química Alfa Olefina Sulfonada.	37
Figura 15. Proceso de Producción Crema Lavalozza La Joya.	39
Figura 16. Tanques de fabricación Crema Lavalozza.	40
Figura 17. Reacción de neutralización.	41
Figura 18. Agitador helicoidal.	42
Figura 19. Tanques pulmón.	43
Figura 20. Síntesis de alquilbenceno lineal.	45
Figura 21. Obtención alquilbenceno lineal.	45
Figura 22. Sulfonación alquilbenceno lineal.	46
Figura 23. Transesterificación de triglicéridos.	49
Figura 24. Sulfonación y neutralización del tensoactivo de origen oleoquímico.	50
Figura 25. Ecuación % material soluble en alcohol.	53
Figura 26. Diagrama de flujo determinación material soluble en alcohol.	54
Figura 27. Diagrama de flujo determinación % de activo aniónico.	55
Figura 28. Ingrediente activo aniónico.	56
Figura 29. Diagrama de flujo determinación nivel de espuma.	59

Figura 30. Montaje determinación nivel de espuma.	60
Figura 31. Diseño factorial.	72
Figura 32. Prototipos Crema Lavalozza La Joya LAS e Hidroxisultaina.	75
Figura 33. Prototipos Crema Lavalozza La Joya LAS y Alquilpoliglucósido.	77
Figura 34. Prototipos crema Lavalozza La Joya LAS y Alfa Olefina Sulfonada.	78
Figura 35. Gráfica desempeño prototipos homologación Crema Lavalozza La Joya.	81
Figura 36. Gráfica de intervalos de desempeño.	82
Figura 37. Tendencia TRM.	84
Figura 38. Tendencia del LAS.	85
Figura 39. Costo materias primas.	87
Figura 40. Envasado de Crema Lavalozza prueba en planta.	90
Figura 41. Gráfica estabilidad Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).	93
Figura 42. Gráfica control peso y dureza Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Estándares productivos Crema Lavalozza La Joya 500 G.</i>	43
Tabla 2. <i>Diagrama Gantt Proceso de Producción de Crema Lavalozza La Joya 500 G.</i>	44
Tabla 3. <i>Especificaciones técnicas tensoactivo petroquímico.</i>	47
Tabla 4. <i>Consideraciones de almacenamiento.</i>	48
Tabla 5. <i>Especificaciones técnicas tensoactivo oleoquímico.</i>	51
Tabla 6. <i>Condiciones de Almacenamiento Tensoactivo Oleoquímico.</i>	52
Tabla 7. <i>Rango de aceptación atributos crema lavalozza La Joya.</i>	56
Tabla 8. <i>Análisis fisicoquímicos estándar Crema Lavalozza La Joya.</i>	57
Tabla 9. <i>Análisis fisicoquímicos Crema Lavalozza La Joya Relación 70:30 (LAS: TO).</i>	58
Tabla 10. <i>Evaluación física crema lavalozza La Joya.</i>	61
Tabla 11. <i>Estabilidad estándar Crema Lavalozza La Joya.</i>	62
Tabla 12. <i>Estabilidad Crema Lavalozza La Joya 70:30 (LAS : TO).</i>	63
Tabla 13. <i>Pérdida de peso Crema Lavalozza La Joya.</i>	64
Tabla 14. <i>Dureza Crema Lavalozza La Joya.</i>	64
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas Hidroxisultaina</i>	66
Tabla 16 <i>Especificaciones técnicas Alquilpoliglucósido.</i>	67
Tabla 17 <i>Especificaciones técnicas Alfa Olefina Sulfonada</i>	68
Tabla 18 <i>Factores, niveles y rangos</i>	71
Tabla 19 <i>Matriz diseño de experimentos</i>	73
Tabla 20 <i>Propiedades fisicoquímicas Prototipos e Hidroxisultaina</i>	76
Tabla 21 <i>Propiedades fisicoquímicas prototipos APG.</i>	77
Tabla 22 <i>Propiedades fisicoquímicas prototipos AOS</i>	79
Tabla 23 <i>Desempeño Prototipos Homologación Crema Lavalozza La Joya</i>	81
Tabla 24 <i>Resultados ANOVA AB.</i>	82
Tabla 25 <i>Costo materias primas.</i>	86
Tabla 26 <i>Tiempos prueba en planta Crema Lavalozza La Joya 500 G</i>	90
Tabla 27 <i>Análisis fisicoquímicos prueba en planta Crema Lavalozza La Joya</i>	91
Tabla 28 <i>Estabilidad Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).</i>	92
Tabla 29 <i>Pérdida de peso Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).</i>	93
Tabla 30 <i>Dureza Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).</i>	94

RESUMEN

La sustitución de materiales derivados del petróleo por alternativas de origen vegetal en productos de higiene domestica contribuye a la preservación del medio ambiente y de la sociedad, por lo que este trabajo se enfoca en la implementación de tensoactivos de base vegetal como lo son las Hidroxisultainas, los Alquilpoliglucósidos y las Alfa Olefinas Sulfonadas en la crema lavalozza La Joya producida por Casa Luker S.A. a partir de la caracterización del producto e investigación de las propiedades de cada molécula tensoactiva, a fin de plantear el diseño de experimentos de los prototipos en relación al tensoactivo de origen petroquímico.

Al incorporar cada tensoactivo se determinó la importancia en la sinergia del carácter químico de cada molécula, por lo que se selecciona la Alfa Olefina Sulfonada como el sustituto parcial del ácido sulfónico en un 15% de la formulación, donde se evaluó su comportamiento en un batch de 900 kg, a fin de determinar la viabilidad productiva de este material, el cual influyó en los tiempos de producción, envasado y fraguado de la crema lavalozza La Joya debido a la fluidez que este le proporcionó a la mezcla, así como en su desempeño alcanzando un nivel de remoción de suciedad de 10,5 platos. En cuanto a su viabilidad económica esta alternativa reduce un 1% el costo/kilo de la formulación, por lo que frente a volúmenes importantes de fabricación incrementa su viabilidad financiera.

Palabras clave: Tensoactivo, Crema Lavalozza, Formulación, Desempeño, Fisicoquímicos, Humedad, Dureza, Fraguado, Biodegradabilidad, Costo, Viabilidad Financiera.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer un tensoactivo de origen vegetal para la sustitución parcial de materiales de origen petroquímico en la formulación de la crema lavalozza de la planta de aseo La Joya.

Objetivos Específicos

Caracterizar el proceso de fabricación actual junto con las propiedades del producto obtenido (físicas, químicas y organolépticas).

Seleccionar un tensoactivo compatible con las características y propiedades del producto mediante sus especificaciones técnicas.

Evaluar el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del producto basado en la implementación del tensoactivo propuesto.

Determinar la factibilidad operativa del prototipo seleccionado frente al proceso de fabricación actual.

INTRODUCCIÓN

CasaLuker S.A. es una empresa con 110 años de trayectoria, reconocida a nivel nacional por su portafolio de alimentos a base de cacao [1]. No obstante, a partir del 2002 incursiona en la industria de aseo adquiriendo la planta La Joya dedicada a la elaboración de productos de higiene doméstica, con más de 60 años de historia, destacando artículos de limpieza para pisos, ropa, desinfectantes y demás variedad de productos líquidos, sólidos y semisólidos [1], tal como lo son la crema lavalozza la cual posee el 60% de participación de la producción mensual de la planta, lo cual equivale en promedio a 800 toneladas.

La crema lavalozza es un producto semisólido, el cual remueve la suciedad y grasa de los elementos de cocina gracias a sus componentes químicos, dentro de los cuales predominan los tensoactivos, quienes se encargan de reducir la tensión superficial entre dos fluidos inmiscibles. Estos se clasifican según su estructura química en no iónicos, anfóteros, catiónicos y para el caso de la crema los aniónicos los cuales poseen una fracción polar negativa (grupo hidrófilo), lo que determina su actividad superficial entre los fluidos y por ende el comportamiento de miscibilidad (solvente y soluto) [2].

Este producto es fabricado a partir de un tensoactivo de origen petroquímico, el cual surge de la reacción de fracciones seleccionadas de la refinación de petróleo [3]. Sin embargo, al ser un derivado de combustibles fósiles, a gran escala puede promover la producción de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero los cuales están asociados con el cambio climático y el calentamiento global [4]. Asimismo, al ser una materia prima de origen petroquímico, su nivel de abastecimiento es limitado al depender de un recurso no renovable, por ende, según la oferta y la demanda esta puede incrementar su costo, debido a su dependencia de los indicadores macroeconómicos tales como la Tasa Representativa del Mercado (TRM) y el costo del barril de petróleo, influyendo así en el costo de este tipo de materiales, variando el precio final del producto.

Por ello, una de las alternativas sostenibles que han surgido durante los últimos años, son los tensoactivos de origen vegetal, los cuales han tomado mayor fuerza dentro de las industrias debido a su alto índice de biodegradabilidad, composición definida, compatibilidad y además funcionalidad [3]. Estos se derivan en su totalidad o parcialmente de recursos renovables o

forestales, cuyo principal atractivo es su baja toxicidad, estabilidad, eficiencia en el desempeño superficial e interfacial, disponibilidad y solubilidad en agua [3], por lo que su aporte de elementos químicos a los cuerpos de agua residuales es mínimo, considerando los lineamientos establecidos en las Resoluciones 0689 de 2016 y 1770 de 2018 respectivamente, donde se establecen los límites máximos de fósforo (0,65%) y el valor mínimo requerido de biodegradabilidad (60%), reduciendo su impacto en los ecosistemas [5]. No obstante, estos tensoactivos en su mayoría poseen un costo elevado, lo cual se ve contrarrestado ya que estos se destacan por tener un alto desempeño, por ende, se reduce la dosificación necesaria establecida en la fórmula respecto a los tensoactivos petroquímicos, contribuyendo así directamente al objetivo de triple impacto como Empresa B aportando en el cumplimiento de los criterios normativos, y los objetivos económicos, estratégicos y sociales de la compañía.

Por lo anterior, este proyecto se focaliza en la búsqueda e implementación de un tensoactivo de origen vegetal que logre suplir en un porcentaje parcial de la formulación el uso de tensoactivos derivados del petróleo en la crema lavalozza. Con la finalidad de cumplir y dar una alternativa accesible y eficiente considerando el nivel de abastecimiento del material, su influencia en el costo/kilo estimado, la mejora del desempeño y el índice de biodegradabilidad del producto, sin influir en las condiciones operativas de la planta y específicamente en el tiempo de fraguado de la crema.

JUSTIFICACIÓN

Durante los últimos años ha aumentado la conciencia sobre la higiene y desinfección del hogar debido a las diversas enfermedades de salud pública e inseguridad sanitaria que han surgido en el mundo incrementando la demanda de productos de aseo, los cuales desempeñan un rol importante en diversos sectores de la vida desde el hogar hasta la industria. Es por ello, que diversas empresas se han centrado en la creación de artículos que sean ecológicos, sostenibles y a un precio asequible, como es el caso de CasaLuker S.A., quienes buscan alternativas que permitan contribuir con el medio ambiente y la economía a partir de sus productos de aseo, siendo la Crema Lavalozza el producto de mayor participación en el mercado.

Actualmente, la fabricación de este producto depende mayoritariamente de un tensoactivo de origen petroquímico, los cuales además de impactar la economía debido a su procedencia, dificultan la eliminación de los componentes del agua residual generada por el uso de jabones en el hogar y en la industria a partir de microorganismos, dado que estos materiales presentan un nivel de biodegradabilidad menor y un nivel de toxicidad alto dificultando dicho proceso, por lo que esto genera un impacto ambiental en los cuerpos hídricos asociado a su actividad superficial, gracias a la solubilidad de grasas, aceites, polímeros o alcoholes de alto peso molecular, lo que a su vez deriva en el aumento del pH y generación de espuma, conllevando a una demanda de oxígeno elevada para la descomposición de estos compuestos [6].

A su vez estas preocupaciones por la salud ambiental se derivan del uso indiscriminado y la eliminación imprudente de este tipo de productos de higiene, dando origen a diversas investigaciones centradas en el área de los tensoactivos procedentes de fuentes renovables y ecológicas. Por lo tanto, el presente trabajo está orientado en la búsqueda, estudio e implementación de un tensoactivo de origen vegetal en la crema lavalozza fabricada en la planta de aseo La Joya, aportando desde la ingeniería química en la investigación de alternativas de desarrollo sostenible que garanticen una gestión eficiente de los recursos en las empresas, mediante la contribución en la cadena de valor a partir de materiales biodegradables [7].

De acuerdo con lo anteriormente señalado, esta investigación permitirá ofrecer una opción amigable con el medio ambiente a esta empresa, desligando en un porcentaje parcial la dependencia de materiales de origen petroquímico en los productos de higiene doméstica, dando

paso a la investigación de nuevas tecnologías que generen un valor agregado al producto, a partir del aumento en su porcentaje de biodegradabilidad, desempeño óptimo, actividad en cuanto a su tensión superficial durante el proceso de lavado y un nivel de toxicidad bajo.

1. MARCO TEÓRICO

Los jabones o detergentes de uso doméstico son productos cuya función principal es remover la suciedad, desinfectar, aromatizar el ambiente y propender por el cuidado de utensilios, objetos, ropa, áreas, entre otros [5]. Estos se elaboran a partir de una formulación maestra que describe el procedimiento y precauciones que deben tomarse para producir una cantidad específica de dicho producto, junto con las materias primas, cantidades, instrucciones y control durante el proceso [8].

1.1. Formulación crema lavalozza

Para el caso de la crema lavalozza La Joya está se compone por diversas sustancias químicas que le proporcionan sus características en cuanto a su aspecto y habilidad de limpieza a partir de la función tecnológica de cada componente.

Figura 1.

Crema Lavalozza La Joya.



Nota. La figura muestra la presentación de la crema lavalozza La Joya. Tomado de: “LA JOYA | CasaLuker - Más de un siglo de aroma y sabor,” Casaluker.com. [En línea]. Disponible: <https://casaluker.com/producto/la-joya>. [Acceso: May. 11, 2024].

- *Agente Neutralizante:* Es usado para ajustar la acidez de los demás componentes del producto, aumentando la alcalinidad y facilitando la remoción de manchas ácidas, grasas y aceitosas [9].
 - *Agente Alcalino:* Esta sustancia aporta alcalinidad de reserva al lavado, tiene buenas propiedades amortiguadoras, contribuye con la eliminación de grasa y también puede actuar como ablandador de agua [10].
 - *Agente de Relleno:* Existen diversos componentes implementados como relleno mineral, debido a su habilidad de retención de humedad lo que garantiza el aspecto del producto a partir de la mejora en su consistencia y por ende optimizando su proceso de fraguado.

Además, estas sustancias permiten optimizar la remoción de suciedad, gracias a su grado de abrasividad [9].

- *Agente Aglutinante:* Componente clave en la fabricación de crema lavalozas, dado que permiten homogenizar y mantener compactos los demás ingredientes de la formulación, gracias a sus propiedades ligantes, optimizando la eficiencia de limpieza [9].
- *Agente Desengrasante /Agente de reología:* Principalmente, se destacan por mejorar o mantener la eficiencia de limpieza del ingrediente activo (tensoactivo) al reducir la dureza del agua, gracias a que mantienen los minerales en solución mediante precipitación. Además, estos pueden suministrar y mantener la alcalinidad [9].
- *Agente Espesante:* Encargado de ajustar o modificar la reología de la crema a partir de la adición de un electrolito dado que estos deshidratan la cabeza polar de las soluciones de los tensoactivos conllevando a una disminución en el área de la molécula en la interfase y consecuentemente dar la consistencia cremosa [11].
- *Agente Desodorizante:* Permite encapsular y eliminar las sustancias olorosas mediante el sellado de las moléculas que emiten el olor, donde estas se unen según su estructura siendo indetectables para los sentidos [12].
- *Agente Humectante:* Los agentes humectantes son químicos orgánicos o inorgánicos que se adicionan para templar el agua y reducir su tensión superficial, permitiendo que el agente aglutinante absorba el agua de manera más rápida y eficiente [13]. También contribuye en la reducción de la tensión superficial entre la interfaz sólida y líquida [13].
- *Agente Antibacterial:* Son considerados como preservantes puesto que inhiben el crecimiento de microorganismos encargados de generar enfermedades y malos olores, y a su vez protegen al producto de descomposición por efectos externos, evitando la decoloración, oxidación y contaminación bacteriana [9].
- *Color:* Los colorantes se usan en productos de higiene para caracterizar las cualidades y aportar identidad especial al producto [9].
- *Fragancia:* Las fragancias ya sean sintéticas o naturales permiten disociar el olor base de la suciedad y los residuos ordinarios, brindando al igual que el color, identidad al producto y un olor característico [9].

La mayoría de los componentes descritos, contribuyen a la reducción de la dureza del agua, es decir, a disminuir la cantidad de sales minerales disueltas (CaCl_2 y MgCl_2) [14], durante el proceso de fabricación, así como durante el proceso de enjuague al momento del uso de la crema lavalozas.

1.2. Tensioactivos

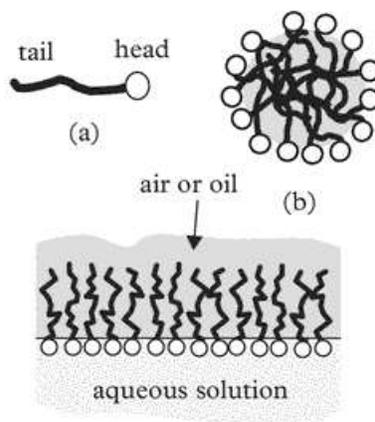
Dentro de las materias primas que predominan en este tipo de artículos del hogar están los tensioactivos, los cuales son el componente activo de la formulación, puesto que le atribuye la acción principal declarada del producto [8].

Los tensioactivos son moléculas cuya estructura consiste en dominios hidrófilos (cola cadena alquílica) y lipófilos (cabeza), los cuales le proporcionan propiedades que permiten su adherencia a la interfaz de dos fluidos inmiscibles, reduciendo su tensión superficial solubilizando diversos materiales en micelas, por lo que pueden actuar como detergentes, agentes humectantes, emulsionantes, agentes espumantes y dispersantes, debido a lo cual son ampliamente usados en diversas industrias destacando su función en los productos de limpieza [15].

El grupo hidrófilo, o también llamado cola al estar compuesto por una cadena alquílica, tiene afinidad con las superficies o materiales polares, y el grupo hidrófobo o lipófilo, denominado como grupo de cola, tiene afinidad hacia las superficies o materiales no polares [15], tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Representación de un tensoactivo y su actividad.



Nota. La figura representa la estructura de la molécula de un tensoactivo y su interacción con la interfaz de la monocapa de aire/agua o aceite/agua. Tomado de: Aveyard, Bob., *Surfactants - In Solution, at Interfaces and in Colloidal Dispersions*. Oxford University Press, 2019. [En línea] Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012L6C01/surfactants-in-solution/nature-surfactants>. [Acceso: Febrero 10, 2024].

1.2.1. Clasificación de tensoactivos

Se pueden clasificar según la naturaleza de su grupo principal hidrófilo, que puede ser no iónico, iónico o anfótero.

- **No Iónico:** No poseen carga en el grupo de cabeza hidrófilo y tienen una carga orgánica de cadena larga (R) en el grupo lipófilo, por lo que no se disocian en agua para formar iones. La mayoría de los compuestos de esta clasificación son ésteres, éteres y éter-ésteres. El grupo lipófilo puede derivar de aceites y grasas naturales, aceites de petróleo o hidrocarburos sintetizados [16].
- **Iónico:** Se dividen según su carga en catiónicos y aniónicos. Los catiónicos se disocian en agua en un catión anfifílico, lo que indica que la cabeza hidrófila está cargada positivamente, y un anión, normalmente del tipo halógeno (por ejemplo, cloruro o bromuro) [16]. Una gran proporción de ellos son compuestos nitrogenados (sales de aminas grasas y compuestos de amonio cuaternario, con uno o más grupos alquilo de cadena carbonada larga) [9].

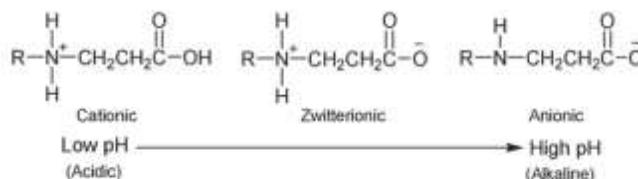
Por otra parte, los tensoactivos aniónicos se disocian para formar un ion cargado negativamente unido a un grupo hidrocarbilo (anión) y un metal alcalino cargado positivamente (Na⁺ o K⁺), un metal alcalinotérreo (Ca⁺² o Mg⁺²), o contraión amonio (NH₄⁺) [9].

- *Anfótero*: En los anfóteros el grupo principal lleva una carga tanto negativa como positiva. En estos tensoactivos, el grupo catiónico se deriva con mayor frecuencia de una amina o una sal de amonio cuaternario, y el grupo aniónico se deriva de un ácido carboxílico, sulfúrico o fosfórico o sus ésteres [9].

Dependiendo de la sustancia y del pH, pueden presentar tendencias aniónicas o catiónicas, dado que el pH determina el grupo dominante (Figura 3), favoreciendo una u otra ionización. Donde un pH alcalino indica la predominación y catiónica a pH ácido. A un pH intermedio, la fuerza de la carga positiva y negativa se vuelve igual, y la molécula tendrá carga tanto positiva como negativa, llegando al punto isoeléctrico donde ambas cargas tienen la misma fuerza [17].

Figura 3.

Tendencia de los tensoactivos anfóteros según su pH.



Nota. La figura representa la tendencia del carácter químico de los tensoactivos anfóteros según al pH al que sea sometido. Tomado de: Rizvi Syed, Q. A., *Surfactants and Detergents - Chemistry and Applications*, 2021. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012WSQI4/surfactants-detergents/methyl-ester-sulfonates>. [Acceso: Febrero 10, 2024].

1.2.2. Reacciones de obtención

La síntesis de algunos tensoactivos se lleva a cabo a partir de reacciones de sulfonación, Friedel-Crafts, transesterificación, entre otras.

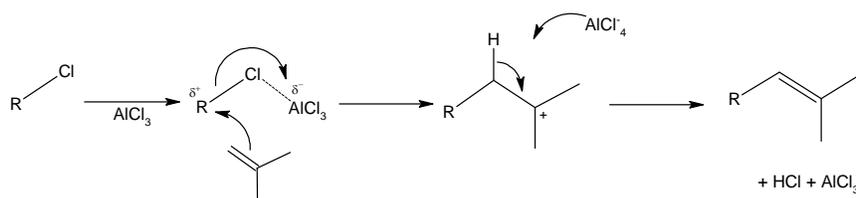
- *Sulfonación*: Reacción exotérmica reversible basada comúnmente en el reemplazo de un átomo de hidrógeno en un compuesto aromático con un grupo funcional de ácido sulfónico, usando como agentes de sulfonación el ácido sulfúrico concentrado o el óleum [18].

Esta reacción se implementa para obtener aquellos productos que son intermedios en la preparación de colorantes, productos farmacéuticos y tensoactivos [18].

- *Reacción de Friedel-Crafts*: Conocida por el uso de un ácido de Lewis como catalizador, es usada en la alquilación o acilación, sin embargo, para el caso de los tensoactivos ocurre la primera de estas reacciones, donde se utiliza un ácido de Lewis para eliminar un anión haluro de un haluro de alquilo, generando así un carbocatión, el cual reaccionará con dobles enlaces y anillos aromáticos [19]. Esta reacción produce un nuevo carbocatión del cual se pierde un protón para completar la reacción [19].

Figura 4.

Reacción de Friedel-Crafts.

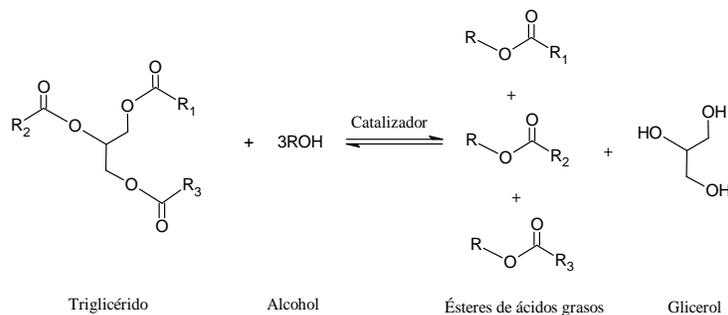


Nota. La figura representa el mecanismo de reacción de la alquilación de Friedel-Crafts. Tomado de: Sell, Charles S., *Fundamentals of Fragrance Chemistry*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0125D842/fundamentals-fragrance/friedel-crafts-reaction>. [Acceso: Febrero 11, 2024].

- *Transesterificación*: La transesterificación es una reacción de equilibrio, la cual se lleva a cabo en exceso de alcohol con el fin de desplazar el equilibrio hacia los productos. Esta ocurre en presencia de un catalizador básico (NaOH o KOH) o ácido (HCl o H₂SO₄), como se muestra en la Figura 5, donde la reacción entre un mol de triglicérido proveniente de aceites vegetales y 3 moles de alcohol produce un mol de glicerina y 3 moles de alquilester [20].

Figura 5.

Reacción de transesterificación.



Nota. La figura representa la reacción de un triglicérido y 3 moles de alcohol. Tomado de: F. Rojas, E. Girón, H. Torres, “Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química,” *Ingeniería e Investigación*, vol. 29, no. 3, pp. 17–22, 2009. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-560920090003000003&lng=en&nrm=iso. [Acceso: Febrero 11, 2024].

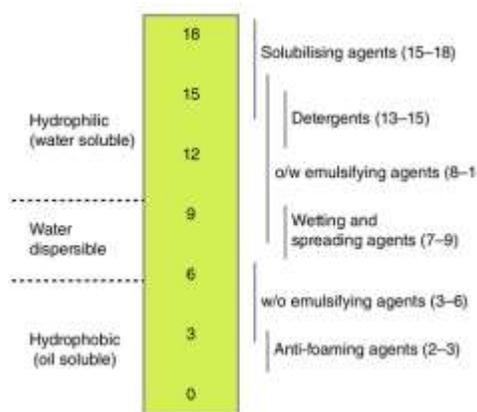
1.2.3. Propiedades de los tensoactivos

Estos compuestos poseen propiedades fisicoquímicas que permiten describir y distinguir una sustancia de otra, dado a su composición, tales como densidad, color, dureza, pH, viscosidad, toxicidad, estabilidad química, oxidación, entre otras [21]. Dentro de las propiedades más relevantes de los tensoactivos, se encuentra el equilibrio hidrofílico-lipofílico, formación de micelas

- *Equilibrio hidrofílico-lipofílico:* Conocido por sus siglas en inglés como HLB (Hydrophilic–Lipophilic Balance) es una medida del grado en que un tensoactivo es hidrofílico o lipófilo, lo cual se determina calculando valores para las diferentes regiones de la molécula [17]. En la Figura 6, se muestra la escala HLB donde los tensoactivos no iónicos varían de 0 a 20, por ende, cuando este es menor a 9 se refiere a un tensoactivo lipófilo o soluble en aceite, y un valor HLB por encima de 11 a un tensoactivo hidrofílico o hidrosoluble. La mayoría de los tensoactivos iónicos tienen valores de HLB superiores a 20 y, por tanto, son principalmente solubles en agua [17].

Figura 6.

Escala de HLB.



Nota. La figura representa la escala del equilibrio hidrofílico-lipofílico de un tensoactivo no iónico. Tomado de: Craddock, Henry A. (2018). *Oilfield Chemistry and its Environmental Impact*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011UGI51/oilfield-chemistry-its/alkyl-sulphates-related>. [Acceso: Febrero 11, 2024].

- **Formación de micelas:** Los tensoactivos poseen la propiedad de formar grupos de tamaño coloidal en solución. Este fenómeno es importante dado que la detergencia y la solubilización, depende de la existencia de micelas en solución, además de influir en la reducción de la tensión superficial o interfacial [22]. La formación de micelas tiene lugar según la concentración del tensoactivo, esto se conoce como concentración micelar crítica (CMC).
- **Humedad:** Es una propiedad de los tensoactivos que describe la cantidad de agua que compone la sustancia [21] y que influye en el tipo de aplicación dada para este tipo de materiales.
- **Punto de Turbidez:** Esta característica es atribuida a los tensoactivos no iónicos donde estos toman un color turbio debido a la pérdida de hidrofiliidad de sus moléculas, por lo que su solubilidad en agua disminuye [9].

Por otra parte, los tensoactivos poseen la habilidad de ser degradados como resultado de una actividad biológica (microorganismos) [23], con el fin de contrarrestar su efecto en el medio ambiente, definición atribuida al término biodegradabilidad, conocida como la velocidad con que pueden descomponerse químicamente [5]. En algunos casos, el índice de

biodegradabilidad es bajo, debido a la estructura química de su cadena, por lo que se convierten en sustancias *tóxicas*, que pueden llegar a producir efectos adversos sobre los organismos vivos [24]. Es por esto, que se establece en las Resoluciones 0689 de 2016 y 1770 de 2018 (Sección 1.5) los límites máximos de fósforo y la biodegradabilidad de los tensoactivos presentes en detergentes y jabones, teniendo en cuenta que estos son vertidos en las aguas residuales posterior a su uso, e ingresan a las plantas de tratamiento y finalizan como efluentes o lodos en arroyos, lagos y ríos. Por lo que los ingredientes de las formulaciones de estos productos deben garantizar una eliminación mediante biodegradación o adsorción [5].

1.3. Características y atributos de la crema lavaloz

Los conceptos mencionados anteriormente, referentes a las propiedades de los tensoactivos, influyen en las características del producto, donde algunas son consideradas atributos de calidad, puesto que determinan el nivel de satisfacción y/o conformidad del producto.

Entre ellas, se destaca la reología de la crema, puesto que permite identificar si esta fue fabricada adecuadamente, debido a que el flujo y la deformación de los compuestos semisólidos permiten evaluar el comportamiento del producto semielaborado y principalmente, identificar las relaciones entre composición, estructura química y propiedades reológicas tales como la dureza [25].

La dureza describe la capacidad de los sólidos para resistir la deformación. Este concepto hace referencia a parámetros como resistencia, firmeza, solidez, impenetrabilidad, tenacidad y rigidez [23], los cuales pueden verse afectados por el porcentaje de humedad del producto, que a su vez se asocia al fraguado o también conocido como tiempo de endurecimiento, donde se produce la desecación del producto. El tiempo de fraguado depende de la humedad relativa, temperatura ambiente, entre otros aspectos relacionados con las características del proceso [26].

Además, se tienen en cuenta las propiedades fisicoquímicas como atributos de aceptación, dentro de los cuales se analizan parámetros tales como pH, % humedad y % activo.

- *% Humedad:* El contenido de humedad de la crema hace referencia al porcentaje de agua presente en el producto, término que se asocia con su tiempo de fraguado, tal y como se mencionó anteriormente, por lo que es medida a partir de una termobalanza en diferentes

rangos de tiempo para evidenciar el grado de secado o pérdida de humedad que posee la muestra.

- *% Activo*: Contenido de la sustancia a la cual se le atribuye el efecto principal del producto, el cual es cuantificado a partir de titulación según el carácter químico del tensoactivo presente en la formulación.
- *Solubles en alcohol*: Corresponde al material insoluble en alcohol de una muestra de crema lavalozas, determinado por medio de filtración al vacío.
- *pH*: La crema lavalozas es un producto conocido por su abrasividad asociado a la alcalinidad de su pH, es por ello por lo que este atributo es medido a partir de un potenciómetro con el objetivo de evaluar que se encuentre en un rango óptimo.

No obstante, el atributo de mayor importancia en la crema lavalozas es su capacidad de lavado, proporcionado por las propiedades de los tensoactivos, así como un fácil enjuague lo cual se evalúa mediante el desempeño. Este método permite determinar la capacidad de dispersar la suciedad a partir de pruebas de detergencia y pruebas de altura de la espuma [9].

1.4. Estabilidad

Las formulaciones de los productos son evaluadas a partir de la estabilidad, donde se validan las variaciones físicas, químicas y biológicas de los productos.

En la estabilidad física se determinan los cambios físicos producidos durante el almacenamiento y/o uso del producto, como evaporación, precipitación, adsorción o pérdida de humedad, entre otras [27]. A su vez, la estabilidad química establece aquellas variaciones en la composición del producto debido a reacciones químicas que pueden ocurrir, como oxidación, polimerización e hidrólisis [27]. Por último, la estabilidad biológica hace mención del crecimiento y/o proliferación de bacterias, virus y hongos en el producto [27].

Por lo anterior, el producto se somete a dos tipos de estabilidad, la primera de ellas conocida como estabilidad acelerada donde es expuesto a diversas condiciones de almacenamiento a largo plazo, permitiendo aumentar la velocidad de degradación química o los cambios físicos, con el fin de

evaluar el comportamiento del material en condiciones de temperatura y humedad extremas, que permitan identificar los posibles riesgos de manera oportuna asociados con la calidad del producto e implementar estrategias apropiadas para su mitigación [21]. Por ello, se utilizan equipos que permitan la configuración y simulación de climas definidos durante un período de tiempo específico, tal como la cámara de estabilidad, la cual genera una exposición constante de las muestras a temperatura, humedad, rayos UV o simular condiciones tanto diurnas como nocturnas [28]. Posterior a esto, se verifica la apariencia (también llamada aspecto), color y olor a lo largo de la estabilidad con el fin de validar la durabilidad de las propiedades del producto.

En segundo lugar, se lleva a cabo un estudio de estabilidad durante un año, donde se realiza el seguimiento al peso de la muestra con el objetivo de verificar la pérdida de humedad del semisólido, considerando que este debe cumplir con la cantidad declarada en el empaque ya sea en masa o en volumen.

1.5. Marco legal y normativo

La normatividad legal mencionada a continuación enmarca los lineamientos y especificaciones técnicas establecidas para la fabricación de productos de higiene doméstica.

Decisión 706 de 2008. *“Armonización de legislaciones en materia de productos de higiene doméstica y productos absorbentes de higiene personal”*: En esta decisión se regulan los regímenes de control de calidad y vigilancia en relación con la producción, procesamiento, envasado, expendio, importación, almacenamiento y comercialización de los productos de higiene doméstica y productos absorbentes de higiene personal [29].

Decisión 721 de 2009. *“Reglamento Técnico Andino relativo a los Requisitos y Guía de Inspección para el funcionamiento de establecimientos que fabrican Productos de Higiene Doméstica y Productos Absorbentes de Higiene Personal”*: A partir de este reglamento se establecen los requisitos definidos para los establecimientos que fabrican productos de higiene doméstica y productos absorbentes de higiene personal, definiendo las características del personal, la estructura de la organización, las condiciones de saneamiento e higiene, así como la organización, estado y mantenimiento de las instalaciones, equipos y utensilios, el almacenamiento y distribución, manejo de materias primas e insumos, producción, envase y empaque,

aseguramiento de calidad y documentación requerida durante el proceso operativo garantizando la calidad e inocuidad de los artículos fabricados [8].

Resolución 0689 de 2016. *“Por la cual se adopta el reglamento técnico que establece los límites máximos de fósforo y la biodegradabilidad de los tensoactivos presentes en detergentes y jabones, y se dictan otras disposiciones”*: Establece el límite máximo de fósforo de 0,65% (equivalente a 1,5% de pentóxido de fosforo) y de biodegradabilidad de los tensoactivos de mínimo 60% (dependiendo del método de ensayo empleado) en detergentes y jabones, con la finalidad de proteger la salud y el ambiente de los efectos ocasionados por dichas sustancias [5]. Prohibiendo la fabricación, importación, distribución y comercialización de productos que superen los límites aquí establecidos [5].

Resolución 1770 de 2018. *“Por la cual se modifica la Resolución No. 0689 del 3 de mayo de 2016”*: Modificación del Artículo 6° estableciendo que los productos del reglamento técnico deberán contener agentes tensoactivos que cumplan con el porcentaje mínimo de biodegradabilidad aerobia final, conforme a los métodos 301 y 310 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE o sus equivalentes en la Unión Europea (UE) o en las normas ISO o en las normas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) [30]. Los ensayos realizados sobre los detergentes y jabones según los métodos descritos a lo largo de la resolución deben presentarse como soporte de la declaración de conformidad de primera parte [30].

NTC 2860 de 1999. *“Jabones y detergentes. Pasta para lavar loza”*: Establece los requisitos y métodos de ensayo a los cuales debe ser sometida la pasta empleada para lavar loza [31].

NTC 5604 de 2008. *“Toma de Muestras y Métodos de Ensayo para el Análisis Físicoquímico de Jabones, Productos de Jabón y Detergentes”*: Establece los métodos de ensayo para la toma de muestras y los métodos de análisis físicoquímicos idóneos para definir las especificaciones y realizar control de calidad de jabones, productos de jabón, y detergentes [32]. Esta norma no es vigente, dado que se ratifica en mayo de 2024 una actualización en la cual se divide en dos partes, separando los métodos de ensayo correspondientes a detergentes (NTC 5604-1) de los métodos implementados en jabones y sus productos (NTC 5604-2).

1.6. Moléculas Tensoactivas de Origen Vegetal

En los últimos años la industria de los tensoactivos se ha centrado en buscar de alternativas que sustituyan o reemplacen el uso de derivados petroquímicos a partir de la implementación de materias primas degradables y renovables que posean una compatibilidad con el medio ambiente.

Las materias primas precursoras de los tensoactivos de origen vegetal se encuentran disponibles en diferentes semillas oleaginosas, grasas animales, carbohidratos, proteínas, extractos, entre otros [27], por lo que son idóneos en la aplicación de productos ecológicos de diversas industrias, donde en algunos casos poseen mayor eficiencia al momento de reducir las tensiones superficiales e interfaciales de los fluidos inmiscibles, son tolerantes a altas temperaturas, así como condiciones de pH extremos [27]. Dentro de los tensoactivos vegetales más conocidos se encuentran las saponinas, ésteres de azúcar, alquilpoliglucósidos, alcanolaminas, metil ester sulfonado, cocamidapropil betaina, alcoholes etoxilados, entre otros [27].

Debido a lo anterior, se evalúa la eficiencia de limpieza, índice de biodegradabilidad, costo, compatibilidad con la formulación y con la piel de diversos tensoactivos, de los cuales se seleccionaron 3 moléculas para el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta su influencia en la reología del producto según formulación, su % de materia activa, perfil de seguridad, almacenamiento e índice de biodegradabilidad.

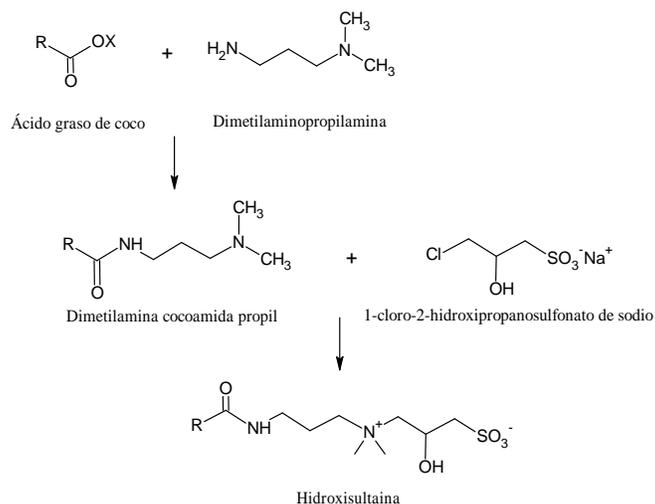
1.6.1. Hidroxisultaina

Las Hidroxisultainas (HS) son materiales análogos de las Betainas, puesto que ambos se derivan del alquil dimetilamina o alquilamidopropil dimetilamina [33]. El precursor principal de las HS es la amidoamina la cual se deriva de los ácidos grasos, comúnmente del aceite de coco en reacción con dimetilaminopropilamina [33].

Esta amina terciaria es el condensado de dimetilaminopropilamina de aceite de coco o ácido graso de coco destilado, el cual reacciona para formar este tensoactivo anfótero con el 1-cloro-2-hidroxipropanosulfonato de sodio (condensando epiclorhidrina con bisulfito de sodio) con cloruro de sodio como subproducto [33].

Figura 7.

Síntesis Hidroxisultainas.



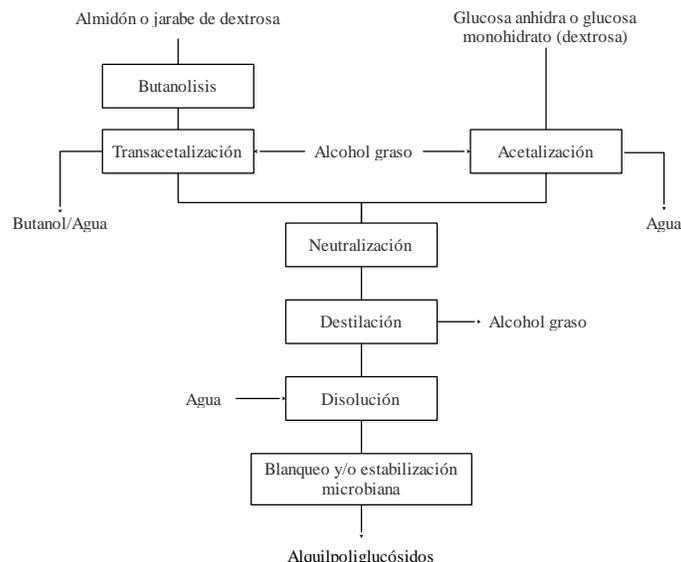
Nota. La figura representa la síntesis de las hidroxisultainas a partir de un ácido graso de coco y dimetilaminopropilamina. Tomado de: R. J. Farn. (2006). “*Chemistry and Technology of Surfactants*”. Wiley eBooks. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470988596>. [Acceso: Febrero 18, 2024].

1.6.2. Alquilpoliglucósido

Los Alquilpoliglucósidos (APG) son tensoactivos no iónicos, constituidos por un grupo alquilo terminal derivado de un alcohol graso proveniente comúnmente del aceite de coco o de palmiste para formar la parte hidrófoba de la molécula y una estructura de sacárido hidrófilo constituida por una o varias unidades de d-glucosa unidas glicosídicamente, las cuales se derivan del almidón de maíz, trigo o papa [35].

Figura 8.

Ruta de fabricación de los Alquilpoliglucósidos.



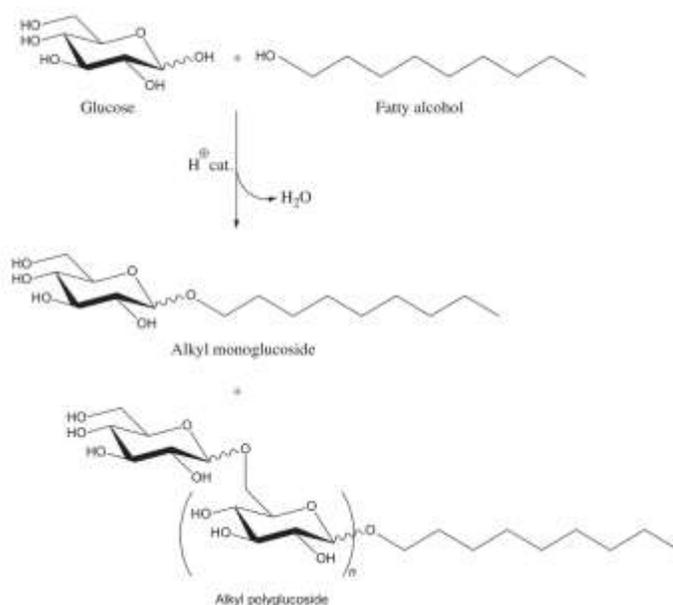
Nota. La figura representa la producción de alquilpoliglucósidos a partir de diferentes fuentes de carbohidratos. Tomado y traducido de: Belgacem, Mohamed Naceur Gandini, Alessandro. (2008). *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A58VHM/monomers-polymers-composites/alkyl-polyglycosides>. [Acceso: Febrero 18, 2024].

Este tensoactivo se obtiene a partir de tres etapas, la primera de ellas corresponde a la acetilización (condensación catalizada por ácido) entre glucosa y exceso de un alcohol graso [34], la cual se puede realizar según se muestra en la Figura 9. El primer método es la acetilización directa o también conocido como la glicosidación de Fischer, donde se condensa la glucosa y un alcohol directamente en una reacción libre de disolventes [35] (despolimerización de los enlaces glicosídicos [35]), y la transacetalización método que requiere la síntesis preliminar de butanolisis de polisacárido para producir un butilpoliglucósido que luego reacciona con un alcohol graso [34][35]. Esta es una reacción de equilibrio que conduce a una mezcla de isómeros y anómeros, por lo que para obtener los isómeros deseados, se deben variar los parámetros de reacción durante esta etapa como la temperatura, la presión, el tipo de catalizador y la cantidad de alcohol [34]. A continuación, la condensación entre glucosa y monoglucósidos conduce a la polimerización dando Alquilpoliglucósidos [34].

Posteriormente, se lleva a cabo la purificación de los APG, donde se detiene la reacción de acetalización neutralizando el catalizador ácido. Y como tercera etapa la eliminación del exceso de alcohol por destilación [34].

Figura 9.

Síntesis Alquilpoliglucósidos.



Nota. La figura muestra la acetilación de glucosa con un alcohol graso para la obtención de Alquilpoliglucósidos. Tomado de: Belgacem, Mohamed Naceur Gandini, Alessandro. (2008). *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A58VHM/monomers-polymers-composites/alkyl-polyglycosides>. [Acceso: Febrero 18, 2024].

1.6.3. Alfa Olefinas Sulfonadas

Son hidrocarburos de cadena lineal (alifáticos) que poseen un doble enlace en su posición alfa (posición número uno carbono-carbono), donde la longitud de su cadena puede variar entre 4 a 30 carbonos, según su aplicación [36].

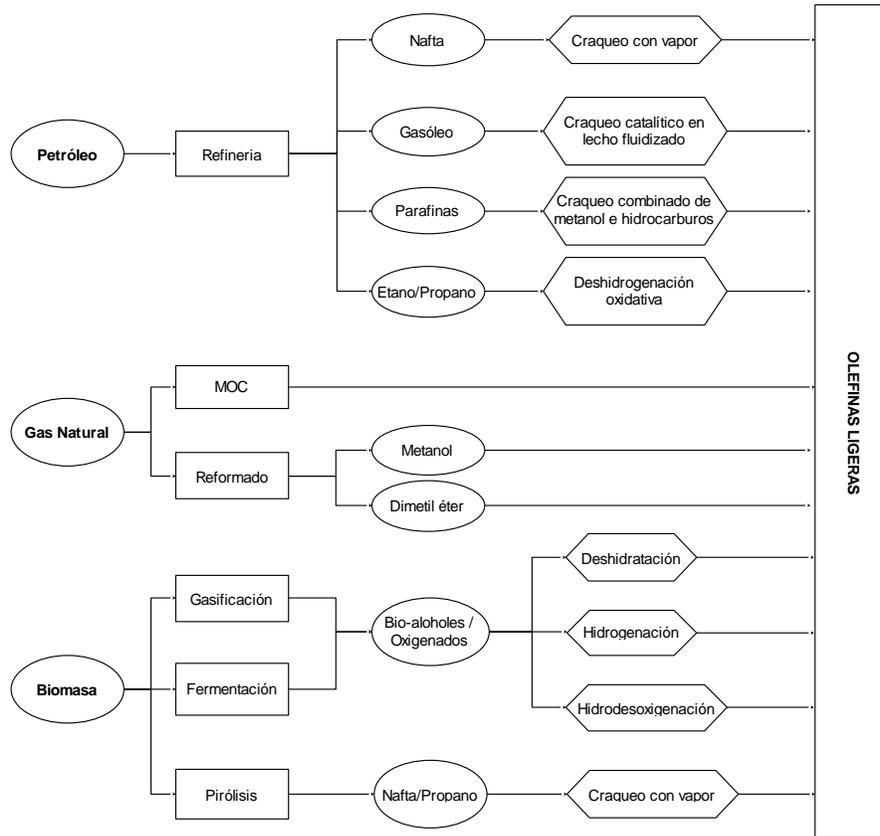
Las alfa olefinas se obtienen mediante la unión de moléculas de monómeros de olefina (C₂H₄, C₃H₆, butenos y C₄H₆) mediante oligomerización, descomponiendo (craqueando) moléculas más

grandes o a través de modificación química directa de parafinas de la longitud de cadena deseada [37].

Existen diversos procesos de obtención de dichos monómeros (Figura 10) cuyos precursores mayoritariamente involucran tecnologías a partir de recursos fósiles (carbón, petróleo y gas natural), lo que implica que su producción está limitada por las reservas finitas y las preocupaciones asociadas a la economía y el medio ambiente [37]. Es por ello, que han surgido nuevas alternativas dentro de las cuales la biomasa vegetal y/o los residuos orgánicos son considerados como precursores de las olefinas, mediante fermentación, gasificación, craqueo y desoxigenación (pirolisis) [37]. Los monómeros comúnmente usados para la obtención de sustancias tensoactivas son el etileno (C_2H_4) y propileno (C_3H_6), donde a partir de la síntesis del primero se puede dar la formación del segundo (deshidratación de bioetanol) o de forma paralela (conversión de metanol) [37].

Figura 10.

Procesos de obtención Olefinas.

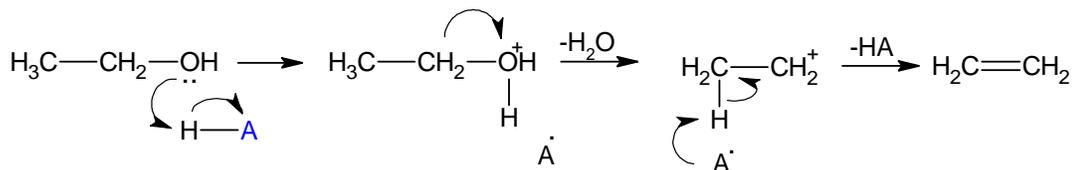


Nota. La figura representa las rutas de síntesis para la obtención de olefinas. Adaptado de: De La Cruz, “Ingeniería básica de una planta de producción de olefinas a partir de DME,” 2013. [En línea]. Disponible: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/91909/TFG-2720-VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Acceso: Febrero 17, 2024].

- **Deshidratación del bioetanol:** El etanol es producido a partir de la fermentación de biomasa, es decir, celulosa, maíz y/o caña de azúcar, donde los azúcares se descomponen selectivamente en etanol, con una formación limitada de subproductos [37]. Al obtener el bioetanol, este se deshidrata a partir de la protonación del grupo hidroxilo mediante un catalizador ácido, posterior desprotonación del grupo metilo mediante la base conjugada del catalizador y reordenamiento para formar el etileno [37] (Figura 11). Esta es una reacción endotérmica que se lleva a cabo a temperaturas entre 180 a 500 °C y la presencia de un catalizador ácido, como las zeolitas y los silicoaluminofosfatos, dado que favorecen la conversión selectiva del producto deseado [37].

Figura 11.

Deshidratación del bioetanol.

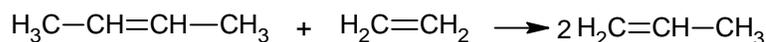
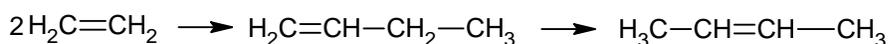


Nota. La figura representa el mecanismo de deshidratación del bioetanol a C₂H₄. Tomado de: V. Zacharopoulou and A. A. Lemonidou, “Olefins from Biomass Intermediates: A Review,” Catalysts, vol. 8, no. 1, pp. 2–2, Dic. 2017, DOI: <https://doi.org/10.3390/catal8010002>. [Acceso: Febrero 17, 2024].

A partir del etileno obtenido, se puede llevar a cabo la reacción de metátesis (reacción catalizada que convierte 2 moléculas de olefina en 2 olefinas diferentes [38]) para producir propileno, mediante dimerización del etileno y posterior reacción con el etileno restante (Figura 12). Este proceso se lleva a cabo a temperaturas entre 0 a 100 °C y sobre catalizadores metálicos como Ti y Ni [37].

Figura 12.

Metátesis del etileno.



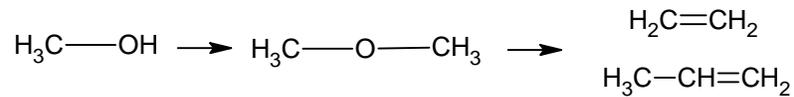
Nota. La figura representa la formación de propileno a través de metátesis del etileno (C₃H₆). Tomado de: V. Zacharopoulou and A. A. Lemonidou, “Olefins from Biomass Intermediates: A Review,” Catalysts, vol. 8, no. 1, pp. 2–2, Dic. 2017, DOI: <https://doi.org/10.3390/catal8010002>. [Acceso: Febrero 17, 2024].

- **Conversión de metanol a olefinas:** El metanol es producido a través de procesos de pirólisis, biosíntesis, gasificación y electrólisis, utilizando desechos de biomasa, como residuos agrícolas, forestales y/o rurales [37]. Este alcohol se puede transformar en olefinas a través de una reacción autocatalítica que tiene lugar a temperaturas entre 300 y 450 °C, sobre catalizadores ácidos, donde la selección de este puede producir principalmente etileno y

propileno [37]. Esta reacción inicia con la conversión directa de metanol, conversión directa de etileno y metilación de etano por metanol.

Figura 13.

Conversión de biometanol en Olefinas.



Nota. La figura representa la conversión de biometanol en olefinas. Tomado de: V. Zacharopoulou and A. A. Lemonidou, “Olefins from Biomass Intermediates: A Review,” *Catalysts*, vol. 8, no. 1, pp. 2–2, Dic. 2017, DOI: <https://doi.org/10.3390/catal8010002>. [Acceso: Febrero 17, 2024].

Posterior a la obtención del monómero se lleva a cabo la oligomerización, la cual consiste en la unión finita de varios monómeros, donde para un tensoactivo la longitud de cadena optima va de 14 a 16 átomos de carbono. Finalmente, se realiza el proceso de sulfonación a través una mezcla de aire y trióxido de azufre (SO₃), obteniendo una molécula similar a la que se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Estructura química Alfa Olefina Sulfonada.



Nota. La figura representa la estructura química de la cadena de las Alfa Olefinas Sulfonadas, según información proporcionada por el proveedor.

2. DIAGNOSTICO ACTUAL CREMA LAVALOZA LA JOYA

2.1. Estructura La Joya - Casa Luker S.A.

2.1.1. Historia

La Joya es una planta de producción de artículos de aseo con más de 60 años de trayectoria con presencia a nivel departamental con productos como champú para alfombras, varsol, ceras para piso y lustra muebles, entre otros artículos del hogar. En el 2002, Casa Luker adquirió esta empresa y desde entonces se han incorporado nuevos productos y marcas a su portafolio, como es el caso de Fassi (reconocida por su dualidad de colores en la crema lavalozza) alcanzando a producir volúmenes no mayores a las 500 toneladas en el mes.

No obstante, la incorporación de maquilas a otras empresas, junto con los nuevos desarrollos e innovaciones de productos, la planta de aseo alcanza un récord de 1300 ton fabricadas en el último mes alcanzando una cobertura a nivel nacional, por lo que se identifica la necesidad de ampliar su capacidad productiva, en virtud de lo cual se trasladará a una nueva localización que permita impulsar su crecimiento.

2.1.2. Áreas involucradas

Al ser una planta de producción, La Joya se compone por diversas áreas de grado operativo y/o técnico que permiten llevar a cabo las labores de fabricación y entrega de producto terminado.

- **Producción:** Encargada de la fabricación, envasado y embalaje de los productos, mediante el manejo del recurso humano, materiales de fabricación y los activos proporcionados por la empresa, garantizando las especificaciones de los estándares de calidad para cada artículo de aseo.
- **Mantenimiento:** Área responsable de las labores preventivas y correctivas de los diversos activos que componen la planta, así como de su infraestructura, garantizando la conservación de los equipos mediante intervenciones programadas aumentando la eficiencia y disponibilidad en el proceso y a su vez preservando la seguridad, evitando cualquier tipo de condición insegura.

- **Investigación & Desarrollo:** Diseñar y desarrollar productos innovadores que cumplan con los requisitos normativos a partir del conocimiento científico y técnico, dando cumplimiento a los lineamientos de la empresa.
- **Control de Calidad:** Verificar las condiciones de calidad desde el proceso de fabricación, almacenamiento y entrega del producto, a fin de garantizar que este cumpla con todas las especificaciones fisicoquímicas, normas de calidad y de seguridad.
- **Logística de Abastecimiento:** Administrar los materiales de fabricación y producto terminado garantizando las condiciones de almacenamiento y la disponibilidad según las necesidades del cliente interno y/o externo.

2.2. Caracterización general del proceso

2.2.1. Diagrama de bloques

El proceso de producción de la crema lavalozza La Joya conlleva 5 etapas, las cuales van desde la recepción de materia prima (MP) hasta su entrega como producto terminado (PT) tal y como se muestra en la Figura 15.

Figura 15.



Nota. La figura representa las etapas que se llevan a cabo durante el proceso de fabricación de la crema lavalozza La Joya.

Este proceso se lleva a cabo a partir de las directrices dadas en el plan de producción, donde se planifican los tiempos, cantidades y productos que deben ser fabricados según la demanda del portafolio de aseo.

2.2.1.a. Recepción de materias primas. Según el plan de producción se establecen las cantidades de materias primas requeridas para la fabricación de un producto determinado, junto con su tiempo de llegada. La recepción de la mayoría de estas se realiza en bultos o sacos en el caso de los polvos, o en canecas, tambores o garrafas para los líquidos. Sin embargo, existen materias primas que son transportadas en grandes cantidades dado que no están empacadas y/o embaladas, por lo que son

considerados “graneles”, como es el caso del tensoactivo primario en la formulación de crema lavaloz. Estas son almacenadas en tanques de acero inoxidable o en tanques de fibra de vidrio, según sus indicaciones de conservación.

Al momento del ingreso, el área de control de calidad realiza la inspección del lote de materia prima, junto con la verificación del certificado de calidad proporcionado por el proveedor, con el objetivo de garantizar que este se encuentre dentro de las especificaciones establecidas para cada una.

2.2.1.b. Pesaje y alistamiento de materias primas. Para el caso de la crema lavaloz, esta se fabrica en tanques con capacidad máxima de 500 kg o de 900 kg, por lo que, según los kilogramos a fabricar del producto, se establecen las proporciones que son requeridas de cada materia prima, las cuales son pesadas y alistadas por parte del área logística, quienes realizan la entrega al área de producción.

2.2.1.c. Fabricación crema lavaloz: Este proceso se lleva a cabo en los tanques de preparación a partir de una ruta de fabricación donde se especifica el paso a paso de la elaboración de la crema lavaloz (Anexo 1).

Figura 16.

Tanques de fabricación Crema Lavaloz.



Nota. La figura muestra los tanques de fabricación de la crema lavaloz de la planta de aseo La Joya.

2.2.1.d. Neutralización. El alquilbenceno sulfonato lineal (Sección 2.3.1) es neutralizado comúnmente con álcalis como el hidróxido de potasio, sodio o aminas (agente neutralizante),

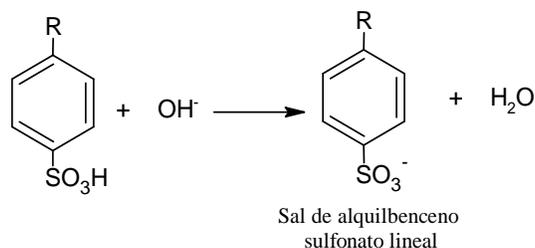
formando una suspensión viscosa [39], cuyo producto genera una sal del alquilbenceno sulfonato lineal, la cual corresponde al material activo de la formulación.

La adición del álcali se realiza de forma continua en una corriente previamente mezclada con agua y el tensoactivo, donde la interacción química entre estas sustancias corresponde a una reacción exotérmica, por lo que se genera un aumento de temperatura en el tanque de fabricación.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la neutralización, requiere de un grado de precisión para garantizar que no surja un exceso de álcali o ácido, que conduzca a niveles extremos de pH en la formulación [40]. Así como un tiempo de agitación prudente que garantice la reacción total de los reactivos.

Figura 17.

Reacción de neutralización.



Nota. La figura representa la neutralización del ácido sulfónico con un álcali cuyos productos corresponde a una sal y agua. Tomado y adaptado de: Craddock, Henry A. (2018). *Oilfield Chemistry and its Environmental Impact*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011UGI71/oilfield-chemistry-its/alkyl-aryl-sulphonates>. [Acceso: Febrero 24, 2024].

Posterior a la neutralización, se realiza la adición de los agentes alcalino, relleno, aglutinante, desengrasante, espesante, desodorizante, descritos anteriormente (Apartado 1.1.), los cuales le atribuyen características reológicas, resistencia a la dureza del agua y potencializan sus propiedades durante su implementación en el lavado de los utensilios de cocina.

2.2.1.e. Agitación. La reología de la crema lavalozza está asociada al tipo de fluido en el que este se clasifica, donde según sus características es considerado como un fluido no newtoniano, es decir, su viscosidad varía con la tensión que se le aplica, por lo tanto, su valor de viscosidad no es constante, y se reduce cuando la fuerza ejercida es continua [38]. Debido a este comportamiento

reológico se pueden presentar diversas dificultades en la operación unitaria de agitación, por lo que es importante la elección del sistema de homogenización, junto con la definición en los tiempos y la velocidad de agitación según la formulación.

Por esto, el tanque de fabricación posee una forma cónica, evitando zonas muertas dentro del proceso de homogenización, cuyo sistema está constituido por un motor el cual posee un eje vertical de donde se sostiene el agitador helicoidal (Figura 18), el cual permite un movimiento uniforme. En cuanto a su tiempo y velocidad de agitación, este permite que los componentes adicionados se incorporen correctamente a la mezcla para obtener una reología ideal, sin embargo, rangos superiores pueden influir en su fluidez y en el tiempo de fraguado de la crema.

Figura 18.

Agitador helicoidal.



Nota. La figura representa la estructura de un agitador helicoidal en un tanque cónico. Tomado de: “Agitadores para Depósitos y Tanques - Mezcla INOXPA,” *Inoxpa.co*, 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.inoxpa.co/productos/mezcla/agitadores-industriales/agitadores-para-los-depositos-estandares#accept>. [Access: Febrero 24, 2024].

2.2.1.f. Proceso de envasado y embalaje. Una vez finalizado el proceso de fabricación, el producto pasa de los tanques de preparación a los tanques pulmón (Figura 19), donde se realiza un proceso de recirculación con el objetivo de mantener la homogenización de la crema durante el proceso de envasado, el cual se lleva a cabo a través de un sistema de dosificación, donde se dispensa el producto en las tarrinas, luego es tapado, codificado y embalado en cajas, para ser finalmente estibado, según los lineamientos productivos establecidos en la Tabla 1.

Figura 19.

Tanques pulmón.



Nota. La figura muestra los tanques pulmón de la crema lavaloz de la planta de aseo La Joya.

Tabla 1.

Estándares productivos Crema Lavaloz La Joya 500 G.

Parámetro	Estándar
Unidades x Caja	24
Cajas x Estiba	48
Cajas x Plancha	12
kg x Estiba	576
# de Planchas	4
Patrón de arrume	1152
Merma	1,5%

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de envasado y embalaje en la línea productiva de crema lavaloz.

2.2.1.g. Tiempos y movimientos del proceso. El rendimiento y la eficiencia de un proceso es medido por la cantidad de productos fabricados que cumplen los atributos de calidad establecidos, en un determinado período de tiempo. Un proceso será más eficiente según la disponibilidad, las capacidades de los equipos y el uso adecuado del tiempo en la productividad. Es por ello, que existen estándares establecidos según el rendimiento de la línea de envasado, donde según la capacidad del tanque en el que sea fabricada la crema lavaloz se determina si esta es envasada en el carril 1 o 2 de la línea productiva, tal y como se muestra en la Tabla 2, donde se muestra que para la fabricación de 1000 kg de crema lavaloz La Joya se requieren de 100 minutos para el carril 1 y de 135 minutos para el carril 2.

Tabla 2.

Diagrama Gantt Proceso de Producción de Crema Lavalozza La Joya 500 G.

Operación (1000 KG)	Tiempo (Min)															
	Carril 1								Carril 2							
	15	30	45	60	75	90	105	15	30	45	60	75	90	105	120	135
Fabricación																
Descargue Tanque:																
Envasado																
Embalaje																

Nota. Esta tabla muestra los tiempos asociados al proceso de fabricación, envasado y embalaje en los carriles de la línea productiva para una tonelada de crema lavalozza La Joya 500 G.

2.3. Tensoactivos

Los tensoactivos son el ingrediente activo de la mayoría de los productos de higiene doméstica, dado que se encargan de eliminar fisicoquímicamente la suciedad a partir de la reducción de la tensión superficial del agua y la tensión interfacial líquido-sólido del sistema [9].

Dentro de la formulación, los tensoactivos pueden tomar un papel principal o secundario, siendo este último un complemento que potencializa las características del producto en una concentración inferior. En el caso de la crema lavalozza La Joya, el tensoactivo petroquímico es considerado el agente activo principal, descrito a continuación.

2.3.1. Tensoactivo de origen petroquímico

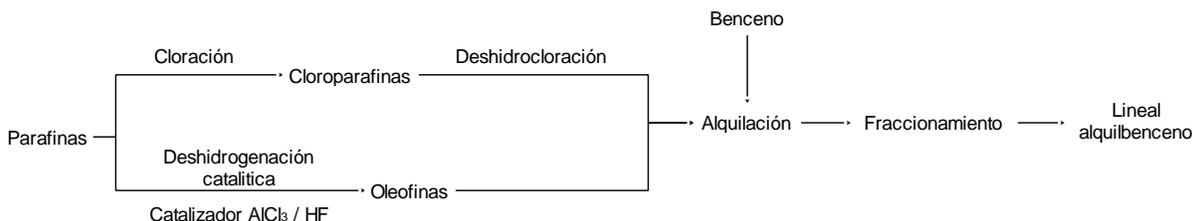
Los materiales de partida para la elaboración de tensoactivos de origen petroquímico se basan en compuestos aromáticos (benceno, naftaleno, etc.), n-parafinas y alcoholes grasos sintéticos, de los cuales se obtienen tensoactivos alquilaromáticos, alcoholes y óxidos de olefina. Su síntesis surge a partir de procesos de alquilación para obtener alquilbencenos y alquilnaftalenos, oxidación para producir alcoholes grasos sintéticos y óxidos de alquilenos, y sulfonación para producir sulfonatos alquilaromáticos sintéticos [9].

En el proceso de fabricación de crema lavalozza se implementa un tensoactivo aniónico conocido como el alquilbenceno sulfonato lineal (LAS) o también llamado ácido sulfónico, el cual es un ácido fuerte fácilmente soluble en agua, que contiene iones alcalinotérreos solubles en aceite mineral [9]. Este puede ser sintetizado a partir de parafinas, a través de dos rutas, tal y como se

muestra en la Figura 20, sin embargo, el más común consiste en la alquilación de benceno y posterior reacción de sulfonación, así como el proceso de refinado del petróleo [41].

Figura 20.

Síntesis de alquilbenceno lineal.

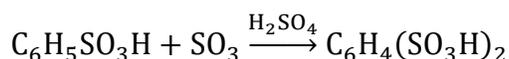


Nota. La figura representa las rutas de síntesis del alquilbenceno lineal a partir de parafinas. Tomado de: Totten, George E. Shah, Rajesh J. Forester, David R. (2019). *Fuels and Lubricants Handbook - Technology, Properties, Performance, and Testing (2nd Edition)*. ASTM International. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012WU7P1/fuels-lubricants-handbook/detergent-substrates>. [Acceso: Febrero 25, 2024].

A partir del primer método, el alquilbenceno se obtiene mediante la reacción de Friedel-Crafts (Figura 21), dado que es catalizada por un ácido de Lewis [19], donde el benceno en ligero exceso se mezcla con un haluro de alquilo (alqueno o cloroalcano) en presencia de este catalizador ácido, comúnmente zeolita sólida, cloruro de aluminio (AlCl₃) o ácido fluorhídrico (HF) [17]. Posteriormente, se lleva a cabo el proceso de sulfonación (Figura 22) a través una mezcla de aire y trióxido de azufre (SO₃) [17].

Figura 21.

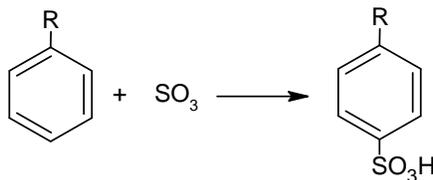
Obtención alquilbenceno lineal.



Nota. La figura representa la reacción de obtención del alquilbenceno lineal mediante la reacción de Friedel-Crafts. Tomado de: Sell, Charles S. (2019). *Fundamentals of Fragrance Chemistry*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0125D842/fundamentals-fragrance/friedel-crafts-reaction>. [Acceso: Febrero 11, 2024].

Figura 22.

Sulfonación alquilbenceno lineal.



Nota. La figura representa la reacción de sulfonación del alquilbenceno lineal. Tomado de: Craddock, Henry A. (2018). *Oilfield Chemistry and its Environmental Impact*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011UGI71/oilfield-chemistry-its/alkyl-aryl-sulphonates>. [Acceso: Febrero 24, 2024].

Como segundo método, el LAS se obtiene durante el proceso de refinado del petróleo cuando el aceite mineral crudo (compuesto de reactivos insaturados y alquilaromáticos), se lava con un agente sulfonante, como SO_3 u óleum [41], para su posterior reacción con SO_3 para formar ácidos sulfónicos [41].

2.3.1.a. Características y especificaciones técnicas. Este es un líquido marrón viscoso, catalogado como un compuesto versátil gracias a sus diversas aplicaciones, las cuales varían según la longitud de cadena de la molécula, cuyo valor puede estar entre 12 a 14 átomos de carbono. Como tensoactivo, posee una alta solubilidad en agua, así como una actividad superficial óptima, lo que le proporciona propiedades espumantes únicas debido a su alto nivel de formación, permitiéndole desempeñar el papel de dispersante de pigmentos y aumentar la estabilidad de la dispersión de la suciedad en el licor de lavado [39], garantizando de esta forma un excelente rendimiento [9]. Es por ello, que el LAS es empleado en diversas formulaciones en la industria cosmética, cuidado personal, cuidado automotriz, entre otros [9], al ser producido a partir de materias primas abundantes y cuyo costo es inferior frente a recursos vegetales.

Si bien, posee un índice de biodegradabilidad favorable en condiciones aeróbicas (97-99%) [40] con una vida media de aproximadamente una a 3 semanas [17], en condiciones anaeróbicas los procesos de descomposición son ineficientes [42], por lo que puede bioacumularse en el ambiente acuático, generando efectos tóxicos en peces, crustáceos, algas y demás organismos [43]. Esto se debe a que el LAS demanda una producción excesiva de especies reactivas de oxígeno en las células vegetales, lo que genera un desequilibrio que causa daño directo a los lípidos, proteínas y

ADN de las plantas acuáticas [44], por lo que los peligros de los efectos asociados a la implementación de este tensoactivo son de gran preocupación en el desarrollo de estándares de calidad del agua y la evaluación de riesgos ambientales [45].

Adicional a ello, este compuesto es sensible a los minerales del agua, por lo que un aumento en la dureza afecta su rendimiento [9], lo que es contrarrestado con la incorporación del agente alcalino a la formulación.

En cuanto a su costo/kg este es favorable, sin embargo, su valor fluctúa según los indicadores macroeconómicos tales como la Tasa Representativa del Mercado (TRM) y el costo del barril de petróleo, en relación con la oferta y demanda, lo que como resultado genera una variación en el costo final del producto, tal y como se describe en la Factibilidad Financiera (Sección 4.3.).

En la Tabla 3 se describen las especificaciones técnicas del material según la información proporcionada por parte del proveedor sobre el tensoactivo implementado en planta.

Tabla 3.

Especificaciones técnicas tensoactivo petroquímico.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Estado físico	-	Líquido viscoso
Carácter Químico	-	Aniónico
Material activo	%	96,5
Humedad	% peso	0,8
Peso molecular	g/mol	319 - 325
Viscosidad 25°C	cPs	1000 - 1500
Índice de Biodegradabilidad	%	>90
pH	-	<1

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del LAS según información brindada en la ficha técnica del proveedor.

2.3.1.b. Condiciones de almacenamiento. La recepción y el almacenamiento del LAS se llevaba a cabo a granel, debido no solo a los grandes volúmenes en los que este se consume, sino a sus limitaciones de seguridad dado que puede producir irritaciones y posibles quemaduras oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas, al ser un ácido fuerte. Es por ello, que este es almacenado en un tanque de acero inoxidable, aislado particularmente de aquellas materias primas que se mencionan en la Tabla 4, teniendo en cuenta la incompatibilidad química de esta sustancia. El

manejo operativo de este compuesto se realiza a partir de un sistema de tubería que dispensa el material directamente a los tanques de fabricación a fin de evitar la formación de vapores tóxicos en el ambiente y su manipulación por parte del personal. Su vida útil depende de un adecuado almacenamiento, es decir, un lugar seco y fresco, en condiciones normales (temperatura ambiente), lo que garantiza 2 años para su consumo.

Tabla 4.

Consideraciones de almacenamiento.

CONCEPTO	INDICACIÓN
Material del Empaque	Almacenamiento a granel en Acero Inox. 316
Restricciones de Almacenamiento	Evitar fuentes de calor. No es compatible con agentes oxidantes y metales. No almacenar cerca de productos oxidantes y/o bases fuertes.
Manejo y Transporte	No verter nunca agua sobre esta sustancia. Usar el equipo de protección personal adecuado. En el transporte a granel se requieren tanques en Acero Inox. 316 o Fibra de Vidrio.
Estabilidad y Reactividad	Estable a condiciones normales. Es reactivo con metales, óxidos, carbonatos, cianuros, sulfuros, carburos y fosfitos. Produce una reacción peligrosa con hidróxidos. Por descomposición térmica se pueden producir vapores de combustión. Condiciones para evitar: Contacto con metales, óxidos, carburo y carbonatos. Incompatibilidad con otras sustancias: Metales, óxidos, carbonatos e hidróxidos.

Nota. Esta tabla muestra la información de almacenamiento del LAS según la información brindada en la hoja de seguridad del proveedor.

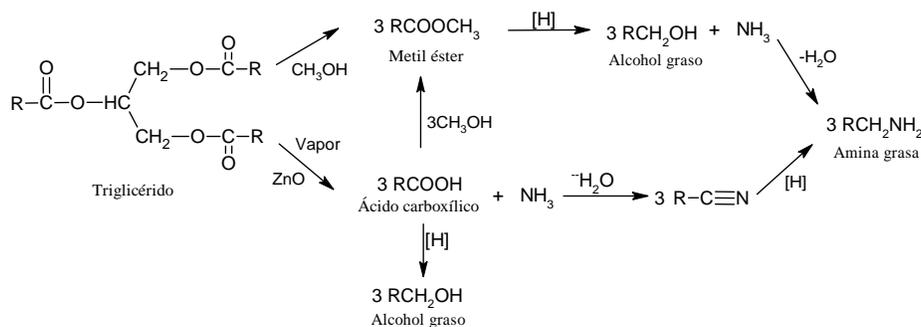
2.3.2. Tensoactivo de origen oleoquímico

Al mezclar el LAS con otro tipo de agentes tensoactivos se producen efectos sinérgicos que permiten potencializar las propiedades de las mezclas. Es por ello, que se realiza la incorporación de un cotensoactivo aniónico de origen vegetal derivado del aceite de palma, que permite una sustitución en relación 70:30 con respecto al tensoactivo de origen petroquímico.

Su síntesis se puede dar por transesterificación de los triglicéridos de los aceites con un catalizador alcalino (Figura 23) o por la esterificación de los ácidos grasos, que se dividen de las grasas mediante el uso de metanol [9]. Para luego, realizar la sulfonación del producto en un reactor anular de película con una mezcla de SO₃ y aire [9] y posterior formación de sal con hidróxido de sodio (NaOH) [9], tal como se muestra en la Figura 24.

Figura 23.

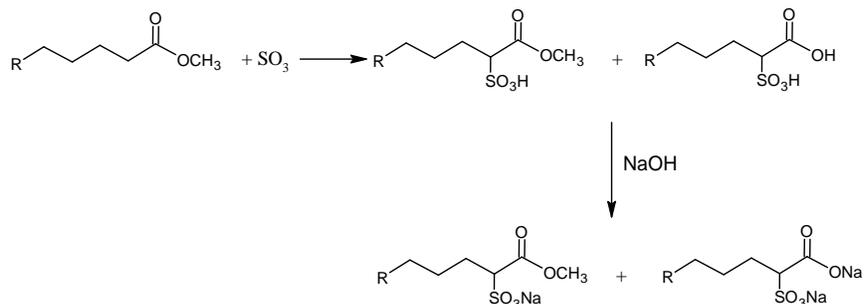
Transesterificación de triglicéridos.



Nota. La figura representa la transesterificación de triglicéridos de aceites a partir de un catalizador de óxido de zinc o metanol. Tomado de: Spitz, Luis. (2009). *Soap Manufacturing Technology*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0078JQOA/soap-manufacturing-technology/chemistry-synthetic-surfactants>. [Acceso: Febrero 25, 2024].

Figura 24.

Sulfonación y neutralización del tensoactivo de origen oleoquímico.



Nota. La figura representa la síntesis del tensoactivo de origen petroquímico. Tomado de: Rizvi Syed, Q. A. (2021). *Surfactants and Detergents - Chemistry and Applications*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012WSQI4/surfactants-detergents/methyl-ester-sulfonates>. [Acceso: Febrero 25, 2024].

2.3.2.a. Características y especificaciones técnicas. Este es un tensoactivo aniónico que exhibe propiedades útiles en diversas aplicaciones, gracias a su alta biodegradabilidad, resistencia a la dureza del agua y excelente estabilidad en agua fría y caliente [35]. Asimismo, este posee una excelente compatibilidad con la piel, lo que los hace potencialmente buenos en formulaciones para jabones lavaloz a mano, gracias a su poder humectante y detergente [46]. No obstante, dicha detergencia varía proporcionalmente al tamaño del grupo principal, mientras que su solubilidad y formación de espuma disminuyen [9].

Dentro de sus limitantes, estos son susceptibles a la hidrólisis en condiciones de pH alto y son pobres en formación de espuma [33], influyendo en la remoción de grasa del producto final.

Según sus especificaciones técnicas, este posee un porcentaje % de materia activa inferior al LAS (Tabla 5), así como un % de humedad superior, lo cual influye en la formulación de la crema lavaloz y por ende en sus características.

Tabla 5.

Especificaciones técnicas tensoactivo oleoquímico.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Esta físico	-	Polvo
Carácter Químico	-	Aniónico
Materia activa	%	78 - 82
Humedad	% peso	6,5
Densidad	kg/L	0,7
pH	-	5 - 8

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del TO según información brindada en la ficha técnica del proveedor.

2.3.2.b. Condiciones de almacenamiento. Este tensoactivo es almacenado en estantería, según las limitaciones o incompatibilidades expuestas en la Tabla 6, dado que este producto es corrosivo, por lo que al contacto puede producir irritaciones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas. Respecto a su manejo operativo este se lleva a cabo manualmente a los tanques de fabricación, sin embargo, al ser un compuesto higroscópico, es necesario el uso de mascarilla para protección de sustancias tóxicas con el fin de evitar la inhalación del polvo generado durante su dispensación. Su vida útil depende de un adecuado almacenamiento, es decir, su acopio en envases cerrados, en un ambiente seco, fresco y ventilado, lo que garantiza una duración 12 meses para su consumo.

Tabla 6.

Condiciones de Almacenamiento Tensoactivo Oleoquímico.

CONCEPTO	INDICACIÓN
Material del Empaque	Saco / bolsas de 25 kg.
Restricciones de Almacenamiento	No almacenar junto con agentes oxidantes. Proteger del calor y de la luz directa del sol.
Manejo y Transporte	Evitar la formación de polvo.
Peligrosidad	Nocivo en caso de ingestión. Provoca irritación ocular grave.
Estabilidad y Reactividad	En presencia de aire, el enriquecimiento de polvo fino puede implicar un peligro de explosión de polvo.

Nota. Esta tabla muestra la información de almacenamiento del TO según la información brindada en la hoja de seguridad del proveedor.

Este material fue incorporado en el 2021, donde surge la necesidad de disminuir el costo de formulación de la crema lavalozza debido al aumento en el precio del LAS inherente al incremento del precio del dólar, así como la disminución en el impacto ambiental a partir de la incorporación de materiales sostenibles.

Gracias a esto, fue integrado en relación 70:30 (LAS: TO), generando una disminución en la densidad de la crema logrando un nivel de llenado más alto en la tarrina con menor cantidad de producto. Además, al tener un precio inferior al del LAS, permitió la disminución del costo final del producto, lo que generaba una rentabilización para la empresa, tal y como se describe en el apartado 4.3. (Factibilidad Financiera).

Sin embargo, al depender del aceite de palma, el abastecimiento de este tensoactivo se ve limitado por la disponibilidad y el costo este recurso, por lo que esta alternativa no ha sido implementada durante el último periodo del 2023 dado que el costo de la materia precursora aumento su valor, lo que en consecuencia aumenta el valor de este tensoactivo y por ende el costo final del producto.

2.4. Comportamiento del producto

Se caracterizó el comportamiento de la formulación de la crema lavalozza La Joya a fin de establecer los estándares de liberación y la vida útil del producto, a partir de la recopilación de la información asociada a las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y estabilidad.

2.4.1. Análisis fisicoquímicos y características del producto

Existen atributos que permiten determinar la viabilidad o factibilidad de la crema lavalozza para su liberación como producto terminado. Estos consisten en especificaciones y características fisicoquímicas estándar tales como, el aspecto, color, olor, % humedad, pH, dureza, solubles en alcohol, nivel de espuma, %activo y desempeño. Algunos de estos se determinan cabo a partir de las metodologías establecidas en la Norma Técnica Colombiana 5604 de 2008 y 2860 de 1999, tal y como se describen en el marco legal y normativo (Sección 1.5.).

2.4.1.a. Determinación material soluble en alcohol. Este proceso se lleva a cabo tal y como se muestra en la Figura 26, donde una alícuota de crema lavalozza se diluye en alcohol etílico, para su posterior filtración al vacío, el cual consiste en un montaje constituido por una bomba de vacío, un Erlenmeyer, un embudo y el filtro cuantitativo, en el cual se adiciona la mezcla preparada anteriormente hasta obtener el material filtrado. Posteriormente, se realizan los procesos de lavado y secado hasta obtener el material insoluble el cual es pesado al igual que el Erlenmeyer al inicio y posterior a la filtración, para el cálculo final (Figura 25).

Figura 25.

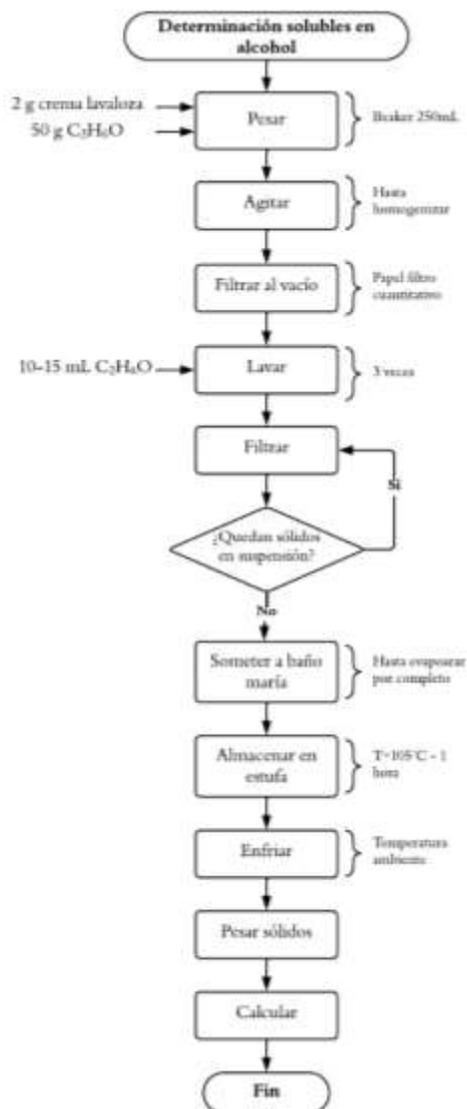
Ecuación % material soluble en alcohol.

$$\% \text{ Material soluble} = \frac{\text{Peso final erlenmeyer} - \text{Peso erlenmeyer vacio}}{\text{Peso material solido}} \times 100\%$$

Nota: La figura representa la ecuación para el cálculo del % de material soluble en alcohol de la crema lavalozza La Joya.

Figura 26.

Diagrama de flujo de determinación material soluble en alcohol.



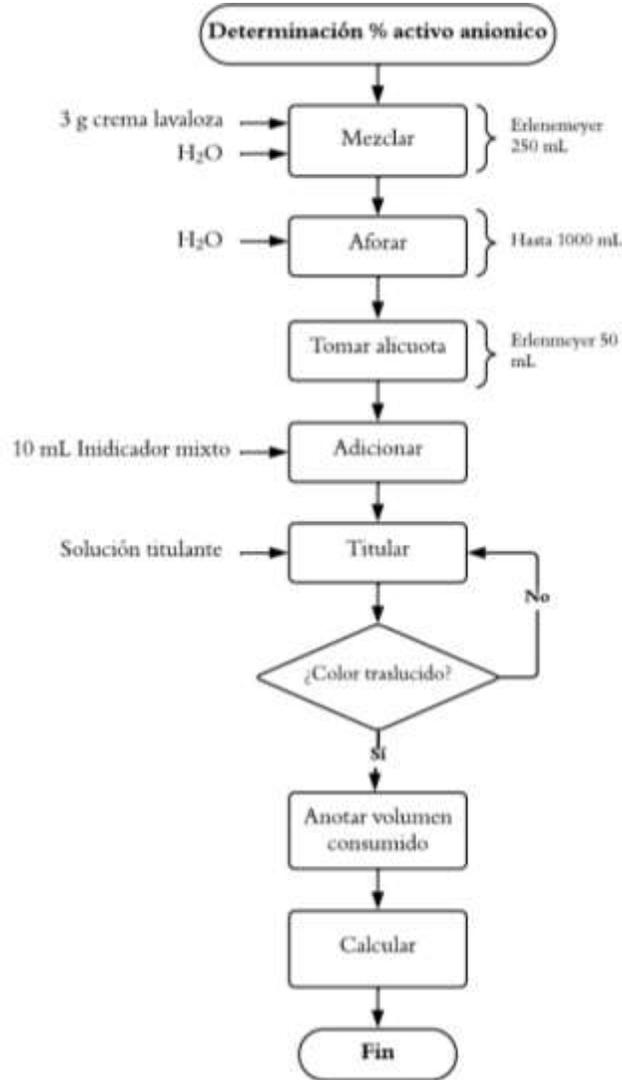
Nota. La figura representa el procedimiento empleado para la determinación del % de material soluble en alcohol de la crema lavaloz La Joya.

2.4.1.b. Determinación pH. Se disuelve una muestra de 1 g de crema lavaloz en un Erlenmeyer con 100 mL de agua destilada y se agita hasta obtener una solución homogénea, sobre la cual se sumerge el electrodo del potenciómetro previamente calibrado con una solución reguladora de pH, cercana al pH que se va a tomar [32].

2.4.1.c. Determinación % Ingrediente activo aniónico.

Figura 27.

Diagrama de Flujo Determinación % de Activo Aniónico.



Nota. La figura representa el procedimiento empleado para la determinación del % de activo aniónico de la crema lavalozza La Joya.

Figura 28.*Ingrediente activo aniónico.*

$$\% \text{ Activo} = \frac{V (L) \times M \times f \times b(g/mol)}{m (g)}$$

Nota. La figura representa la ecuación para el cálculo del % de activo aniónico en el cual se relaciona el volumen consumido de la solución titulante (V), molaridad de la solución titulante (M), factor de dilución (f), peso molecular del tensoactivo (b) y el peso de la muestra (m).

Estos atributos deben estar dentro de un rango de aceptación el cual es establecido según las especificaciones de los componentes de la formulación, así como de la sinergia de estos.

Tabla 7.*Rango de aceptación atributos crema lavalozza La Joya.*

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN	
		Min	Max
Aspecto	-	Semisólido con apariencia cremosa, homogénea, compacta, libre de grumos.	
Color	-	Verde menta	
Olor	-	Limón	
Humedad	%	23	25
pH	-	10	11
Solubles en Alcohol	%	18	23
Ingrediente Activo	%	9	10
Índice de Biodegradabilidad	%	60	-
Contenido de Fósforo	%P	0,65	-

Nota. Esta tabla muestra los rangos de las propiedades fisicoquímicas de la crema lavalozza La Joya.

Por lo anterior, se realizan los análisis fisicoquímicos del prototipo estándar de crema lavalozza, el cual corresponde a la formulación con 100% de LAS, cuyos resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos anteriormente. Dentro de estos se mide la dureza del producto a fin de evaluar la reología estimada.

Tabla 8.

Análisis fisicoquímicos estándar Crema Lavalozza La Joya.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Aspecto	-	Semisólido con apariencia cremosa, homogénea, compacta, libre de grumos.
Color	-	Verde menta
Olor	-	Limón
Humedad	%	24,63
pH	-	10,57
Solubles en Alcohol	%	13,25
Nivel de Espuma	mL	125
Ingrediente Activo	%	9,94
Índice de Biodegradabilidad	%	97,5%
Contenido de Fosforo	%P	0,00041%

Nota. Esta tabla muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la crema lavalozza La Joya 100% LAS.

En cuanto a la crema lavalozza La Joya con relación 70:30 LAS y el tensoactivo de origen oleoquímico, se evidencia que no existe una variación significativa en sus propiedades fisicoquímicas referente a la formulación estándar, sin embargo, el % de activo es levemente inferior teniendo en cuenta que este se obtiene en función del tensoactivo aniónico principal.

Tabla 9.

Análisis fisicoquímicos Crema Lavalozza La Joya Relación 70:30 (LAS: TO).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Aspecto	-	Semisólido con apariencia cremosa, homogénea, compacta, libre de grumos.
Color	-	Verde menta
Olor	-	Limón
Humedad	%	20,94
pH	-	10,19
Solubles en Alcohol	%	14,82
Nivel de Espuma	mL	100
Ingrediente Activo	%	9,54

Nota. Esta tabla muestra los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la crema lavalozza La Joya con incorporación del tensoactivo de origen oleoquímico.

A su vez este debe cumplir con características asociadas a su aplicación, tal como el desempeño y el nivel de espuma, los cuales están relacionados al % de activo del producto y las propiedades del tensoactivo implementado.

2.4.1.d. Prueba de desempeño. Se evalúa el nivel de limpieza del producto mediante el método de lavado de “mini platos”, donde se realiza previamente una mezcla constituida por grasa animal, vegetal y colorante, la cual es pesada en vidrios de reloj en cantidades equivalentes a uno y tres platos. Simultáneamente, se diluye en agua una cantidad específica de crema lavalozza en un recipiente de vidrio, en donde se realizan movimientos lineales durante un minuto a fin de obtener el nivel de espuma máximo. Posteriormente, se realiza el lavado de los platos durante 15 y 45 segundos para la remoción de 1 y 3 platos, respectivamente. La prueba se da por terminada en el momento en el que se evidencian residuos de grasa en el vidrio de reloj, lo que implica que el producto deja de limpiar.

A partir de este método se determinó que la crema lavalozza La Joya 100% LAS limpia en promedio 9 platos, mientras que la incorporación del tensoactivo oleoquímico aumenta el nivel de remoción del producto, con un promedio 10 platos lavados.

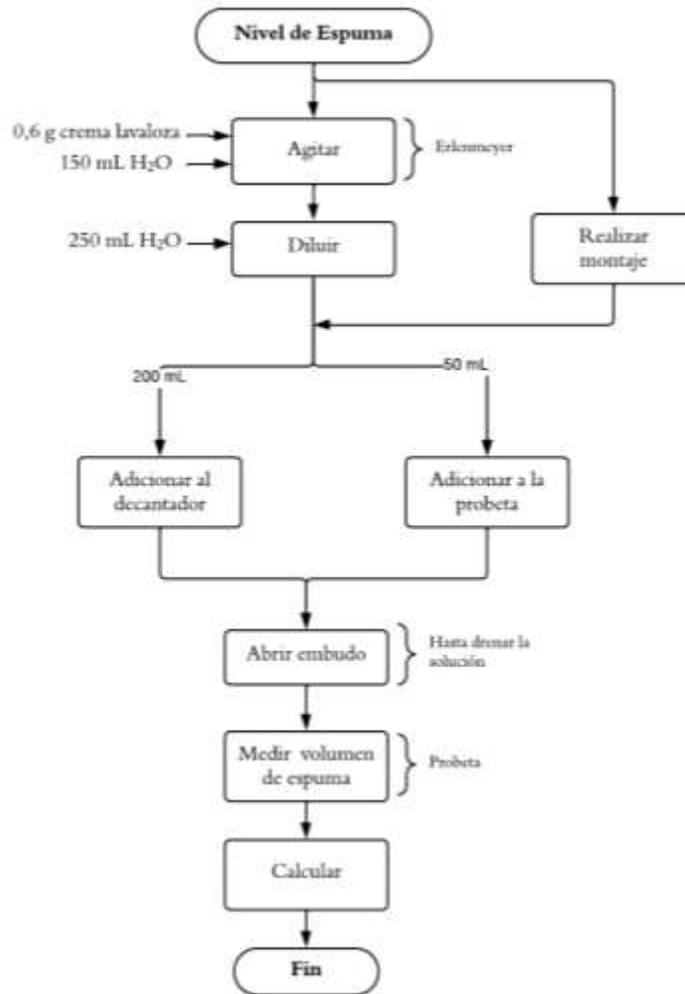
2.4.1.e. Nivel de espuma. Para determinar el volumen de espuma generado por la crema lavalozza se toman 0,6 g de producto los cuales se diluyen en 150 mL de agua y 250 mL tal y como se describe en la Figura 29, cuya mezcla se lleva a un montaje conformado por un embudo de

separación de 500 mL, una probeta de 1000 mL y un soporte universal las cuales se posicionan a las distancias determinadas en la Figura 30.

Al drenar la mezcla desde el embudo, se genera un volumen de espuma en la probeta cuyo nivel es equivalente a la diferencia entre el volumen total alcanzado por la solución y la espuma.

Figura 29.

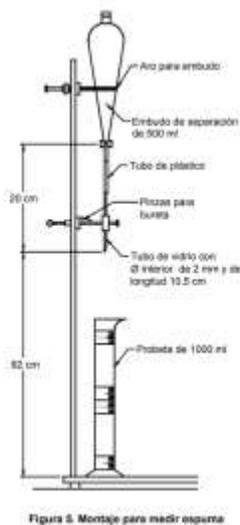
Diagrama de Flujo Determinación Nivel de espuma.



Nota. La figura representa el procedimiento empleado para la determinación del nivel de espuma de la crema lavalozza La Joya.

Figura 30.

Montaje Determinación Nivel de espuma.



Nota. La figura representa las partes y distancias del montaje para la determinación del nivel de espuma de la crema lavalozas. Tomado de: “Métodos de ensayo para la toma de muestras y el análisis fisicoquímico de jabones, productos de jabón y detergentes”, *Icontec.org*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://tienda.icontec.org/gp-metodos-de-ensayo-para-la-toma-de-muestras-y-el-analisis-fisicoquimico-de-jabones-productos-de-jabon-y-detergentes-ntc5604-2008.html>. [Marzo 2, 2024].

Mediante este método se determina que la incorporación del tensoactivo oleoquímico disminuye el nivel de espuma de la crema frente a la formulación estándar, la cual alcanza un volumen de 100 mL versus 125 mL. Esto está asociado con la disminución en su desempeño, dado que la espuma contribuye al arrastre de grasa y eficiencia del producto.

2.4.2. Estabilidad del producto

Se somete el producto a 4 condiciones medioambientales diferentes, a fin de evaluar su comportamiento cada semana en un periodo de tiempo determinado, desde 4 aspectos: apariencia, color, nota olfativa e intensidad de la fragancia, los cuales son calificados en una escala de 1 a 5 (Tabla 10).

Tabla 10.

Evaluación física crema lavalozza La Joya.

Calificación	Concepto
1	El prototipo es diferente al patrón.
2	El prototipo posee cambios significativos frente al patrón.
3	El prototipo posee cambios frente al patrón.
4	El prototipo posee cambios leves frente al patrón.
5	El prototipo es igual al patrón.

Nota. Esta tabla muestra los criterios de evaluación física durante la estabilidad de la crema lavalozza.

Esta calificación se realiza a partir de la comparación con el prototipo estándar el cual es preservado a temperatura ambiente y protegido de la luz visible, por lo que no posee alteraciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas. Por tanto, se evalúan las propiedades organolépticas y fisicoquímicas de la Crema lavalozza la Joya en las condiciones medioambientales descritas a continuación.

- **Estufa:** Se almacena el producto en la estufa de estabilidad durante un mes a una temperatura de 40 a 44°C.
- **Foto-Estabilidad:** Se somete el producto a las condiciones ambientales de Bogotá, a partir de su almacenamiento en una ventana, donde se encuentra en contacto con la luz solar directa (°C y %HR) durante un mes.
- **Cámara de Estabilidad:** Este equipo simula condiciones de temperatura de 43 a 47°C, humedad de 65 a 75%, luz UVA y visible, por un periodo de 3 meses.
- **Ambiente:** El producto es sometido a condiciones normales, simulando las características de almacenaje convencionales (°C y %HR) de Bogotá.

Como resultado, se identifica que la formulación estándar posee un índice de degradación superior en cuanto a sus características organolépticas y físicas al ser sometido a las condiciones de cámara, donde su color e intensidad de fragancia disminuyeron considerablemente en un periodo de tres meses. Estos resultados son similares al comportamiento en foto-estabilidad y estufa, donde el tiempo de exposición fue de un mes, por lo que se infiere que la formulación es más propensa a

cambios en estas condiciones. No obstante, a condiciones normales de Bogotá, es decir en clima templado, es estable conservando sus atributos a lo largo de 3 meses.

Tabla 11.

Estabilidad estándar Crema Lavalozza La Joya.

VARIABLE	Aspecto	Color	Nota Olfativa	Intensidad de la Fragancia
Mes 1				
Ventana	5,0	4,0	5,0	3,0
Estufa	4,0	3,0	5,0	3,0
Ambiente	5,0	5,0	5,0	5,0
Cámara	5,0	4,0	5,0	5,0
Mes 3				
Ambiente	5,0	5,0	5,0	5,0
Cámara	5,0	3,0	5,0	3,0

Nota. Esta tabla muestra los resultados de estabilidad de la crema lavalozza La Joya 100% LAS.

En la formulación con TO, se evidencia un comportamiento más estable en las condiciones de estufa y foto-estabilidad, dado que sus características físicas y organolépticas presentan una valoración superior frente al prototipo estándar. Sin embargo, se establece que dicha estabilidad no es sostenible en el tiempo dado que a lo largo de los 3 meses de evaluación en las condiciones de ambiente y cámara este disminuyo su color, nota olfativa e intensidad de la fragancia, por lo que se demuestra la influencia del material homólogo sobre la formulación del producto.

Tabla 12.

Estabilidad Crema Lavalozza La Joya 70:30 (LAS : TO).

VARIABLE	Aspecto	Color	Nota Olfativa	Intensidad de la Fragancia
Mes 1				
Ventana	5,0	5,0	5,0	3,0
Estufa	5,0	4,0	5,0	3,0
Ambiente	5,0	5,0	5,0	5,0
Cámara	5,0	5,0	5,0	5,0
Mes 3				
Ambiente	5,0	4,0	5,0	3,0
Cámara	5,0	3,0	4,0	2,0

Nota. Esta tabla muestra los resultados de estabilidad de la crema lavalozza La Joya con incorporación del tensoactivo de origen oleoquímico.

2.4.3. Control de peso y dureza

En primer lugar, la dureza permite evaluar el comportamiento de la crema lavalozza al ser una propiedad reológica, identificando la relación entre la composición y estructura química, por lo que se determina la capacidad de este semisólido de mantener su forma frente a una fuerza ejercida. Lo anterior, permite definir el tiempo de liberación del producto para su respectivo transporte sin que este presente averías, donde para la crema lavalozza estándar es de 7 horas posterior a su fabricación.

Por otra parte, se registra el peso de 10 tarrinas de producto desde su fabricación hasta el transcurso de un año, con el objetivo de validar la disminución en su gramaje asociado a la pérdida de humedad y la dureza del producto, por lo que este último se mide de forma simultánea en tres puntos diferentes.

Si bien, la pérdida de peso promedio posterior a un año de fabricación de la crema lavalozza La Joya es de 19,12 g, a partir de la incorporación del tensoactivo oleoquímico es inferior en un 8% (17,44 g). Esto se ve reflejado en la dureza del producto, tal y como se muestra en las Tabla 13 y 14 donde a mayor pérdida de humedad mayor es su dureza.

Tabla 13.*Pérdida de peso Crema Lavalozza La Joya.*

FORMULACIÓN	Pérdida de peso (g)		
	Semana 1	Mes 1	Mes 12
Estándar	0,48	4,44	19,12
70:30 (LAS:TO)	1,03	2,53	17,44

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la pérdida de peso de las formulaciones de la crema lavalozza La Joya.

Tabla 14.*Dureza Crema Lavalozza La Joya.*

FORMULACIÓN	Dureza (lbr)		
	Tiempo 0	Mes 1	Mes 12
Estándar	2,78	17,88	31,84
70:30 (LAS:TO)	2,28	17,16	27,14

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la dureza de las formulaciones de la crema lavalozza La Joya.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, se seleccionaron 3 tensoactivos de origen vegetal, los cuales serán incorporados en la formulación de crema lavalozza considerando la repercusión que sus características (origen, material activo, carácter químico, entre otras) puedan llegar a tener en aquellas variables críticas durante el proceso de fabricación en las características organolépticas y propiedades fisicoquímicas del producto final, con el objetivo de plantear el diseño factorial.

3.1. Variables independientes

Las variables independientes son conocidas como aquellas cuya variación influye en el resultado del experimento y en las variables dependientes, es por ello por lo que estas son manipuladas dentro de rangos o niveles de experimentación generando un determinado número de tratamientos [47]. Por consiguiente, se establecen como variables independientes, las tres moléculas tensoactivas seleccionadas y la relación entre la concentración del tensoactivo de origen vegetal y de origen petroquímico, dado su influencia en las características y propiedades de la crema lavalozza.

3.1.1. Tipos de co-tensoactivos

Al incorporar un agente tensoactivo se pueden producir efectos sinérgicos que alteran las propiedades de la mezcla, por lo que se deben determinar las características y propiedades de las 3 moléculas a implementar.

- **Hidroxisultaina:** Estos compuestos poseen propiedades que potencializan la formación de espuma, viscosidad y estabilidad hidrolítica, al ser usados como cotensoactivos en las formulaciones, por lo que complementan el desempeño del tensoactivo primario [33]. Además, poseen una alta solubilidad en agua en un amplio rango de pH, lo que las hace tolerantes tanto a condiciones ácidas como alcalinas [33]. A su vez, son resistentes a la dureza del agua y aumentan la suavidad de la formulación gracias a que reducen la irritación asociada con los tensoactivos puramente iónicos [9]. Asimismo, se mineralizan fácilmente en condiciones aeróbicas, lo que le suministra una alta biodegradabilidad y a su vez baja toxicidad [27].

Tabla 15*Especificaciones técnicas Hidroxisultaina*

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Aspecto	-	Líquido claro
Color	-	Levemente amarillo
Olor	-	Suave
Carácter químico	-	Anfótero
Materia Activa	%	40 - 50
Agua	%	35 - 50
Otros	%	10 - 15
pH	-	6 - 8 (10% en agua)

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas de la Hidroxisultaina según información brindada en la ficha técnica del proveedor.

El material debe ser almacenado en un lugar fresco y seco, alejado de calor, llamas u otras fuentes de ignición, así como de agentes oxidantes fuertes. A su vez, debe ser manipulado con elementos de protección debido a que es irritante y corrosivo, por lo que puede generar irritaciones cutáneas y/o lesiones oculares.

- **Alquilpoliglucósido:** Según la longitud de la cadena y el grado de glicosidación, es decir la porción glucosídica y del grupo alquilo modificará el equilibrio hidrofílico-lipofílico (HLB) del compuesto, así como la polaridad asociada y las propiedades de actividad superficial del compuesto [17], lo que determina su aplicación industrial.

Como tensoactivos los APG poseen propiedades humectantes, emulsionantes y dispersantes, así como un nivel de detergencia, estabilización y formación de espuma alto [9]. Además, tienen buena estabilidad química a pH neutro y alcalino, sin embargo, son inestables a pH fuertemente ácido y levemente sensibles a los electrolitos, aunque disponen de buena tolerancia a la dureza del agua.

Por otra parte, sus propiedades son de baja toxicidad y bajo impacto ambiental, gracias a su alto índice de biodegradabilidad [27], asociado principalmente al origen de sus materiales de partida.

Tabla 16

Especificaciones técnicas Alquilpoliglucósido.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Aspecto	-	Líquido claro
Color	-	Levemente amarillo
Olor	-	Suave
Carácter químico	-	No iónico
Materia Activa	%	Aprox. 50
Agua	%	Aprox. 50
pH	-	8,5
Densidad	g/cm ³	1,11

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del APG según información brindada en la ficha técnica del proveedor.

Almacenar a temperaturas menores o iguales a 40°C, alejado de bases fuertes, ácidos fuertes y medios oxidantes. Para su manipulación este es corrosivo por lo que debe manejarse con elementos de protección a fin de evitar irritaciones cutáneas y/o lesiones oculares.

- **Alfa Olefina Sulfonada:** Los AOS son tensoactivos aniónicos que se caracterizan por su excelente detergencia, solubilidad y formación de espuma. Además, poseen mayor tolerancia a la dureza del agua que el LAS, así como una excelente estabilidad en un amplio rango de pH, por lo que son implementados en medios altamente ácidos o básicos [36]. A su vez, los AOS son más solubles que el LAS, sin embargo, generan mayor fluidez en la formulación, dado que no responden a los efectos del agente espesante [9], lo que puede resultar en dificultades reológicas. Con respecto a su índice de biodegradabilidad, al ser un compuesto con cadena lineal su velocidad de degradación es superior frente al LAS.

Tabla 17*Especificaciones técnicas Alfa Olefina Sulfonada*

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Aspecto	-	Líquido claro
Color	-	Amarillo
Olor	-	Suave
Carácter químico	-	Aniónico
Materia Activa	%	30 - 40
Agua	%	50 - 60
Otros	%	2 - 6
pH	-	8 - 10
Densidad	Lbs/gal	8,86 a 25°C

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del AOS según información brindada en la ficha técnica del proveedor.

Respecto a sus condiciones de almacenamiento se debe tener en cuenta que este producto es estable y no es reactivo bajo condiciones normales de uso, almacenamiento y transporte, sin embargo, debe evitarse su contacto con agentes oxidantes fuertes. Para su manipulación este es corrosivo por lo que debe manejarse con elementos de protección a fin de evitar irritaciones cutáneas y/o lesiones oculares.

3.1.2. Relación

La relación entre las concentraciones del tensoactivo de origen petroquímico y el de origen vegetal deben ser establecidas dentro de un rango que permita definir el límite mínimo y máximo de sustitución. Este rango es establecido según las especificaciones técnicas de cada uno de los compuestos tensoactivos, donde según su carácter químico posee una sinergia con el tensoactivo aniónico principal. Este efecto sinérgico, permite que la interacción entre estas sustancias potencialice el efecto de la mezcla frente a los efectos individuales.

- *Aniónico - Aniónico:* El grado de sinergismo crece con el grado de diferencia en carga, por lo que dos tensoactivos aniónicos, poseen una interacción inferior a las posibles mezclas entre las demás cargas químicas [48]. Sin embargo, según las propiedades mencionadas anteriormente, los AOS poseen efectos que reducen la tensión superficial, y reducen la sensibilidad a la dureza del agua y pueden aumentar el nivel de espuma y la detergencia de LAS.

- Aniónico - Anfótero: Los tensoactivos anfotéricos interactúan con los aniónicos en gran medida. Los cambios estructurales en las micelas provocan, en la mayoría de los casos, un aumento en la viscosidad además de un leve aumento en el desempeño de producto [48]. Es por ello, que las hidroxisultainas se utilizan como tensoactivos secundarios para mejorar las propiedades de las formulaciones basadas en tensoactivos aniónicos, conllevando a la optimización de la detergencia, la formación de espuma y la viscosidad.
- Aniónico - No iónico: Esta mezcla proporciona un aumento en el punto de turbidez del tensoactivo no iónico hasta el punto de eliminarlo, lo cual incrementa la solubilidad y estabilidad de este a temperaturas altas [48]. Además, los APG conducen a efectos reológicos favorables y aporta beneficios ambientales [17].

Asimismo, se evalúa el porcentaje de materia activa de cada compuesto “sustituto” frente al LAS, dado que este influye en el porcentaje total del activo del producto y por ende en su desempeño. Los componentes de cada tensoactivo limitan el porcentaje de sustitución, considerando que las tres moléculas contienen alrededor del 40 y 50% de composición en agua, lo que influye en la cantidad de materia activa disponible para la formulación. Por lo anterior, se establece que el porcentaje máximo a trabajar es del 30%, seguido del 20 y 10 %.

Para el caso de la alfa olefina sulfonada, su porcentaje de materia activa es del 40%, por lo que un gramo de esta materia prima equivale a 0,4 gramos de la composición tensoactiva, mientras que el 60% corresponde al contenido en agua y 2 al 6% de otros componentes.

$$\text{Relación materia activa} = \frac{40\%}{100\%} = 0,4$$

Para una sustitución del 30% en la crema lavalozza con un % de activo total del 10%, el 1,2% corresponde a la materia activa de la molécula.

$$\%AOS = 10\% \times \frac{30\%}{100\%} = 3\% AOS$$

$$\%materia\ activa = 3\% \times 40\% = 1,2\% AOS$$

3.2. Variables dependientes

Estas variables se caracterizan por su relación directa con las variables independientes, al cambiar sus características o resultados a partir de la modificación de los niveles de cada factor. Según esto, se determina que la implementación de los tensoactivos de origen vegetal influye en la concentración de agua y del agente de relleno, así como en las propiedades fisicoquímicas del producto, gracias a su composición (descrita en las especificaciones técnicas) que influyen en la reología de la crema. Por lo anterior, se establece que, según la molécula a trabajar y la cantidad adicionada, variara el porcentaje de agua y rellenos establecidos en la formulación.

3.3. Variables de respuesta

Las variables de respuesta también son clasificadas como dependientes dentro del diseño experimental, sin embargo, estas determinan la viabilidad del experimento al generar un resultado crítico. En este caso, la variable que establece la viabilidad de los prototipos a fabricar es su desempeño, dado que esto se asocia a la función principal del producto de remover la suciedad y propender por el cuidado de los utensilios de cocina.

Si bien, otras variables tales como su tiempo de fraguado y las propiedades fisicoquímicas específicamente su % de humedad y dureza constituyen factores que definen la factibilidad del experimento, al ser obtenidos en laboratorio no son valores paralelos frente a las condiciones de fabricación en planta.

3.4. Hipótesis

Una vez se establecieron las variables de proceso, se realiza la creación de la hipótesis que describe el objetivo que se quiere alcanzar, en este caso se debe tener en cuenta la influencia de las características del tensoactivo de origen vegetal y la concentración con relación al tensoactivo de origen petroquímico, en el desempeño de la crema lavalozza.

3.4.1. Hipótesis nula

La incorporación de tensoactivos de origen vegetal en la fabricación de crema lavalozza como sustitutos parciales del tensoactivo de origen petroquímico optimizan el desempeño del producto.

3.4.2. Hipótesis alternativa

La incorporación de tensoactivos de origen vegetal en la fabricación de crema lavalozas como sustitutos parciales del tensoactivo de origen petroquímico reducen el desempeño del producto.

3.5. Tipo de diseño de experimentos

Para la selección del diseño de experimentos se tiene en cuenta la aplicación o enfoque del proyecto y a su vez la cantidad de variables independientes o factores que influyen directamente en el proceso a evaluar.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se selecciona el diseño factorial 3^k , el cual se aplica para el estudio en la optimización de procesos industriales, en los cuales existe una gran variedad de factores que pueden influir en la variable de respuesta, lo cual permite introducir los conceptos de efecto principal, así como la interacción de los factores determinantes en el proceso.

Este tipo de diseño se trabaja con k factores, denominadas como variables independientes las cuales varían en tres niveles según los límites que se manejen en cada factor o variable, dando como (+) el nivel a usar y (-) los niveles que no aplican en el experimento.

Tabla 18

Factores, niveles y rangos

Factores	Tipo de factor	Tipo de variable	Niveles		Rango
Molécula tensoactiva	Controlable / Independiente	Cualitativa nominal	3	AOS APG HS	-
Concentración	Controlable / Independiente	Cuantitativa continua	3	10% 20% 30%	$10% < C < 30%$
Desempeño	Diseño / Respuesta	Cuantitativa continua	NA		NA

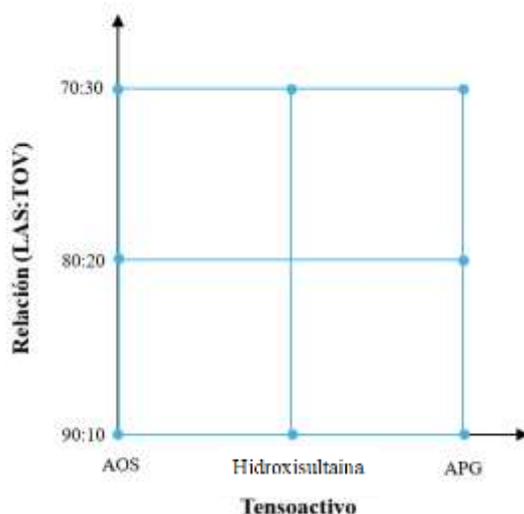
Nota. Esta tabla muestra la clasificación de los factores, niveles y rangos de las variables del diseño de experimentos.

3.6. Matriz de experimentos

La matriz del diseño de experimentos seleccionado previamente (Diseño 3^2) comprende cada una de las combinaciones que fueron realizadas, las cuales se muestran en la tabla 18, esto dio como resultado un diseño factorial de 9 experimentos correspondientes al producto de los tres niveles de cada una de las variables estudiadas.

Figura 31.

Diseño factorial.



Nota. La figura representa el diseño factorial entre las moléculas tensoactivas y la relación entre el ácido sulfónico (LAS) y el tensoactivo de origen vegetal.

Una vez realizado todo el modelo del diseño de experimentos, se realizará un duplicado, por lo que se llevaran a cabo 9 repeticiones o réplicas con el fin de disminuir el error o dispersión de los datos obtenidos a partir de la experimentación realizada según lo estipulado en cada una de las combinaciones dadas por el diseño 3^2 .

En resumen, se dan un total de 18 experimentos (con réplica) para el análisis de la metodología propuesta para la evaluación de este proyecto, donde las combinaciones que corresponden a estos experimentos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 19*Matriz diseño de experimentos*

Prototipos		B= Relación (LAS: Tensoactivo vegetal)			Respuesta
		70:30	80:20	90:10	
A= Molécula tensoactiva	AOS	+	-	-	Y1
		-	+	-	Y2
		-	-	+	Y3
	HS	+	-	-	Y4
		-	+	-	Y5
		-	-	+	Y6
	APG	+	-	-	Y7
		-	+	-	Y8
		-	-	+	Y9

Nota. Esta tabla muestra el número de experimentos según las combinaciones de las variables y sus niveles para el diseño de experimentos.

4. RESULTADOS

Posterior a la experimentación realizada para la estimación de los efectos de cada variable en la crema lavalozza La Joya, se realiza la tabulación y análisis de los resultados obtenidos. Esto conduce a la conclusión de la investigación dando como respuesta la combinación de las variables estudiadas, con las cuales se obtiene una optimización en las características fisicoquímicas del producto.

Por ello, este capítulo tiene el resumen detallado de los resultados obtenidos por medio de las pruebas estipuladas por el diseño de experimentos con su respectivo análisis estadístico enfocado hacia la implementación de un tensoactivo de origen vegetal.

4.1. Prototipos

Al fabricar los prototipos de crema lavalozza se evidenciaron diversas variaciones a lo largo del proceso, las cuales se asociaban a la molécula tensoactiva, por lo cual se describe a continuación las observaciones identificadas en laboratorio, así como los análisis fisicoquímicos de cada uno de ellos los cuales junto con el análisis de varianza respecto al desempeño y su factibilidad financiera permiten seleccionar la formulación a extrapolar en planta.

4.1.1. Hidroxisultaina

Al incorporar la Hidroxisultaina como material homólogo en un 30 y 20% de sustitución en la crema lavalozza, se percibe posterior a la reacción de neutralización una variación en el aspecto y consistencia de la mezcla, la cual pasa de ser un fluido viscoso de color marrón a un líquido blanco, dificultando la homogenización al adicionar aquellas materias primas en polvo, debido a lo cual se obtiene una mezcla grumosa, influyendo en la reología de la crema. Sin embargo, al ser sometido a los tiempos de agitación definidos en la ruta de fabricación, la mezcla pasa a tener una consistencia líquida generando un aumento en su fluidez lo que dificulta el proceso de dosificación. A su vez, al adicionar el color, se muestra una tonalidad verde aguamarina oscura, aumentando la intensidad de la base azul del pigmento.

Durante el proceso de envasado su nivel de llenado máximo se alcanza con un contenido neto de 415 y 465 gramos para los prototipos con relación 70:30 y 80:20, respectivamente, de modo que estos no son óptimos según las necesidades del producto. Adicional a ello, debido al alto contenido

de agua estos no fraguan en su totalidad, por lo que se infiere una prolongación en el tiempo estándar al fabricar en planta.

Con respecto, al prototipo con relación 90:10 (LAS: HS) se evidencio una mejora en la reología de la crema la cual, pese a que posee un nivel de fluidez alto, cumple con el nivel de llenado de 500 g en la tarrina, así como mayor consistencia para su envasado. Sin embargo, frente al prototipo actual de crema lavalozza La Joya este posee una variación en la tonalidad de su base, la cual se observa grisácea, influyendo en el color final de la crema, así como un cambio en su aspecto al observar grumos en la mezcla.

Figura 32.

Prototipos Crema Lavalozza La Joya LAS e Hidroxisultaina.



Nota. La figura muestra los prototipos de crema lavalozza La Joya con incorporación de Hidroxisultaina en su formulación.

Propiedades fisicoquímicas: Según las metodologías descritas en el apartado 2.4.1. para el análisis de las propiedades fisicoquímicas de la crema lavalozza, se realiza la medición del pH, así como el cálculo del nivel de espuma, % de activo, material soluble en alcohol y dureza, tal y como muestra a continuación para el prototipo relación 70:30 (LAS: HS) los cuales se registran en la Tabla 20, evidenciando que estas no son alteradas significativamente por la implementación del material homólogo.

$$\text{Nivel de espuma} = 380 \text{ mL} - 250 \text{ mL} = 130 \text{ mL}$$

$$\text{Ingrediente activo} = \frac{0,00172 \text{ L} \times 0,004 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 100 \times 343 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{3,2687 \text{ g}} \times 100\% = 7,22\%$$

$$\text{Material soluble} = \frac{181,7896 \text{ g} - 181,4001 \text{ g}}{2,1325 \text{ g}} \times 100\% = 18,26\%$$

Tabla 20*Propiedades fisicoquímicas Prototipos e Hidroxisultaina*

Relación (LAS : HS)	UNIDADES	70:30	80:20	90:10
pH	-	10,66	10,53	10,63
Ingrediente activo	%	7,22	7,36	8,65
Nivel de espuma	mL	130	135	160
Humedad	%	24,65	25,58	25,22
Solubles en alcohol	%	18,26	18,02	21,55
Dureza	lb _f	0,65	0,72	1,82

Nota. Esta tabla muestra los resultados fisicoquímicos de los prototipos con incorporación de Hidroxisultaina en su formulación.

Respecto al nivel de espuma, se evidencia que el prototipo con relación 70:30 obtuvo un volumen superior, seguido del prototipo 80:20 y finalmente 90:10, logrando una optimización en el nivel de espuma frente al prototipo regular, sin embargo, se percibe que el aspecto de esta es aireada, por lo que se dispersa con mayor facilidad en presencia de grasa tal y como se observa en el Anexo 2.

4.1.2. Alquilpoliglucósido

Al igual que la molécula tensoactiva descrita anteriormente la adición del material homólogo disminuye la viscosidad de la mezcla, lo cual es mitigado al adicionar el agente de relleno y desengrasante, dado que esta recupera su consistencia viscosa confiriéndole un aspecto pegajoso. Sin embargo, al estar en constante agitación, la fluidez de la crema aumenta, lo cual se ve influenciado por la incorporación del agente humectante, obteniendo como resultado una crema con una base más azulada, brillante y con alta fluidez. Además, se presenta una disminución en la densidad del producto debido a su alto nivel de llenado, lo cual puede generar manchas en la tapa durante el llenado en línea.

Lo anterior, describe el comportamiento frente a una sustitución entre el 30 y 20 %, sin embargo, frente al 10% el prototipo posee mayor consistencia, facilitando la homogenización de los polvos en la formulación. Al igual que los prototipos anteriores, se evidencia un aumento en la fluidez, brillo e intensidad en la tonalidad azul de la crema frente al prototipo original.

Figura 33.

Prototipos Crema Lavalozza La Joya LAS y Alquilpoliglucósido.



Nota. La figura muestra los prototipos de crema lavalozza La Joya con incorporación de Alquilpoliglucósido en su formulación.

Tabla 21

Propiedades fisicoquímicas prototipos APG.

Relación (LAS:APG)	UNIDADES	70:30	80:20	90:10
pH	-	10,6	10,5	10,8
Ingrediente activo	%	7,09	7,53	7,96
Nivel de espuma	mL	120	115	110
Humedad	%	23,98	24,94	24,61
Solubles en alcohol	%	17,24	17,89	22,91
Dureza	lb _f	0,54	0,83	1,32

Nota. Esta tabla muestra los resultados fisicoquímicos de los prototipos con incorporación de Alquilpoliglucósido en su formulación.

Con respecto al nivel de espuma, se evidencia una mejoría tanto en su altura y forma a partir de la incorporación del material homólogo (Anexo 3), donde se obtuvo un nivel superior con el prototipo relación 90:10, seguido del 80:20 y finalmente 70:30.

Tal y como se observa en la Tabla 20 y 21, el % de activo de los prototipos con APG y HS poseen un valor inferior al rango establecido, debido a que la metodología implementada para la determinación de este atributo (Apartado 2.4.1.c) es para tensoactivos de carácter aniónico, por lo que el valor obtenido está asociado únicamente al contenido de sal de LAS.

4.1.3. Alfa Olefina Sulfonada

A partir de la incorporación del AOS como material homólogo del ácido sulfónico (LAS) en la crema lavalozza La Joya, se evidencia un leve aumento en su contenido de agua, el cual incrementa respecto al porcentaje de sustitución, sin embargo, este es inferior frente a las moléculas tensoactivas implementadas anteriormente. Es por ello, que la fluidez del producto facilita su dosificación en la tarrina, donde el nivel de llenado es superior a menor cantidad debido a la disminución en su densidad, por lo que con 500 g de producto se llega al tope de la tarrina, lo cual puede afectar el proceso extrapolado en planta en una relación 70:30.

Con respecto a los prototipos 80:20 y 90:10 se evidencia una mejoría durante el proceso de fabricación, no obstante, estos poseen grumos, así como una disminución en la tonalidad de la base del color. Los 3 prototipos poseen un nivel de espuma similar tal y como muestra en el Anexo 4, incrementando su volumen respecto al prototipo estándar.

Figura 34.

Prototipos crema Lavalozza La Joya LAS y Alfa Olefina Sulfonada.



Nota. La figura muestra los prototipos de crema lavalozza La Joya con incorporación de Alfa Olefina Sulfonada en su formulación.

Tabla 22*Propiedades fisicoquímicas prototipos AOS*

Relación (LAS:AOS)	UNIDADES	70:30	80:20	90:10
pH	-	10,59	10,64	10,34
% Ingrediente activo	%	8,05	8,95	9,41
Nivel de espuma	mL	100	105	110
Humedad	%	25,08	20,42	24,21
Solubles en alcohol	%	19,58	26,04	22,04
Dureza	lb _f	1,90	1,99	2,2 6

Nota. Esta tabla muestra los resultados fisicoquímicos de los prototipos con incorporación de Alfa Olefina Sulfonada en su formulación.

Según de lo mencionado anteriormente, se determina que la sinergia entre el tensoactivo de origen petroquímico con las moléculas de origen vegetal varía según el carácter químico de cada uno, así como su concentración, donde a mayor porcentaje de sustitución se genera mayor variación en las características organolépticas del producto, mientras que sus propiedades fisicoquímicas se mantienen dentro del rango de aceptación de atributos. No obstante, la densidad promedio de la crema se ve influenciada por la densidad del tensoactivo, por lo cual se identifica que deben modificarse los diferentes componentes de la formulación a fin de obtener el valor deseado.

Por otra parte, la reología del producto se ve afectada por el contenido de agua de cada compuesto lo cual se demuestra a partir de la medición de la dureza de cada prototipo la cual fue posible realizar posterior a 12 horas de fabricación, por lo que se identifica que los tiempos de maduración se prolongan frente al estándar, determinando que las alfa olefinas sulfonadas son la molécula que posee un valor cercano al estimado según el estándar.

4.2. Variable de respuesta: Desempeño

Se realizó la valoración del nivel de remoción de grasa de los prototipos con incorporación de los diferentes tensoactivos de origen vegetal en la formulación de la crema lavalozza La Joya, a partir de la comparación con el desempeño de la fórmula base, en el cual se establece que la Hidroxisultaina optimiza el grado de limpieza del producto en mayor proporción respecto a los demás sustitutos.

Donde el prototipo con relación 90:10 (tensoactivo primario: homólogo) alcanzo a lavar un promedio de 13 platos, aumentando un 44% el desempeño frente a la formulación regular. Seguido a este, el prototipo 80:20 genero una remoción de 12 platos y por último el 70:30 con 11,5 platos lavados, demostrando que la incorporación de este material como sustituto parcial del LAS genera un incremento en el desempeño de la crema lavalozza, así como una mejora de su textura, dado que esta posee mayor untuosidad con respecto al prototipo original.

Seguido a la Hidroxisultaina, el Alquilpoliglúcosido genera un grado de remoción de suciedad mayor al patrón con el prototipo con relación 90:10 con 10 platos lavados, seguido del prototipo 80:20 con una remoción de 9,5 platos igualando el desempeño de la formulación estándar, dejando como último dentro de la clasificación el prototipo 7:30 con 8 platos lavados, disminuyendo la acción desengrasante del producto.

Finalmente, al incorporar la Alfa Olefina Sulfonada se identificó un nivel de sustracción superior en el prototipo con relación 80:20 (tensoactivo primario: homólogo) con 9 platos lavados, manteniendo el desempeño de la crema. No obstante, para los prototipos con relación 90:10 y 70:30, se presenta una disminución en el desempeño de la crema con una diferencia de lavado frente al patrón de 2 y 1 plato, respectivamente, pese a que el nivel de espuma se mantenga similar entre las tres muestras.

A partir de estos resultados, se identifica que a mayor porcentaje de sustitución el desempeño de la crema lavalozza tiende a disminuir, lo cual se asocia al carácter químico de cada molécula, así como a su % de materia activa el cual al ser inferior al del LAS en los tres casos, disminuye el poder tensoactivo al incrementar su participación en la formulación.

4.2.1. Análisis ANOVA

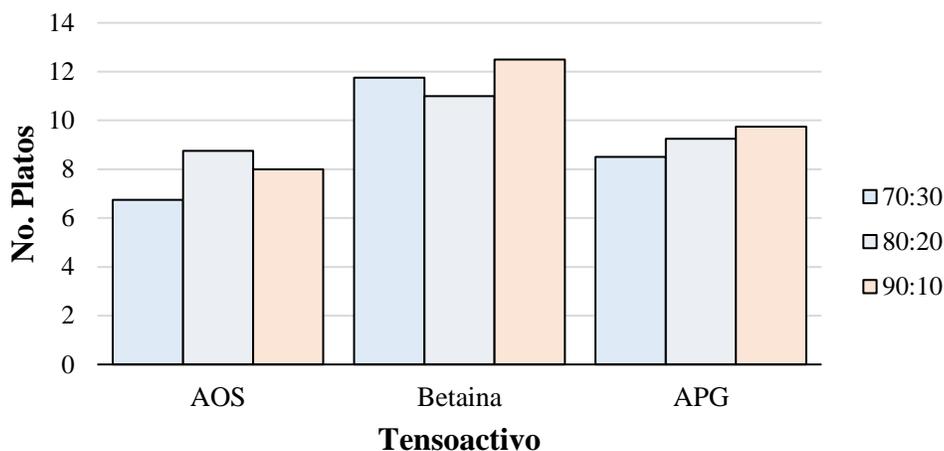
Conforme al desempeño de cada prototipo, se registraron para la matriz experimental los resultados del efecto de la molécula tensoactiva a tres concentraciones diferentes respecto al tensoactivo principal donde cada prueba aleatoria fue realizada por duplicado ($n=2$), con el fin de evidenciar si existen diferencias estadísticas entre cada factor, obteniendo un total de 18 observaciones o datos del experimento (N).

Tabla 23*Desempeño Prototipos Homologación Crema Lavalozza La Joya*

Desempeño		B= Relación (LAS: Tensoactivo vegetal)		
		70:30	80:20	90:10
A= Molécula tensoactiva	AOS	6,5	8,5	8
		7	9	8
	HS	11,5	12	13
		12	10	12
	APG	8	8,5	9,5
		9	10	10

Nota. Esta tabla muestra los resultados por duplicado de la prueba de desempeño de los prototipos de crema lavalozza La Joya con incorporación de las moléculas tensoactivas de origen vegetal.

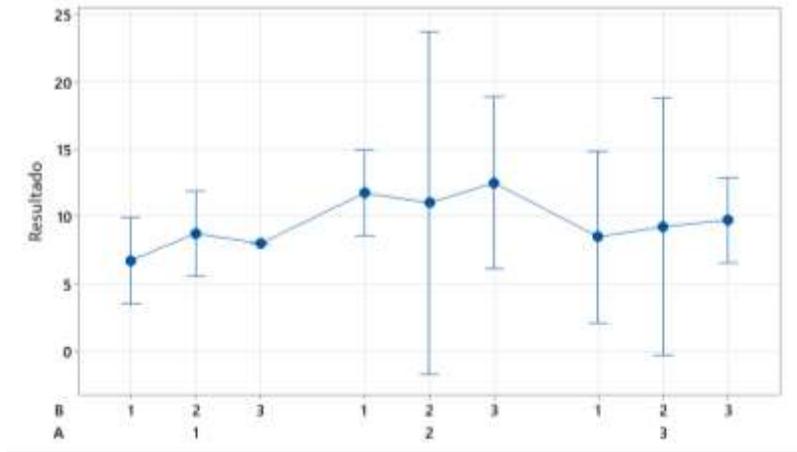
Mediante el análisis de varianza ANOVA se determina la diferencia entre las medias obtenidas en los diversos resultados de la variable de respuesta determinando la viabilidad de cada uno de los tratamientos, donde si las medias son iguales indica que se acepta la hipótesis nula, mientras que la hipótesis alternativa indica que al menos una de ellas es diferente.

Figura 35.*Gráfica Desempeño Prototipos Homologación Crema Lavalozza La Joya.*

Nota. La figura representa el resultado promedio de la prueba de desempeño de los prototipos de crema lavalozza La Joya con incorporación de las moléculas tensoactivas de origen vegetal.

Figura 36.

Gráfica de intervalos de desempeño.



Nota. La figura representa las medias con un intervalo de confianza del 95 % del diseño de experimentos, donde los tensoactivos 1, 2 y 3 corresponden a AOS, HS y APG, respectivamente. Mientras que para la relación 1, 2 y 3 representan las concentraciones en un 70:30, 80:20 y 90:10 con relación al tensoactivo de origen petroquímico, respectivamente.

Tabla 24

Resultados ANOVA AB.

Fuente de Variabilidad	SC	GL	CM	F ₀	Probabilidad	F _c
Tratamiento A	2	47,58	23,79	46,30	1,83E-05	4,26
Tratamiento B	2	3,58	1,79	3,49	0,08	4,26
AB	4	4,33	1,08	2,11	0,16	3,63
Error	9	4,63	0,51			
Total	17	60,13	27,18			

Nota. Esta tabla muestra los resultados del análisis de varianza estadística de los tratamientos respecto a la variable de respuesta.

Según los resultados que se expresan en la Tabla 24 del análisis estadístico, se evidencia que F₀ es menor al F crítico o también conocido como F de tabla, así como la probabilidad es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0,05$), lo que indica que la hipótesis nula es verdadera, dado que las medias entre los valores del tratamiento B y la interacción AB no poseen diferencias significativamente estadísticas, así como los valores replicados en cada nivel. Sin embargo, para el tratamiento A se rechaza la hipótesis nula debido a que no todas las medias son iguales ($\alpha > P$).

De acuerdo con lo señalado anteriormente, se determina que la molécula tensoactiva secundaria influye sobre el desempeño en la crema lavalozza La Joya, mientras que la relación entre la concentración de este con el tensoactivo primario no genera un efecto significativo sobre la variable de respuesta al variar de nivel por lo cual esta puede ser tomada como una variable constante dentro del estudio. Sin embargo, a partir de lo descrito respecto a las propiedades fisicoquímicas del producto junto con su aspecto, se identifica que a mayor porcentaje de sustitución el producto posee mayor fluidez, menor densidad y en algunos casos grumos al finalizar su fabricación, por lo que se determina que una sustitución del 10% optimiza las características del producto sin afectar sus atributos.

Según esto, se demuestra que las propiedades de las moléculas tensoactivas (carácter químico, HLB, tipo, longitud y estructura de la cadena carbonada) influyen en el comportamiento de la formulación, tal y como se ha descrito a lo largo de este documento. En donde, la Hidroxisultaina potencializó las características de la crema lavalozza debido a la dualidad de su carácter químico al poseer una afinidad hidrófila (aniónico) por lo que posee mayor sinergia con el LAS y además un grupo lipófilo que le confiere mayor afinidad a las grasas o suciedad difícil, generando un beneficio superior al producto, por lo que al sustituir parcialmente el LAS en la formulación se evidencia un aumento en el desempeño, mejora de fluidez y además se destacaron sus propiedades organolépticas.

Por su parte, el APG al ser clasificado como un tensoactivo no iónico, confiere propiedades tales como resistencia a los electrolitos, características emulsificantes, desengrasantes y promueven la sinergia de viscosidad, debido su afinidad lipófila. Por lo que, al ser incorporado junto con el LAS su afinidad hidrófila es compensada, generando una sinergia ideal para la potencialización de las propiedades del producto después del HS. Mientras que la Alfa Olefina Sulfonada, al ser un tensoactivo aniónico al igual que el LAS compensa el porcentaje de sustitución, manteniendo las características del producto al no presentar variaciones significativas en el comportamiento tensoactivo.

4.3. Factibilidad financiera

Dentro de los factores determinantes en la viabilidad de un producto, la factibilidad financiera posee un papel fundamental en su ejecución, donde el costo de la formulación es una dimensión

que se evalúa respecto al mercado objetivo, debido a lo cual la crema lavalozza La Joya está dirigida a clientes que buscan buena calidad a un bajo precio.

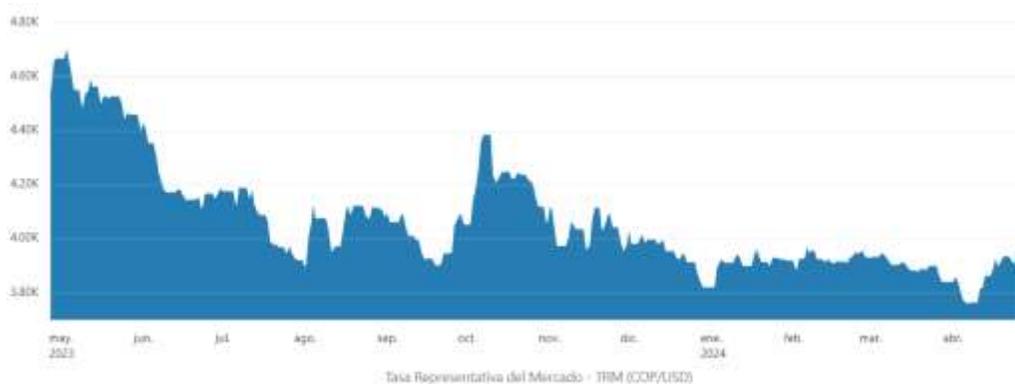
Para este producto su valor total es determinado por el costo de transformación, distribución, el material de empaque y el valor de las materias primas (formulación), siendo este último entre el 45 al 50% de la totalidad del producto. No obstante, el impacto de la formulación puede ser superior o inferior según el comportamiento de algunas materias primas, entre ellas el tensoactivo el cual corresponde al 32% del costo total del producto y el 48% de la formulación.

4.3.1. Alquilbenceno Sulfonato Lineal

Actualmente la implementación del ácido sulfónico (LAS) genera fluctuaciones en el porcentaje del costo en fórmula debido a su relación directa con la tasa representativa del mercado (TRM), la cual para el transcurso del 2024 ha disminuido a causa del decrecimiento de la tasa de cambio entre el dólar norteamericano y peso colombiano.

Figura 37.

Tendencia TRM.



Nota. La figura representa el comportamiento del dólar en Colombia en un periodo de un año. Tomado de: “Tasa Representativa del Mercado (TRM - Peso por dólar) | Banco de la República”, *Banrep.gov.co*, Abril 29, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>. [Acceso: Abril 30, 2024].

Tal y como se muestra en la Figura 37, en el último periodo del año el dólar ha incrementado, ubicándose por arriba de los \$3.800 debido a la inflación que se presenta en los Estados Unidos (EEUU) que para el mes de marzo fue del 3,5% por encima del esperado del mercado. Adicional

a ello, los precios del petróleo presentan tendencia al alza llegando a su valor máximo de los últimos cinco meses con un 13,5% de revalorización, principalmente impactado por la situación geopolítica en Oriente Medio y un incremento en la demanda de China y EEUU.

De acuerdo con esta volatilidad, las materias primas de origen petroquímico implementadas en la síntesis del ácido sulfónico fueron impactadas, desencadenando un aumento en su precio debido además a su baja disponibilidad, generando un incremento respecto a su comportamiento en los primeros meses del año, alcanzando un precio de aproximado de 1,65 dólares por kg, por lo que se proyecta un alza superior en los próximos meses.

Figura 38.

Tendencia del LAS.



Nota. Esta tabla muestra el comportamiento del precio del ácido sulfónico desde abril de 2023 y su proyección para junio de 2024.

4.3.2. Tensoactivos de origen vegetal

La importancia en el estudio de la dependencia de las materias primas en cuanto a su país de origen (distancia y situación geopolítica) junto con su estabilidad económica y dependencia de los indicadores macroeconómicos, son criterios esenciales al momento de seleccionar un tensoactivo. Para los tensoactivos de base vegetal, el principal desafío está relacionado con la variabilidad de su costo ligado a sus materias precursoras. Además, la incorporación de estos materiales en la mayoría de los casos conlleva a un aumento en el precio de la formulación asociado a la percepción de valor agregado respaldado por su menor impacto ambiental, sin embargo, el consumidor no percibe directamente el beneficio de estos tensoactivos, por lo que su implementación debe ser

divulgada resaltando aquellas optimizaciones en cuanto a su grado de limpieza y/o mejora de apariencia.

Para el caso del tensoactivo de origen oleoquímico, en los últimos años los precios del aceite de palma y palmiste presentan una tendencia al alza, oscilando entre 540 y 960 USD/Tonelada métrica [27], impactado por una mayor demanda. Además, su valor se ve influenciado por su país de origen (Malasia), lo que incrementa su precio de importación, debido a lo cual su valor por kg es superior al del LAS, razón por la cual no se continua con la implementación de esta alternativa.

Es por ello, que se realiza el análisis financiero de las moléculas tensoactivas implementadas durante el diseño de experimentos, señalando las principales ventajas y desventajas en cuanto a la factibilidad de cada una de ellas.

Tabla 25

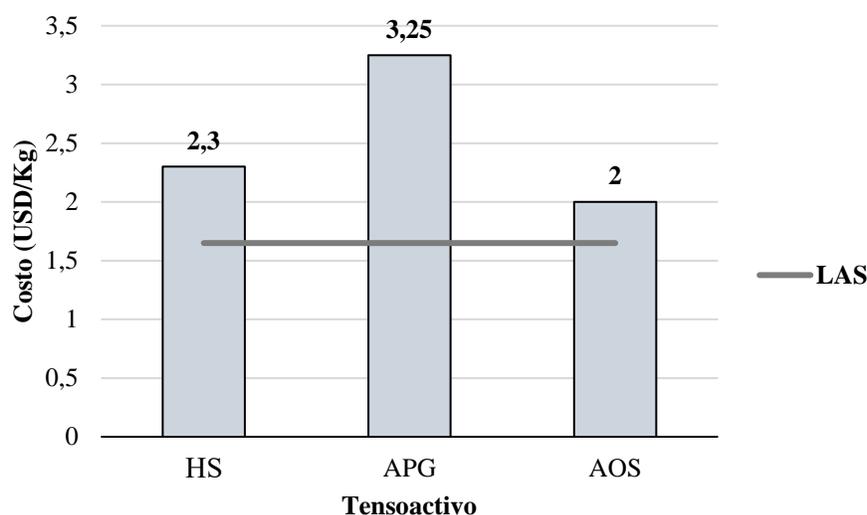
Costo materias primas.

Molécula	Materia prima precursora	Costo aproximado (USD)	País de origen	Diferencia respecto al LAS
HS	Aceite de coco	\$ 2,3	Colombia	+ 39%
APG	Aceite de coco / Almidón de maíz	\$ 3,25	Alemania / China	+ 97%
AOS	Biomasa	\$ 2	Colombia	+ 21%

Nota. Esta tabla muestra el costo de las moléculas tensoactivas de origen vegetal y su diferencia respecto al ácido sulfónico.

Figura 39.

Costo materias primas.



Nota. La figura representa el costo de las moléculas tensoactivas de origen vegetal respecto al del ácido sulfónico.

En primer lugar, las HS y los APG son derivados de una fuente oleoquímica como es el aceite de coco por lo que dependen de su comportamiento económico, cuyo mercado presenta un crecimiento debido a su alta demanda en la industria de alimentos, cosméticos, cuidado personal y productos farmacéuticos, donde la tendencia al alza de productos a base de fuentes biológicas está acelerando la producción y el procesamiento de este material a grado industrial en los principales países productores de coco [49].

Por otro lado, los APG también son derivados del almidón de maíz, considerado como el cereal más importante del mundo debido a sus altos volúmenes de producción, los cuales superan los mil millones de toneladas [50]. Sus usos principales consisten en la alimentación humana y animal, la producción de biocombustibles y actualmente en la implementación de nuevas alternativas sostenibles como lo son los tensoactivos. El principal productor de esta materia prima es Estados Unidos, al producir para el 2021 cerca de una tercera parte de la producción mundial [50], seguido de China quien contribuye con el 21% de este total [50]. Sin embargo, los cultivos de este cereal se ven afectados por las condiciones medioambientales en las que se encuentre el país productor, por lo que su valor fluctúa según la factibilidad de la cosecha, así como de la oferta y demanda en las industrias en las que es implementado.

Adicional a ello, los APG son producidos en Alemania por lo que su costo de importación influye en su costo total, el cual es equivalente a 3,5 USD/kg aproximadamente, ubicándose un 97% por encima del costo/kilo del LAS, el cual pese a que se requiera en menor cantidad incrementa el costo de la formulación al implementarlo.

Pese a que estas alternativas posean características llamativas se debe considerar que sus materias primas precursoras son indispensables en la industria de alimentos y de bioenergía, afectando la disponibilidad de estos recursos para otras aplicaciones.

Por su parte, el AOS al ser derivados de biomasa, su costo varía según el material y la calidad de este, así como de los procesos de transformación que se llevan a cabo para obtener las olefinas, sin embargo, este es inferior al no depender directa y únicamente de una fuente vegetal. Adicionalmente, al ser producidas en Colombia, así como la Hidroxisultaina su costo es inferior al no poseer un valor de importación.

La implementación de las Alfa Olefinas Sulfonadas conlleva determinadas implicaciones económicas asociadas a la obtención, manejo y procesamiento de biomasa, al requerir de la tecnología adecuada para su transformación la cual consiste en procesos energéticamente eficientes que permitan obtener el producto deseado al costo adecuado, lo que determina que estos tensoactivos no pueden ser producidos internamente por la planta de aseo La Joya, lo que infiere que la adquisición de esta materia prima se realiza directamente con un proveedor.

En relación con lo expuesto anteriormente, la molécula tensoactiva que posee mayor viabilidad y estabilidad financiera respecto al costo objetivo de la formulación de la crema lavalozza La Joya son las Alfa Olefinas Sulfonadas, seguida de la Hidroxisultaina y el Alquipoliglucósido.

4.4. Prototipo 85:15 (LAS:AOS)

Al evaluar el comportamiento de las tres moléculas tensoactivas respecto al proceso de fabricación y el nivel de remoción de grasa, así como la factibilidad financiera de cada uno de los materiales, se selecciona la Alfa Olefina Sulfonada como tensoactivo secundario a implementar en la formulación de crema lavalozza La Joya. Sin embargo, se modifica su relación respecto al LAS (85:15), junto con la concentración del agente emulsificante, espesante y de relleno, con el fin de optimizar el desempeño y características de la formulación en relación con el producto de línea.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que existe una sinergia entre el material homólogo con los demás componentes de la formulación, cuya modificación permite aumentar o mantener el desempeño de la crema, así como su nivel de espuma.

4.4.1. Prueba en planta

Con base a estos resultados, se llevó a cabo la prueba en planta con el prototipo seleccionado a fin de evaluar el comportamiento del AOS en la formulación de Crema Lavalozza La Joya, durante el proceso de fabricación, envasado y fraguado, por lo que se fabricó un lote de 900 kg de producto.

Allí se evidencia una mejora en la fluidez del producto, lo que facilita la homogenización de aquellas materias primas en polvo. No obstante, al adicionar el color se observa una disminución en la tonalidad de este, donde la base se muestra grisácea frente al estándar, por lo que se adicionan 300 g de color a la mezcla, con los cuales se logra nivelar, aunque no se alcanza el color deseado por formulación.

a. Envasado y embalaje: Se realiza la descarga de la mezcla a los tanques pulmón, cuya duración es de aproximadamente un minuto y 14 segundos, respaldando la optimización en la fluidez frente a 5 minutos del estándar, hecho que facilita el funcionamiento de las bombas que impulsan el producto hasta la línea de producción.

Ahora bien, durante el proceso de envasado se realizaron diversos ajustes en la velocidad de la línea gracias a que la fluidez de la crema generaba manchas alrededor de la tarrina y la tapa (Figura 40). Por ello, se identifica que los parámetros y estándares establecidos para la crema lavalozza La Joya de 500 g 100% LAS no son paralelos a los requeridos para esta nueva homologación lo cual influye en la dosificación, rendimiento y manipulación del producto terminado.

Figura 40.

Envasado de Crema Lavalozza Prueba en Planta.



Nota. La figura representa envasado de la crema lavalozza durante la prueba en planta.

Con relación a los estándares de envasado y embalaje, así como a la merma de producto, se realiza el envasado de la crema lavalozza en el carril 2 de la línea productiva con un parámetro de llenado entre 508 y 512 g de producto aproximadamente, donde se empacaron 735 kg de producto y se reprocesaron 154,7 kg, lo que indica que la merma y el extracontenido corresponde a 10,3 kg, equivalente al 1% del total del batch (900 kg), valor que garantiza un menor desperdicio del lote.

No obstante, al disminuir la velocidad de la línea a fin de garantizar las condiciones de envasado, existe una diferencia del 14 al 18% frente a los tiempos estándar según se muestra en la Tabla 26, reduciendo el rendimiento productivo.

Tabla 26

Tiempos prueba en planta Crema Lavalozza La Joya 500 G

Operación (1000 KG)	Tiempo (Min)																			
	Carril 2										Prueba en Planta									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Fabricación																				
Descargue Tanque																				
Envasado																				
Embalaje																				

Nota. Esta tabla muestra los tiempos asociados al proceso de fabricación, envasado y embalaje de la crema lavalozza La Joya con incorporación de Alfa Olefina Sulfonada en el carril 2 de la línea productiva.

b. Propiedades fisicoquímicas: En cuanto a sus especificaciones fisicoquímicas, esta cumple con los atributos de liberación y con el desempeño establecido con 10,5 platos lavados en promedio. Si bien, el porcentaje de material soluble en alcohol supera el rango de

especificación, se debe tener en cuenta que la modificación en los componentes de la formulación especialmente en el agente de relleno puede generar variaciones en cuanto a sus propiedades, no obstante, los resultados obtenidos son óptimos dentro de los parámetros del producto.

Tabla 27

Análisis fisicoquímicos prueba en planta Crema Lavalozza La Joya

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN	
Aspecto	-	Semisólido con apariencia cremosa, homogénea, compacta, libre de grumos.	
Color	-	Verde menta	
Olor	-	Limón, cítrico. De acuerdo con el estándar.	
Humedad	%	12 h	27,32
		24 h	26,84
		36 h	26,20
		72 h	26,12
pH	-	10,66	
Dureza	lb _f	12 h	1,03
		24 h	1,88
		36 h	2,05
		72 h	2,71
Solubles en Alcohol	%	25,03	
Ingrediente Activo	%	9,07	

Nota. Esta tabla muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos de la crema lavalozza La Joya con incorporación de Alfa Olefina Sulfonada.

Según se observa en la Tabla 27, se tomó la dureza y la humedad del producto cada 12 horas durante 3 días, con el objeto de determinar su tiempo de fraguado para la liberación como producto terminado. A partir de ello, se evidencia que la dureza del prototipo homologado es inferior a la del estándar dado que esta alcanza una dureza de 1,03 lb_f posterior a 12 horas desde su fabricación, lo que demuestra que la reología es modificada a partir de la incorporación de las Alfa Olefinas Sulfonadas. Es por ello por lo que el tiempo de fraguado se ve influenciado y es liberado posterior a las 12 horas, incrementando 3 horas el tiempo estándar de liberación (9 horas).

En cuanto a su impacto logístico, el contenido de humedad del producto influye en la manipulación, almacenamiento, despacho y transporte del producto lo que prolonga su acopio en

planta, repercutiendo en su capacidad productiva, así como en la disponibilidad de espacio y de producto según la demanda.

4.4.2. Estabilidad

A fin de evaluar la perdurabilidad de las propiedades organolépticas y fisicoquímicas de la homologación del AOS en la Crema lavalozza la Joya de 500 g se someten 4 unidades a condiciones medioambientales, además del control de peso y dureza durante dos meses.

Como resultado, se identifica que para el primer mes la formulación posee un índice de degradación superior en cuanto a sus características organolépticas y físicas al ser sometido a la condición de ventana, donde su color y nota olfativa se vieron influenciados por las características medioambientales de Bogotá, al disminuir considerablemente. A su vez, el prototipo presenta un comportamiento en cámara y ambiente estable al mantener sus cualidades iniciales durante un mes de exposición. Según estos resultados, se identifica que la incorporación del AOS en la formulación permite que las propiedades organolépticas de la crema lavalozza sean más estables frente al estándar, favoreciendo la perdurabilidad de su aspecto e intensidad de la fragancia.

Tabla 28

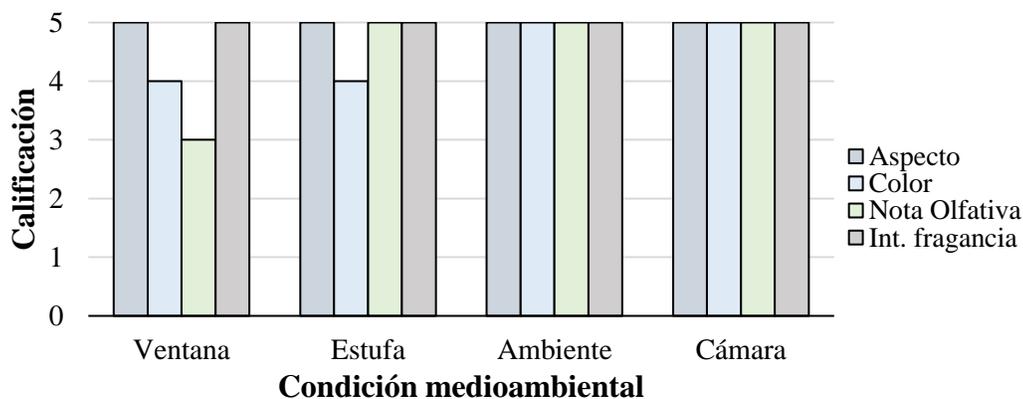
Estabilidad Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).

VARIABLE	Aspecto	Color	Nota Olfativa	Intensidad de la Fragancia
Ventana	5,0	4,0	3,0	5,0
Estufa	5,0	4,0	5,0	5,0
Ambiente	5,0	5,0	5,0	5,0
Cámara	5,0	5,0	5,0	5,0

Nota. Esta tabla muestra los resultados de estabilidad de la crema lavalozza La Joya con incorporación de Alfa Olefina Sulfonada.

Figura 41.

Gráfica estabilidad Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).



Nota. La figura representa la gráfica con el comportamiento del prototipo de prueba en planta de crema lavalozza La Joya durante un mes de exposición condiciones medio ambientales.

En cuanto a la pérdida de peso del producto, este en promedio perdió 0,14 % de peso por semana, lo que se traduce en una pérdida de 5,19 gramos durante los dos primeros meses desde su fabricación. Este comportamiento se asocia a la dureza del producto la cual incrementa respecto a este valor, tal y como se identifica en la Figura 42.

Respecto al estándar, el prototipo de crema lavalozza presenta una mejora en su comportamiento, dado que pierde un 10% menos de peso, lo cual garantiza su vida útil respecto al contenido neto establecido en el producto, además de dar cumplimiento a la normatividad.

Tabla 29

Pérdida de peso Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).

Semana	1	2	3	4	5	6	8
% Promedio pérdida de peso	0,07	0,15	0,29	0,42	0,60	0,77	0,84
Gramos perdidos	0,38	0,78	1,49	2,21	3,16	4,02	5,19

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la pérdida de peso del prototipo de prueba en planta de la crema lavalozza La Joya durante 8 semanas.

Tabla 30

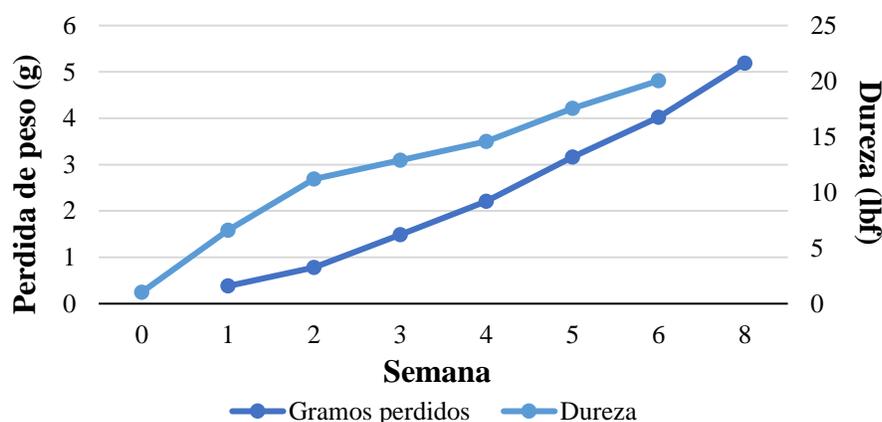
Dureza Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).

Semana	Tiempo 0	1	2	3	4	5	6
Promedio dureza	1,03	6,60	11,21	12,89	14,58	17,55	20,04

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la dureza de las formulaciones de la crema lavalozza La Joya durante 6 semanas.

Figura 42.

Gráfica control peso y dureza Crema Lavalozza La Joya 85:15 (LAS : AOS).



Nota. La figura representa el comportamiento de la pérdida de peso y dureza del prototipo de prueba en planta de la crema lavalozza La Joya durante 8 semanas.

4.4.3. Costo formulación

Tal y como se mencionó en la factibilidad financiera, pese a que el AOS posea un costo de 2 USD/kg (21% superior al LAS), la modificación en el % de sustitución, así como los ajustes a la formulación del producto para mejorar su fluidez y desempeño, permitieron reducir el costo final de la crema lavalozza en un 1% (10 Pesos/kg con una TRM de 3.900 pesos), mejorando su desempeño, índice de biodegradabilidad al incorporar un material de origen vegetal y su manejo operativo gracias a su fluidez aun cuando se reduzca la velocidad durante su envasado.

Considerando que el volumen de producción de la crema Lavalozza La Joya es de 160 toneladas por mes (18% del volumen de la línea), se alcanzaría un ahorro aproximado de 1'600.000 pesos, sin embargo, al extrapolar esta alternativa a las demás formulaciones de crema lavalozza las cuales

alcanzan un volumen total de 975 toneladas, el costo de la formulación disminuiría 10 millones de pesos al mes, impactando el 59% de la producción total de la planta, es decir, que en un año el ahorro oscilaría entre los 110'000.000 de pesos a un volumen constante de producción.

No obstante, frente a una proyección de crecimiento asociado al traslado de la planta, se estima que los volúmenes productivos de crema lavalozza alcancen 1800 toneladas por mes, lo que conllevaría a un ahorro mensual de 17'000.000 de pesos. Además, este material puede ser implementado en formulaciones de jabones lavalozza líquidos, por lo que debe ser estudiada la viabilidad de su incorporación con el fin de incrementar el porcentaje de ahorro y la optimización en la funcionalidad de los productos.

5. CONCLUSIONES

Con base en la caracterización del proceso de fabricación de crema lavalozza La Joya, se identificaron las variables asociadas a las propiedades del producto, dentro de las cuales se destaca principalmente la implementación del tensoactivo de origen petroquímico al ser el ingrediente activo de la formulación, el cual influye en sus propiedades fisicoquímicas, reología, desempeño e índice de biodegradabilidad. Es por ello, que se realiza el análisis de las características de este material aniónico, el cual posee una alta solubilidad en agua, excelente rendimiento y formación de espuma. No obstante, este puede bioacumularse en el ambiente acuático en condiciones anaeróbicas donde su índice de biodegradabilidad es ineficiente.

Debido a ello, se seleccionaron 3 moléculas tensoactivas de origen vegetal con diferente carácter químico, las cuales fueron evaluadas en 3 concentraciones diferentes en relación con el tensoactivo de origen petroquímico, obteniendo un total de 18 experimentos con duplicado. Allí se determinó que existe una diferencia significativamente estadística entre la molécula tensoactiva secundaria sobre el desempeño en la crema lavalozza La Joya, mientras que la relación entre la concentración de este con el tensoactivo primario no genera un efecto significativo sobre esta variable, sin embargo, este factor interviene en la densidad, reología y aspecto del producto, debido a lo cual se identificó que el carácter químico de la molécula genera una variación en las propiedades organolépticas y remoción de suciedad del producto a causa de la sinergia entre tensoactivos aniónico - anfótero, aniónico - no iónico y aniónico – aniónico.

Además, se evaluó la factibilidad financiera de los tensoactivos de origen vegetal respecto al de origen petroquímico, cuyos valores superan el costo/kilo de este, sin embargo, se consideraron factores tales como su país de origen, materia prima precursora y estabilidad financiera, donde según el comportamiento de cada molécula en el producto y el costo objetivo de la formulación de la crema lavalozza La Joya se determinó que las Alfa Olefinas Sulfonadas son la mejor alternativa como sustituto del sulfonato de alquilbenceno lineal. No obstante, a fin de generar un costo beneficio se incorpora este material en relación 85:15 (LAS : AOS), reduciendo el costo final de la crema lavalozza en un 1%.

Finalmente, se determinó la factibilidad operativa del prototipo seleccionado frente al proceso de fabricación actual, mediante el cual se evidencio una optimización en los tiempos de descarga de la mezcla y el % de merma gracias a la fluidez del producto, lo que a su vez influyo en el proceso

de envasado donde se identificó que los parámetros y estándares establecidos para la crema lavalozza La Joya de 500 g 100% LAS no son paralelos a los requeridos para esta homologación, dado que se disminuyó el rendimiento en la línea productiva. Por otra parte, este prototipo presenta una mejora en su comportamiento, al mantener sus propiedades organolépticas al ser sometido a condiciones medioambientales, además de presentar una pérdida de peso inferior a la del estándar, lo cual garantiza su vida útil.

Es por ello, que se determina que la implementación en un porcentaje parcial de un tensoactivo de origen vegetal frente a derivados petroquímicos en la fabricación de crema lavalozza en la planta de aseo La Joya, permite el aumento en el índice de biodegradabilidad del producto, así como la optimización en su desempeño, sin impactar significativamente su reología, estabilidad, tiempo de fraguado y demás condiciones operativas, desligando parcialmente su dependencia a los derivados del petróleo y contribuyendo en el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenibilidad No. 9 “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” y No. 12 “Producción y Consumo Responsables”, a partir del uso de recursos con mayor eficiencia, incentivando la incorporación de tecnologías y procesos industriales que generen un impacto positivo sobre el medio ambiente, la sociedad y la economía, aportando en el propósito de certificación como Empresa B.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “HISTORIA”. Casaluker.com. Disponible en: <https://casaluker.com/historia>.
- [2] Spitz, Luis. (2016). *Soap Manufacturing Technology (2nd Edition)*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0114U8I1/soap-manufacturing-technology/chemistry-synthetic-surfactant>
- [3] Myers, Drew. (2020). *Surfactant Science and Technology (4th Edition)*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012JKYW1/surfactant-science-technology/biosurfactants-nature>
- [4] H. Schneider; J. Samaniego, “La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios”. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2009, p. 29-34.
- [5] Resolución No. 0689, Ministerio de Salud y Protección Social y Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016. [En línea] Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0689-de-2016.pdf>
- [6] Ríos Ruiz, F., “Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: Biodegradabilidad, toxicidad y ozonización”, Universidad de Granada, 2016.
- [7] “ODS 12 Producción y consumo responsables”, Pacto Mundial, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>.
- [8] La comisión de la Comunidad Andina, “Reglamento Técnico Andino relativo a los Requisitos y Guía de Inspección para el funcionamiento de establecimientos que fabrican Productos de Higiene Doméstica y Productos Absorbentes de Higiene Personal”, 2009. [En línea]. Disponible: <https://www.mincit.gov.co/temas-interes/reglamentos-tecnicos/comision-de-la-comunidad-andina-ministero-de-salud/productos-de-higiene-decision-721.asp>
- [9] Rizvi Syed, Q. A. (2021). *Surfactants and Detergents - Chemistry and Applications*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012WSQI4/surfactants-detergents/methyl-ester-sulfonates>

- [10] Ho Tan Tai, Louis. (2000). *Formulating Detergents and Personal Care Products - a Guide to Product Development*, AOCs Pres. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008W2DA1/formulating-detergents/bleaching-agents>.
- [11] Díaz Ramírez, Carmen Cristina; Villafuerte Robles, L., “Elementos Que Influyen La Medición Del Efecto de Electrolitos Sobre La Extensión de Una Gota de Champú.” *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, vol. 43, no. 2, 2012. Disponible: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000200004.
- [12] Rouette, Hans-Karl, “Encyclopedia of Textile Finishing – Deodorant”, Woodhead Publishing, 2001. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003VSVA7/encyclopedia-textile/deodorant>
- [13] American Foundry Society. (2016). *Green Sand Additives - Properties, Applications, and Effects of Misuse, Including Indicative Test Results (3rd Edition)*. American Foundry Society. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011OIJU3/green-sand-additives/iron-oxide-fe2o3>.
- [14] International Food Information Service. (2009). *Dictionary of Food Science and Technology (2nd Edition)*, International Food Information Service (IFIS Publishing). [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006QGDK2/dictionary-food-science/water-supplies>.
- [15] Aveyard, Bob. (2019). *Surfactants - In Solution, at Interfaces and in Colloidal Dispersions*, Oxford University Press. [En Línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012L6C01/surfactants-in-solution/nature-surfactants>
- [16] Iqbal, Mohammed Ismail Khan, Shohaib. (2021). *Coiled Tubing and other Stimulation Techniques -Formation Damage, Well Stimulation Techniques for Production Enhancement*. River Publishers. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012KYXB7/coiled-tubing-other-stimulation/amphoterics-surfactant>

- [17] Craddock, Henry A. (2018). *Oilfield Chemistry and its Environmental Impact*. John Wiley & Sons. [En línea] Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011UGI51/oilfield-chemistry-its/alkyl-sulphates-relate>
- [18] Murzin, Dmitry Yu. (2015). *Chemical Reaction Technology*. De Gruyter. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010ZI0F2/chemical-reaction-technology/sulfonation>
- [19] Sell, Charles S.. (2019). *Fundamentals of Fragrance Chemistry*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0125D842/fundamentals-fragrance/friedel-crafts-reaction>.
- [20] A. F. Rojas; E. Giron , y H. Torres. “ Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química”. Ing. Investig. vol.29, n. ° 3, 2009. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/29175>
- [21] Clancy, D., Hodnett, N., Orr, R. y col, “Desarrollo de modelos cinéticos para estudios de estabilidad acelerada”, AAPS PharmSciTech 18, 1158–1176, 2017. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1208/s12249-016-0565-4>
- [22] Rosen, Milton J. Kunjappu, Joy T. (2012). *Surfactants and Interfacial Phenomena (4th Edition)*. John Wiley & Sons. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011BZMT2/surfactants-interfacial/critical-micelle-concentration>
- [23] International Food Information Service. (2009). *Dictionary of Food Science and Technology (2nd Edition) - Bacterial Counts*. International Food Information Service (IFIS Publishing). [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006QAEZ4/dictionary-food-science/bacterial-coun>
- [24] Hodgson, Peter Christian, Don. (2007). *F is for Fire - A Dictionary of Key Fire Terminology -transport time*. BSI Standards Ltd. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00B0HOLA/f-is-fire-dictionary/transport-time>

- [25] J. F. Osorio Tobón, H. J. Ciro Velásquez, y L. G. Mejía, “CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y TEXTURAL DEL QUESO EDAM”, Dyna (Medellin), vol. 72, núm. 147, pp. 33–45, 2005.
- [26] H. Cáceres y M. Fernanda, “Investigación de mercado y propuesta de diseño de la línea de producción de cuidado del hogar - crema lavaplatos Industria Jabonera La Jirafa S.A.S”, Medellín, Colombia, 2019.
- [27] Hayes, Douglas G. Solaiman, Daniel K. Y. Ashby, Richard D.. (2019). *Biobased Surfactants - Synthesis, Properties, and Applications (2nd Edition)*. Elsevier. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01224ZP2/biobased-surfactants/definition-formulation>.
- [28] “Stability chambers”, Binder-world.com, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.binder-world.com/us-en/knowledge/detail/stability-chambers>
- [29] La comisión de la Comunidad Andina, “Armonización de legislaciones en materia de productos de higiene doméstica y productos absorbentes de higiene personal”, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Galera%20de%20descargas/Normatividad/Decisiones/Decisi%C3%B3n%20706%20de%202008%20-%20CAN%20-%20Productos%20Higiene%20Domestica.pdf>.
- [30] Ministerio de Salud y Protección Social y Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución No. 1770. 2008. [En línea] Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1770-de-2018.pdf>
- [31] “Jabones y detergentes. pasta para lavar loza”, Icontec.org, 1999. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/gp-jabones-y-detergentes-pasta-para-lavar-loza-ntc2860-1999.html>.
- [32] “Métodos de ensayo para la toma de muestras y el análisis fisicoquímicos de jabones, productos de jabón y detergentes.,” Icontec.org, 2008. [En línea]. Disponible:

<https://tienda.icontec.org/gp-metodos-de-ensayo-para-la-toma-de-muestras-y-el-analisis-fisicoquimico-de-jabones-productos-de-jabon-y-detergentes-ntc5604-2008.html>

- [33] R. J. Farn, "Chemistry and Technology of Surfactants," Wiley eBooks, 2006. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470988596>.
- [34] Belgacem, Mohamed Naceur Gandini, Alessandro. (2008). *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A58VHM/monomers-polymers-composites/alkyl-polyglycosides>
- [35] Ahmad, Moghis U.. (2017). *Fatty Acids - Chemistry, Synthesis, and Applications*. AOCS Press. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011HA6S1/fatty-acids-chemistry/phospholipids>
- [36] Reiger, Martin M.. (2000). *Harry's Cosmeticology, Volumes I-II (8th Edition)*. Chemical Publishing Company. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007QRJ71/harrys-cosmeticology/miscellaneous-anionic>
- [37] Zacharopoulou, Vasiliki y Angeliki A. Lemonidou, "Olefinas de productos intermedios de biomasa: una revisión" *Catalysts* 8, no. 1: 2, 2018. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal8010002>
- [38] Matar, Sami Hatch, Lewis F. (2001). *Chemistry of Petrochemical Processes (2nd Edition)*. Elsevier. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00C1QRM2/chemistry-petrochemical/metathesis-olefins>
- [39] Holmberg, Krister. (2002). *Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry, Volumes 1-2*. John Wiley & Sons. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003L8N51/handbook-applied-surface/alkylbenzene-sulfonates>
- [40] Lai, Oi-Ming Tan, Chin-Ping Akoh, Casimir C. (2012). *Palm Oil - Production, Processing, Characterization, and Uses*. AOCS Press. [En línea]. Disponible:

<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00AQ4IJ1/palm-oil-production-processing/anionic-surfactant>

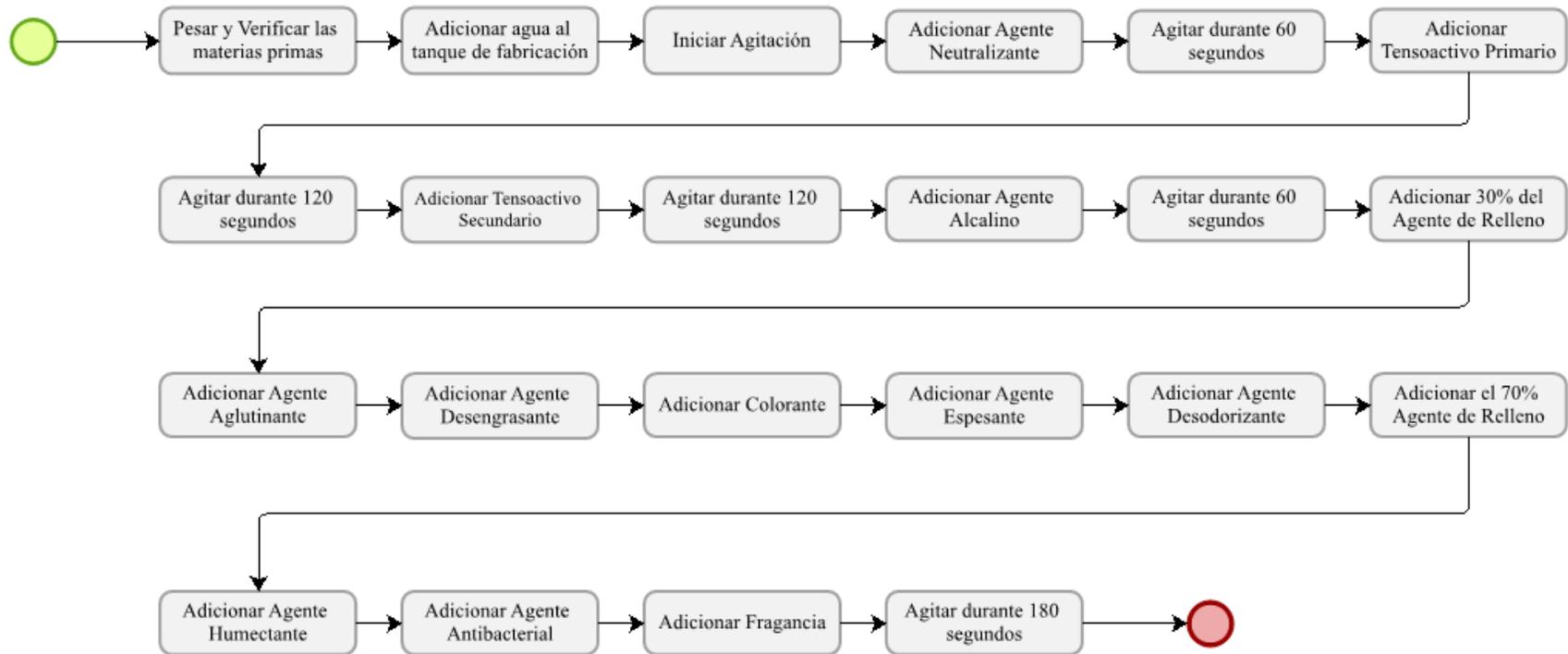
- [41] Totten, George E. Shah, Rajesh J. Forester, David R.. (2019). *Fuels and Lubricants Handbook - Technology, Properties, Performance, and Testing (2nd Edition): (MNL 37-2nd-EB) - 12.14.1 Detergent Substrates.* (pp. 410). ASTM International. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012WU7P1/fuels-lubricants-handbook/detergent-substrates>
- [42] M. Franco, A. Oliveira y E. Oliveira, “Biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by *Penicillium chrysogenum*”, *Bioresource Technology Reports*, Volume 9, 2020. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100363>.
- [43] Tülay Bakırel, Oya Keleş, Süheyla Karataş, Mukaddes Özcan, Gülhan Türkmen, Akın Candan, “Effect of linear alkylbenzene sulphonate (LAS) on non-specific defence mechanisms in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)”, *Aquatic Toxicology*, Volume 71, Issue 2, 2005. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.11.001>.
- [44] Liu, N., Wu, Z. “Toxic effects of linear alkylbenzene sulfonate on *Chara vulgaris* L.”, *Environ Sci Pollut Res* 25, 4934–494, 2018. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0883-4>
- [45] Y. Luo et al., “Linear alkylbenzene sulfonate threats to surface waters at the national scale: A neglected traditional pollutant”, *J. Environ. Manage.*, vol. 342, núm. 118344, p. 118344, 2023.
- [46] Veronika I. Ivanova, Rumyana D. Stanimirova, Krassimir D. Danov, Peter A. Kralchevsky, Jordan T. Petkov, “Sulfonated methyl esters, linear alkylbenzene sulfonates and their mixed solutions: Micellization and effect of Ca²⁺ ions”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Volume 519. 2017. [En línea] Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775716304915>
- [47] C. Ramos-Galarza, “Editorial: Diseños de investigación experimental,” *CienciAmérica (Ambato)*, vol. 10, no. 1, 2021. [En línea]. DOI: <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>.

- [48] R. Villa y G. México, “PROCESO DE DESARROLLO Y FORMULACIÓN DE DETERGENTES”, 2013. [En línea]. Disponible: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000706129/3/0706129.pdf>
- [49] “Mercado de aceite de coco: pronóstico, tamaño, informe de la industria y participación”, Mordorintelligence.ar, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/coconut-oil-market>
- [50] De and P. Maíz, “Análisis de producto -Mercado del maíz,” 2023. [En línea]. Disponible: https://www.bolsamercantil.com.co/sites/default/files/2023-12/Analisis_de_producto_Maiz_2023.pdf.

ANEXOS

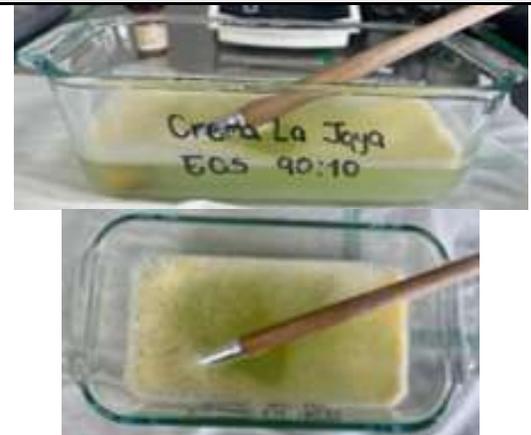
ANEXO 1

RUTA DE FABRICACIÓN CREMA LAVALOZA LA JOYA



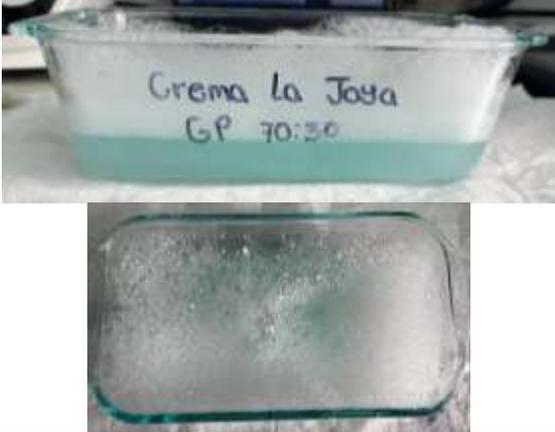
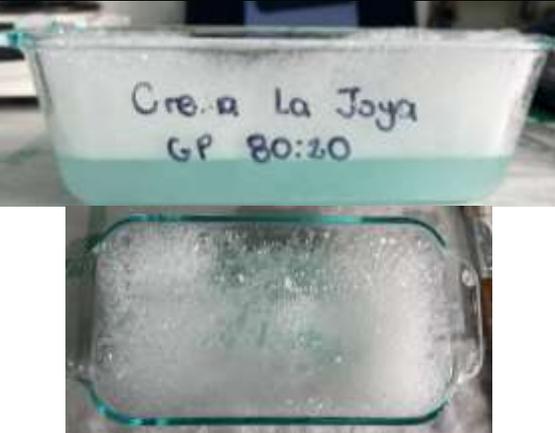
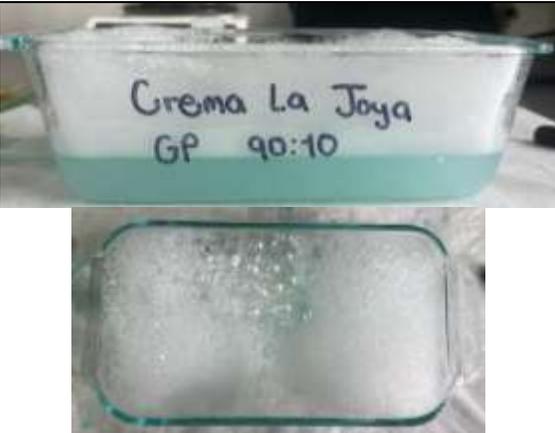
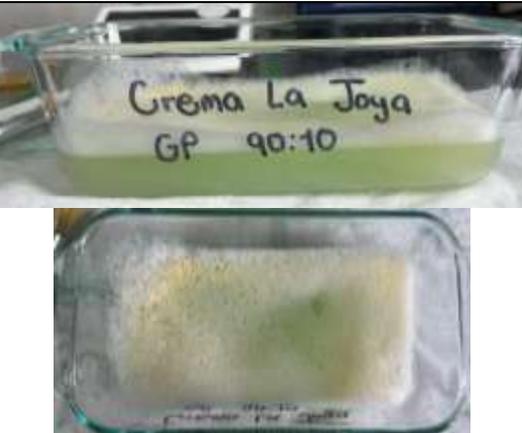
ANEXO 2

DESEMPEÑO PROTOTIPOS HIDROXISULTAINA

ANTES	DESPUES
70:30	
	
80:20	
	
90:10	
	

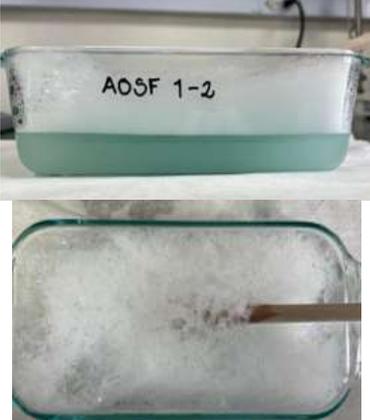
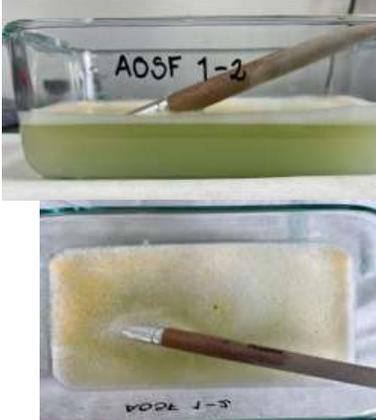
ANEXO 3

DESEMPEÑO PROTOTIPOS ALQUILPOLIGLUCÓSIDO

ANTES	DESPUES
70:30	
	
80:20	
	
90:10	
	

ANEXO 4

DESEMPEÑO PROTOTIPOS ALFA OLEFINA SULFONADA

ANTES	DESPUES
70:30	
	
80:20	
	
90:10	
	

ANEXO 5

ESTABILIDAD PRUEBA EN PLANTA

Semana	Condición Medioambiental			
	Cámara	Ambiente	Ventana	Estufa
1 (Inicio)				
4 (Fin)				

ANEXO 6.

RECOMENDACIONES

Ajustar el color de la formulación a fin de obtener el aspecto deseado sin impactar su costo/kilo y la reología del producto.

Continuar con la ejecución de pruebas en las que se modifiquen los agentes de reología y de relleno en la formulación que permitan alcanzar un porcentaje de sustitución superior sin afectar la reología del producto.

Evaluar la viabilidad en la incorporación de dos moléculas tensoactivas de origen vegetal como sustitutos parciales del tensoactivo primario.

Explorar tensoactivos secundarios en polvo que no aumenten el contenido de agua de la formulación.

Estudiar la viabilidad de la implementación de las Alfa Olefinas Sulfonadas en formulaciones de jabones lavalozas líquidos, a fin de incrementar el porcentaje de ahorro y optimizar la funcionalidad de los productos.