

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Química y Textil



TESIS

### **Formulación de un detergente eco amigable con coadyuvantes que sustituyen el tripolifosfato de sodio**

Para obtener el título profesional en Ingeniera Química.

Elaborado por

Maria Elizabeth, Sandoval Chipana

 [0000-0003-1369-7639](#)

Asesor

Dr. Jorge Luis Breña Oré

 [0000-0001-6450-7052](#)

LIMA – PERÚ

2025

---

Citar/How to cite	Sandoval Chipana [1]
Referencia/Reference	[1] M. Sandoval Chipana, “ <i>Formulación de un detergente eco amigable con coadyuvantes que sustituyen el tripolifosfato de sodio</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style:	
IEEE (2020)	
Citar/How to cite	(Sandoval, 2024)
Referencia/Reference	Sandoval, M. (2024). <i>Formulación de un detergente eco amigable con coadyuvantes que sustituyen el tripolifosfato de sodio</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style:	
APA (7ma ed.)	

---

***Dedicatoria***

*A Dios, quien me ha brindado las fuerzas y sabiduría desde el primer día que ingrese a la universidad. A mis padres por ser el pilar en mi camino universitario, por sus palabras de aliento y motivación para cumplir mis metas.*

*A mi familia y amistades cercanas, por su apoyo durante la realización de esta investigación.*

## **Agradecimientos**

A Dios por darme las fuerzas para salir adelante y siempre estar a mi lado.

A papá, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional, por guiarme y enseñarme a luchar por mis metas y objetivos.

A mamá, por darme la vida, su amor, su paciencia y confianza.

A mis hermanos, por estar a mi lado dándome ánimos para lograr mis objetivos.

A mi jefe, José Luis Alvarado por sus enseñanzas y conocimientos brindados.

Al ingeniero Harold Paján, por su valiosa ayuda y orientación para iniciar mi investigación.

Finalmente, a mi asesor el Dr. Jorge Breña, por su valioso apoyo para lograr la presente investigación.

## Resumen

En esta investigación se demostró la sustitución del coadyuvante tripolifosfato de sodio por coadyuvantes eco amigables en los detergentes. Se utilizó tres ensayos de detergentes en la condición de slurry. El método empleado para validar la formulación de cada ensayo fue el de índice de blancura el cual consistió en replicar cuatro veces consecutivas diferentes lavados con manchas estandarizadas. Las manchas utilizadas fueron las siguientes: Carbon black, Blood, Oil on Polyester/Cotton, Blood on Polyester/Cotton, Sebum/pigment on Cotton y Frying fat.

La formulación se llevó a cabo con la mezcla de los insumos primarios y secundarios en baño maría a condiciones de 50-80 °C de temperatura, y agitación continua a 200 rpm proporcionado por un agitador analítico. Tras la obtención de la mezcla pastosa, se usó 4 gramos por litros en un tergotómetro para las pruebas de índice de blancura, validándolo con un espectrofotómetro.

La investigación demostró que el ensayo 2, el cual posee metasilicato de sodio pentahidratado presentó un mejor desempeño y performance en comparación con los ensayos 1 y 3, los cuales estaban elaborados con coadyuvante disilicato de sodio complejo y la mezcla de ambos respectivamente.

Se comprobó que el metasilicato de sodio pentahidratado como coadyuvante presenta un índice de blancura de 50.3, medidos en la escala CIE en un espectrofotómetro, lo cual indica la capacidad para reflejar la luz en comparación con las otras formulaciones, demostrando que su valor es cercano a 59.3 del tripolifosfato de sodio. El ensayo 3 generó más volumen de espuma en una cantidad de 513.23 ml superior al disilicato de sodio complejo que generó 368.78 ml y la mezcla de ambos con 479.007 ml, comparado con el tripolifosfato de sodio con un volumen de 529.22 ml.

Las propiedades fisicoquímicas del metasilicato de sodio pentahidratado en la formulación muestra valores de 11.55, 5800 cP, 26.70 % cercanos al del tripolifosfato de

sodio el cual posee 11.10,11500 cP y 26.31 % respectivamente de pH, viscosidad y humedad, el estándar utilizado en los productos de limpieza en detergente.

Finalmente, se comprobó que el metasilicato de sodio pentahidratado es una alternativa más ecológica en comparación con las otras formulaciones evaluadas, según sus fichas técnicas consultadas ya que no contiene trazas de fosfatos en su formulación.

Palabra clave: Eco friendly, metasilicato de sodio pentahidratado, tripolifosfato de sodio, detergente.

## Abstract

In this research, the substitution of sodium tripolyphosphate adjuvant by eco-friendly adjuvants in detergents was demonstrated. Three detergent tests were used in the slurry condition. The method used to validate the formulation of each test was the whiteness index, which consisted of replicating four consecutive times different washes with standardized stains. The stains used were the following: Carbon black, Blood, Oil on Polyester/Cotton, Blood on Polyester/Cotton, Sebum/pigment on Cotton and Frying fat.

The formulation was carried out by mixing the primary and secondary inputs in a water bath at 50-80 °C temperature and continuous agitation at 200 rpm provided by an analytical stirrer. After obtaining the pasty mixture, 4 grams per liter were used in a tergotometer for the whiteness index tests and validated with a spectrophotometer.

The research showed that test 2, which has sodium metasilicate pentahydrate, presented better performance compared to tests 1 and 3, which were made with complex sodium disilicate adjuvant and the mixture of both, respectively.

Sodium metasilicate pentahydrate as an adjuvant was found to present a whiteness index of 50.3, measured on the CIE scale in a spectrophotometer, which indicates the ability to reflect light compared to the other formulations, showing that its value is close to 59.3 of sodium tripolyphosphate. The test generated more foam volume in an amount of 513.23 ml higher than the complex sodium disilicate that generated 368.78 ml and the mixture of both with 479.007 ml, compared to sodium tripolyphosphate with a volume of 529.22 ml.

The physicochemical properties of sodium metasilicate in the formulation show values of 11.55, 5800 cP, 26.70 % close to those of sodium tripolyphosphate which has

11.10, 11500 cP and 26.31 % respectively of pH, viscosity and humidity, the standard used in detergent cleaning products.

Finally, it was found that sodium metasilicate pentahydrate is a more environmentally friendly alternative compared to the other formulations evaluated, according to the technical data sheets consulted, since it does not contain traces of phosphates in its formulation.

Keyword: Eco friendly, sodium metasilicate pentahydrate, sodium tripolyphosphate, detergent.

## Tabla de contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	vii
Introducción.....	xix
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.1.1.      Mercado .....	1
1.1.1.1     Oferta.....	1
1.1.1.1.1     Oferta Internacional.....	1
1.1.1.1.2     Oferta Nacional.....	3
1.1.1.1.3     Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.....	4
1.1.1.2      Demanda.....	9
1.1.1.      Normativa de la investigación.....	9
1.1.2.      Normativa en el agua .....	10
1.1.3.      Alcance de la investigación .....	11
1.1.4.      Novedad de la investigación .....	11
1.1.5.      Impacto de la investigación .....	12
1.1.5.1.     Cualitativo.....	12
1.1.5.2.     Cuantitativo.....	12
1.2. Descripción del problema de investigación.....	13
1.2.1.      Problema general .....	16
1.2.2.      Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos del estudio.....	16
1.3.1.      Objetivo general .....	17
1.3.2.      Objetivos específicos.....	17
1.4. Hipótesis.....	17
1.4.1.      Hipótesis general.....	17

1.4.2.	Hipótesis específicas.....	17
1.5.	Antecedentes investigativos .....	18
1.5.1.	Antecedentes nacionales.....	18
1.5.2.	Antecedentes internacionales.....	19
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....		22
2.1.	Marco teórico .....	22
2.1.1.	Detergentes.....	22
2.1.2.	Tipo de detergentes.....	23
2.1.2.1.	Detergentes Aniónicos.....	23
2.1.2.2.	Detergentes Catiónicos.....	24
2.1.2.3.	Detergentes No Iónicos.....	25
2.1.2.4.	Detergentes Anfóteros.....	25
2.1.3.	Tensoactivos en los detergentes .....	26
2.1.4.	Tipos de suciedad .....	27
2.1.4.1.	Suciedad aceitosa.....	27
2.1.4.2.	Suciedad particulada.....	28
2.1.5.	Emulsiones.....	29
2.1.6.	Espuma .....	29
2.1.7.	Propiedades de detergentes.....	30
2.1.8.	Formulación de un detergente .....	30
2.1.8.1.	Tensoactivos.....	31
2.1.8.2.	Coadyuvantes.....	32
2.1.8.3.	Solventes.....	33
2.1.9.	Control en los detergentes.....	33
2.1.9.1.	Control del pH.....	33
2.1.9.2.	Control reológico.....	34
2.1.9.3.	Control de espuma.....	34
2.1.9.4.	Control de efectividad.....	35

2.1.10.	Proceso .....	36
2.1.10.1.	Pre-adición.....	36
2.1.10.2.	Reacción sulfonación.....	36
2.1.10.3.	Secado.....	37
2.1.10.4.	Post – adición.....	37
2.1.10.5.	Envasado.....	37
2.1.11.	Fenómeno de eutrofización .....	39
2.1.12.	Normativa técnicas involucradas en la calidad de agua en el Perú....	39
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		41
3.1.	Tipo y Diseño de la Investigación.....	41
3.2.	Unidades de análisis .....	41
3.3.	Ubicación y fecha.....	41
3.4.	Insumos para la formulación del slurry .....	42
3.5.	Materiales .....	45
3.5.1.	Materiales y equipos para la formulación en el laboratorio .....	45
3.5.2.	Materiales para la validación de la formulación.....	45
3.5.2.1.	Espectrofotómetro.....	45
3.5.2.2.	SITA Foam Tester.....	46
3.5.2.3.	Viscosímetro Brookfield.....	48
3.5.2.4.	Tergotómetro.....	49
3.6.	Aspectos de seguridad.....	51
3.7.	Metodología.....	52
3.7.1.	Evaluación de la dureza de agua.....	52
3.7.1.1.	Determinación de la dureza.....	53
3.7.2.	Evaluación de coadyuvantes .....	55
3.7.2.1.	Delicuescencia.....	57
3.7.2.2.	Granulometría.....	58
3.7.2.3.	Impacto ambiental.....	60
3.7.3.	Manchas de telas .....	61

3.7.4.	Protocolo para la elaboración de slurry a nivel laboratorio .....	62
3.8.	Ensayo de lavado.....	63
3.8.1.	Procedimiento para lavar las telas en el tergotómetro .....	63
3.8.2.	Materiales.....	64
3.8.3.	Procedimiento .....	64
3.8.4.	Índice de Blancura.....	66
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....		69
4.1.	Analís is de resultados .....	69
4.1.1.	Índice de blancura .....	69
4.1.2.	Análisis de formulación de espuma .....	73
4.1.3.	Análisis de descomposición de espuma .....	76
4.2.	Analís is financiero .....	78
4.3.	Discusión de resultados .....	79
4.3.1.	Análisis de varianza.....	79
Capítulo V. Proyección de ingeniería.....		89
5.1.	Descripción de principales equipos de planta.....	92
5.1.1.	Silos y tanques de insumos .....	92
5.1.2.	Tanque neutralizador, crutcher y madurador .....	94
5.1.3.	Torre de secado .....	97
5.1.3.1.	Balance de masa de la torre de secado.....	98
5.1.3.2.	Balance de energía.....	101
5.1.3.3.	Balance de Humedad.....	103
5.1.3.4.	Balance de Entalpia.....	103
5.1.4.	Horno .....	104
5.2.	Especificaciones de los equipos.....	107
5.3.	Proyección económica.....	111
5.3.1.	Costo de maquinaria .....	111
5.3.2.	Estimación de costo de producción .....	113
Conclusiones.....		114
Recomendaciones.....		116

Referencias bibliográficas.....	117
Anexos.....	123

## Lista de Figuras

	Pág
<b>Figura 1</b> Muestras de granel del mercado peruano.....	8
<b>Figura 2</b> Estructura molecular de un detergente anfipático.....	22
<b>Figura 3</b> Estructura de una micela.....	23
<b>Figura 4</b> Estructura del dodecil benceno sulfonato lineal.....	24
<b>Figura 5</b> Estructura del cloruro de benzalconio.....	24
<b>Figura 6</b> Estructura del alquifenol etoxilado.....	25
<b>Figura 7</b> Estructura de la betaínas.....	26
<b>Figura 8</b> Ángulo de contacto del fluido-líquido-sustrato.....	28
<b>Figura 9</b> Ángulo entre el aceite- detergente.....	29
<b>Figura 10</b> Diagrama de proceso para la elaboración de detergente en polvo .....	38
<b>Figura 11</b> Canales de agua con formación de lenteja Pantanos de Villa.....	39
<b>Figura 12</b> Visualización del montado.....	42
<b>Figura 13</b> Espectrofotómetro.....	46
<b>Figura 14</b> Equipo SITA FoamTester.....	47
<b>Figura 15</b> Viscosímetro BGD151/1.....	48
<b>Figura 16</b> Tergotómetro COPLEY.....	49
<b>Figura 17</b> Muestras de tela en el tergotómetro.....	50
<b>Figura 18</b> Agua sin dureza.....	53
<b>Figura 19</b> Agua con dureza.....	54
<b>Figura 20</b> Fijación de las partículas de $\text{Ca}^{+2}$ en las fibras.....	55

<b>Figura 21</b> Evaluación de los insumos al ambiente.....	57
<b>Figura 22</b> Comparación de granulometría.....	59
<b>Figura 23</b> Telas estandarizadas de la empresa CFT.....	62
<b>Figura 24</b> Simulación de lavado con manchas estandarizadas.....	64
<b>Figura 25</b> Procedimiento de lavado en tergotómetro.....	65
<b>Figura 26</b> Características técnicas del espectrofotómetro.....	67
<b>Figura 27</b> Medición instrumental de muestras de telas.....	69
<b>Figura 28</b> Ensayos de lavado para los diferentes coadyuvantes.....	73
<b>Figura 29</b> Comparación de volumen de espuma.....	75
<b>Figura 30</b> Comparación de tiempo de descomposición de espuma.....	77
<b>Figura 31</b> Comparación de promedios de los ensayos formulados.....	87
<b>Figura 32</b> Diagrama de producción de detergente en polvo.....	91
<b>Figura 33</b> Silos de almacenamiento.....	92
<b>Figura 34</b> Reacción de Neutralización.....	94
<b>Figura 35</b> Reacción de detergente con presencia de agua.....	94
<b>Figura 36</b> Balance de masa del tanque madurador.....	95
<b>Figura 37</b> Reactor - tanque madurador.....	95
<b>Figura 38</b> Balance de masa de la torre de secado.....	98
<b>Figura 39</b> Corrientes de entrada y salida de la torre de secado.....	101

## Lista de Tablas

	Pág
<b>Tabla 1:</b> Especificación detergente Orión.....	2
<b>Tabla 2:</b> Especificación detergente Limpiazul.....	2
<b>Tabla 3:</b> Especificación detergente Ariel.....	3
<b>Tabla 4:</b> Ingrediente activo.....	4
<b>Tabla 5:</b> Porcentaje de silicato de sodio.....	5
<b>Tabla 6:</b> Porcentaje de tripolifosfato de sodio.....	5
<b>Tabla 7:</b> Porcentaje de carbonato de sodio.....	6
<b>Tabla 8:</b> Porcentaje de sulfato de sodio.....	6
<b>Tabla 9:</b> Porcentaje de humedad.....	7
<b>Tabla 10:</b> pH.....	7
<b>Tabla 11:</b> Densidad.....	8
<b>Tabla 12:</b> Análisis de la normativa a nivel internacional.....	10
<b>Tabla 13:</b> Análisis de la normativa del agua en el Perú.....	11
<b>Tabla 14:</b> Comparación de las propiedades de los detergentes.....	30
<b>Tabla 15:</b> Ingredientes para la formulación del detergente.....	31
<b>Tabla 16:</b> Tipos de tensoactivos.....	31
<b>Tabla 17:</b> Correlación de cantidad de dureza por departamento del Perú.....	32
<b>Tabla 18:</b> Coadyuvantes más comunes.....	33
<b>Tabla 19:</b> Propiedades fisicoquímicas del agua.....	40
<b>Tabla 20:</b> Propiedades inorgánicas del agua.....	40
<b>Tabla 21:</b> Formulación con disilicato de sodio complejo como coadyuvante.....	43
<b>Tabla 22:</b> Formulación con metasilicato de sodio pentahidratado como coadyuvante ..	44
<b>Tabla 23:</b> Formulación con de la mezcla de ambos coadyuvantes.....	44

<b>Tabla 24:</b> Formulación con metasilicato de sodio pentahidratado como coadyuvante .....	45
<b>Tabla 25:</b> Características del instrumento SITA FOAMTESTER .....	47
<b>Tabla 26:</b> Características del instrumento viscosímetro .....	49
<b>Tabla 27:</b> Correlación de método y equipos para el análisis fisicoquímico .....	51
<b>Tabla 28.</b> Seguridad de insumos químicos utilizados en la elaboración .....	52
<b>Tabla 29:</b> Límites de dureza de países que conforman la CAN .....	52
<b>Tabla 30:</b> Capacidad de los coadyuvantes .....	56
<b>Tabla 31:</b> Evaluación económica de coadyuvante seleccionados .....	56
<b>Tabla 32:</b> Hidroscopia de coadyuvantes .....	57
<b>Tabla 33:</b> Análisis de granulometría del porcentaje retenido en cada malla .....	58
<b>Tabla 34:</b> Especificación del disilicato de sodio complejo .....	60
<b>Tabla 35:</b> Especificación del metasilicato de sodio pentahidratado .....	60
<b>Tabla 36:</b> Especificación del tripolifosfato de sodio .....	60
<b>Tabla 37:</b> Especificaciones de las telas con manchas estandarizadas .....	61
<b>Tabla 38:</b> Especificaciones de las telas con manchas estandarizadas .....	61
<b>Tabla 39:</b> Condiciones de lavado .....	66
<b>Tabla 40:</b> Índices de blancura en ensayos de lavado con disilicato de sodio complejo ..	70
<b>Tabla 41:</b> Índices de blancura con metasilicato de sodio pentahidratado .....	70
<b>Tabla 42:</b> Índices de blancura en ensayos de lavado con la mezcla de ambos .....	71
<b>Tabla 43:</b> Comparaciones estadísticas con los diferentes ensayos .....	72
<b>Tabla 44:</b> Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 1 .....	74
<b>Tabla 45:</b> Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 2 .....	74
<b>Tabla 46:</b> Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 3 .....	75
<b>Tabla 47:</b> Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 1 .....	76
<b>Tabla 48:</b> Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 2 .....	76
<b>Tabla 49:</b> Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 3 .....	77

<b>Tabla 50:</b> Ensayos fisicoquímicos de cada ensayo.....	78
<b>Tabla 51:</b> Estado financiero de la producción de cada ensayo.....	79
<b>Tabla 52:</b> Análisis de varianza de la mancha E-101.....	80
<b>Tabla 53:</b> Varianza de la mancha E-101.....	80
<b>Tabla 54:</b> Análisis de varianza de la mancha E-116.....	81
<b>Tabla 55:</b> Varianza de la mancha E-116.....	81
<b>Tabla 56:</b> Análisis de varianza de la mancha E-104.....	82
<b>Tabla 57:</b> Varianza de la mancha E-104.....	82
<b>Tabla 58:</b> Análisis de varianza de la mancha E-117.....	82
<b>Tabla 59:</b> Varianza de la mancha E-117.....	83
<b>Tabla 60:</b> Análisis de varianza de la mancha E-118.....	83
<b>Tabla 61:</b> Varianza de la mancha E-118.....	83
<b>Tabla 62:</b> Análisis de varianza de la mancha CS-46B.....	84
<b>Tabla 63:</b> Varianza de la mancha CS-46B.....	84
<b>Tabla 64:</b> Comparación de ensayos con respecto a cada coadyuvante.....	86
<b>Tabla 65:</b> Comparación de los ensayos con respecto al STTP.....	86
<b>Tabla 66:</b> Comparación de volumen de espuma generada en mL.....	87
<b>Tabla 67:</b> Especificación técnica del detergente.....	88
<b>Tabla 68:</b> Características técnicas de los silos.....	93
<b>Tabla 69:</b> Flujo de entrada al tanque madurador.....	97
<b>Tabla 70:</b> Flujo de entrada de la torre de secado.....	100
<b>Tabla 71:</b> Flujo de aire de entrada y salida (ton/h).....	100
<b>Tabla 72:</b> Nomenclatura de abreviaturas en los balances.....	102
<b>Tabla 73:</b> Entalpía de combustión del gas natural.....	104
<b>Tabla 74:</b> Entalpía de componentes y productos del gas natural.....	104
<b>Tabla 75:</b> Entalpía de reacción a condiciones normales 25°C.....	105

<b>Tabla 76:</b> Balances para una capacidad de 10 toneladas por hora.....	106
<b>Tabla 77:</b> Especificaciones de la torre de secado.....	107
<b>Tabla 78:</b> Especificaciones de la zaranda vibratoria.....	107
<b>Tabla 79:</b> Especificaciones del Rotary mixer.....	108
<b>Tabla 80:</b> Especificaciones de la tolva.....	108
<b>Tabla 81:</b> Especificaciones de la envasadora.....	109
<b>Tabla 82:</b> Especificaciones del tanque crutcher.....	109
<b>Tabla 83:</b> Especificaciones del tanque madurador.....	110
<b>Tabla 84:</b> Especificaciones del silo de almacenamiento.....	110
<b>Tabla 85:</b> Especificaciones del desaireador.....	111
<b>Tabla 86:</b> Costo unitario de maquinaria.....	112
<b>Tabla 87:</b> Costo unitario de materia prima.....	113

## Introducción

Los detergentes son mezcla de agentes tensoactivos aniónicos, anfolíticos y/o no-iónicos según la NTP 319.129-1979, tienen como propiedad principal remover la suciedad, sin embargo, uno de sus efectos negativos es que alteran la vida acuática, generando eutrofización y muerte de los animales acuáticos.

Este problema es generado debido a la acumulación de fosfatos producto a la utilización masiva de detergentes comerciales, los cuales contienen tripolifosfato de sodio en su formulación. Ante ello, los formuladores han desarrollado tres objetivos fundamentales los cuales consisten en desarrollar un buen producto, mitigar costos de los insumos y asegurar un equilibrio entre la salud de los consumidores con respecto a los ingredientes de producto final, sin embargo, debido a los problemas de eutrofización se ha agregado un cuarto factor el cual consiste en minimizar el impacto ambiental de los productos químicos.

Investigaciones relacionadas con el cuarto factor demuestran las preferencias de los consumidores por productos terminados con un menor impacto ambiental, ante ello se proyecta un futuro donde la demanda y exigencia de productos eco amigables aumenten al transcurrir los años, así como se apliquen legislaciones o decretos que prioricen eliminar todo tipo de insumos contaminantes dentro de las formulaciones. Por ello, elaborar un detergente no es ajeno a ello.

Según el reporte de Global Industrial Market (2022), se espera que el mercado mundial de limpieza crezca un 5% del año 2022 al 2029, con un alcance de más de 71,7 millones de dólares para el año 2029. Este monto estimado está en base a la elección de los consumidores los cuales buscan reducir la huella de carbono mediante la convivencia de productos químicos que no dañen el medio ambiente (Exactitude Consultancy, 2022).

Por tal motivo en Europa y otros países, se han desarrollado detergentes ecológicos que brindan mayor rentabilidad como estabilidad económica. En el Perú, aun se continúa produciendo detergente en polvo con ingredientes a base de fosfatos aumentando el

peligro de contaminación y daño al medio ambiente en los ríos y lagos. Ante ello, la formulación de detergente en el país está alineándose a las tendencias globales por productos sostenibles, lo cual presenta una gran oportunidad para innovar en formulaciones que puedan equilibrar un alto rendimiento con un menor impacto ambiental.

# **Capítulo I. Parte introductoria del trabajo**

## **1.1 Generalidades**

### **1.1.1. Mercado**

#### **1.1.1.1 Oferta**

El análisis de la oferta en el mercado de detergente en polvo muestra una amplia variedad de productos, los cuales varían según su composición, uso y enfoque hacia la sostenibilidad. Los fabricantes han desarrollado detergentes según su entorno industrial y la preferencia de sus consumidores. A continuación, se explora los diferentes tipos de detergentes encontrados a nivel internacional como nacional, libre de fosfatos.

##### **1.1.1.1.1 Oferta Internacional**

A continuación, se describen algunas de las marcas de detergente en polvo y líquido los cuales ya han quitado de sus ingredientes el tripolifosfato de sodio.

Orión, detergente en polvo colombiano conocido por su doble poder, ofrece limpieza profunda y cuidado de las prendas. Se distingue por usar una combinación de coadyuvante de silicato de sodio en un 5-10%, ablandador de agua y ácido cítrico 1-5%, agente secuestrante que optimiza el pH. Además, se conoce que este detergente es importado por ORION PERU S.A.C, estando disponible en diversas tiendas peruanas. (Paredes & Roldán, 2022).

Sus propiedades y composición se describen a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1***Especificación detergente Orión*

Propiedades	Características
Aspecto	Polvo granulado, ligeramente amarillo, de olor inodoro.
pH 20°C	6.5 – 7.5
Densidad (g/cc)	1-1.05
Ingrediente activo %	10
Línea	Polvo y Líquido
Presentaciones	160 gr, 360 gr, 850 gr

Nota: Adaptado a la ficha técnica.

LIMPIAZUL es una marca paraguaya, presenta su producto de detergente en polvo con un alto poder de limpieza que permite dejar las prendas más blancas. Este detergente contiene distintos componentes como: tensioactivos, coadyuvantes, blanqueador óptico, entre otros. Sin embargo, lo que más resalta es que no contiene tripolifosfato de sodio, sino por lo contrario lo ha reemplazado por Zeolita tipo A (Base Base, 2024).

A continuación, se presenta algunas de sus propiedades especificadas dentro de su especificación en la Tabla 2.

**Tabla 2***Especificación detergente Limpiazul*

Propiedades	Características
Aspecto	Polvo granulado, con aroma floral
pH	9-10
Densidad (g/cc)	1-1.1
Ingrediente activo %	10
Línea	Polvo y Líquido
Presentaciones	200 gr, 400 gr, 800 gr, 3 kg y 10 kg

Nota: Elaboración propia a partir de la ficha técnica.

Dumox LM40, es un detergente líquido multiuso de marca paraguaya, posee en su formulación una materia activa 15%, su alto rendimiento y bajo costo lo han posicionado como uno de los detergentes más elegidos en Paraguay. Se considera un detergente biodegradable según su ficha técnica, además destaca por no contener tripolifosfato de

sodio y generar baja espuma. No se menciona de manera explícita el coadyuvante que utiliza (DUMOXPRO, 2024).

#### 1.1.1.1.2 Oferta Nacional

Se describen las marcas de detergente en polvo encontrados en el mercado peruano.

Ariel, es una marca conocida a nivel nacional, posee un buen posicionamiento en el mercado peruano. Sus presentaciones constan de una línea de detergente en polvo y líquido, los cuales integran en su composición química el tripolifosfato de sodio como coadyuvante (P&G, 2024).

**Tabla 3**

*Especificación detergente Ariel*

Propiedades	Características
Aspecto	Polvo granulado, con aroma floral
pH	10.49
Densidad (g/cc)	0.636
Ingrediente activo %	10 - 20
Línea	Polvo y Líquido
Presentaciones	160 gr, 360 gr, 520 gr, 4.5 kg

Nota: Elaboración propia a partir de la ficha técnica.

Doffi Floral es un detergente de origen chino el cual tiene presencia en el mercado peruano debido a la importación de sus productos. Actualmente el detergente en comparación con otros es relativamente más barato, sin embargo, dentro de sus ingredientes incorpora el uso de tripolifosfato de sodio (MAXICLEAN, 2024).

No se ha aplicado en el mercado peruano detergentes en polvo cuya formulación haya sustituido el tripolifosfato de sodio, debido a que la NTP 319.129-1979 no lo prohíbe.

#### 1.1.1.1.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Las técnicas utilizadas para la recopilación de datos incluyen metodologías de química analítica para obtener resultados de la composición aproximada de los detergentes comerciales. Esta investigación proporciona una base sólida para cuantificar componentes presentes en los detergentes comercializados por competidores en el mercado peruano.

El análisis de mercado estudiará 11 detergentes predominantes en Perú, a cada uno se le realizará 8 pruebas analíticas para identificar y cuantificar el porcentaje de composición de sus componentes.

Los análisis de ingrediente activo son mostrados en la Tabla 4, donde se detalla la capacidad limpiadora del producto ya que influye directamente en la eficacia para remover la suciedad de las prendas.

**Tabla 4**

*Ingrediente activo*

MARCA	% Ingrediente Activo
Doffi Rosado	14.32
Topaz Limón	7.92
Magia Blanca	12.90
Caricia Azul	22.01
Doffi Lirio	13.04
Caricia Rosado	16.24
Ace Limón	14.76
Ariel Pro-cuidado	13.49
Dest Floral	18.59
Mágico Floral	16.01
Orión Floral	14.86

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se muestra el porcentaje de silicato de sodio el cual es un agente alcalino estabilizador

**Tabla 5***Porcentaje de silicato de sodio*

MARCA	% Silicato de Sodio
Doffi Rosado	8.78
Topaz Limón	9.56
Magia Blanca	11.44
Caricia Azul	13.22
Doffi Lirio	10.06
Caricia Rosado	10.46
Ace Limón	8.20
Ariel Pro-cuidado	7.14
Dest Floral	8.13
Mágico Floral	10.31
Orión Floral	10.26

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se aprecia el porcentaje de tripolifosfato de sodio, siendo un agente coadyuvante comúnmente utilizado en detergentes.

**Tabla 6***Porcentaje de tripolifosfato de sodio*

MARCA	% Tripolifosfato de Sodio
Doffi Rosado	3.16
Topaz Limón	1.82
Magia Blanca	3.70
Caricia Azul	12.85
Doffi Lirio	4.05
Caricia Rosado	9.15
Ace Limón	2.89
Ariel Pro-cuidado	3.20
Dest Floral	0.88
Mágico Floral	2.86
Orión Floral	2.85

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 7, se aprecia el porcentaje de carbonato de sodio

**Tabla 7***Porcentaje de carbonato de sodio*

<b>MARCA</b>	<b>% Carbonato de Sodio</b>
Doffi Rosado	6.70
Topaz Limón	4.98
Magia Blanca	4.86
Caricia Azul	5.09
Doffi Lirio	5.01
Caricia Rosado	7.07
Ace Limón	8.34
Ariel Pro-cuidado	8.38
Dest Floral	7.82
Mágico Floral	6.26
Orión Floral	5.75

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 8, se presenta la proporción de sulfato de sodio utilizado como proporcionador de volumen para mantener la consistencia del producto.

**Tabla 8***Porcentaje de sulfato de sodio*

<b>MARCA</b>	<b>% Sulfato de Sodio</b>
Doffi Rosado	26.92
Topaz Limón	58.71
Magia Blanca	58.55
Caricia Azul	45.86
Doffi Lirio	58.76
Caricia Rosado	51.59
Ace Limón	37.54
Ariel Pro-cuidado	42.38
Dest Floral	56.64
Mágico Floral	56.91
Orión Floral	58.23

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 9, se muestran los resultados del contenido de humedad de cada detergente en polvo analizado, el cual brinda un aspecto crítico que asegura la calidad del granel a lo largo del tiempo.

**Tabla 9***Porcentaje de humedad*

MARCA	% Humedad
Doffi Rosado	3.19
Topaz Limón	2.86
Magia Blanca	1.82
Caricia Azul	2.72
Doffi Lirio	1.10
Caricia Rosado	2.39
Ace Limón	2.31
Ariel Pro-cuidado	1.59
Dest Floral	1.27
Mágico Floral	3.62
Orión Floral	1.52

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 10, se reporta el pH de cada granel que influye en la capacidad limpiadora y seguridad del detergente en polvo.

**Tabla 10***pH*

MARCA	pH
Doffi Rosado	10.83
Topaz Limón	10.69
Magia Blanca	10.47
Caricia Azul	10.40
Doffi Lirio	10.59
Caricia Rosado	10.51
Ace Limón	10.96
Ariel Pro-cuidado	10.87
Dest Floral	10.66
Mágico Floral	10.59
Orión Floral	10.54

Nota: Elaboración propia

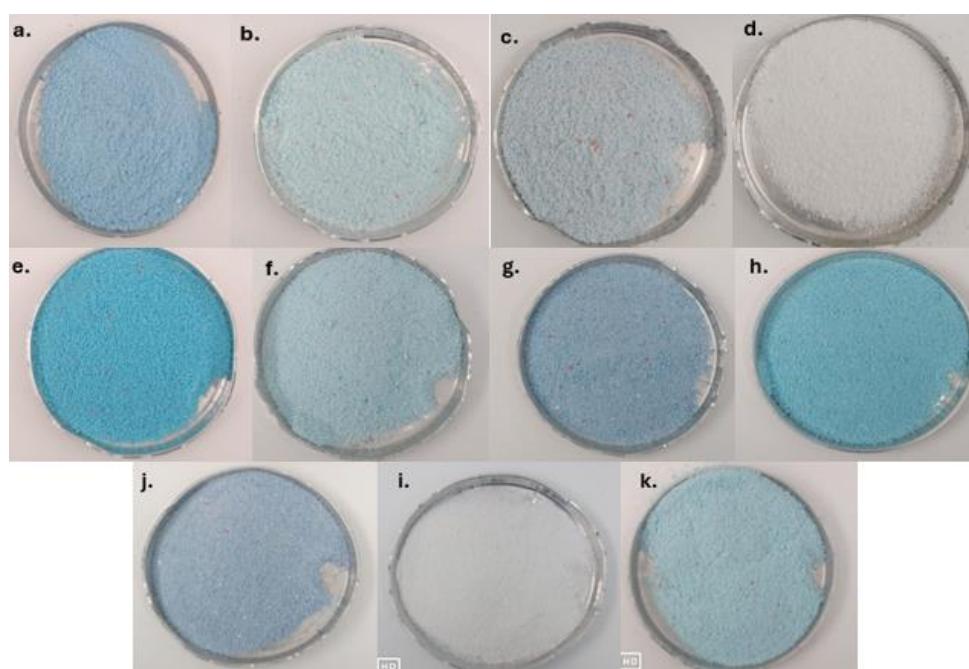
En la Tabla 11, se muestra el análisis de la densidad, que es crucial para la correcta selección de su envase, un detergente más denso posee menos volumen para una misma cantidad de peso.

**Tabla 11***Densidad*

MARCA	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Doffi Rosado	0.47
Topaz Limón	0.57
Magia Blanca	0.50
Caricia Azul	0.33
Doffi Lirio	0.49
Caricia Rosado	0.44
Ace Limón	0.60
Ariel Pro-cuidado	0.65
Dest Floral	0.49
Mágico Floral	0.47
OrIÓN Floral	0.37

Nota: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Figura 1, el cual muestra diferentes graneles analizados en el estudio. Estas fotos proporcionan una representación visual de cada detergente, es importante destacar que la apariencia visual de los graneles puede ofrecer un indicio de la calidad y homogeneidad de su composición.

**Figura 1***Muestras de granel del mercado peruano*

Nota: La figura muestra los productos seleccionados para el estudio, donde a) Granel Doffi Lirio, b) Granel Magia Blanca Floral, c) Granel Caricia Azul, d) Granel Doffi Rosado, e) Granel Topaz Limón, f) Granel Orión Floral, g) Granel Ace Limón, h) Granel Dest Floral, i) Granel Ariel Pro-Cuidado, j) Granel Caricia Rosado, k) Granel Mágico Floral

#### **1.1.1.2 Demanda**

La demanda de detergente en Perú ha crecido debido al aumento de la población y el enfoque a la higiene, tanto en los hogares como en la industria. Los principales consumidores son las amas de casa a nivel nacional quienes buscan productos efectivos y accesibles. En zonas urbanas se orientan hacia detergentes que optimicen el uso del agua y tiempo, mientras que, en provincia se ven influenciadas por factores como accesibilidad de venta y precio.

Investigaciones revelan las preferencias de la demanda por productos de limpieza eficientes y amigables con el medio ambiente. Según una encuesta realizada a un grupo de amas de casa, entre los 20 a 40 años, del nivel socioeconómico medio del distrito de Lima Metropolitana y Callao, se observó el interés por tener un producto eco amigable. Además, los consumidores manifestaron una disposición a pagar entre un 5% y 10% más por un producto que combine sostenibilidad con un buen desempeño en la limpieza (Maguiña & Romero, 2018).

#### **1.1.1. Normativa de la investigación**

En la actualidad se evidencian antecedentes normativos que respaldan la sustitución del tripolifosfato de sodio en las formulaciones de detergentes en polvo, ya que su eliminación o reducción cumple con las regulaciones ambientales vigentes, protege los cuerpos de agua de la eutrofización y satisface la demanda de productos más sostenibles en el mercado.

A continuación, se aprecia en la Tabla 12, un análisis de la normativa a nivel internacional.

**Tabla 12***Análisis de la normativa a nivel internacional*

País	Norma	Descripción
Comunidad Europea	Reglamento (UE) No 259/2012 Del Parlamento Europeo y del Consejo, que modifica el CE 648 de 2004.	Contenido de fósforo menor a 0,5 gramos en detergentes.
Paraguay	Ley Nº 4.397 del 19 de agosto del 2011	Se prohíbe la producción, importación, utilización y comercialización de productos sanitarios que se fabriquen e ingresen en el territorio nacional y que en su formulación posean tripolifosfato de sodio.
Canadá	SOR/89-501 del 2010	0.5 % de fósforo en detergentes de uso doméstico. 2.2% en detergentes de uso industrial
Brasil	Resolución 359 del 2005	4,8% de fósforo en detergentes
Puerto Rico	Ley Núm. 38 de 14 de julio de 2009- Ley de Control de Fosfatos en Detergentes	0,5% máximo de peso de fósforo en detergentes para ropa
Colombia	Resolución 0689 de 2016	Reglamento técnico que establece los límites máximos de fósforo y la biodegradabilidad de los tensoactivos presentes en detergentes y jabones con el fin de proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de especial importancia ecológica.

Nota: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que Perú pertenece a la asociación de Comunidad Andina de Naciones, la cual poco a poco está sustituyendo el uso del tripolifosfato de sodio en sus formulaciones por ello existe gran posibilidad de que se adopten dichas normativas.

### 1.1.2. Normativa en el agua

Según el Artículo 31° de la Ley N.º 28611, se define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Ante ello, se presenta la Tabla 13, donde se enfatiza la cantidad estimada de fósforo total en el agua.

**Tabla 13****Análisis de la normativa del agua en el Perú**

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
Fósforo Total	Mg/L	0,1	0,15	0,15

Nota: Adaptado de (MINAM,2024).

### 1.1.3. Alcance de la investigación

El proyecto de tesis denominado “Formulación de un detergente eco amigable con coadyuvantes que sustituyen el tripolifosfato de sodio” presenta el siguiente alcance:

Este ensayo de formulación de detergente en polvo cumple con la normativa establecida por el estado peruano NTP 319.129-1979 y en adición a las normativas de países desarrollados que tienen como finalidad la sustitución del tripolifosfato de sodio. Se realizó tres formulaciones como ensayos con el fin de validar uno de ellos como la formulación ideal, con un contenido de 1372 gramos de cada ensayo, respecto al detergente convencional. Para determinar la formulación clave se realizó la prueba de desempeño de blancura de cada detergente mediante los siguientes métodos: espectrofotometría, generación de espuma, parámetros fisicoquímicos y evaluación de fichas técnicas para ser comparado con el detergente convencional el cual posee tripolifosfato de sodio.

### 1.1.4. Novedad de la investigación

La composición del detergente incorporó coadyuvantes como el metasilicato de sodio pentahidratado y el disilicato de sodio complejo, cuya composición varía con respecto a cada ensayo 1-3; se estimó una demanda de 4 gramos por litro para la simulación de lavado en el tergotómetro, en otras palabras un 0.4% y un volumen de 250 ml en 40 litros en lavadora en el caso de polvo; y aunque el estado del arte no elabora detergente en polvo sin usar el tripolifosfato de sodio como coadyuvante, el producto que lo sustituye es

aceptado según normativas impuestas en otros países, contribuyendo al medio ambiente y a su mejor desempeño de blancura.

### **1.1.5. Impacto de la investigación**

#### **1.1.5.1. Cualitativo**

- Cumplimiento de las regulaciones y normas ambientales en la comunidad, como la Ley General del Ambiente (Ley N°28611), la cual establece directrices claras para el manejo de sustancias químicas y productos que puedan tener un impacto significativo a nivel ambiental. Así también, cumplir las normativas específicas del Reglamento de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (REACH), el cual garantiza que las sustancias químicas utilizadas en la fabricación de detergentes no sean nocivas para la salud ni el medio ambiente.
- Impacto en la calidad de vida de las amas de casa, los detergentes tienen un impacto directo en la calidad de vida de las amas de casa peruanas, debido a que es un producto de uso cotidiano en los hogares. Por ello, la introducción de la nueva formulación mejoró la seguridad y redujo el impacto ambiental mediante la utilización de insumos más sostenibles en el medio ambiente como es el uso de los coadyuvantes a base de silicatos, desplazando de tal manera aquellos que utilizan fosfatos en su composición.
- Experimentación con nuevas metodologías
- Creación de productos con mejor imagen a nivel nacional de manera que cumplan con altos estándares de calidad y sostenibilidad, con el fin de cumplir con certificaciones internacionales como la ISO 14001.

#### **1.1.5.2. Cuantitativo**

- La reducción de la carga de fósforo en detergente es un objetivo crucial para minimizar el impacto ambiental. Reemplazar el tripolifosfato de sodio con alternativas como el disilicato de sodio complejo y metasilicato de sodio pentahidratado reduce

significativamente la carga de fósforo en los detergentes, disminuyendo hasta un 90% el fósforo liberado al medio ambiente.

- La disminución en la carga de fósforo gracias a la sustitución del tripolifosfato de sodio por silicatos se traduce en un ahorro considerable en los costos de tratamiento de aguas residuales. Al reducir la carga de fósforo en los detergentes, se disminuye la necesidad de tratamientos intensivos lo que se proyecta en un ahorro a largo plazo del 1% al 3% en costos operativos a largo plazo.
- El disilicato de sodio complejo y el metasilicato de sodio pentahidrato no solo ofrecen beneficios ambientales, sino que también pueden mejorar el rendimiento de limpieza. Según Smulders et al. (2002), el uso de silicatos en detergentes puede mejorar la eficiencia de limpieza en un 10 a 15% en comparación con los fosfatos tradicionales.

## 1.2. Descripción del problema de investigación

Hoy en día los niveles de contaminación del agua a nivel mundial conllevan a debatir cuál será el futuro del agua, parte de esta incertidumbre se debe a factores relativamente no controlables como el clima, pero también a factores como consecuencia a las acciones colectivas de la humanidad. Estos factores incluyen el aumento de ingreso, crecimiento poblacional y crecimiento de negocios, avances tecnológicos entre otros, gracias a ello el negocio de detergentes se ha convertido en un mercado consolidado por numerosos competidores. Los detergentes realizan funciones básicas del hogar. Un ingrediente importante en el detergente es el coadyuvante, compuesto químico añadido al detergente para mejorar sus propiedades de limpieza.

En esta definición general, la limpieza se mide por la cantidad neta de suciedad eliminada. Ante ello, sólo se considera coadyuvante aquellos que realicen las funciones de aumentar la remoción de suciedad y prevenir o minimizar su reposición. Entre los coadyuvantes utilizados el que más ha tenido presencia en el mercado es el que pertenece a la familia de polifosfato, el tripolifosfato de sodio (STPP), que se produce mediante el calentamiento de fosfato disódico y monosódico. Su uso en los años 40 aumentó

gradualmente por su rendimiento, convirtiéndose en parte esencial para la industria de fosfatos (Paredes & Roldán, 2022).

El efecto de los coadyuvantes resulta a su vez ser consecuencia de la combinación varios efectos individuales importantes: eliminar los iones de calcio y magnesio en el agua de lavado, proporcionar un ambiente alcalino y mejorar el rendimiento del tensioactivo.

Sin embargo, el efecto beneficioso de los coadyuvantes en los detergentes excede la eliminación de estos efectos nocivos debido a la presencia de un problema ambiental. Una de las consecuencias radicales del uso del tripolifosfato de sodio en el entorno doméstico significa un aumento del nivel de fosfatos en aguas residuales domésticas, lo que contribuye a la carga de fósforo en ríos, lagos y en las aguas costeras. Este problema ha generado un impacto ambiental debido a la “eutrofización”, aumento de niveles de los nutrientes en el agua, que conduce a la formación de grandes masas de algas provocando que el agua se vuelva turbia y tóxica para las especies marinas (Quiroa, 2016).

El surgimiento de la eutrofización como problema debido a la introducción de tripolifosfato de sodio en los grandes lagos de América del Norte, llevó cambios en las percepciones y acciones de los consumidores mediante el desarrollo de políticas gubernamentales para limitar y prohibir el uso de fosfatos en detergentes. Estas acciones fueron adoptadas por países de Europa occidental, Japón, Estados Unidos, Paraguay entre otros. No obstante, aunque el consumo de STPP ha disminuido en los países desarrollados, como resultado de tales políticas, países en desarrollo como Perú aún continúan utilizando dicho coadyuvante.

En la Comunidad Andina, países asociados como Paraguay, Brasil han prohibido el uso de tripolifosfato de sodio en la producción y formulación de detergentes según la Ley N.º 4.397/11 pág. 1., el cual menciona “la prohibición del uso de tripolifosfato de sodio en productos sanitarios nacionales y/o extranjeros de su territorio” y la disminución en su formulación de los detergentes en polvo según la resolución 359 respectivamente. Dado que Perú forma parte de la comunidad regional, existe el riesgo que se establezcan restricciones similares sobre el uso de este insumo dentro del territorio nacional. Cabe

resaltar que en el país aún no existe una normativa que prohíba su uso sino por lo contrario la norma técnica peruana NTP 319.129.1979 vigente autoriza el empleo de coadyuvantes como fosfatos, carbonatos, silicatos, compuestos orgánicos o perboratos alcalinos en la formulación de jabones y detergentes (INDECOPI, 2017).

Ante ello la búsqueda de coadyuvantes sustitutos adecuados para el STPP se ha intensificado. Entre los coadyuvantes más utilizados se encuentran la sal sódica del ácido nitroloacético (NTA), zeolita A (aluminosilicatos de sodio cristalino), silicatos (disilicato complejo y metasilicato de sodio pentahidratado), citrato de sodio y carbonato de sodio. Sin embargo, ninguno de los tres últimos coadyuvantes mencionados se utiliza solo, más bien, sirven como coadyuvante con otros sustitutos añadido (García,2006).

Cabe añadir que los coadyuvantes de ácido nitrilo acético (NTA) y citrato de sodio son considerablemente más caros que el STPP, y no cumplen eficazmente la función de amortiguación en el intervalo de pH 9-10.5 requerido para detergentes, ni logran dispersar el 95% de las partículas menores a 5 micras (Yangxin, Jin, & Bayly, 2008).

Además, la ficha de seguridad del NTA indica que es un insumo cancerígeno en concentraciones elevadas. Dado estas razones, el poder seleccionar un coadyuvante que no posea un impacto perjudicial se convierte en un reto

Frente a esta problemática, los beneficios que se obtendrán al cambiar a sustitutos no solo deben repercutir en el medio ambiente, sino también en el cuidado de la salud y en los costos. El coste del fosfato aumenta rápidamente por la escasez mundial del recurso. Este escalamiento de los costos hace que sea un factor importante al buscar reemplazarlos con un producto sustituto más barato.

Por esta razón, la incorporación de alternativas de coadyuvantes recae en el disilicato de sodio complejo ( $Na_2Si_2O_5$ ) y metasilicato de sodio pentahidratado ( $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ ). Estudios llevados a cabo en Europa sugieren que el uso de estos coadyuvantes reduce considerablemente el impacto ambiental en comparación con los detergentes convencionales (Sapag, 1976).

Estas opciones emergen como soluciones prometedoras y viables para lograr una menor huella ambiental en la formulación de productos de limpieza. En su estudio de investigación Altmajer (2005), resalta que los silicatos poseen la capacidad para remover partículas de suciedad en suspensión durante el lavado, contribuyendo con la remoción de manchas superficiales. Adicionalmente, su incorporación en la formulación de detergente en polvo se complementaría con una mezcla de zeolitas para potenciar sus funciones humectantes.

#### **1.2.1. Problema general**

- ¿Será posible formular un detergente que contenga un coadyuvante eco amigable que reemplace o sustituya al tripolifosfato de sodio y reduzca el impacto ambiental?

#### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la diferencia entre la formulación convencional y la formulación nueva en el comportamiento del detergente a nivel comercial?
- ¿Qué diferencias existen entre el coadyuvante de la familia de los fosfatos y el coadyuvante de la familia los silicatos?
- ¿Cuál coadyuvante será más favorable sobre los parámetros fisicoquímicos de los detergentes convencionales?
- ¿Cómo se puede lograr que la formulación con los nuevos coadyuvantes disilicato de sodio complejo y metasilicato de sodio pentahidratado sea eficaz para obtener un producto final que cumpla con las normativas y especificaciones del detergente convencional, el cual posee tripolifosfato de sodio?

#### **1.3. Objetivos del estudio**

La presente investigación busca encontrar soluciones a las interrogantes planteadas proponiendo elementos significativos que deberían ser tomados como referencia en el desarrollo de las propuestas.

### **1.3.1. Objetivo general**

- Formular al menos un ensayo de detergente que cumpla con un contenido de coadyuvante diferente al tripolifosfato de sodio, satisfaga la funcionalidad y que no sea potencial generador de eutrofización.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer la diferencia entre la formulación convencional con tripolifosfato de sodio y la formulación nueva con disilicato de sodio complejo, metasilicato de sodio pentahidratado y la mezcla de ambos en el comportamiento del detergente a nivel comercial
- Fijar diferencias entre el coadyuvante de la familia de los fosfatos y el coadyuvante de la familia los silicatos.
- Determinar que coadyuvante disilicato de sodio complejo y metasilicato de sodio pentahidratado será más favorable sobre los parámetros fisicoquímicos de los detergentes convencionales con tripolifosfato de sodio.
- Validar la formulación del detergente que reemplaza al tripolifosfato de sodio con la normativa, especificaciones, resultados a nivel laboratorio, propuesta de ficha técnica para el detergente en polvo y costos a nivel ingenieril.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

- El detergente formulado con el nuevo coadyuvante disilicato de sodio complejo, metasilicato de sodio pentahidratado o la mezcla de ambos tiene características iguales o superiores con respecto al tripolifosfato de sodio según la NTP 319.170:1979, eso se puede probar.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El disilicato de sodio complejo, metasilicato de sodio pentahidratado y su mezcla son superiores porque no poseen trazas de fósforo según sus especificaciones,

cumplen con la normativa para uso en detergente, adaptándose a la ISO 6330 reduciendo la eutrofización.

- Los detergentes formulados con disilicato de sodio completo, metasilicato de sodio pentahidratado y mezcla de ambos, presentan diferencias en la capacidad de remoción de suciedad, nivel de generación de espuma, pH comparable a las de otros detergentes convencionales.
- El coadyuvante disilicato de sodio complejo, metasilicato de sodio pentahidratado y mezcla exhibirá propiedades fisicoquímicas favorables para su incorporación en la formulación del detergente.
- El detergente formulado, cumple con las normativas ambientales impuestas en leyes y resoluciones internacionales al no contener fosfatos en su formulación, mantiene una mejor estabilidad y eficiencia a lo largo del tiempo, lo cual es ratificado en sus fichas técnicas de cada coadyuvante, mencionando el bajo impacto ambiental en comparación con el tripolifosfato de sodio.

## **1.5. Antecedentes investigativos**

### **1.5.1. Antecedentes nacionales**

Además, Quiroa (2016), en su proyecto de investigación “Determinación del contenido de fosfatos en detergentes para lavavajillas y daños que producen al medio ambiente de la región callao” (p.1), tiene como finalidad determinar la concentración de fosfato presente en los detergentes y cuantificar los daños que este genera. Los resultados atribuidos ante tal estudio fueron que los detergentes demuestran un valor de 5 al 10 % de su concentración en fosfatos, el cual atribuye a la creciente población y la concentración de las actividades productivas cerca de Ventanilla, además propone el uso de silicato de sodio por sus ventajas comparativas con los polifosfatos.

No se encontró investigaciones a nivel nacional con relación a la sustitución del tripolifosfato de sodio (STTP), por otros coadyuvantes.

### **1.5.2. Antecedentes internacionales**

Las investigaciones de Castro (2012) en su informe de tesis para obtener el grado de Ingeniero llamado “Impacto Ambiental en México por el uso doméstico de los detergentes en polvo fosfatados y libres de fosfatos mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida” (p.1), donde el objetivo de su estudio es obtener los impactos ambientales a su formulación y la metodología usada para su cuantificación, así como aquellos requisitos de calidad que brinden las características necesarias para su estudio, el resultado que obtuvo es que los detergentes libre de fosfatos aportan un impacto menor con contraste con los fosfatados, en relación con el agotamiento de recursos hídricos y abióticos.

En la investigación de Pacheco (2015), en su trabajo de fin de carrera “Contaminación por detergentes- Agentes nocivos olvidados” (p.1), tuvo como principal meta evaluar los niveles de contaminación generados por detergentes en el río Granobles, donde realizó el estudio de los efluentes generados y vertidos. Los resultados que el autor recomienda es la utilización de detergentes no iónicos con la finalidad de evitar la contaminación del agua dulce del Río.

Por otro lado, Ugalde, et al. (1993), en su artículo " Disminución del contenido de tripolifosfato de sodio en los detergentes aniónicos de uso más común en Costa Rica "(p.1), presentaron un enfoque práctico para desarrollar un detergente respetuoso con el medio ambiente a partir de silicato de sodio e intercambio iónico con zeolita tipo A. Su investigación evidenció que el nuevo producto no solo mantuvo su efectividad de limpieza, sino que también redujo el impacto ambiental.

Asimismo, Osinga (2009), en sus indagaciones para obtener una patente de investigación europea, llevó a cabo el estudio de invención para desarrollar una composición de detergente la cual minimice la formación de depósitos sobre la superficie de fibras y serpentines de la lavadora al utilizar silicatos solubles en su formulación, y trabajó a condiciones de 25°C. La conclusión más relevante a la que llega es que los silicatos poseen un mayor potencial de afinidad para los iones de calcio y magnesio, los cuales conducen a la reducción significativa de los residuos de silicatos cristalinos.

Las investigaciones de Chateau et al. (2005), en su artículo “Processing a detergent powder formulation: Direct compression, and high shear wet granulation followed by compression” publicado en Powder Technology” (p.1). El objetivo de investigación fue determinar la formulación de detergente en polvo compuesta por un 70% de sales inorgánicas como coadyuvantes (tripolifosfato de sodio, metasilicato de sodio y carbonato de sodio) entre un 10% - 20% de tensioactivos. En su elaboración utilizaron agua como un agente aglutinante para la granulación húmeda, en sus resultados evidenciaron que al reemplazar parcialmente el tripolifosfato de sodio por un coadyuvante como carbonato de sodio y metasilicato de sodio, estos condujeron a un aumento de las propiedades mecánicas de tabletas de detergentes, siendo los coadyuvante alternativas viables y respetuosos con el medio ambiente.

De acuerdo con el manual, De Clerk et al (2007) en su capítulo “Laundry Cleaning of textiles” (p.1), del Handbook for cleaning, se tuvo como objetivo brindar una visión general de los diferentes aspectos de limpiezas donde menciona las formulaciones modernas de detergentes que comprende coadyuvantes como zeolitas y silicatos para la sustitución de fosfatos, obteniendo resultados comparativos de diferentes tipos de presentaciones en detergentes polvo, líquido y tableta.

Por otro lado, las averiguaciones de Altmajer (2004), en su informe doctoral "Formulaciones Detergentes: Biodegradables: Ensayos de lavado" (p.1), tienen como objetivo demostrar formulaciones de detergentes de fuentes naturales los cuales no produzcan productos tóxicos, así como el estudio de enzimas lipasas y la evaluación de su eficacia en diferentes detergentes tensioactivos. En sus resultados se obtienen que la detergencia depende de la dureza cálcica de acuerdo con el lugar donde se ensaya, reporta resultados en su formulación optima de 1g/L de concentración para aguas blandas, en contraste de las aguas duras  $D_{Ca} = 600 \text{ mg/L}$  de  $CaCO_3$  que posee un valor de 1.3 g/L de tensioactivos.

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1. Marco teórico

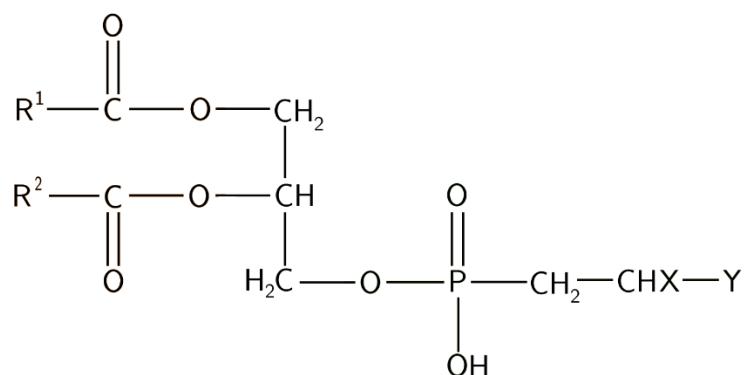
#### 2.1.1. Detergentes

Los detergentes son compuestos químicos que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua, lo que les permite humedecer y separar la suciedad de las superficies, dispersarla en el agua y mantenerla en suspensión (Sánchez, Blas, & Chau, 2010).

La capacidad de los detergentes para humedecer se atribuye a su estructura molecular, que contiene una parte que repele el agua (hidrófoba) y otra parte que la atrae (hidrófila), mostrada en la Figura 2, lo que les permite actuar como intermediarios entre la suciedad y el agua (Chateau, Galet, & Fages, 2005).

**Figura 2**

*Estructura molecular de un detergente anfipático*

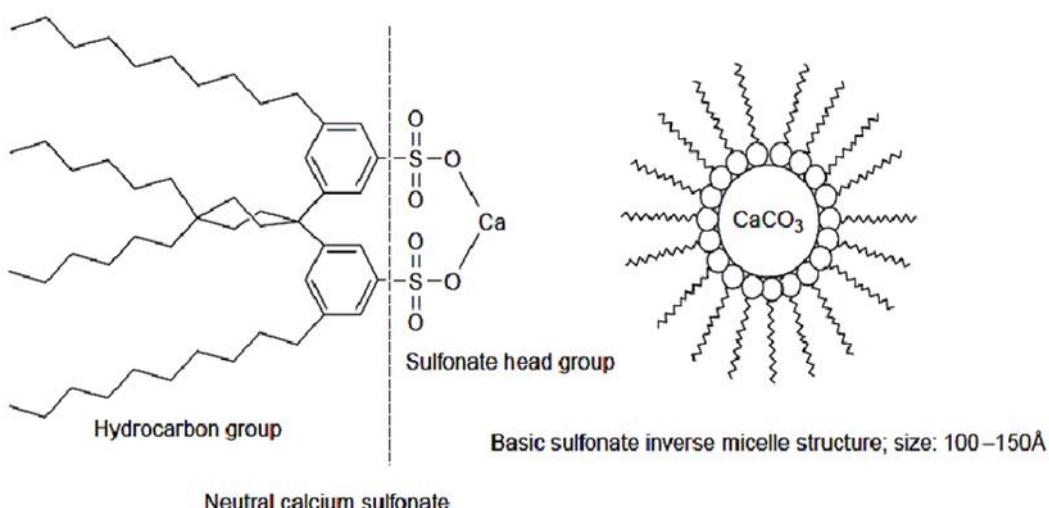


Nota: Adaptado de (Rosen & Kunjappu, 2012)

Los detergentes pueden dispersar y mantener en suspensión la suciedad en el agua por la formación de micelas, estructuras esféricas formadas por agrupar moléculas de detergente. En estas micelas, las partes hidrófobas se orientan hacia el interior, mientras que las partes hidrofílicas se orientan hacia el exterior, ver en la Figura 3 (Myers, 2006).

**Figura 3**

*Estructura de una micela*



Nota: Adaptado de (Myers, 2006).

### 2.1.2. Tipo de detergentes

Los detergentes se clasifican en diferentes tipos según su carga iónica y su estructura molecular. A continuación, se presentan los principales tipos de detergentes:

#### 2.1.2.1. Detergentes Aniónicos

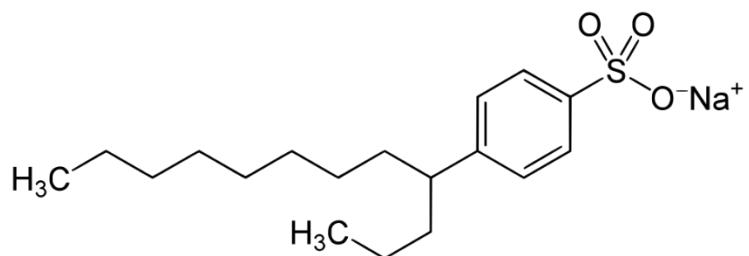
Los detergentes aniónicos tienen en su molécula un grupo aniónico cargado negativamente como un sulfato, sulfonato o carboxilato. Son los más utilizados en detergentes domésticos e industriales (Rosen & Kunjappu, 2012).

Algunos ejemplos son:

Alquilbenceno sulfonatos lineales (LAS): Ampliamente utilizados en detergentes para ropa y limpieza doméstica, ver Figura 4.

**Figura 4**

*Estructura del dodecil benceno sulfonato lineal*



Nota: Adaptado de (Myers, 2006).

#### 2.1.2.2. Detergentes Catiónicos

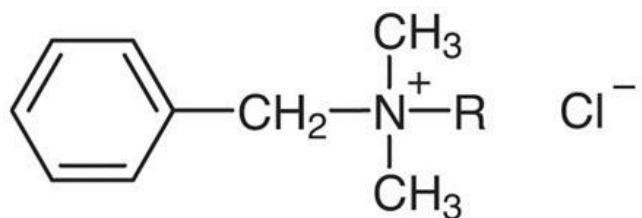
Estos detergentes contienen un grupo catiónico cargado positivamente, generalmente un compuesto de amonio cuaternario. Se emplean como agentes antimicrobianos, suavizantes de telas y en algunos productos de higiene personal (Rosen & Kunjappu, 2012).

Por ejemplo:

- Cloruro de benzalconio: Utilizado como desinfectante y conservante en productos de cuidado personal, ver Figura 5.
- Compuestos de amonio cuaternario: Empleados como suavizantes de telas.

**Figura 5**

*Estructura del cloruro de benzalconio*



Nota: Adaptado de (Louis, 2002).

### 2.1.2.3. Detergentes No Iónicos

Carecen de carga iónica y son compatibles con detergentes aniónicos y catiónicos.

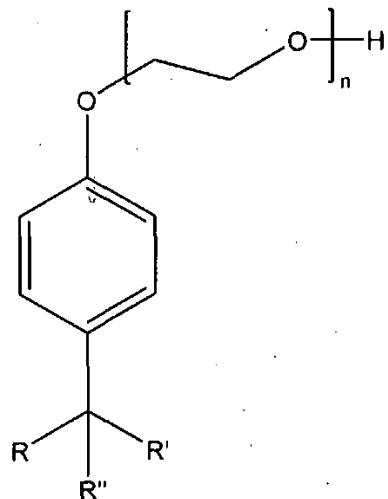
Se utilizan en detergentes para ropa delicada, productos de limpieza suave y formulaciones cosméticas (Rosen & Kunjappu, 2012).

Algunos ejemplos son:

- Alcoholes grasos etoxilados: Ampliamente utilizados en detergentes líquidos y limpiadores.
- Alquifenol etoxilados: Empleados en detergentes y formulaciones cosméticas, ver Figura 6.

**Figura 6**

*Estructura del alquifenol etoxilado*



Nota: Adaptado de (Louis, 2002).

### 2.1.2.4. Detergentes Anfóteros

Contienen grupos tanto aniónicos como catiónicos en su molécula. Se utilizan principalmente en productos de cuidado personal, como champús y productos de limpieza suave (Rosen & Kunjappu, 2012).

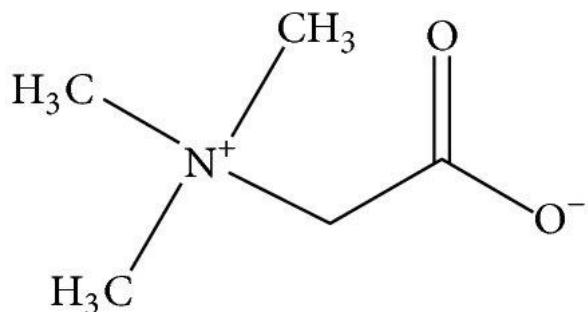
Un ejemplo es:

- Betaínas: Utilizadas en champús, acondicionadores y productos de limpieza facial ver

Figura 7.

**Figura 7**

*Estructura de la betaínas*



Nota: Adaptado de (Louis, 2002).

#### 2.1.3. Tensoactivos en los detergentes

La efectividad de una formulación detergente depende en gran medida de la adecuada selección de los tensioactivos para remover y encapsular la suciedad según el tipo de sistema. Los tensioactivos no iónicos requieren menor concentración que los aniónicos para remover suciedades aceitosas debido a su menor energía. La combinación sinérgica de diferentes tensioactivos puede generar efectos deseables en el proceso de limpieza (Zoller, 2004).

La actividad detergente también depende de la naturaleza polar del sustrato y la orientación molecular del tensioactivo adsorbido. Una mayor longitud de la cadena hidrofóbica y ubicación del grupo polar optimizan la eficiencia detergente, aunque la solubilidad limita la extensión de la cadena. La temperatura óptima coincide con el punto de enturbiamiento del tensioactivo no iónico. La cantidad de óxido de etileno deben ser suficientes, pero no excesivas. (Zoller, 2004).

#### **2.1.4. Tipos de suciedad**

Los detergentes se enfrentan a dos tipos de suciedad: sustancias aceitosas y materiales sólidos particulados. Las manchas formadas por alimentos, fluidos orgánicos y sustancias de alto peso molecular plantean desafíos especiales debido a las complejas interacciones interfaciales involucradas. Las suciedades sólidas pueden consistir en materiales minerales, orgánicos, óxidos metálicos y pigmentos, mientras que las líquidas incluyen sebos, ácidos grasos, alcoholes, aceites minerales, vegetales y sintéticos, entre otros. Si bien las características superficiales de cada suciedad pueden variar, ambos tipos comparten similitudes básicas en cuanto a su adhesión al sustrato, resultante de la dispersión e interacciones intermoleculares (Riehm, & Britten, 2017).

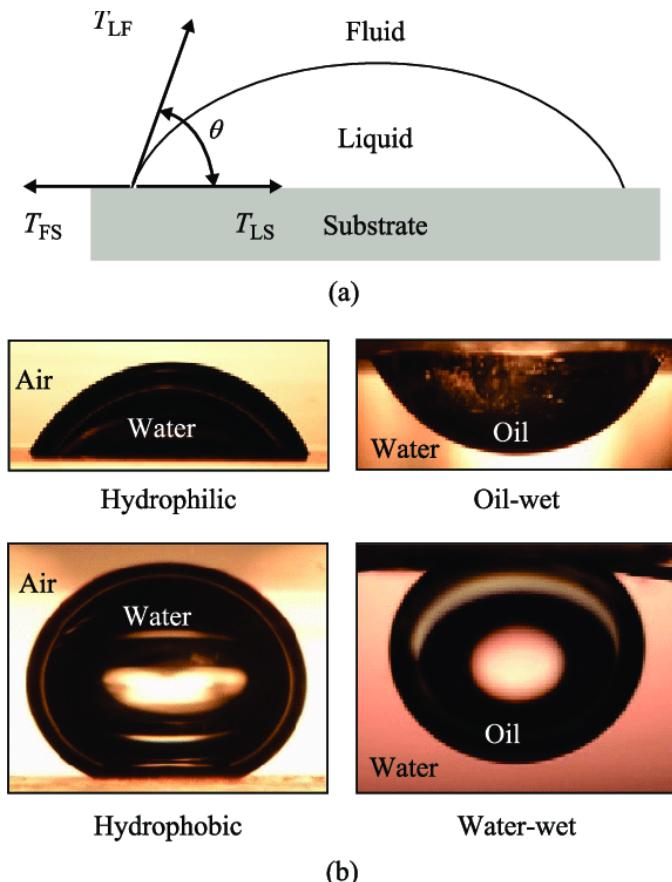
##### **2.1.4.1. Suciedad aceitosa**

En este caso, la remoción en suciedad aceitosa dependerá de la fuerza de adhesión presente entre la suciedad líquida y el sustrato que al entrar en contacto el ángulo que forman aumenta hasta que se desprende esa suciedad según lo mostrado en la Figura 8. Para que una solución limpiadora se de manera efectiva esta debe poseer una concentración mayor a su Concentración Micelar Crítica (CMC) (Broze, 1999).

Los tensoactivos por lo general reducen la tensión interfacial entre el aceite y el sustrato, la disminución de aquella tensión presente entre el detergente y aceite irá incrementando el ángulo de contacto logrando el desprendimiento de la suciedad aceitosa, ver Figura 8.

**Figura 8**

Ángulo de contacto del fluido-líquido-sustrato



Nota: a) El ángulo de contacto es el resultado del equilibrio entre las tensiones interfacial del líquido y fluido, así como líquido sustrato. b) Una gota de agua-aceite-sustrato. Adaptado de (Myers, 2006).

#### 2.1.4.2. Suciedad particulada

El proceso de remoción de suciedades sólidas particuladas mediante detergentes líquidos implica el mojado del sustrato y la suciedad, seguido de la adsorción de tensioactivos y otros componentes en las interfas, reduciendo la energía de adhesión y creando una barrera electrostática que evita la rede posición. La presencia de agua permite la formación de una bicapa eléctrica repulsiva y el hinchamiento de la suciedad. Los tensioactivos disminuyen la tensión superficial del agua, facilitando la penetración en cavidades. Sin embargo, la acción mecánica vigorosa suele ser necesaria. Los tensioactivos catiónicos deben evitarse debido a su potencial atracción electrostática con las suciedades mayormente cargadas negativamente (Riehm, & Britten, 2017).

### 2.1.5. Emulsiones

Se puede definir como aquella dispersión de un líquido en otro líquido inmiscible.

En la industria del detergente este cobra un gran valor debido a los distintos componentes que son parte de su formulación como las fragancias las cuales tienden a estar emulsificadas. Por ello, su principal acción es tener aquellos ingredientes inmiscibles de manera estabilizados, controlando sus propiedades fisicoquímicas (Salager, 2002).

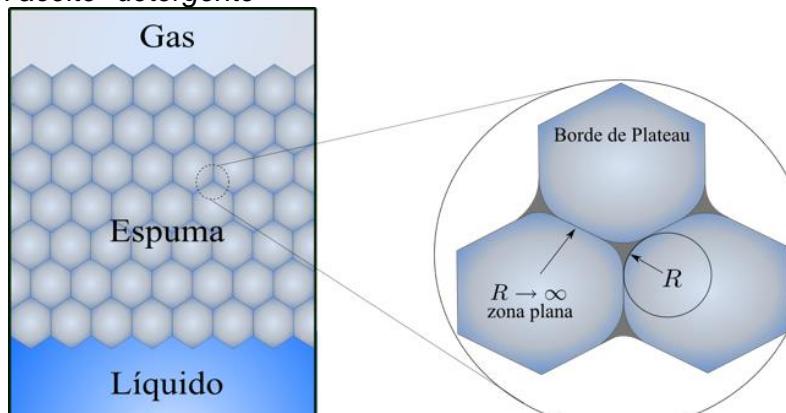
### 2.1.6. Espuma

Las espumas son sistemas bifásicos constituidos por una fase continua líquida y una fase dispersa gaseosa. Si bien en los productos detergentes la formación de espuma no es una propiedad relevante desde el punto de vista funcional, representa un atractivo estético para el consumidor. La naturaleza de las espumas las convierte en sistemas termodinámicamente inestables debido a su tendencia natural al colapso (Salager, 2002).

A continuación, se muestra la diagramación de las fases de la espuma, en la Figura 9.

**Figura 9**

Ángulo entre el aceite- detergente



Nota: Adaptado de (UNAM,2014)

Según su estabilidad, las espumas se clasifican en:

- Inestables: Son aquellas cuya vida útil es de segundos o minutos. El drenaje del líquido y la ruptura de las láminas que conforman las burbujas ocurren rápidamente.

- Metaestables: Presentan una vida útil que puede oscilar desde minutos hasta horas. Exhiben un equilibrio dinámico donde el drenaje y la ruptura de burbujas se compensan con la formación de nuevas burbujas.
- Sólidas o estables: Su estructura se mantiene prácticamente invariable durante días o semanas. El drenaje y la ruptura de burbujas se ven considerablemente ralentizados por la presencia de agentes estabilizantes.

### 2.1.7. Propiedades de detergentes

Los detergentes son compuestos tensioactivos con varias propiedades que los hacen efectivos en la limpieza y remoción de suciedad. Algunas de las propiedades más importantes de los detergentes se mencionan a continuación, en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Comparación de las propiedades de los detergentes*

Propiedad	Característica
Poder humectante	Capacidad de reducir la tensión superficial del agua para penetrar y humedecer la suciedad adherida.
Dispersión	Evita que la suciedad se vuelva a depositar en las superficies limpias mediante la formación de micelas.
Suspensión	Mantiene la suciedad en suspensión en el agua, evitando su sedimentación, mediante la formación de micelas.
Poder emulsionante	Capacidad de dispersar sustancias insolubles en agua, como grasas y aceites, en forma de pequeñas gotas.
Poder solubilizante	Mejora la solubilidad de sustancias insolubles en agua, como grasas, aceites y pigmentos, facilitando su eliminación

Nota: Elaboración propia adaptada de (Myers, 2006, pág. 45 – 51 y Smulders et al,2007, pág. 78-84)

### 2.1.8. Formulación de un detergente

La formulación de un detergente en polvo involucra una variedad de ingredientes, por lo general los que tienen más presencia por la cantidad que se les agrega se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15***Ingredientes para la formulación del detergente.*

Ingredientes	Función
	Dentro de los tensoactivos tenemos a los agentes:
Tensoactivos	-Espumantes -Humectantes -Emulsificantes
Coadyuvantes	Se encuentran las sustancias inorgánicas y orgánicas los cuales poseen la función de mejorar el desempeño de un detergente, regular el pH, ablandar el agua.
Solventes	Mantienen los ingredientes en solución y ayudan a disolver la suciedad.
Preservativos	Evitan la proliferación de hongos, mohos y bacterias.
Ingredientes fines estéticos	Enzimas, Fragancias, Colorantes, Abrasivos, etc.

Nota: Elaboración propia adaptada de Handbook of Detergents, (Booze, 1999, pág 38).

### 2.1.8.1. Tensoactivos

Dentro de este grupo los más usados son los sulfonados de alquilbenceno lineal debido a su efectividad contra la suciedad y a su gran afinidad con los tensoactivos catiónicos. Por lo general, poseen una cadena larga con 13 carbonos en la Tabla 16 (Falbe, 1987).

**Tabla 16***Tipos de tensoactivos.*

Tipo de Tensoactivo	Ejemplo	Número de átomos de carbono
Aniónicos	Sulfonado de alquilbenceno lineal (LAS)	R= C <sub>10-14</sub>
	Lauril sulfato de sodio	R= C <sub>12</sub>
	Oleato de sodio	R= C <sub>18</sub>
Catiónicos	Cloruro de benzalconio	R= C <sub>8-18</sub>
	Cloruro de cetilpiridinio	R= C <sub>16</sub>
No iónicos	Alcohol laurílico etoxilado	R= C <sub>12</sub>
	Nonilfenol etoxilado	R= C <sub>9</sub>
Anfóteros	Cocamidopropil betáina	R= C <sub>12</sub>

Nota: Elaboración propia adaptada de Handbook of Detergents, (Broze, 1999)

### 2.1.8.2. Coadyuvantes

Los coadyuvantes se pueden clasificar en orgánico e inorgánico, y su objetivo es aumentar el desempeño de los tensoactivos; además otras de sus funciones es estabilizar el pH, mantiene el poder espumante del detergente y remueve los minerales de calcio y magnesio presentes en el agua. Para seleccionar un coadyuvante de manera correcta es importante conocer los parámetros fisicoquímicos del agua, como la dureza total, la cual estará incluida dentro de las especificaciones técnicas brindada por los proveedores de estos insumos (Salager, 2002).

Para ello es importante mencionar la cantidad promedio de dureza presente en nuestras aguas, dando un valor a nivel nacional de 260 ppm y a nivel de provincias de 418 ppm, mostrados en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Correlación de cantidad de dureza de agua por departamento del Perú*

Provincia	Origen	Dureza total en ppm (mg/l)
Ancash	Agua subterránea	331.8
Ancash	Agua potable	454.3
Cajamarca	Agua superficial	91
Cusco	Agua subterránea	97
Ica	Agua subterránea	265.3
Loreto	Agua superficial	68.0
Pasco	Agua superficial	88.3
Piura	Agua subterránea	474.7
San Martín	Aqua potable	10.3
Tacna	Aqua subterránea	350.8

Nota: Elaboración propia adaptada Calidad de Agua- DIGESA 2012.

Algunos de los coadyuvantes más conocidos son: EDTA es un quelante fuerte que captura iones metálicos, evitando la descomposición del producto y asegurando su desempeño, incluso con agua dura. En algunos casos se usa el citrato de sodio de forma similar al EDTA.

El NTA es otro quelante usado en detergentes en algunos países, pero ha sido prohibido en Estados Unidos por ser cancerígeno (Myers, 2006)

A continuación, se describe los coadyuvantes más utilizados, mostrados en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Coadyuvantes más comunes*

Coadyuvante	Fórmula
Meta silicato de sodio	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Bicarbonato de sodio	NaHCO <sub>3</sub>
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Silicato de potasio	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Ácido cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
Sesquicarbonato de sodio	Na <sub>3</sub> H(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Hidróxido de potasio	KOH
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>
Dietanolamina	(HOC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> NH
Tripolifosfato de sodio	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>
Silicato de sodio	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Bisulfato de sodio	NaHSO <sub>4</sub>
Cloruro de sodio	NaCl

Nota: Elaboración propia.

### 2.1.8.3. Solventes

Los solventes son compuestos líquidos que se utilizan en las formulaciones de detergentes para disolver o dispersar otros ingredientes. Los solventes más comunes en su formulación son: isopropanol, etanol, agua y glicoles, que permiten disolver mejor tensoactivos, enzimas entre otros aditivos. solubilidad de ciertos componentes y mejorar la estabilidad de la formulación (Garrett y Grisham 2013).

### 2.1.9. Control en los detergentes

#### 2.1.9.1. Control del pH

El control preciso del pH es esencial en las formulaciones de detergentes para asegurar una limpieza efectiva y la compatibilidad con la piel y las telas. Mientras que los

detergentes para ropa generalmente tienen un pH entre 9 y 11, los detergentes para lavar platos suelen ser más ácidos, con un pH entre 6 y 7 (Falbe, 1987).

Ying et al. (2015) afirman que "el ajuste y control del pH es fundamental en la formulación de detergentes líquidos" (p. 1199), ya que valores extremos pueden causar irritación en la piel, dañar las telas o reducir la eficacia de limpieza, recomendando rangos de pH de 5-8 para detergentes de manos, 6-8 para detergentes líquidos para ropa y 7-10 para detergentes en polvo. Además, Myers (2006) señala que mientras los tensioactivos aniónicos tienden a tener un pH alcalino, los no iónicos están más cerca de la neutralidad, y se adicionan ácidos como el cítrico o el sulfámico para ajustar el pH al rango deseado en las formulaciones de detergentes.

#### **2.1.9.2. Control reológico**

El control reológico es crucial en la formulación de detergentes en polvo para asegurar una adecuada disolución, dosificación y dispersión del producto. Según Riehm y Britten (2017), "las propiedades de flujo de los detergentes en polvo deben ser cuidadosamente controladas para evitar problemas de apelmazamiento, segregación de componentes y obstrucción de las aberturas de dosificación" (p. 248). Asimismo, Sapag (1976) afirman que "la reología de los detergentes en polvo está determinada por factores como la granulometría, la humedad, la densidad y la composición de los aditivos, los cuales deben ser optimizados para obtener un flujo libre y una disolución rápida" (p. 1035).

#### **2.1.9.3. Control de espuma**

El control de la espuma es un factor clave en la formulación de detergentes en polvo, ya que una espuma excesiva puede generar problemas de desbordamiento y dificultades en el enjuague. Por lo general, la formación de espuma en la formulación del

detergente va a depender de los tensoactivos utilizados, cuyo funcionamiento puede verse incrementado o disminuido por la composición de su sistema.

Según Riehm y Britten (2017), "los aditivos antiespumantes son comúnmente utilizados en detergentes en polvo para controlar la formación de espuma y facilitar el enjuague" (p. 258). Asimismo, Myers (2006) señala que "los tensioactivos no iónicos, como los alquil poliglucósidos, tienen una mayor tendencia a formar espuma que los tensioactivos aniónicos, por lo que se requiere una cuidadosa selección y dosificación de los agentes antiespumantes".

Los aditivos que influyen en la generación de espuma en los detergentes pueden clasificarse en tres categorías principales: electrolitos inorgánicos, compuestos orgánicos polares y materiales poliméricos. Por lo tanto, seleccionar el aditivo adecuado es crucial para modular la formación de espuma de acuerdo con los requerimientos específicos del producto. Una consideración importante es la geografía donde se utilizará el detergente, ya que la dureza del agua en la región de consumo determina la formulación óptima para asegurar un desempeño adecuado. Por consiguiente, conocer las características del agua local es fundamental para formular un detergente que genere la cantidad de espuma deseada y cumpla con las expectativas del consumidor en esa área geográfica.

#### **2.1.9.4. Control de efectividad**

Las características esenciales para obtener un detergente efectivo, seguro y sostenible, depende de varios factores clave, siendo los ingredientes activos la "columna vertebral" y parte más importante de la formulación (Falbe, 1987).

Estos ingredientes activos son las sustancias que llevan a cabo el proceso de limpieza, facilitando la remoción de suciedad, lo cual sería muy difícil o imposible solo con agua (Myers, 2006).

Además del rendimiento de limpieza, la formación y comportamiento de la espuma también son cruciales. Por ejemplo, para limpiadores multiusos se prefiere una espuma que decaiga rápidamente para evitar la sensación de residuos "jabonosos", mientras que para detergentes lavavajillas se busca una espuma copiosa y duradera (Riehm & Britten, 2017).

La esencia o fragancia es otro factor determinante en la elección del consumidor, al influir directamente en la experiencia sensorial (Falbe, 1987).

Cuando se enfrentan suciedades difíciles, los usuarios suelen aplicar más producto y esfuerzo mecánico, por lo que un buen detergente debe considerar estas condiciones y el mecanismo de limpieza para minimizar el esfuerzo requerido. Igualmente, el brillo y la apariencia lustrosa son señales de una limpieza efectiva para el consumidor, al igual que la duración del aspecto impecable y la cantidad de usos del producto (Ying et al., 2015).

## **2.1.10. Proceso**

### **2.1.10.1. Pre-adición**

Se llama pre-adición porque la mezcla obtenida será llamada como detergente base el cual solo es el mezclado de los aditivos primarios para la formación del slurry.

### **2.1.10.2. Reacción sulfonación**

Primero pasa una reacción de sulfonación, sin embargo, para fines prácticos en esta etapa usaremos el ácido sulfónico dodecilbenceno lineal como la materia prima activa. Luego, se neutraliza con hidróxido de socio en un tanque neutralizador a una temperatura de 50-55°C. Esa mezcla obtenida será depositada en tanques crutchers en donde se formará el slurry (mezcla pastosa) el cual se encontrará a una temperatura de 60°C y un pH alcalino. Finalmente, es bombeado hacia la torre de secado (Salager, 2002).

**Obtención de LAS:**  $C_{12}H_{25}C_6H_5 + H_2SO_4SO_3 \rightarrow C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3H + H_2SO_4$

**Neutralización:**  $C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3H + NaOH \rightarrow C_{12}H_{25}C_6H_4SO_3Na + H_2O$

**Slurry:**  $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$

#### 2.1.10.3. Secado

En esta parte del proceso se utiliza una torre de aspersión el cual permitirá reducir la humedad de 40% hasta un 10% de humedad. La masa de slurry es encontrada a una presión de 75 a 150 psi (Chateau, et al. 2005).

#### 2.1.10.4. Post – adición

La mezcla obtenida en el paso anterior se encuentra seca con aspecto de polvo seco. En esta etapa se pasa por una operación de tamizado donde las partículas poseen un tamaño granulométrico aproximado entre 0.5 a 1 micras. Se añaden los speckles y fragancia como proceso de post adición (Chateau, et al. 2005).

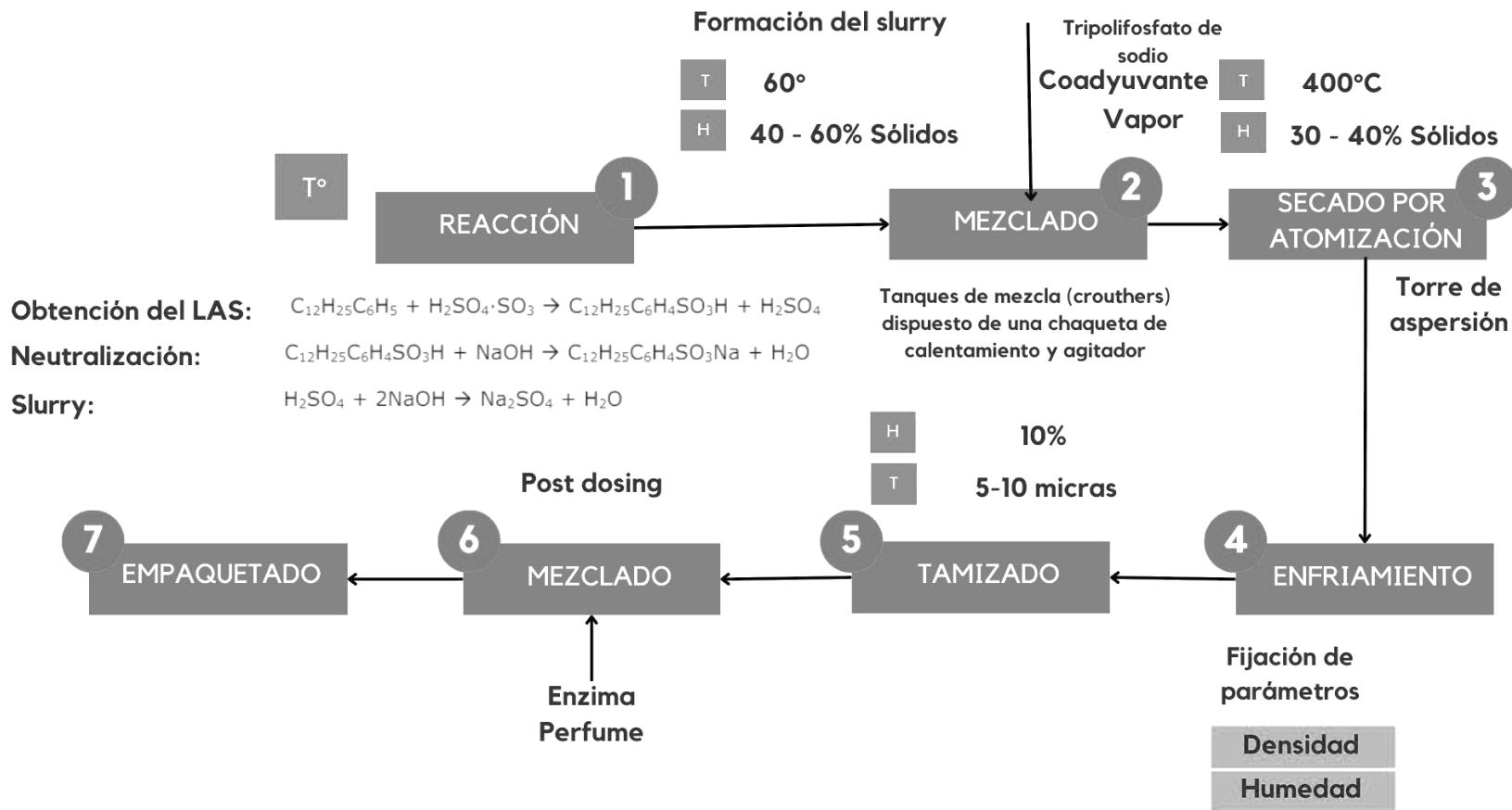
#### 2.1.10.5. Envasado

Finalmente, después del mezclado el detergente en polvo es envasado y listo para su distribución.

A continuación, se muestra la Figura 10, donde se detalla el proceso de manera general y algunas condiciones en su operación de planta.

Figura 10

Diagrama de proceso para la elaboración de detergente en polvo



\*SLURRY: ES UNA MEZCLA DE LÍQUIDOS Y SÓLIDOS NO DISUELTO

Nota: Adaptación del contenido basado en Zoeller, (2004).

### 2.1.11. Fenómeno de eutrofización

Este fenómeno se genera por la contaminación de ecosistemas acuáticos producto de las descargas provenientes de las actividades diarias e industriales. Dentro de los contaminantes se encuentran productos de consumo masivo como los detergentes y jabones, cuya presencia significa un medio receptor que ocasiona problemas tóxicos para la salud y medio ambiente (Paredes & Roldán, 2022).

El comportamiento de este fenómeno consiste en la alta presencia de niveles de fósforo en el ecosistema marino proveniente del tripolifosfato de sodio, coadyuvante utilizado en la fabricación de detergentes. Este proceso trae consigo el crecimiento repentino de cianobacterias y de algas microscópicas, formándose un ecosistema propicio para la proliferación de moscas, zancudos y la producción de gases como el amoniaco y el sulfuro de hidrogeno, ver Figura 11. El crecimiento de cianobacterias y algas no solo depende de la reducción del oxígeno sino también depende de la temperatura y de la presencia de luz para realizar el procedimiento de fotosíntesis (Paredes & Roldán, 2022).

**Figura 11**

Canales de agua con formación de lenteja *Pantanos de Villa*



Nota: Restauración de los canales eutrofizados de abastecimiento de agua en los Pantanos de Villa. (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020).

### 2.1.12. Normativa técnicas involucradas en la calidad de agua en el Perú

En el Perú los estándares Nacionales de Calidad Ambiental del agua (ECA), establece los niveles máximos permisibles de concentraciones presente en una sustancia,

así como sus parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua. A nivel nacional estos parámetros son de cumplimiento obligatorio para el diseño de normas legales, políticas públicas e instrumentos relacionados con la gestión ambiental, ver Tabla 19.

**Tabla 19**

*Propiedades fisicoquímicas del agua*

Parámetros	Unidades	Lagunas y Lagos	Ríos	
			Costo y Sierra	Selva
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	< 5	< 10	< 10
Oxígeno Disuelto	mg/L	> = 5	> = 5	> = 5
pH	unidad	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500
Sólidos Suspensión Totales	mg/L	<=25	<= 25 -100	<= 25 - 400

Nota: Elaboración propia adaptación de MINAM- Decreto Supremo N°002-2008.

A continuación, se detallas las concentraciones de fosfatos, nitratos y nitrógeno presentes en los ríos, lagunas y lagos, ver Tabla 20.

**Tabla 20**

*Propiedades inorgánicas del agua*

Parámetros	Unidades	Lagunas y Lagos	Ríos	
			Costo y Sierra	Selva
Fosfatos totales	mg/L	0.4	0.5	0.5
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	5	10	10
Nitrógeno Total	mg/L	1.6	1.6	

Nota: Elaboración propia adaptación de MINAM- Decreto Supremo N°002-2008.

## **Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación**

### **3.1. Tipo y Diseño de la Investigación**

Se llevó a cabo un estudio del tipo experimental con enfoque cuantitativo por los datos numéricos y análisis estadístico. Es experimental porque relaciona la variable independiente como la concentración de los ingredientes para analizarlo con variables dependientes como la estabilidad del producto. Según la temporalidad es de corte transversal justificado por la toma de datos en un único momento temporal para cada ensayo de formulación desarrollado, permitiendo la comparación de las diferentes composiciones de coadyuvantes de manera simultáneamente.

### **3.2. Unidades de análisis**

Los ensayos de formulación de análisis fueron: muestras de 1372 gramos cada uno, los cuales mantuvieron una composición base constante en cuanto a ingrediente principales. La variable principal se centró en el tipo de coadyuvante utilizado, siendo este el componente modificado entre los distintos ensayos de formulación, mediante diseño experimental.

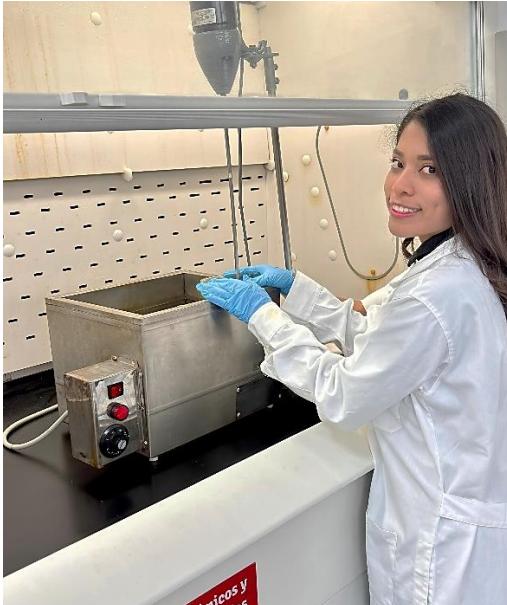
### **3.3. Ubicación y fecha**

La investigación para la formulación del slurry se realizó en el laboratorio de calidad de una empresa privada que comercializa productos sanitarios ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, Perú. Estas instalaciones cuentan con equipos especializados para llevar a cabo el proceso de elaboración de la mezcla, análisis y las pruebas de desempeño del detergente. El laboratorio está equipado con instrumentos como viscosímetros, espectrofotómetros, los cuales permitieron realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas de los ensayos. La prueba se realizó en el mes de Julio en

presencia del personal de laboratorio, respetando la formulación brindada mediante la supervisión de la tesista, ver Figura 12.

**Figura 12**

*Visualización del montado*



Nota: Elaboración propia.

Es importante considerar el significado del término *slurry*, lo cual hace referencia a una mezcla semilíquida que está constituido por sólidos dispersos en un líquido (González, 2018) .

### **3.4. Insumos para la formulación del slurry**

La formulación del detergente en polvo se clasifica como activos e inactivos, siendo los surfactantes los únicos con clasificación activa presente. Por otro lado, los ingredientes inactivos no intervienen en el objetivo del producto, pero cumple una función importante en el desempeño de su limpieza. La metodología modifco el ingrediente inactivo actual, coadyuvante, por una alternativa más eficiente y ecológica. Para ello, nos centraremos en la formulación de tres ensayos con diversos coadyuvantes, encargados de aislar los iones de calcio y magnesio en el agua.

Los ensayos establecidos se muestran en la Tabla 21, 22 y 23, los cuales muestran los ingredientes respectivos de cada formulación. La selección de ingredientes se realizó por medio de la revisión bibliográfica y al benchmarking realizado al mercado de detergente. Se determinó que el disilicato de sodio complejo y metasilicato de sodio pentahidratado son coadyuvantes amigables con el ambiente con una mejor secuestrabilidad de iones de calcio después de los fosfatados (Altmajer Vaz, 2004).

La fórmula del detergente base ya está determinada, sin embargo, lo que cambia son las concentraciones de cada materia prima, y agregar otras sustancias como en este caso cambiar el coadyuvante tripolifosfato de sodio por otro.

El ensayo 1 del detergente formulado se muestra en la Tabla 21, y utiliza como coadyuvante principal el disilicato de sodio complejo con una composición del 5,5%.

A continuación, se muestra las diferentes formulaciones empleando los coadyuvantes seleccionados.

**Tabla 21**

*Formulación con disilicato de sodio complejo como coadyuvante.*

Ensayo	Ingredientes	Proporciones	
		Cantidad (g)	Porcentaje %
1	Agua	198	14.4%
	Ingrediente activo	158.1	11.5%
	Hidróxido de sodio	21.5	1.6%
	Silicato de sodio	287.4	20.9%
	Blanqueador óptico	1.5	0.1%
	Carbonato de sodio	60.0	4.4%
	<b>Disilicato de sodio complejo</b>	75.3	5.5%
	Sulfato de sodio	570.2	41.6%
	Total	1372	100.0%

Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (Adalid, 2011)

En la Tabla 22, se muestra la formulación del ensayo 2 con un contenido de 5.5% de metasilicato de sodio pentahidratado,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

**Tabla 22***Formulación con metasilicato de sodio pentahidratado como coadyuvante.*

Ensayo	Ingredientes	Proporciones	
		Cantidad (g)	Porcentaje %
2	Agua	198	14.4%
	Ingrediente activo	158.1	11.5%
	Hidróxido de sodio	21.5	1.6%
	Silicato de sodio	287.4	20.9%
	Blanqueador óptico	1.5	0.1%
	<b>Metasilicato de sodio pentahidratado</b>	75.3	5.5%
	Carbonato de sodio	60.0	4.4%
	Sulfato de sodio	570.2	41.6%
Total		1372	100.0%

Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (Adalid, 2011)

Se muestra la formulación del ensayo 3 el cual contiene la mezcla de ambos coadyuvantes mencionados en los ensayos 1 y 2. Ver Tabla 23.

**Tabla 23***Formulación con de la mezcla de ambos coadyuvantes.*

Ensayo	Ingredientes	Proporciones	
		Cantidad (g)	Porcentaje %
3	Agua	198	14.4%
	Ingrediente activo	158.1	11.5%
	Hidróxido de sodio	21.5	1.6%
	Silicato de sodio	287.4	20.9%
	Blanqueador óptico	1.5	0.1%
	<b>Metasilicato de sodio pentahidratado</b>	37.65	2.74%
	<b>Disilicato de sodio complejo</b>	37.65	2.74%
	Carbonato de sodio	60.0	4.4%
Total		1372	100.0%

Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (Adalid, 2011)

El ensayo estándar se muestra en la Tabla 24, el cual se usó como base en comparación con los ensayos establecidos.

**Tabla 24***Formulación con metasilicato de sodio pentahidratado como coadyuvante.*

Ensayo	Ingredientes	Proporciones	
		Cantidad (g)	Porcentaje %
Estándar	Agua	198	14.4%
	Ingrediente activo	158.1	11.5%
	Hidróxido de sodio	21.5	1.6%
	Silicato de sodio	287.4	20.9%
	Blanqueador óptico	1.5	0.1%
	<b>Tripolifosfato de sodio</b>	75.3	5.5%
	Carbonato de sodio	60.0	4.4%
	Sulfato de sodio	570.2	41.6%
Total		1372	100.0%

Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (Adalid, 2011)

### 3.5. Materiales

#### 3.5.1. Materiales y equipos para la formulación en el laboratorio

Para la formulación de detergente en polvo, se utilizó los siguientes equipos de laboratorio: un agitador de la marca IKA EUROSTAR 60 que mezcló los ingredientes de manera homogénea, un equipo de baño María TC-102 Brookfield para el calentamiento y la estabilidad de la temperatura de la mezcla, una bagueta para la agitación manual, una micro bureta de 10 mL para la medición precisa de líquidos, frascos Erlenmeyer de 300 mL para contener las soluciones, pipetas de 10 ml y 25 ml para la dosificación precisa de líquidos, probetas graduadas de 100 ml para medir volúmenes específicos, y vasos precipitados para realizar mezclas y reacciones químicas.

#### 3.5.2. Materiales para la validación de la formulación

Para la validación del detergente en polvo se utilizaron diversos equipos tecnológicos especializados como:

##### 3.5.2.1. Espectrofotómetro

Este equipo se utilizó para cuantificar objetivamente la eficacia de limpieza del detergente. La Figura 13 muestra el espectrofotómetro empleado de la marca CI7600 de la empresa X-RITE el cual emplea tecnología de esfera integrado, lo que permite

mediciones del índice de blancura en telas estandarizadas. Se basa en el principio de reflectancia el mide la cantidad de luz devuelta por un objeto en comparación de la luz que lo ilumina (X-RITE, 2019).

**Figura 13**

*Espectrofotómetro*



Nota: Adaptado a la empresa X-RITE espectrofotómetro de mesa esfera CI7600 (X-RITE, 2019).

Este equipo permitió cuantificar el grado de blancura de cada tela previamente lavada mediante sus resultados de remoción de manchas brindadas por el software Color iMatch, el cual ayuda a garantizar una calidad de color constante.

### **3.5.2.2. SITA Foam Tester**

La Figura 14, muestra el equipo medidor de espuma automatizado para la diferenciación de varias formulaciones de muestra y secuencias reproducibles utilizando una creación de espuma orientada a la aplicación con el método SITA probado. Utiliza el método de medición óptica mediante luz para determinar el volumen de espuma. Esta técnica se apoya en la interacción de la luz con las burbujas generadas en la espuma. El dispositivo mide el bloqueo o dispersión de la luz, a medida que la espuma colapsa, la dispersión de la luz cambia lo que permite al aparato medir la estabilidad y el tiempo de vida de la espuma.

**Figura 14**

Equipo SITA FoamTester



Nota: Adaptado a la a empresa (NEURTEK instruments, 2024)

El equipo utiliza el software SITA FoamLab para obtener los datos de medición, toma análisis de la descomposición de la espuma, tamaño y forma de burbuja, así como también el análisis de pendiente y volumen que resultan en su formación. (NEURTEK instruments, 2024)

En la Tabla 25, se aprecia los datos técnicos del equipo de laboratorio.

**Tabla 25**

*Características del instrumento SITA FOAMTESTER*

Descripción	Cantidad	Unidades
Volumen de muestra	200 -500	mL
Volumen de vaso	1500	mL
Capacidad de depósito de muestra	2000	mL
Temperatura	0 - 60	°C
Velocidad de agitación	0 -2000	rpm

Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (NEURTEK instruments, 2024)

### 3.5.2.3. Viscosímetro Brookfield

La Figura 15 muestra el viscosímetro Brookfield, el cual opera bajo el principio de esfuerzo cortante, donde se mide la fuerza necesaria para desplazar las partículas de un material con una velocidad de deformación. La unidad de medida es el centipoise (cP), y mide la resistencia al movimiento del husillo a diferentes velocidades lo que permite determinar la viscosidad del fluido. La resistencia medida se transmite a un resorte calibrado cuya torsión se muestra en escala analógica (BROOKFIELD , 2024).

**Figura 15**

Viscosímetro BGD151/1



Nota: Adaptado a la empresa (BROOKFIELD , 2024)

Es importante la medición de la viscosidad para observar el comportamiento del detergente, y a la vez evitar problemas de obstrucción en las tuberías o dificultades al mezclar los ingredientes.

En la Tabla 26, se aprecia los datos técnicos del equipo de laboratorio, en el cual se describe los tipos de dimensiones de husillos o también llamado spines.

**Tabla 26**

*Características del instrumento viscosímetro*

Descripción	Cantidad
Tensión de alimentación	15V DC 1.2A
Alimentador AC/DC	Entrada 100-240 VAC 50/60Hz
Dimensiones cabezal	190 x 100 x 145 mm
Número de husillos	Modelo «L»: nº1, nº2, nº3, nº4 Modelo «R»: R2; R3; R4; R5; R6; R7
Repetibilidad	0.5%

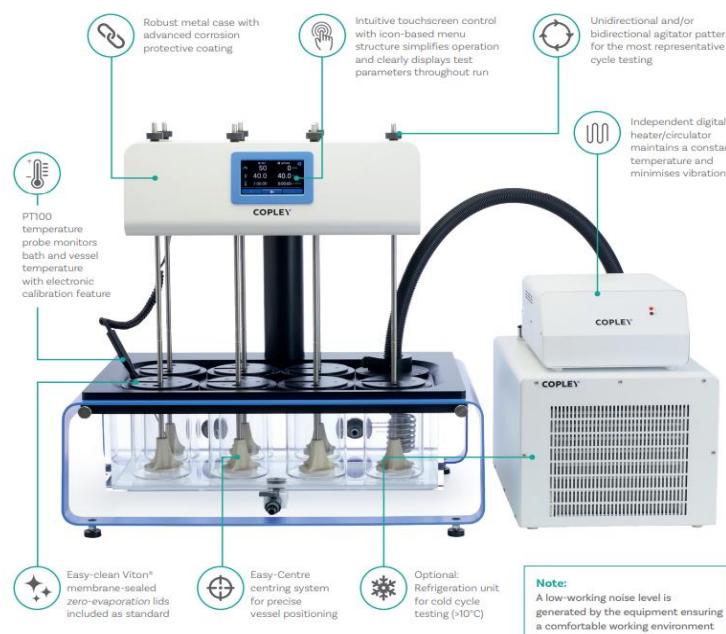
Nota: Propuesta de formulación adaptado de la referencia (NEURTEK instruments, 2024)

**3.5.2.4. Tergotómetro**

La Figura 16 muestra el equipo especializado utilizado para simular las condiciones de lavado a escala pequeña o de laboratorio, permite un control preciso de las variables de agitación, temperatura y concentración del detergente. Consiste en una serie de lavadores de tamaño reducido de sobremesa, cada recipiente de vidrio posee una capacidad de 1000 mL. Las pruebas por lo general son completadas en un tiempo promedio de 17.5 minutos. Su principio se basa en la tensión superficial y la remoción de suciedad, en este equipo se suele utilizar más de una repetición de lavado para una tela con la finalidad de evaluar de manera precisa el desempeño de un detergente en condiciones controladas.

**Figura 16**

*Tergotómetro Copley*

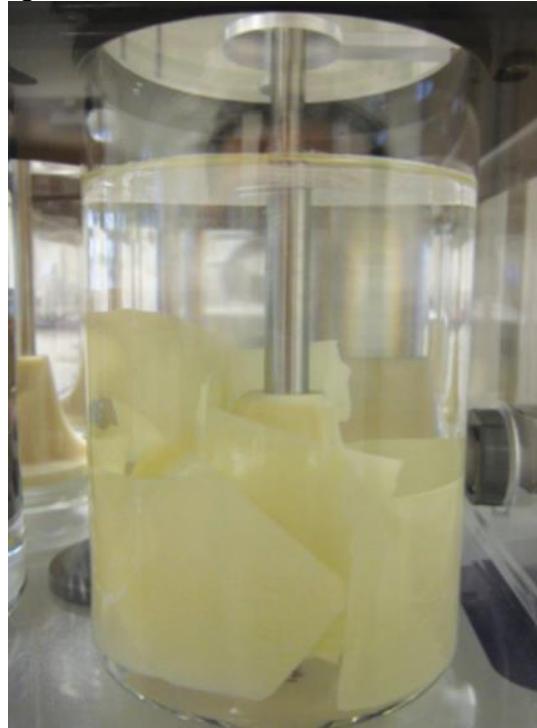


Nota: Elaboración propia marca (COPLEY SCIENTIFIC, 2017).

El procedimiento utilizado para la medición del lavado con el tergotómetro se realiza agregando 1000 ml de agua potable con una dureza de 350 ppm, previamente se ajusta su dureza y pH como condiciones principales, posterior a ello se deja un tiempo para su equilibrio hasta que se alcance una temperatura deseada. Por lo general en las pruebas la temperatura que se alcanzó fue de 30°C. La cantidad de slurry debe tener una concentración de 0.8 por cada 1000mL de agua; se usa 4 g de slurry a una velocidad de 200 rpm de agitación. A continuación, se muestra el ensayo en Figura 17.

**Figura 17**

*Muestras de tela en el tergotómetro*



Nota: Adaptado a la ficha técnica de (COPLEY SCIENTIFIC, 2017).

La tabla 27 muestra la norma técnica y las características de los equipos que serán usados para evaluar las propiedades fisicoquímicas de los detergentes formulados.

**Tabla 27***Correlación de método y equipos para el análisis fisicoquímico*

Método	Equipo
D 4009-92- Este equipo sirve para evaluar formulaciones y control de calidad.	Espectrofómetro de mesa esfera CI7600 de la empresa X-Rite.
Prueba de compactación de polvos y densidad aparente.	Brookfield PFT3115 Powder Flow Tester
D 5343-97: Desempeño de sistemas detergentes.	Copley Tablet Testing suite: Usaremos un tergotómetro disponible de SCS a 100 rpm en 1000 ml de agua 90F
D-2960-98: Método estándar para ensayos de lavado de telas por fricción.	Lavadora Samsung 10.4 kg de carga superior
D 3050-98- Método para la remoción de suciedades de telas.	5 tipo de telas por 10 minutos de lavado con 2.21 g de detergente (de algodón).

Nota: Adaptado a (Altmajer Vaz, 2004)

De todos los métodos mencionados en la Tabla 27 el que determinó su funcionamiento es el espectrofómetro ya que la metodología utilizada brinda una repetibilidad  $< 0.03 \Delta E$ , grado esperado de diferencia de color, este método mediante reflectancia nos permite conocer la blancura de una tela.

### 3.6. Aspectos de seguridad

Durante la fase experimental se incluyó el uso obligatorio de equipos de protección personal (EPP) para la manipulación de compuestos químicos en la formulación de detergentes. Los EPP consistieron en guantes de nitrilo, gafas de seguridad y bata de laboratorio para resistir salpicaduras. Además, todas las formulaciones se realizaron bajo una campana extractora para minimizar la exposición de partículas en suspensión. Así mismo, se contempló los siguientes peligros en la manipulación de cada insumo químico utilizado, mostrado en la Tabla 28.

**Tabla 28***Seguridad de insumos químicos utilizados en la elaboración*

Insumo	NºCAS	Peligros	Manipulación
Ácido Alquilbencenosulfónico Lineal	27176-87-0	Símbolo de Peligro: C Descripción de riesgo: Corrosivo Frases de Riesgo: R22: Daño si es ingerido; R34: Causa Quemaduras.	Guantes de seguridad Gafas de seguridad Ropa protectora (Bata)
Metasilicato de sodio pentahidratado	10213-79-3	El meta silicato de sodio es una sustancia cáustica que puede provocar quemaduras químicas graves en la piel, ojos y tracto respiratorio	Guantes de seguridad Gafas de seguridad Ropa protectora (Bata)
Disilicato de sodio complejo	1344-09-8	El di silicato de sodio es cáustico y puede causar quemaduras químicas graves.	Guantes de seguridad Gafas de seguridad Ropa protectora (Bata)

Nota: Adaptado de las fichas técnicas.

### 3.7. Metodología

La metodología empleada empieza con la caracterización de cada uno de los coadyuvantes en aspectos como humedad, granulometría, con un enfoque en estudio de estabilidad y compatibilidad de compuestos.

#### 3.7.1. Evaluación de la dureza de agua

Una de las variables interviniente es la dureza de agua, el cual nos brinda como característica la concentración total de los iones de calcio y magnesio representada en mg/L o partes por millón(ppm) de carbonato de calcio. Para ello, en base a consultas bibliográficas se determinó lo siguiente, ver Tabla 29.

**Tabla 29***Límites de dureza de países que conforman la CAN*

DUREZA DE AGUA - PAIS			
PAIS	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
Bolivia	200 ppm	150 ppm	300 ppm
Ecuador	120 ppm	100 ppm	150 ppm
Perú	350 ppm	60 ppm	500 ppm

Nota: Obtenido en base a los estudios de agua de cada país.

### 3.7.1.1. Determinación de la dureza

En un frasco Erlenmeyer de 100 mL, agregar 20 mL de agua potable. Luego adicionar una pisca de negro de eriocromo T con la ayuda de una espátula hacia el Erlenmeyer, agitar constantemente la solución, hasta observar una coloración azul en caso de que el agua sea blanda ver Figura 18, o una coloración color violeta en caso contenga dureza, ver Figura 19. Seguidamente para determinar la cantidad de dureza agregar la solución valorante de EDTA con un cuentagotas hasta que se desaparezca el color violeta y torne la solución a un color azul. Tener presente que en la valoración no siempre se obtiene un viraje preciso de color. Es necesario al momento de ir titulando ir agregando de gota en gota para obtener el valor más cercano.

**Figura 18**

Agua sin dureza



Nota: Adaptado a (Altamirano & Terrenos, 2018).

**Figura 19**

Agua con dureza



Nota: Adaptado a (Altamirano & Terrenos, 2018)

Para determinar la dureza se utiliza el volumen gastado de EDTA hasta que viro el color, luego se introduce dicho volumen en la Ecuación 1.

$$D = \frac{G \times f \times 1000}{V \cdot m} \quad (1)$$

Donde

D: dureza en partes por millón, ppm.

G: Volumen gastado de EDTA en mL.

F: factor de corrección del EDTA

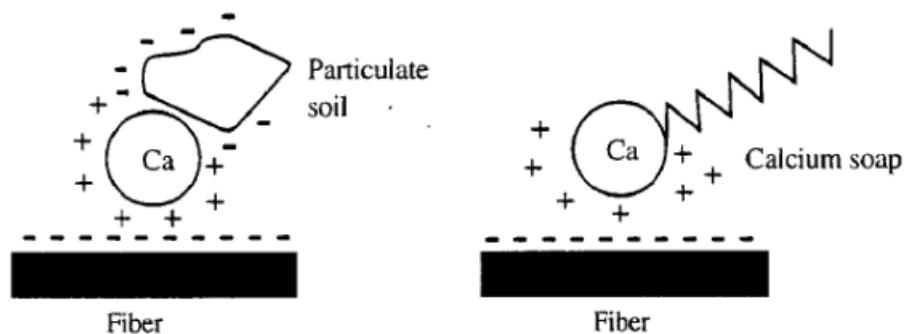
V.m= volumen de muestra, mL.

En el desarrollo es importante conocer que el calcio sirve como un puente entre la suciedad y la superficie de la fibra. Los ácidos grasos que se relacionan con el sudor

humano forman precipitados insolubles con el calcio, el cual se deposita en las fibras de poliéster o algodón, ver Figura 20.

**Figura 20**

*Fijación de las partículas de  $\text{Ca}^{+2}$  en las fibras*



Nota: Adaptado a la investigación de (Tai, 2000)

Para el desarrollo de nuestra validación de tipos de coadyuvantes se determinó una dureza promedio del agua en el callo de 350 ppm, el cual es utilizado en las pruebas de lavado.

### 3.7.2. Evaluación de coadyuvantes

Para la delimitación de coadyuvante es crucial considerar las características del agua del país, enfocándonos en la dureza total, tanto a nivel nacional como provincial. Este factor es decisivo para la eficacia del detergente y la optimización de su rendimiento en diversas condiciones de uso. En la Tabla 30, se aborda las constantes de complejación para determinar la efectividad del coadyuvante en la mitigación de la dureza del agua sobre el desempeño del detergente. Los términos de quelación secuestración y complejación son usados para entender que coadyuvante forma complejos soluble en el agua con iones metálicos. Los coadyuvantes cumplen la función de ser un agente emulsionante y ayuda al desempeño del tensoactivo (Salager, 2002).

**Tabla 30***Capacidad de los coadyuvantes*

Builders	Capacidad (mg Ca+2/g builder)	Constante complejación	Mecanismo
Carbonato de sodio	377	8.2	Precipitación
Tripolifosfato de sodio	110	6.0	Secuestración
Disilicato de sodio complejo	65	2.4 - 8.5	Secuestración- Precipitación
Metasilicato de sodio pentahidratado	100 -200	3- 4	Secuestración
Carbonato de sodio – silicato	220	7.0	Precipitación limitada
Zeolita 4 <sup>a</sup>	155	3.3	Intercambio iónico

Nota: Adaptado del Handbook of Detergents donde se explica la capacidad de remoción de calcio o magnesio por grama de coadyuvante anhidro, bajo condiciones de temperatura y pH, (Broze, 1999),

Según la Tabla 30, se puede interpretar que a mayor constante de complejación me indica un complejo muy estable y eficiente, en otras palabras, el ligando tiene una alta afinidad por el ion metálico.

Tras un riguroso proceso de evaluación, se selecciona coadyuvantes de la familia de los silicatos, metasilicato de sodio pentahidratado y disilicato de sodio complejo. Esta selección se fundamenta en la capacidad secuestrante, su estabilidad en diversas condiciones de pH y temperatura con otros componentes obtenidos de cada ficha técnica proporcionado por los proveedores.

En la Tabla 31, se aprecia el precio estimado de los coadyuvantes los cuales se utilizarán en la diferenciación de cada ensayo. Se aprecia el precio del tripolifosfato de sodio superior a las otras dos alternativas adicionales.

**Tabla 31***Evaluación económica de coadyuvante seleccionados*

Coadyuvante	Precio (USD/Kg)
Disilicato de sodio complejo	1
Metasilicato de sodio pentahidratado	0.71
Tripolifosfato de sodio	1,37

Nota: Adaptado a cotización del año 2024.

### 3.7.2.1. Delicuescencia

Este método nos permite observar el comportamiento de cada coadyuvante bajo condiciones definidas de temperatura a 25°C y humedad relativa a 75%. Este enfoque nos asegura que los compuestos seleccionados cumplan con estándares de calidad y sean capaces de mantener sus propiedades durante su almacenamiento, ver Figura 20.

**Figura 21**

*Evaluación de los insumos al ambiente*



Nota: Se presenta los diferentes coadyuvantes expuestos al ambiente durante 6 días.

La figura 21, representa el análisis de los coadyuvantes mediante el método de humedad ambiental, el cual es un factor importante para la estabilidad y compatibilidad con los insumos bases, así como también para el diseño ingenieril de los equipos. Los coadyuvantes son expuestos durante 6 días al ambiente, reportando un aumento de la humedad relativa.

**Tabla 32**

*Hidroscopia de coadyuvantes*

Materia prima	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)	Variación de humedad (%)
Metasilicato de sodio pentahidratado	51.42	126.49	146%
Disilicato de sodio complejo	3.84	17.73	362%
Sulfato de sodio	0.04	0.12	200%
Carbonato de sodio	2.73	7.63	179%
Tripolifosfato de sodio	2	4.5	125%

Nota: Insumos obtenidos de la empresa DISAN, adaptado a la metodología seguida por (Díaz, 2005)

De los resultados obtenidos en la Tabla 32, se interpreta que el disilicato de sodio complejo posee mayor hidroscopia en comparación a las demás materias prima, lo cual significa que puede compactarse o endurecerse a medida que pasa el tiempo, influyendo en su rendimiento. Ante ello para una adecuada sustitución del tripolifosfato de sodio por otro de los coadyuvantes es recomendable reemplazarlo por uno menos higroscópico para evitar la formación de grumos en el detergente.

### 3.7.2.2. Granulometría

La granulometría de los coadyuvantes utilizados en la formulación del detergente en polvo, como el metasilicato de sodio pentahidratado y el disilicato de sodio complejo, desempeña un papel fundamental en calidad y rendimiento en el producto final. A continuación, se muestra el análisis de granulometría utilizando diferentes tamices (ver Tabla 33).

**Tabla 33**

*Análisis de granulometría del porcentaje retenido en cada malla*

Número de malla en micras	Metasilicato de sodio pentahidratado	Disilicato de sodio complejo	Tripolifosfato de sodio
8	0	0	0
14	0.36	0.1	-
18	41.06	0.16	-
20	25.05	0.12	-
30	28.55	0.22	-
40	4.61	0.46	11
50	0.28	5.57	-
80	0.08	42.27	-
100	0	19.17	88
140	0	14.93	0
200	0	9.68	0
>20	0	8.07	0

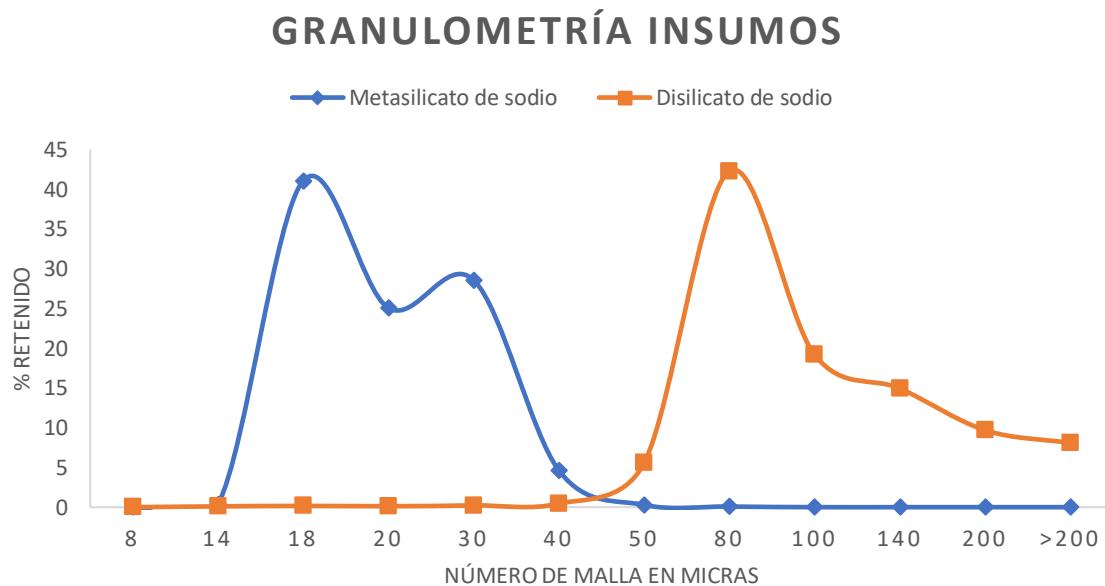
Nota: Información obtenida en base experimental y en base a la ficha de especificación del tripolifosfato de sodio, los insumos utilizados fueron provistos por una empresa dedicada a proveer insumos químicos, adaptado a (Campaña, 2024).

Es importante considerar que puede existir variaciones según la materia prima brindado por diferentes proveedores, en la investigación se priorizó que el porcentaje retenido en cada malla no sea tan pequeño por los peligros de polución en el ambiente cuando se encuentran en los silos. Sin embargo, el coadyuvante comparativo demuestra que posee un mayor porcentaje de retención en la malla 100 mm, lo cual atribuye su mejor afinidad de solubilidad en el agua, así como también aumenta su eficiencia como secuestrante de iones. con su mejor solubilidad en agua.

La Figura 22, presenta los resultados del análisis granulométrico realizado a los coadyuvantes metasilicato de sodio pentahidratado y disilicato de sodio complejo. Se representa la distribución del tamaño de partículas para ambos compuestos, mostrando el porcentaje retenido en cada tamiz, con tamaños de malla desde los 8 hasta las 200 micras.

**Figura 22**

Comparación de granulometría



Nota: Se muestra una relación inversa en el porcentaje de retención y el número de malla, destacando el polvo más fino del disilicato de sodio en comparación del metasilicato de sodio pentahidratado, adaptado a (Campaña, 2024).

### 3.7.2.3. Impacto ambiental

Según la evaluación de las fichas técnicas de los coadyuvantes, se muestra un compromiso con la sostenibilidad ambiental al no contener en su formulación fosfatos, reduciendo el riesgo de eutrofización en los ríos y lagos. A continuación, en la Tabla 34 y 35 se presenta las características fisicoquímicas de los coadyuvantes sustitutos, así como también en la Tabla 36 se muestra los valores del tripolifosfato de sodio según su especificación técnica.

**Tabla 34**

*Especificación del disilicato de sodio complejo*

Variable	Límites
Oxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2$ ) %	Min 50
Insoluble en agua %	Max 1.5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.48 - 0.6
pH sol. al 1% m/v	Max 12
Capacidad de intercambio ( $\text{CaCO}_3$ ) mg/g	Min 400

Nota: Adaptado a la ficha técnica del insumo.

**Tabla 35**

*Especificación del metasilicato de sodio pentahidratado*

Variable	Límites
Oxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) %	28.7 - 30.0
Silica ( $\text{SiO}_2$ ) %	27.8 - 29.2
Insoluble en agua %	Max 0.05
Fe (ppm)	Max 100
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.8 - 0.97
pH sol. al 1% m/v	12-13

Nota: Adaptado a la ficha técnica del insumo.

**Tabla 36**

*Especificación del tripolifosfato de sodio*

Variable	Límites
Contenido de $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Min 94%
Contenido de Pentoxido de fósforo $\text{P}_2\text{O}_5$	Min 56.5%
pH sol. al 1% m/v	9-10
Insoluble en agua	Máx. 0.1%
Fierro	Max. 0.01%
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.80 - 1.10

Nota: Adaptado a la ficha técnica del insumo.

### 3.7.3. Manchas de telas

Para realizar la prueba de laboratorio se utilizó manchas estandarizadas, que consiste en comprobar la capacidad de cada ensayo formulada para eliminar 6 tipos de manchas mencionadas a continuación en la Tabla 37.

**Tabla 37**

*Especificaciones de las telas con manchas estandarizadas*

Código	Descripción en inglés	Descripción en español	Tipo de mancha
E-101	Carbon black	Carbón negro	-
E-116	Blood/Ink on cotton	Sangre/ Tinta en algodón	Manchas enzimáticas
E-104	Oil on Polyester/Cotton	Aceite en poliéster /algodón	Manchas de grasa
E-117	Blood/Ink on polyester	Sangre/ Tinta en poliéster	Manchas enzimáticas
E-118	Sebum/pigment on Cotton	Pigmento / Sebo en algodón	Manchas oxidables
CS-46B	Frying fat	Fritura de grasa	Manchas de grasa

Nota: Elaboración propia adaptado al (CFT,2024).

El grado de remoción de manchas se valoró utilizando un espectrofotómetro después de lavar las telas, en 4 veces repetidas. El método que emplea el espectrofotómetro es medir la reflectancia de los tejidos de acuerdo con la blancura del lavado, para luego brindar su índice de blancura. A continuación, se muestra las manchas estandarizadas con su respectivo código certificadas con estándares como AISE y ASTM ver Tabla 38.

**Tabla 38**

*Especificaciones de las telas con manchas estandarizadas*

Código	Descripción	Ancho	Precio
E-101	Carbon black	140 cm	€ 96,00
E-116	Blood/Ink on cotton	157 cm	€ 96,00
E-104	Oil on Polyester/Cotton	135 cm	€ 106,00
E-117	Blood/Ink on polyester	139 cm	€ 108,0
E-118	Sebum/pigment on Cotton	158 cm	€ 99,00
CS-46B	Frying fat	45 cm	€ 25,00

Nota: Elaboración propia adaptado al (CFT,2024).

La Figura 23 representa a dos ejemplificaciones de telas estandarizadas, según la norma ASTM D2960, la cual especifica el uso de suciedad “real” para productos que

desarrollen un lavado doméstico. Sin embargo, el uso de suciedades reales no facilita el desarrollo entre los ingredientes específicos y la eliminación de ciertas manchas. Ante ello, para la detección de la formulación se puede usar manchas producidas en laboratorio según lo menciona la norma ASTM D3050 y D4008.

**Figura 23**

*Telas estandarizadas de la empresa CFT.*



Nota: Adaptado al Center for test materials, la figura de la izquierda corresponde a la mancha C-BC-02 (Coffee for bleach) y la de la derecha C-S-25 (Spinach concéntrate).

### **3.7.4. Protocolo para la elaboración de slurry a nivel laboratorio**

1. Pesar las cantidades requeridas de cada ingrediente mencionado en la formulación de cada ensayo, utilizando los frascos Erlenmeyer de 300 ml, las probetas graduadas de 100ml y la bagueta.
2. Luego, precalentar agua destilada o agua blanda a una temperatura aproximada en un intervalo de 50-80 °C, utilizando el equipo de Baño María TC-102.
3. Agregar lentamente el ingrediente activo y el hidróxido de sodio al agua caliente, agitándolo de manera constante hasta lograr la disolución mediante el agitador, las revoluciones por minutos deben ser aproximadamente 200 rpm.
4. Agregar lentamente silicato de sodio a la mezcla homogénea formada en constante agitación.
5. Agregar el blanqueador óptico y mezclar de manera suave con el fin de no inducir a la desnaturalización.
6. Añadir el coadyuvante (meta silicato de sodio o di silicato de sodio) y agitar vigorosamente. Luego añadir el carbonato de sodio agitando hasta lograr una

buen dispersión. Este proceso se repite por un tiempo aproximado de 15 – 30 minutos. Finalmente, con una bagueta metálica vemos la consistencia obtenida al finalizar dicho tiempo.

\*Slurry: Mezcla espesa compuesta por partículas líquidas y sólidas.

Todos los procesos consisten en el mismo procedimiento y solo variamos la composición de cada uno sin alterar el total ni las materias primas involucradas.

### **3.8. Ensayo de lavado**

#### **3.8.1. Procedimiento para lavar las telas en el tergotómetro**

El funcionamiento del Tergotómetro radica en su capacidad para generar una agitación mecánica controlada y constante. Esta agitación imita el movimiento giratorio y oscilante de una lavadora convencional, creando turbulencia en la solución de detergente. Este movimiento es crucial, ya que facilita la interacción entre las moléculas del detergente y las manchas en la tela, permitiendo que los tensioactivos y otros componentes del detergente penetren, emulsionen y suspendan la suciedad. Mediante este proceso, se puede evaluar objetivamente el desempeño de lavado del detergente, analizando factores como la eficacia en la remoción de manchas, la preservación del color y la integridad de las fibras (COPLEY SCIENTIFIC, 2017).

Este análisis está basado en metodologías brindadas por la ASTM D3050-98 en su guía de estándares para la medición de remoción de suciedad de telas ensuciadas artificialmente.

A continuación, en la Figura 24, se aprecia una simulación de las manchas tradicionales de una prenda, comparadas con las manchas obtenidas en los laboratorios acreditados como C-BC-02 y C-S-25, para estudios específicos.

**Figura 24**

*Simulación de lavado con manchas estandarizadas*



Nota: Adaptado a (Altmajer Vaz, 2004) .

### 3.8.2. Materiales

- Tela de algodón o poliéster de 10 x 10 cm con manchas estandarizadas bajo la American Society for Testing and Materials.
- Agua potable con dureza mayor a 350 ppm, fría.
- Tergotómetro

### 3.8.3. Procedimiento

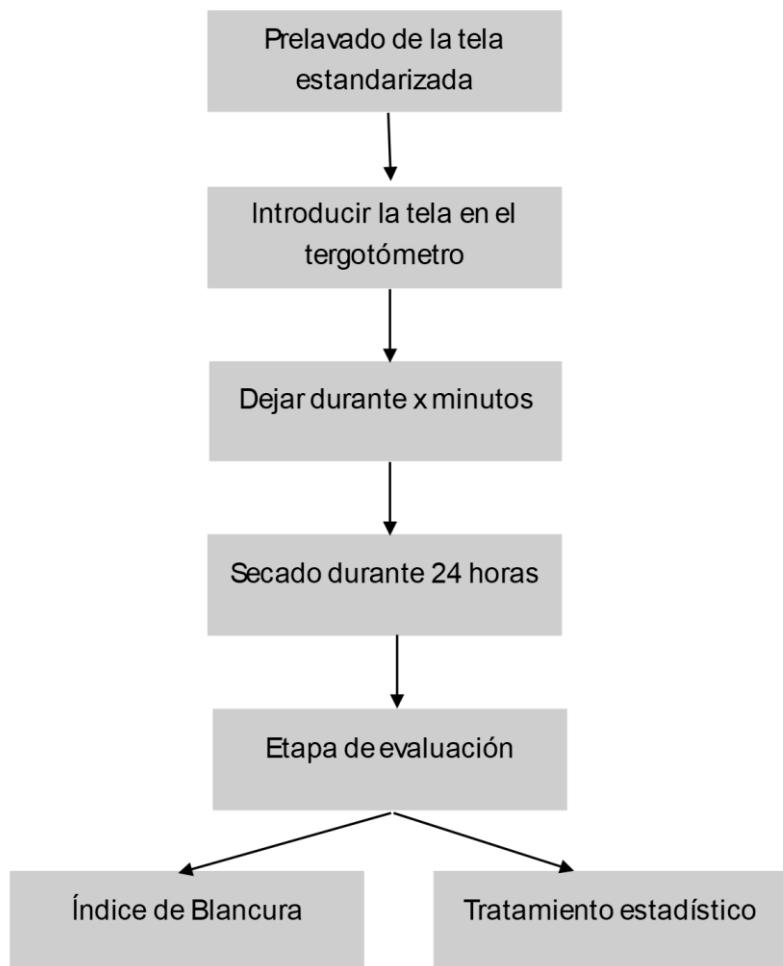
En la Figura 25, se describe el procedimiento a seguir para el lavado en el tergotómetro. Se configuró el tergotómetro para simular condiciones de lavado doméstico, ajustando parámetros críticos como la temperatura del agua 40°C, la dureza del agua a 350 ppm de CaCO<sub>3</sub> y 20 minutos de tiempo de lavado. Se utilizó una concentración de 4g/L correspondientes para dosis de lavado estándar, cabe destacar que es una concentración ideal para ensayos de formulaciones en el tergotómetro según su especificación de equipo, así como también en base a las pruebas de ensayo y error. Si en caso se añade por encima de lo recomendado, genera un punto de saturación lo cual no mejora el lavado de manera significativa y tiende a reducir la eficiencia del lavado.

Las condiciones de agitación mecánica fueron de 200 rpm, con dos ciclos de enjuague de 5 minutos cada uno con agua a temperatura ambiente. Las telas lavadas secaron a condiciones ambientales 20°C y un porcentaje de humedad de 65% durante de

24 horas. La eficacia de limpieza se cuantificó mediante la reflectancia mediante el análisis espectrofotométrico.

**Figura 25**

*Procedimiento de lavado en tergotómetro.*



Nota: Adaptado al (Broze, 1999)

Se realizaron pruebas de lavado con el uso del tergotómetro COPLEY comparando el desempeño de cada detergente Ensayo 1 ( $E_1$ ), Ensayo 2 ( $E_2$ ) y Ensayo 3 ( $E_3$ ). Las pruebas se realizan bajo las condiciones de agua dura de Perú lo cual es distinto en comparación a otros países, con una dureza de aproximadamente 350 ppm.

En la Tabla 39 se representa las condiciones utilizadas en el tergotómetro para cada ensayo y manchas específica.

**Tabla 39***Condiciones de lavado*

Característica	Descripción
Equipo	Tergotómetro COPLEY
Volumen de lavado agua	1 mL
Cantidad empleada de slurry	4 g
Dureza del agua	>350 ppm
Secado	24 horas al aire libre
Manchas estandarizadas	E-101 Carbón negro E-116 Sangre/ Tinta en algodón E-104 Aceite en poliéster /algodón E-117 Sangre/ Tinta en poliéster E-118 Pigmento/ Sebo en algodón CS-46B Fritura de grasa
Repeticiones	4 muestras por ensayo

Nota: Elaboración propia

### 3.8.4. Índice de Blancura

Para la medición del índice de blancura (valor delta E) se tomó en cuenta las lecturas proporcionadas por el espectrofotómetro. La escala empleada es CIELab\* (Sistema de coordenadas cartesianas L\*, a\* y b\*), las mediciones son realizadas en el rango UV. La metodología consiste en analizar la diferencia del color inicial comparado con el final de la prenda. Las diferencias de coordenadas de color se conocen como delta ( $\Delta$ ) los cuales pueden tomar un valor positivo o negativa, sin embargo, siempre es positiva (Minolta,2020).

En la Figura 26 se detalla las características técnicas del espectrofotómetro, destacando aspectos como la reflectancia, el tipo de iluminación y el rango espectral.

**Figura 26**

Características técnicas del espectrofotómetro

	<b>Ci7860</b>	<b>Ci7800</b>	<b>Ci7600</b>	<b>Ci7500</b>	<b>Ci4200 - UV</b>	<b>Ci4100</b>
<b>Illumination Spot Size</b>	25mm, 17mm, 10mm, 6mm, 3.5mm*	25mm, 17mm, 10mm, 6mm, 3.5mm*	25mm, 17mm, 10mm, 6mm, 3.5mm*	25mm, 10mm	14mm	14mm
<b>Inter-Instrument Agreement</b>	0.06 ΔE*ab avg.	0.08 ΔE*ab avg.	0.15 ΔE*ab avg.	0.15 ΔE*ab avg.	0.30 ΔE*ab avg.	0.30 ΔE*ab avg.
<b>Reflectance Aperture(s)</b>	4 Standard / 1 optional	4 Standard / 1 optional	3 Standard / 2 optional	2 Standard / 0 optional	1 Standard	1 Standard
<b>Transmission Aperture(s)</b>	4	4	3	0	0	0
<b>Short Term Repeatability - White</b>	.01 ΔE*ab RMS - white ceramic	.01 ΔE*ab RMS – white ceramic	.03 ΔE*ab RMS – white ceramic	.03 ΔE*ab RMS – white ceramic	.05 ΔE*ab on white ceramic	.10 ΔE*ab on white ceramic
<b>Spectral Interval</b>	10 nm (default); 5nm; 20nm	10 nm (default); 5nm; 20nm	10 nm (default); 20nm	10 nm (default); 20nm	10nm	10nm
<b>Spectral Range</b>	360-780 nm	360nm-780nm	360nm-750nm	360nm-750nm	400nm-700nm	10nm
<b>UV cutoff filters</b>	400nm, 420nm*, 460nm*	400nm, 420nm*, 460nm*	400nm, 420nm*, 460nm*	400nm	UV Calibratable illumination	NA

Nota: Adaptado a la ficha técnica de (X-RITE, 2019)

Fórmula utilizada:

$$WCIE = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$$

Donde:

Y: valor tridimensional de la muestra

X e y: Coordenadas de cromaticidad de la muestra

$Y_n$ ,  $x_n$ : coordenadas de difusor de cromaticidad

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1. Análisis de resultados

#### 4.1.1. Índice de blancura

Para determinar los grados de blancura finales nos basamos en la medición instrumental del color bajo la norma ISO 105 A06 y coordenadas CIE entre cada muestra del espectrofotómetro X-Rite, como se aprecia en la Figura 27.

Para su uso se debe seguir los siguientes pasos.

1. Encendido del espectrofotómetro y de la computadora
2. Seleccionar el programa controlador i5.
3. Se selecciona la ranura de apertura óptica de 25 mm.
4. Calibración del espectrofotómetro
5. Selección de grado de blancura Berger.
6. Realizar mediciones de las telas
7. Registro de los resultados obtenidos de cada tela y guardar en la computadora.

**Figura 27**

*Medición instrumental de muestras de telas*



Nota: Adaptado al espectrofotómetro (X-RITE, 2019)

Se realizó un análisis comparativo de tres tipos de formulaciones de slurry, variando los coadyuvantes, para evaluar su eficacia de remoción de manchas. Las condiciones experimentales se llevaron a cabo utilizando un tergotómetro, con agua de 350 ppm de dureza, volumen de agua 1000 mL, cantidad de detergente por mancha 4 g, con cuatro ciclos de lavado midiendo el índice de blancura en la eliminación de manchas estandarizadas E-101, E-116, E-104, E-117, E-118 y CS-48. Después de cada ciclo, se midió el índice de blancura de la muestra mediante el espectrofotómetro, finalmente se comparó la eficacia de remoción de manchas de acuerdo con cada formulación, mancha y ciclo de lavado.

En la Tabla 40 se presentan los resultados de las mediciones de índice de blancura del ensayo 1 con disilicato de sodio complejo.

**Tabla 40**

*Índices de blancura en ensayos de lavado con disilicato de sodio complejo.*

Ensayo	Manchas estandarizadas	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
1	Carbon black	25.3	26.5	22.0	22.7
	Blood/Ink on cotton	21.4	20.2	18.2	18.1
	Oil on Polyester/Cotton	19.7	19.3	18.9	18.8
	Blood/Ink on polyester	27.8	27.8	26.9	25.5
	Sebum/pigment on Cotton	59.8	59.9	60.1	60.7
	Frying fat	140.4	140.2	142.0	141.4

Nota: Los valores mostrados son proporcionados por el software Color iQC de X-RITE

En la Tabla 41 se presentan los resultados de las mediciones de índice de blancura del ensayo 2 con metasilicato de sodio pentahidratado.

**Tabla 41**

*Índices de blancura con metasilicato de sodio pentahidratado*

Ensayo	Manchas estandarizadas	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
2	Carbon black	25.4	24.9	25.3	24.6
	Blood/Ink on cotton	22.4	22.2	20.9	21.9
	Oil on Polyester/Cotton	19.8	20.2	19.6	19.4
	Blood/Ink on polyester	28.3	29.3	28.5	28.7
	Sebum/pigment on Cotton	60.2	61.5	60.0	59.9
	Frying fat	146.0	147.1	145.5	145.3

Nota: Los valores mostrados son proporcionados por el software Color iQC de X-RITE

En la Tabla 42 se presentan los resultados de las mediciones de índice de blancura del ensayo 3 con la mezcla de ambos coadyuvantes.

**Tabla 42**

*Índices de blancura en ensayos de lavado con la mezcla de ambos.*

Ensayo	Manchas estandarizadas	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
3	Carbon black	23.7	21.3	23.7	23.7
	Blood/Ink on cotton	20.4	20.7	21.6	21.8
	Oil on Polyester/Cotton	19.4	19.9	19.6	19.9
	Blood/Ink on polyester	28.4	28.2	25.8	25.5
	Sebum/pigment on Cotton	58.9	57.9	58.8	58.3
	Frying fat	138.3	137.8	139.2	137.6

Nota: Los valores mostrados son proporcionados por el software Color iQC de X-RITE

En la Tabla 43 se presenta los análisis estadísticos de la media de las tres formulaciones en conjunto, destacando el máximo y mínimo valor obtenido.

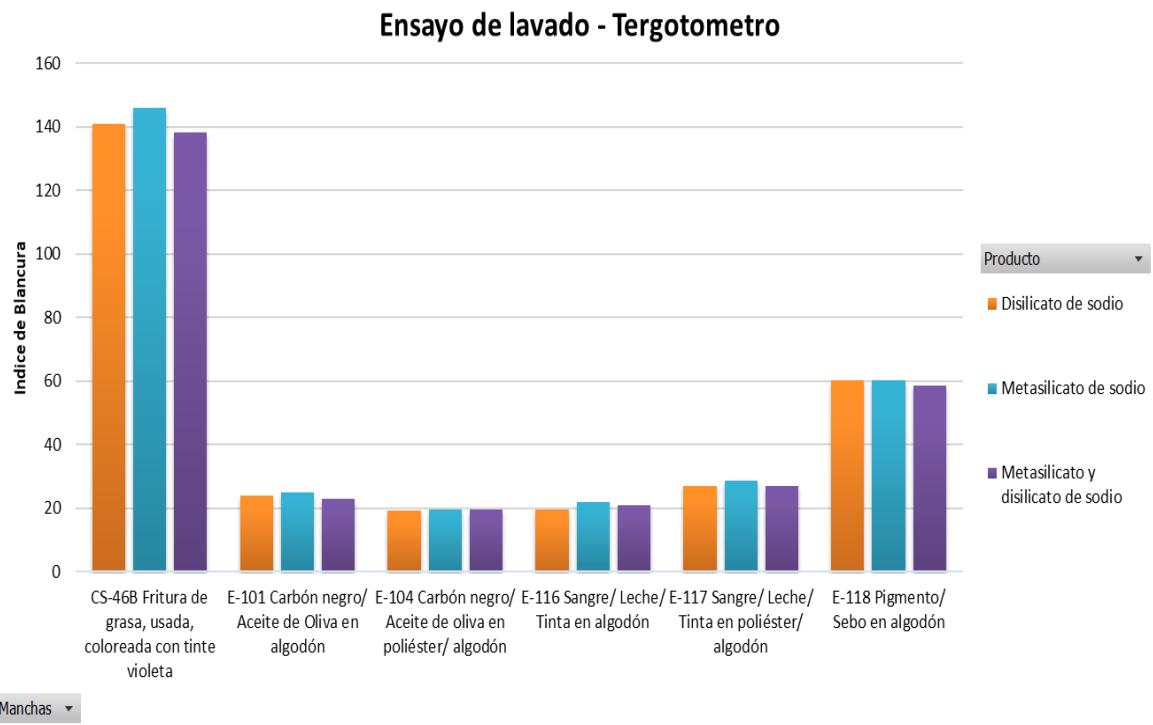
**Tabla 43***Comparaciones estadísticas con los diferentes ensayos*

Ensayo	Manchas estandarizadas	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Med	Max	Min
1	Carbon black	25.3	26.5	22.0	22.7	24.0	26.5	22.0
	Blood/Ink on cotton	21.4	20.2	18.2	18.1	19.2	21.4	18.1
	Oil on Polyester/Cotton	19.7	19.3	18.9	18.8	19.1	19.7	18.8
	Blood/Ink on polyester	27.8	27.8	26.9	25.5	27.3	27.8	25.5
	Sebum/pigment on Cotton	59.8	59.9	60.1	60.7	60.0	60.7	59.8
2	Frying fat	140.4	140.2	142.0	141.4	140.9	142.0	140.2
	Carbon black	25.4	24.9	25.3	24.6	25.1	25.4	24.6
	Blood/Ink on cotton	22.4	22.2	20.9	21.9	22.1	22.4	20.9
	Oil on Polyester/Cotton	19.8	20.2	19.6	19.4	19.7	20.2	19.4
	Blood/Ink on polyester	28.3	29.3	28.5	28.7	28.6	29.3	28.3
3	Sebum/pigment on Cotton	60.2	61.5	60.0	59.9	60.1	61.5	59.9
	Frying fat	146.0	147.1	145.5	145.3	145.7	147.1	145.3
	Carbon black	23.7	21.3	23.7	23.7	23.7	23.7	21.3
	Blood/Ink on cotton	20.4	20.7	21.6	21.8	21.2	21.8	20.4
	Oil on Polyester/Cotton	19.4	19.9	19.6	19.9	19.8	19.9	19.4
	Blood/Ink on polyester	28.4	28.2	25.8	25.5	27.0	28.4	25.5
	Sebum/pigment on Cotton	58.9	57.9	58.8	58.3	58.6	58.9	57.9
	Frying fat	138.3	137.8	139.2	137.6	138.0	139.2	137.6

Nota: Los valores mostrados son proporcionados por el software Color iQC de X-RIT

**Figura 28**

*Ensayos de lavado para los diferentes coadyuvantes*



Nota: Valores proporcionados por el equipo espectrofotómetro (X-RITE, 2019)

En la Figura 28 se muestra la comparación de medias en las 4 corridas realizadas para cada mancha, interpretando el performance de cada uno de los ensayos según su desempeño de blancura.

#### 4.1.2. Análisis de formulación de espuma

Se compara el perfil de estabilidad de espuma para cada formulación respectivamente. La metodología empleada para el equipo se basa en métodos ópticos, así como en los conceptos de tensión superficial y la dinámica de formación de espuma vinculadas a los tensioactivos. A continuación, se muestra los resultados obtenidos. utilizando disilicato de sodio complejo, ver Tabla 44.

**Tabla 44***Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 1*

<b>Ensayo</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Volumen de líquido en ml</b>	<b>Volumen de espuma en ml</b>
1	0	249.98	0.00
	1	230.98	120.12
	2	214.69	178.23
	3	198.55	234.74
	4	173.52	295.45
	5	154.51	344.49
	6	150.29	378.19
	7	85.74	473.24
	8	62.06	527.41
	9	32.50	585.52
	10	16.51	628.42
	11	9.43	659.65

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

En la Tabla 45, se muestra los valores obtenidos de formación de espuma para el coadyuvante metasilicato de sodio pentahidratado.

**Tabla 45***Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 2*

<b>Ensayo</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Volumen de líquido en ml</b>	<b>Volumen de espuma en ml</b>
2	0	250.06	0.00
	1	233.54	168.83
	2	213.03	248.17
	3	181.21	337.76
	4	163.41	404.24
	5	117.11	497.12
	6	63.42	595.52
	7	26.62	677.55
	8	12.44	733.35
	9	1.73	788.08
	10	0.68	833.02
	11	0.98	875.23

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

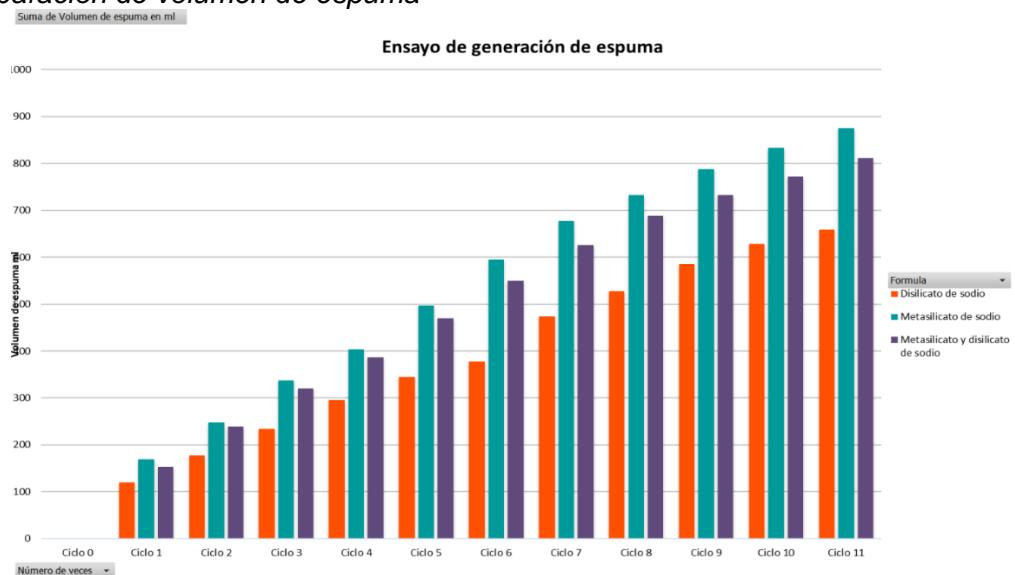
En la Tabla 46, se muestra los valores obtenidos de formación de espuma para la mezcla de coadyuvantes disilicato de sodio complejo y metasilicato de sodio pentahidratado.

**Tabla 46***Ensayo de formación de espuma utilizando ensayo 3*

<b>Ensayo</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Volumen de líquido en ml</b>	<b>Volumen de espuma en ml</b>
3	0	249.98	0.00
	1	226.91	152.70
	2	202.47	239.12
	3	171.25	319.63
	4	148.48	386.81
	5	105.50	469.87
	6	66.74	549.65
	7	31.90	625.64
	8	10.33	688.10
	9	3.39	732.97
	10	1.73	771.75
	11	0.38	811.85

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

La Figura 29, demuestra la comparación de volumen de espuma generado en cada ciclo utilizando diferentes coadyuvantes, se aprecia el performance superior que posee el metasilicato de sodio pentahidratado en comparación a la mezcla de ambos y al disilicato de sodio complejo respectivamente.

**Figura 29***Comparación de volumen de espuma*

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

#### 4.1.3. Análisis de descomposición de espuma

En el análisis de descomposición de espuma se muestra conceptos claves como: volumen de espuma el cual representa cuánta espuma puede producir un líquido con surfactante bajo condiciones específicas, otro concepto es el volumen de líquido lo cual representa la cantidad real de líquido que queda dentro de la estructura de la espuma, una espuma con mucho líquido puede ser menos estable. Así también se encuentra la fracción de volumen en líquido, que indica que tan húmeda o seca es la espuma, siendo crucial para determinar si una espuma es densa o ligera.

En la Tabla 47 se representa la descomposición de espuma para el ensayo 1, utilizando disilicato de sodio complejo.

**Tabla 47**

*Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 1*

<b>Ensayo</b>	<b>Tiempo minutos</b>	<b>Volumen de líquido en ml</b>	<b>Volumen de espuma en ml</b>	<b>Fracción de volumen de líquido</b>
1	0	9.43	659.65	0.36
	13	58.59	610.01	0.31
	28	104.74	562.91	0.26
	43	127.37	539.26	0.23

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

En la Tabla 48, se muestran los datos de comparación de descomposición de espuma para el ensayo con metasilicato de sodio pentahidratado.

**Tabla 48**

*Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 2*

<b>Ensayo</b>	<b>Tiempo minutos</b>	<b>Volumen de líquido en ml</b>	<b>Volumen de espuma en ml</b>	<b>Fracción de volumen de líquido</b>
2	0	0.98	875.23	0.28
	13	8.82	866.92	0.28
	28	31.14	843.94	0.26
	43	60.10	814.24	0.23

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

En la Tabla 49, se aprecian los datos de comparación de descomposición de espuma para el ensayo con la mezcla de ambos coadyuvantes, así mismo se aprecia el volumen del gas presente en la espuma y la fracción de volumen de líquido.

**Tabla 49**

*Ensayo de descomposición de espuma utilizando ensayo 3*

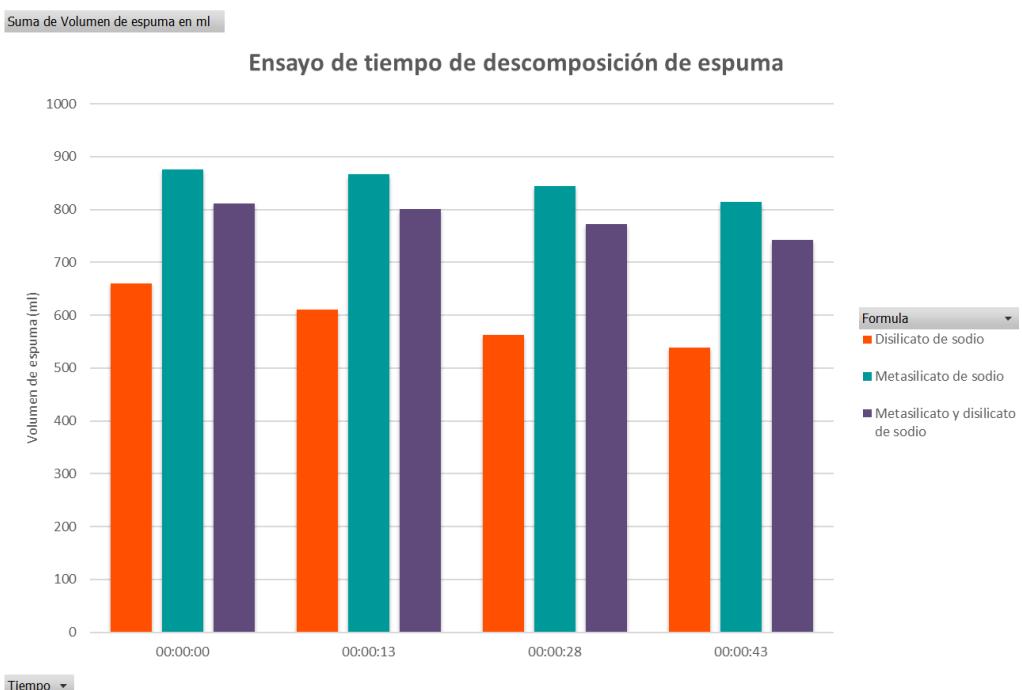
<i>Ensayo</i>	<i>Tiempo minutos</i>	<i>Volumen de líquido en ml</i>	<i>Volumen de espuma en ml</i>	<i>Fracción de volumen de líquido</i>
3	0	0.38	811.85	0.31
	13	11.69	800.18	0.30
	28	37.78	772.62	0.27
	43	64.93	742.84	0.25

Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

En la Figura 30, se observa que el coadyuvante metasilicato de sodio pentahidratado posee mayor volumen de espuma comparado con el disilicato de sodio complejo con un promedio de 850.08 mL.

**Figura 30**

*Comparación de tiempo de descomposición de espuma*



Nota: Valores proporcionados por el software SITA Foam Tester (NEURTEK instruments, 2024)

En la Tabla 50, se visualiza el valor de la viscosidad, pH y porcentaje de humedad para cada ensayo. Los datos proporcionados muestran que el disilicato de sodio complejo presenta mayor viscosidad 24000 cP y un pH de 11,46, mientras que el metasilicato de sodio pentahidratado tiene la más baja viscosidad de 8500 cP y un pH de 11,55. Por otro lado, la formulación con la mezcla de los coadyuvantes exhibe una viscosidad intermedia de 12500 cP. Todas las formulaciones mantienen niveles de humedad próximos en el intervalo de 24-27%

**Tabla 50**

*Ensayos fisicoquímicos de cada ensayo*

Ensayos	pH	Viscosidad cP	Humedad %
1	11.46	24000	24.40
2	11.55	8500	26.70
3	11.67	12500	25.90
Tripolifosfato de sodio	11.10	11500	26.31

Nota: Elaboración propia

Se aprecia que los resultados obtenidos son valores cercanos al estándar del detergente convencional. Es importante resaltar que la viscosidad del detergente es significativa porque influye en el transporte y atomización en la torre de secado, una viscosidad muy baja reduce la eficiencia en el secado, ya que las gotas en la atomización son más grandes y tardan en secar. Por otro lado, una viscosidad muy alta, genera una atomización deficiente por la obstrucción de las boquillas en la torre de secado. En el caso del pH lo ideal es que sea alcalino para mejorar la estabilidad de surfactantes y el riesgo de corrosión de equipos, pH muy elevados por encima de 12 provocan precipitación de los silicatos.

#### 4.2. Análisis financiero

En la Tabla 51 se muestra el costo de análisis financiero de cada formulación de detergente por tonelada, comparado con el tripolifosfato de sodio.

**Tabla 51***Estado financiero de la producción de cada ensayo*

Materia prima- Coadyuvante	Costo (USD/Kg)
Disilicato de sodio complejo	1
Metasilicato de sodio pentahidratado y disilicato de sodio complejo	1.71
Metasilicato de sodio pentahidratado	0.71
Tripolifosfato de sodio	1.37

Nota: Adaptado a la cotización de los proveedores.

#### 4.3. Discusión de resultados

En este apartado del trabajo, se pone énfasis en los datos obtenidos de los ensayos mediante el espectrofotómetro de la marca X-RITE, los cuales para determinar su eficacia son sometidos a una prueba estadística de normalidad y varianza de datos.

Los resultados obtenidos son respecto a cada ensayo de formulación con cada coadyuvante respectivo a las manchas siguientes: E-101, E-116, E-104, E-117, E-118 y CS-48.

##### 4.3.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza con el software ANOVA es uno de los sistemas utilizados importante en el modelo estadístico cuando se emplea más de dos variables que necesitan ser contrastados a partir de las medianas, a continuación, se presentará el análisis del índice de blancura de cada una de las manchas mencionadas en la Tabla 40 ,41 y 42.

- **E-101 Carbón negro en algodón**

Las Tablas 52 y 53 representan el análisis de varianza de la mancha de carbón negro y aceite de Oliva.

**Tabla 52***Análisis de varianza de la mancha E-101*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	96.48	24.12	4.491666667
Mezcla de coadyuvantes	4	92.48	23.12	1.424466667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	100.2	25.05	0.144866667
Número de corridas				
Corrida 1	3	74.48	24.82666667	0.888133333
Corrida 2	3	72.73	24.24333333	6.958533333
Corrida 3	3	70.99	23.66333333	2.657433333
Corrida 4	3	70.96	23.65333333	0.905833333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 53***Varianza de la mancha E-101*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	7.453	2.000	3.727	1.455	0.305	5.143
Columnas	2.816	3.000	0.939	0.367	0.780	4.757
Error	15.367	6.000	2.561			
Total	25.636	11.000				

Nota: Adaptado al software ANOVA

Se interpreta que al tener una probabilidad menor a nuestro valor dado 0.5 podemos aceptar que no hay diferencias entre los ensayos utilizados con respecto a cada coadyuvante. Además, se interpreta que no existe diferencia entre el índice de blancura para la respectiva mancha.

- **E-116 Sangre en algodón**

Las Tablas 54 y 55 representan el análisis de varianza de la mancha de sangre y leche en algodón.

**Tabla 54***Análisis de varianza de la mancha E-116*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	87.38	21.845	0.456566667
Mezcla de coadyuvantes	4	84.49	21.1225	0.454891667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	87.38	21.845	0.456566667
Número de corridas				
Corrida 1	3	65.13	21.71666667	1.2675
Corrida 2	3	65.15	21.71666667	0.790533333
Corrida 3	3	63.35	21.11666667	0.182533333
Corrida 4	3	65.62	21.87333333	0.006533333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 55***Varianza de la mancha E-116*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	11.777	2.000	5.889	4.371	0.067	5.143
Columnas	2.265	3.000	0.755	0.560	0.660	4.757
Error	8.084	6.000	1.347			
Total	22.126	11.000				

Nota: Adaptado al software ANOVA

Se muestra que al obtener una probabilidad inferior a 0.5, podemos asumir que no hay diferencias significativas entre los ensayos evaluados en relación con cada coadyuvante. Asimismo, no hay variaciones en el índice de blancura para la mancha E-116.

- **E-104 Aceite en poliéster/ algodón**

Las tablas 56 y 57 representan el análisis de varianza de la mancha de sangre y leche en algodón.

**Tabla 56***Análisis de varianza de la mancha E-104*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	87.38	21.845	0.456566667
Mezcla de coadyuvantes	4	84.49	21.1225	0.454891667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	87.38	21.845	0.456566667
Número de corridas				
Corrida 1	3	65.13	21.71	1.2675
Corrida 2	3	65.15	21.71666667	0.790533333
Corrida3	3	63.35	21.11666667	0.182533333
Corrida 4	3	65.62	21.87333333	0.006533333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 57***Varianza de la mancha E-104*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0.808	2.000	0.404	3.753	0.088	5.143
Columnas	0.391	3.000	0.130	1.212	0.383	4.757
Error	0.646	6.000	0.108			
Total	1.845	11.000				

Nota: Adaptado al software ANOVA

- **E-117 Sangre en poliéster**

La tabla 58 y 59 representan el análisis de varianza de la mancha de Sangre/ Leche/ Tinta en poliéster/ algodón.

**Tabla 58***Análisis de varianza de la mancha E-117*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	87.38	21.845	0.456566667
Mezcla de coadyuvantes	4	84.49	21.1225	0.454891667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	87.38	21.845	0.456566667
Número de corridas				
Corrida 1	3	65.13	21.71	1.2675
Corrida 2	3	65.15	21.71666667	0.790533333
Corrida3	3	63.35	21.11666667	0.182533333
Corrida 4	3	65.62	21.87333333	0.006533333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 59***Varianza de la mancha E-117*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	7.855	2.000	3.928	5.663	0.042	5.143
Columnas	7.160	3.000	2.387	3.441	0.092	4.757
Error	4.161	6.000	0.694			
Total	19.176	11.000				

Nota: Adaptado al software ANOVA

- **E-118 Pigmento /Sebo en algodón**

La Tabla 60 y 61 representan el análisis de varianza de la mancha de Pigmento/ Sebo en algodón.

**Tabla 60***Análisis de varianza de la mancha E-118*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	87.38	21.845	0.456566667
Mezcla de coadyuvantes	4	84.49	21.1225	0.454891667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	87.38	21.845	0.456566667
Número de corridas				
Corrida 1	3	65.13	21.71	1.2675
Corrida 2	3	65.15	21.71666667	0.790533333
Corrida3	3	63.35	21.11666667	0.182533333
Corrida 4	3	65.62	21.87333333	0.006533333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 61***Varianza de la mancha E-118*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	8.5081	2.0000	4.2540	9.2948	0.0145	5.1433
Columnas	0.0355	3.0000	0.0118	0.0259	0.9938	4.7571
Error	2.7461	6.0000	0.4577			
Total	11.2897	11.0000				

Nota: Adaptado al software ANOVA

- **CS-46B Fritura de grasa**

Las Tablas 62 y 63 representan el análisis de varianza de la mancha de Pigmento/ Sebo en algodón.

**Tabla 62***Análisis de varianza de la mancha CS-46B*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Disilicato de sodio complejo	4	87.38	21.845	0.456566667
Mezcla de coadyuvantes	4	84.49	21.1225	0.454891667
Metasilicato de sodio pentahidratado	4	87.38	21.845	0.456566667
Número de corridas				
Corrida 1	3	65.13	21.71	1.2675
Corrida 2	3	65.15	21.71666667	0.790533333
Corrida3	3	63.35	21.11666667	0.182533333
Corrida 4	3	65.62	21.87333333	0.006533333

Nota: Adaptado al software ANOVA

**Tabla 63***Varianza de la mancha CS-46B*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	123.01	2.00	61.51	82.95	0.00	5.14
Columnas	1.03	3.00	0.34	0.46	0.72	4.76
Error	4.45	6.00	0.74			
Total	128.49	11.00				

Nota: Adaptado al software ANOVA

Las manchas con actividad mananasa son difíciles de eliminar, debido a que se emplean en cosméticos y suciedad derivados de espesantes alimentarios. Ello se relaciona con la E-101 Carbón negro en algodón la cual se presenta el análisis de su varianza en la Tabla 52 y 53.

Otro de los tipos es la mancha lipasa, se caracterizan por poseer ácidos grasos presentes en las composiciones, estos compuestos son adheridos fácilmente en las fibras de algodón, y en el poliéster. Las manchas correspondientes son E-104 Aceite en poliéster/algodón y E-118 Pigmento/Sebo en algodón presente en la Tabla 56, 57 y Tabla 60, 61 respectivamente.

Adicional a las manchas mencionadas también tenemos las del tipo proteasa las poseen contenido proteico e insoluble al agua se caracterizan engloban a las manchas de

sangre, estas son de difícil remoción debido a que se adhiere fuertemente a las fibras del sustrato por lo cual es necesario que el detergente contenga un grupo específico de enzimas. Las manchas que se relacionan son E-117 Sangre en poliéster/ algodón y E-116 Sangre en algodón presente su análisis de varianza en la Tabla 58, 59 y Tabla 54, 55 respectivamente.

Por otro lado, la mancha con actividad lipofílico, son caracterizados por tener cantidad de ácidos graso, aceites y otros compuestos en sus composiciones, todos ellos son de fácil adherencia en el algodón por sus fibras absorbentes. La mancha correspondiente es la CS-46B Fritura de grasa, donde su análisis de varianza se muestra en la Tabla 62 y 63.

En general, los resultados obtenidos del índice de remoción de manchas correlacionado con el índice de blancura sugieren que la formulación del ensayo 2 el cual presenta como coadyuvante el metasilicato de sodio pentahidratado exhibió un mejor desempeño para las 6 manchas analizadas, ya que su tiene una mayor capacidad de dispersar las partículas de suciedad evitando que se depositen sobre las superficies limpias durante el proceso de lavado, así como también una alta capacidad de secuestración de iones metálicos ayudando a prevenir los depósitos insolubles para que el tensioactivo actúe de manera más eficiente. Sin embargo, es necesario mencionar que el desempeño promedio de detergentes es muy bajo, lo cual sugiere que a los detergentes se les debería adicionar algún tipo de enzima el cual pueda aumentar su capacidad de remoción de manchas.

Analizando los resultados generales de los 3 ensayos elaborados los cuales son distinguidos con respecto a sus coadyuvantes se puede mostrar la siguiente Tabla 64.

**Tabla 64**

*Comparación de ensayo con respecto a cada coadyuvante*

	Mejor desempeño	Intermedio	Menor desempeño
Blancura	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 3
Tiempo de descomposición de espuma	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1
Volumen de espuma	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1

Nota: Adaptado al software ANOVA

Se interpreta, de los 3 ensayos analizados el que posee el mejor desempeño de blancura corresponde al ensayo 2 el cual se caracteriza por integrar dentro de su formulación al coadyuvante metasilicato de sodio pentahidratado ver Tabla 65.

**Tabla 65**

*Comparación de los ensayos con respecto al Tripolifosfato de sodio STTP*

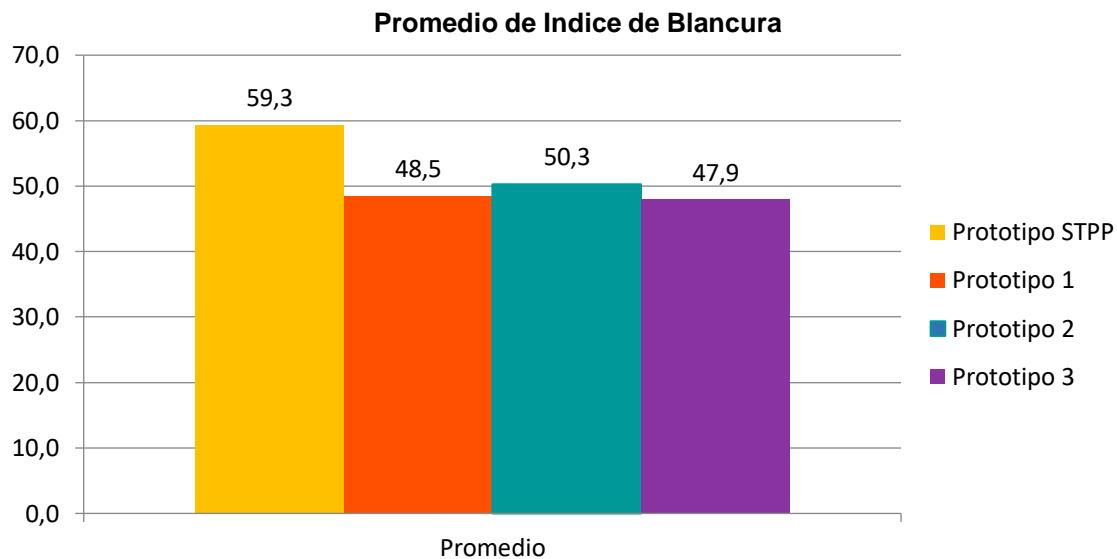
Manchas	STPP	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Carbón negro en algodón	30.81	24.12	25.05	23.12
Sangre/ Leche/ Tinta en algodón	33.87	19.48	21.85	21.12
Carbón negro en poliéster/ algodón	49.04	19.17	19.74	19.71
Sangre/ Leche/ Tinta en poliéster/ algodón	50.23	27.00	28.70	26.98
Sebo en algodón	61.99	60.14	60.40	58.50
Fritura de grasa	130.05	140.99	145.96	138.22
Suma	355.99	290.90	301.68	287.64
Promedio	59.3	48.5	50.3	47.9

Nota: Elaborado en EXCEL

En la Figura 31, se visualiza el promedio del índice de blancura comparado con el detergente convencional tripolifosfato de sodio.

**Figura 31**

*Comparación de promedios de los ensayos formulados*



Nota: Adaptado a. (Jiménez Dueñas & Cortes Cortes, 2019)

La Tabla 66, muestra el volumen de espuma generada en los tres ensayos los cuales se reportan a continuación: ensayo 1 con 368,7897; ensayo 2 con 513,2388 y ensayo 3 con 479,007 mL. Este comportamiento indica que las variaciones de los ingredientes o concentraciones han impactado de manera significativa en la capacidad de formación de espuma.

**Tabla 66**

*Comparación de volumen de espuma generada en mL*

Formulación	STPP	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Promedio	529,2276390	368.7897305	513.2388595	479.0070635

Nota: Elaboración propia

Finalmente, como validación a las pruebas realizadas se presenta en la Tabla 67, la propuesta de ficha técnica para el detergente en polvo, donde se menciona el nivel de biodegradabilidad y el coadyuvante con mejor performance según la investigación.

**Tabla 67***Especificación técnica del detergente*

Características	Descripción
Componentes	12 % de tensoactivo aniónico, silicato de sodio, cloruro de sodio, carbonato de sodio, colorante, coadyuvante (metasilicato de sodio pentahidratado) y aroma.
Apariencia	Polvo granulado
pH (solución 1%)	10.5 – 12.5
Nivel de espuma	Alta
Miscibilidad	Totalmente soluble en agua
Biodegradabilidad	100% biodegradable

Nota: Elaboración propia

## Capítulo V. Proyección de ingeniería

El presente trabajo de investigación no aborda el diseño de la planta como tal, debido a que el trabajo se ha enfocado en evaluar a nivel de laboratorio la optimización de la formulación de un detergente eco amigable. En consecuencia, se ha abordado este capítulo como proyección ingenieril, se muestran los equipos, insumos, materiales que se deberán tener en cuenta para la implementación de proyectos de esta naturaleza. La capacidad de fabricación tomada como referencia para esta proyección es una producción de detergente eco amigable de 20.000 tn/año.

La Figura 35 muestra la proyección de la planta de producción. Se estructura en seis secciones fundamentales, cada sección diseñada para asegurar un flujo de trabajo eficiente, donde la etapa previa más general es el abastecimiento de insumos primarios y secundarios en los silos de consumo diario.

La primera sección, se denomina zona de neutralización, donde se adiciona ingredientes en estado líquido cargando en el tanque primero el hidróxido de sodio y agua en paralelo, luego el ácido sulfónico. En la segunda sección, la pasta neutralizada pasa al tanque crutcher, donde se dosifica la pasta neutralizada, luego los líquidos como silicato de sodio, carbonato de sodio, coadyuvante y finalmente el sulfato de sodio. Luego la mezcla formada pasa al tanque madurador, el cual se calienta a 60°C hasta esperar el calentamiento de la torre de secado.

En la tercera sección, se tiene a la torre de secado, donde el producto es sometido a un proceso de eliminación de humedad hasta lograr adquirir una composición de granel. Para ello se abre la válvula de gas natural y se enciende el horno a una temperatura de 300°C, hasta que el aire de salida en la torre llegue a 110°C con la finalidad de desfogar la línea de alimentación a una temperatura de 60°C. Una vez seco, el producto es transferido

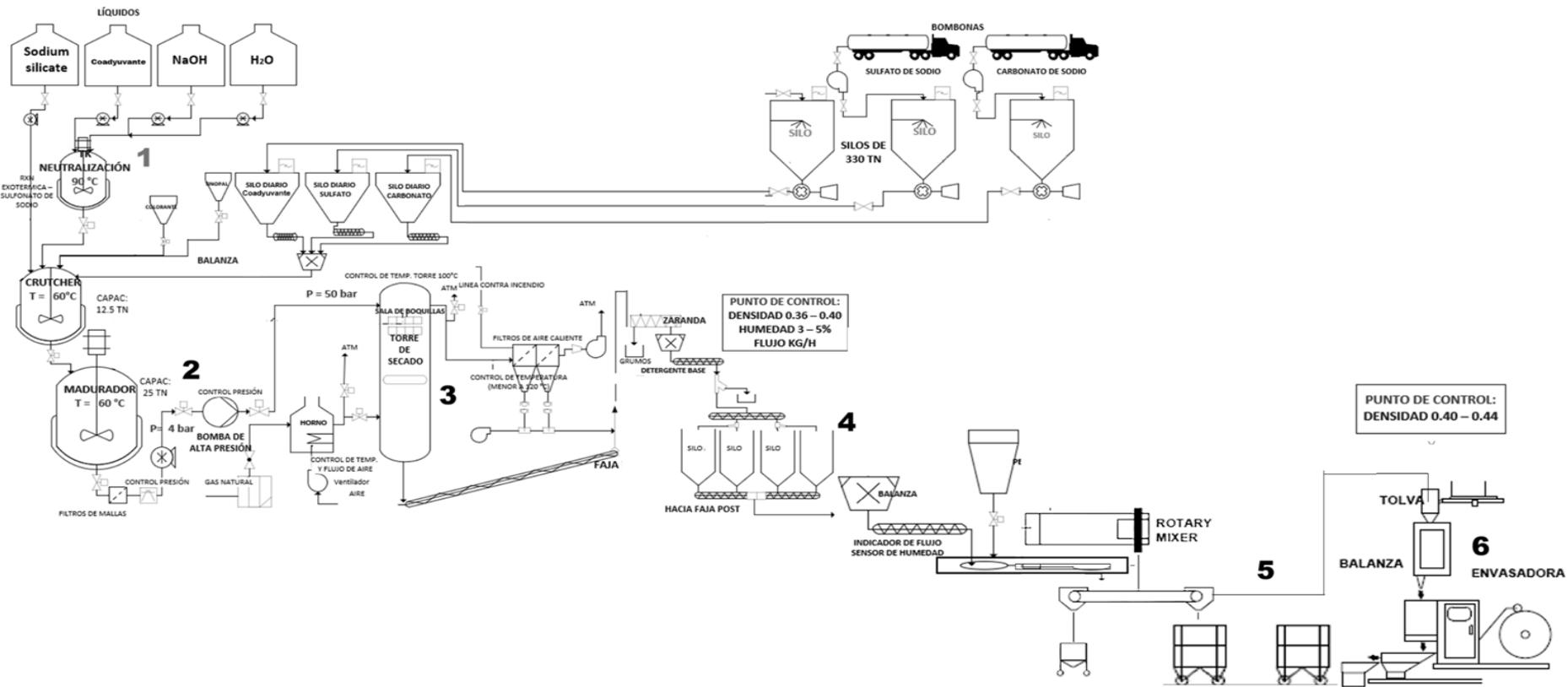
a la cuarta sección, que consiste en la descarga en silos, como almacenamiento temporal del granel.

En la quinta sección, se realiza el post dosing, donde se adiciona perfume y speckles, mejorando las propiedades sensoriales. Finalmente, en la sexta sección, se traslada el granel final al área de envasado, donde se embolsa según la presentación definida.

Para la elaboración del plano se utilizó AutoCAD 2023 con licencia estudiantil, con el cual se obtuvo una representación visual del proceso a gran escala de la elaboración de detergente en polvo. Se representa el esquema general incluyendo el sistema de bombeo de alta y baja presión, ver Figura 32.

Figura 32

Diagrama de producción de detergente en polvo



Nota: Diseño en AutoCAD licencia estudiantil

## 5.1. Descripción de principales equipos de planta

En la producción de detergente en polvo, se utilizan diversos equipos industriales que trabajan de manera integrada para transformar las materias primas en producto final. El proceso involucra silos de almacenamiento, mezcladores que combinan ingredientes sólidos y líquidos, reactores para la reacción química, torre de atomización para el secado por aspersión, cintas o fajas transportadoras para el movimiento de producto, zaranda para la clasificación de tamaño, envasadoras de producto terminado. A continuación, se describen de manera detallada algunos de los equipos mostrados en la Figura 32.

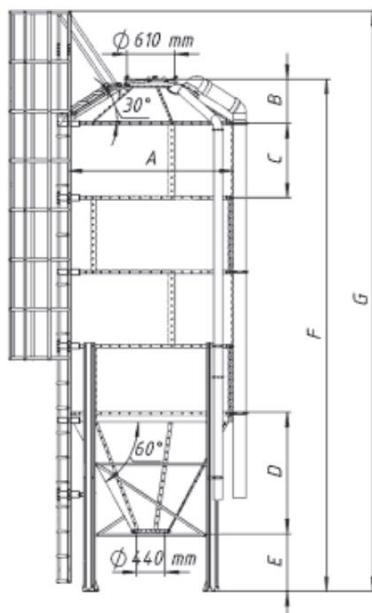
### 5.1.1. Silos y tanques de insumos

La primera parte del diagrama consiste en la ubicación de los silos y tanque de almacenamientos mostrados en la Figura 32. En los silos se almacena insumos sólidos como el carbonato de sodio, silicato de sodio y el coadyuvante, en los tanques se almacena insumos líquidos como agua, ingrediente activo e hidróxido de sodio. Estos equipos son fabricados con acero inoxidable al carbono 316L, con dimensiones de acorde a la capacidad de tonelaje de la planta.

Los silos tienen una estructura tipo cónica ver Figura 33.

**Figura 33**

*Silos de almacenamiento*



Nota: Adaptado a las fichas técnicas de (Alibaba, 2024)

Si asumimos una capacidad de 20.000 tn/año entonces las dimensiones del silo deben tener las siguientes dimensiones ver Tabla 68.

**Tabla 68**

*Características técnicas de los silos*

Datos técnicos	Valores
Toneladas	6-12
Diámetro [m]	2.1
Volumen [m <sup>3</sup> ]	15.2
B	552
A	902
D	1461
G	750
F	6371

Nota: Las letras B, Do, D, Mi y F hace referencia a las longitudes mostradas en la Figura 33. Adaptado a (Jiménez Dueñas & Cortes Cortes, 2019).

Se aprecia tres zonas principales, las cuales están integradas por la cabeza, la zona del cilindro y en la parte inferior cono, donde para calcular su volumen total es necesario integrar el volumen de cada una de sus secciones, ver en la Ecuación 2.

$$V_{silo} = V_{cabeza} + V_{cilindro} + V_{cono} \quad (2)$$

Donde cada volumen respectivo de la cabeza, el cilindro y el cono se calculan según la Ecuación 3, Ecuación 4 y Ecuación 5, respectivamente.

$$V_{cabeza} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_{cabeza}}{6} \quad (3)$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_{cilindro}}{4} \quad (4)$$

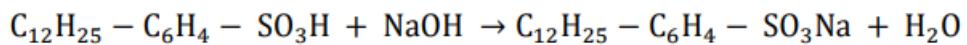
$$V_{cono} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H_{cono}}{12} \quad (5)$$

### 5.1.2. Tanque neutralizador, crutcher y madurador

Luego de tener los insumos líquidos en su respectivo tanque almacenado, se procede a pasar al tanque neutralizador, el cual se caracteriza porque ahí ocurre la reacción exotérmica entre el ácido sulfónico y el hidróxido de sodio representado en la Figura 32 parte 1. Es importante la mezcla de ambos insumos para una reacción rápida de tal modo que no haya degradaciones no deseadas de los insumos y se controle el pH, mientras se va neutralizando se forma una pasta viscosa. La reacción de neutralización brinda como productos agua y 2-Dodecilbenceno sulfonato, se muestra en la Figura 34.

#### **Figura 34**

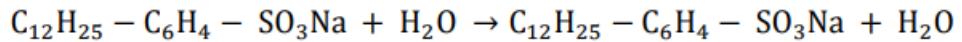
*Reacción de Neutralización*



Posterior a la reacción el detergente al entrar en contacto con el agua cambia su composición generando una reacción exotérmica, ver Figura 35.

#### **Figura 35**

*Reacción de detergente con presencia de agua*



La pasta obtenida es trasladada por medio de tuberías hacia el tanque crutcher en el cual ingresarán los insumos sólidos y se mezclarán para obtener una suspensión homogénea, la cual se pueda bombear hacia el tanque madurador. En la parte 2 de la Figura 32, se aprecia el ingreso de la pasta homogénea al tanque madurador donde se forma el llamado slurry, el cual es una suspensión pastosa que contiene un aproximado de 30% de agua. El objetivo del tanque madurador es envejecer la pasta por un periodo de 30 minutos aproximadamente con la finalidad de permitir la hidratación de algunas sustancias, brindando mejores características reológicas estables y homogenización (Conroy & Sánchez, 2025).

El tanque crutcher consiste en la fase más importante del proceso donde la corriente de entrada hacia el mezclador se encarga de eliminar partículas aglomeradas y de homogenizar el slurry.

El diseño de los tanques maduradores se enfoca en su función, el cual es mezclar cierto volumen de insumos que van ingresando a sus equipos, ver Figura 36.

**Figura 36**

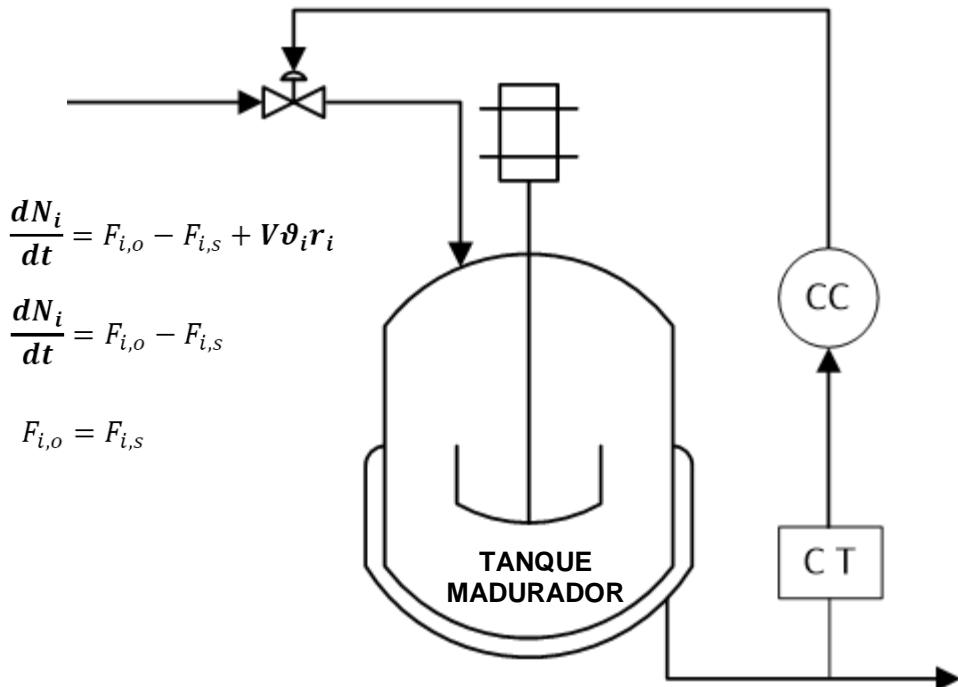
*Balance de masa del tanque madurador*



El volumen se calcula con las densidades y cantidades de cada insumo que ingresa por la corriente de cada mezclador. En la Figura 37, se muestra la instrumentación del tanque madurador.

**Figura 37**

*Reactor - tanque madurador*



En el diseño de los equipos es necesario considerar la siguiente relación  $H/L = 1,25$ .

Según la Ecuación 6 y con la siguiente suposición, hallaremos la relación para determinar la altura (H) y la longitud (L).

$$V = 1.25 L^3 \quad (6)$$

Utilizando la Ecuación 6, se relaciona la potencia del equipo con la Ecuación 7.

$$P = G^2 \cdot \mu \cdot V \quad (7)$$

Donde:

G: Gradiante hidráulico G. tiempo de residencia = 50000

$\mu$ : viscosidad  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$

V: volumen  $[\text{m}^3]$

El balance de materia va a comenzar con una base de cálculo de producto de 20.000 tn/año.

$$\frac{20.000 \text{ tn/año}}{\frac{8h}{dia} \times 250 \text{ días/año}} = 10 \text{ tn/hora}$$

De acuerdo con la composición de los ensayos del detergente formulado se procede a calcular la cantidad de flujo de entrada hacia el tanque madurador; asumiendo una producción de 10 toneladas/ hora.

Los datos mostrados en la Tabla 69, se han calculado como el producto de la multiplicación del porcentaje del ensayo 2, por la cantidad de pesadas de slurry en una producción de 10 toneladas/hora, considerando 30 segundos/ pesadas de 60 repeticiones.

**Tabla 69**

*Flujo de entrada al tanque madurador*

Insumos	Flujo kg/ hora
Agua	1680.0
Ácido Sulfónico	1380.0
Hidróxido de sodio	192.0
Silicato de sodio	2508.0
Blanqueador óptico	12.0
<b>Metasilicato de sodio pentahidratado</b>	660.0
Carbonato de sodio	528.0
Sulfato de sodio	4992.0
<b>Flujo de entrada (ton/hora)</b>	11.95
<b>Humedad de entrada</b>	34.10%

Nota: Adaptado a (González, 2018)

El tanque de maduración opera con un sistema de flujo de entrada y salida. Según el balance de masa, se aprecia que el flujo de entrada debe ser constante, por lo cual tendrá el mismo valor que el flujo de salida, expresado en 11.9520 ton/hora. Posteriormente, el flujo de salida, conocido como slurry, es transferido a la torre de secado.

### 5.1.3. Torre de secado

El proceso de secado se lleva a cabo en la torre donde el secado ocurre por medio de dos fenómenos, el de la difusión del sólido del medio hacia el centro y el flujo de agua

del centro hacia el exterior. Este proceso permite obtener una partícula fina y con baja densidad. El principio de operación utilizado en el proceso de secado es por atomización, el cual se da mediante boquillas a presión. Esta técnica de secado ofrece una distribución menor del tamaño de partículas. La torre de secado trabaja en conjunto con el horno, el cual brinda una cantidad de calor para que se pueda soplar aire caliente y de esa manera se dé el secado. Para determinar la cantidad de volumen en la cámara de secado se usa la Ecuación 8 (Campaña, 2024).

$$V_{cs} = \frac{Q_m}{\rho_{aire}} \cdot t_{res} \quad (8)$$

Donde:

$V_{cs}$ : Volumen de secado [m<sup>3</sup>]

$Q_m$ : Caudal mísico de aire [t/h]

$\rho_{aire}$ : Densidad del aire [t/ m<sup>3</sup>]

$t_{res}$ : Tiempo de secado [s]

#### 5.1.3.1. Balance de masa de la torre de secado

Es importante mencionar el uso del horno, el cual debe estar a condiciones de 400°C como temperatura y de 101,3 kPa de presión. Los flujos del slurry y del aire son representados en la Figura 38, donde se aprecian sus entradas y salidas.

**Figura 38**

Balance de masa de la torre de secado



Nota: Datos obtenido del análisis del proceso.

El balance de materia con respecto a la humedad se puede expresar según la Ecuación 9.

$$G \cdot H_2 + L_s X_1 = G \cdot H_1 + L_s X_2 \quad (9)$$

Donde:

$G$ : Flujo de gas (kg/h)

$H_{1,2}$  Humedad del gas a la entrada y salida

$L_s$  Flujo de salida del sólido

$X_{1,2}$ : Humedad del sólido a la entrada y salida

Donde el aire de salida se determina mediante la Ecuación 10, el cual integra diversos factores para la obtención de un resultado preciso. Para calcular la relación entre las toneladas de agua y aire seco, se emplea el uso de la tabla psicométrica, herramienta ingenieril que relaciona propiedades termodinámicas del aire húmedo bajo condiciones específicas de temperatura y humedad relativa.

En este caso las operaciones del proceso son las siguientes: humedad relativa al 80% y temperatura del aire al ambiente de 13°C, lo cual indica un aire saturado, lo cual significa la capacidad del aire en absorber humedad durante el proceso.

$$Ga, sal_{TnAire} = Ga, ent_{TnAireSeco} + Ga, ent_{TnAireSeco} * Habs_{sal} \cdot \left( \frac{TnAgua}{TnAireSeco} \right) \quad (10)$$

Los flujos de entrada de agua son hallados mediante la Ecuación 11. Esta ecuación es importante para el balance de masa del agua en el proceso, considerando el agua que entra, el aire seco y la capacidad de humedad que posee el aire.

$$Fagua. sal_{TnAgua} = Fagua. entrada_{TnAgua} - GaTnAireseco * Habs_{sal} \left( \frac{TnAgua}{TnAireSeco} \right) \quad (11)$$

Así mismo se presenta la Tabla 70, con los flujos de entrada a la torre de secado. Estos valores son el resultado de cálculos basados en las ecuaciones anteriormente mencionadas y representan las condiciones operativas del sistema.

**Tabla 70**

*Flujo de entrada de la torre de secado*

Insumos	Flujo kg/ hora
Agua	1680.0
Ácido Sulfónico	1380.0
Hidróxido de sodio	192.0
Silicato de sodio	1.05
Blanqueador óptico	12.0
<b>Coadyuvante</b>	660.0
Carbonato de sodio	528.0
Sulfato de sodio	2508.0
<b>Total</b>	
Flujo de salida (ton/hora)	11.9520
Humedad de entrada	34.1%

Nota: Adaptado a (González, 2018)

La temperatura de salida del horno es de 300°C. En el caso de la torre consideraremos una temperatura de salida de 104°C y una humedad relativa de 11%, obteniendo en la tabla psicométrica un valor de 0.0903 de toneladas de agua sobre toneladas de aire seco.

En la Tabla 71, se representa el flujo encontrado de aire a la entrada y salida en la torre de secado.

**Tabla 71**

*Flujo de aire de entrada y salida (ton/h)*

Flujo	Ton/h
Entrada	36.62
Salida	39.93

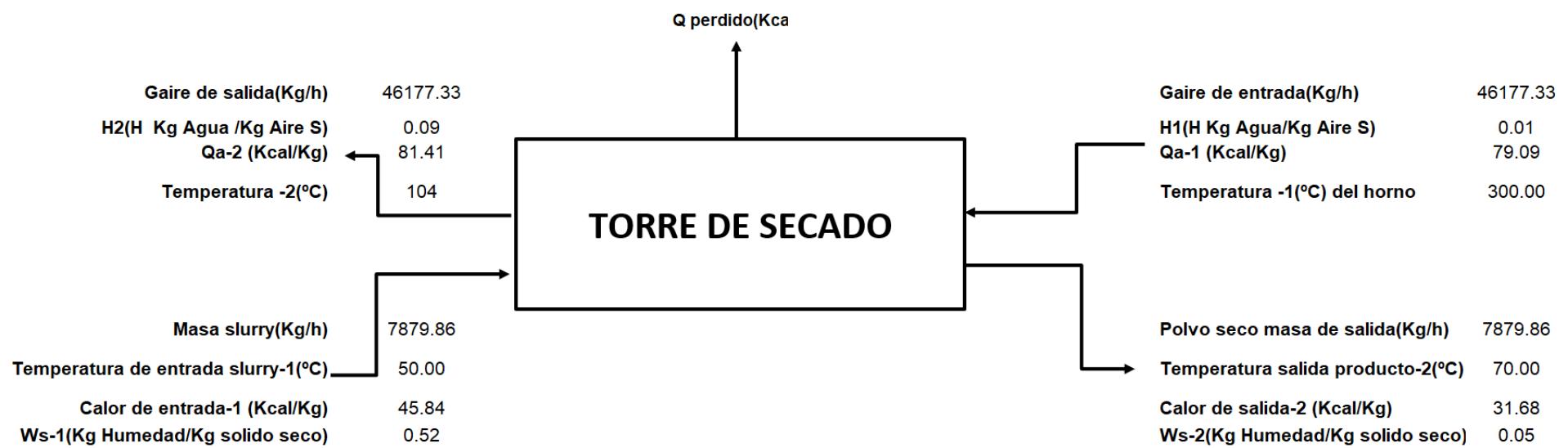
Nota: Datos obtenido del análisis del proceso.

### 5.1.3.2. Balance de energía

Los caudales máscicos en la corriente de entrada de la torre y la corriente de salida se determinan de manera sencilla, ya que, aunque existen reacciones en el proceso de producción del detergente, estos no tienen lugar en la torre de secado. Sin embargo, en una torre de secado es importante basarnos en la ley de conservación de la energía, la cual relaciona la energía entrante y saliente según sus corrientes mostradas en la Figura 39.

**Figura 39**

Corrientes de entrada y salida de la torre de secado



En la presente investigación, se ha desarrollado una nomenclatura específica para los balances en la torre de secado, lo cual se detallada con mayor precisión en la Tabla 72.

**Tabla 72**

*Nomenclatura de abreviaturas en los balances*

<b>Nomenclatura</b>	
Ms	Masa de slurry seco (Kg/h)
T <sub>s</sub>	Temperatura slurry (°C)
Q <sub>s</sub>	Calor slurry (Kcal/Kg)
W <sub>s</sub>	Composición (Kg por Kg seco)
G <sub>a</sub>	Aire caliente (Tn)
T <sub>a</sub>	Temperatura Aire (°C)
Q <sub>a</sub>	Calor del aire (Kcal/Kg)
H <sub>a</sub>	Humedad (Kg agua por Kg Aire seco)

Nota: Datos obtenido del análisis del proceso.

El balance de energía se expresa en la Ecuación 12.

$$G_{a1} * Q_{a1} + M_{S1} * Q_{S1} = G_{a2} * Q_{a2} + M_{S2} * Q_{S2} + Q_{\text{perdido}} \quad (12)$$

Donde:

Q: Perdida de calor en el secado [kJ/h]

$G_{a1}$ : Entrada de aire caliente [ $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ ]

$G_{a2}$ : Salida de aire caliente [ $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ ]

Se muestran en las ecuaciones del 13 al 16, la manera de calcular el calor perdido mostrado en la Ecuación 12.

$$Q_{a1} = 0,24 + 0,46 * H_1 * T_{a1} - T_{\text{amb}} + 597 * H_1 \quad (13)$$

$$Q_{a2} = 0,24 + 0,46 * H_1 * T_{a2} - T_{\text{amb}} + 597 * H_2 \quad (14)$$

$$Q_{a3} = 0,40 * T_{s1} - T_{\text{amb}} + 1,0 * T_{s1} - T_{\text{amb}} * W_{s1} \quad (15)$$

$$Q_{a4} = 0,40 * T_{s2} - T_{\text{amb}} + 1,0 * T_{s2} - T_{\text{amb}} * W_{s2} \quad (16)$$

Para un proceso adiabático  $Q=0$

### 5.1.3.3. Balance de Humedad

El balance de humedad tiene el objetivo de eliminar la mayor cantidad de agua de la mezcla obtenida en el madurador, la corriente de entrada consiste en la pasta de detergente también llamada slurry, mezcla de sólidos y líquidos. La salida del agua se produce por evaporación donde se elimina principalmente de los gases de aire húmedo que sale de la torre y de la humedad residual la cual al salir el polvo final queda con una cierta humedad en el producto, representado en la Ecuación 17.

$$H_{\text{humedad evaporada}} = G_a \cdot (H_2 - H_1) \quad (17)$$

Donde:

$G_a$ : Flujo de aire caliente [kg]

$H_1$ : Humedad que entra [Kgaguapor/KgAireseco]

$H_2$ : Humedad que sale [Kgaguapor/KgAireseco]

### 5.1.3.4. Balance de Entalpia

La entalpia en la torre de secado se rige al principio de conservación de la energía donde aquella entalpia que entra a la torre debe ser la misma a la suma de la entalpia que sale más la energía perdida del proceso, mostrado en la Ecuación 18.

$$h_1 = h_2 + Q_{\text{Perdido}} \quad (18)$$

Donde:

$h_1$ : Entalpia entrando a la torre  $\left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$  asociado al aire caliente que se inyecta

$h_2$ : Entalpia saliendo de la torre  $\left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}\right]$

$Q_{\text{Perdido}}$ : Energía perdida durante el proceso.

### 5.1.4. Horno

El análisis del balance de energía en el horno toma en cuenta la corriente de salida, la cual se utilizará como entrada de gas en la torre de secado, las especificaciones necesarias son la temperatura y presión de 400°C y 101,3 kPa respectivamente. Las entalpias de reacción se multiplican por la composición de la especie en el gas para determinar la entalpía de combustión del gas natural. En la Tabla 73 se muestran los valores de masa molar de las especies que se generan dentro del horno, así como también su entalpía de combustión de cada uno de ellas.

**Tabla 73**

*Entalpía de combustión del gas natural*

Espezie	Masa Molar	Masa %	Entalpia de Combustión (KJ/g-mol de GN)
CH <sub>4</sub>	16.04	87.8%	-754.990
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.05	0.8%	-6.616
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.07	2.8%	-22.844
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.10	2.3%	-18.395
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> +	58.12	1.7%	-13.285
H <sub>2</sub>	2.02	0.0%	-0.484
CO	28.01	0.2%	-0.283
CO <sub>2</sub>	44.01	2.8%	0.000
N <sub>2</sub>	28.01	1.6%	0.000
<b>Peso Molecular PM Gas Natural (g/g-mol)</b>	<b>17.2</b>	<b>Total</b>	<b>-816.90</b>

Nota: Adaptado a (González, 2018)

Es fundamental comprender las propiedades de los componentes en el análisis termodinámico del gas natural, en especial la entalpía que representa la energía total del sistema. A continuación, en la Tabla 74, se presentan los valores de los diferentes componentes del gas natural utilizados en el proceso.

**Tabla 74**

*Entalpía de componentes y productos del gas natural*

Componentes Gas Natural	Entalpías de Formación	KJ/g-mol a 25°C
	CH <sub>4</sub>	-74.81
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	52.47
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-84.68
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-103.85
	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-126.15

	H <sub>2</sub>	0.00
	CO	-110.53
	CO <sub>2</sub>	-393.51
Productos de Combustión	H <sub>2</sub> O(g)	-241.81
	H <sub>2</sub> O(liq)	-285.83

Las reacciones químicas a condiciones estándares influyen en la formación del condensado de agua en la operación de secado. Esta relación optimiza el proceso debido que la energía liberada afecta la eficiencia de secado del producto final. En la Tabla 75, se presenta los valores asociados a cada reacción.

**Tabla 75**

*Entalpía de reacción a condiciones normales 25°C*

Entalpia de reacción a 25 °C	
Reacción para formar 2H <sub>2</sub> O(g)	kJ/g-mol
2O <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> → CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O(g)	-802.33
3O <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O(g)	-1323.1
3½O <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O(g)	-1427.8
5O <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> → 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O(g)	-2043.9
6½O <sub>2</sub> + C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> → 4CO <sub>2</sub> + 5H <sub>2</sub> O(g)	-2657.0
½O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O(g)	-241.81
½O <sub>2</sub> + CO → CO <sub>2</sub>	-282.98
Reacción de condensado de vapor de agua	
H <sub>2</sub> O(g) → H <sub>2</sub> O(liq)	-44.02

Nota: Adaptado a (Ying, Kookana, & Dillon, 2015)

A continuación, se presenta el balance general del detergente en polvo obtenido en el proceso de fabricación. En la Tabla 76, se detallan los valores finales correspondientes a los análisis detallados de balance de energía, humedad y entalpia

**Tabla 76***Balances para una capacidad de 10 toneladas por hora*

<b>Balances</b>	
<b>Balance de Energía</b>	
Ms (Kg/h)	7879.862642
Ws-1(Kg/Kg sólido seco)	0.517
Ws-2(Kg/Kg sólido seco)	0.053
Cps (Kcal/Kg°C)	0.40
H1(H abs - Kg/Kg Aire S)	0.014
Qa-1 (Kcal/Kg)	79.09
H2(H abs - Kg/Kg Aire S)	0.09320
Qa-2 (Kcal/Kg)	81.41
Qs-1 (Kcal/Kg)	45.84
Qs-2 (Kcal/Kg)	31.68
Q perdido (Kcal/h)	4340
<b>Balance de Humedad</b>	
Ms (Kg/h)	7879.9
Humedad que entra (Kg/h)	4072.1
Humedad que sale (Kg/h)	414.7
Humedad evaporada (Kg/h)	3657.4
<b>Ga*(H2-H1) =</b>	<b>Humedad evap</b>
	0.09320
<b>Balance de Entalpia</b>	
Entalpia entrando a la torre (Kcal/h)	4,013,391
Entalpia saliendo de la torre (Kcal/h)	4,013,391
<b>H entrando a la torre = H saliendo a la torre + Q perdido</b>	
Ga (Kg/h)	46177.32975

Nota: Adaptado al Handbook of cleaning (De Clerck, Demeyere, Labeque, Lodewick, &amp; van Langenhove, 2007)

Finalmente, el proceso concluye con el envío del granel producido a tolvas de almacenamiento, donde se clasifica según la presentación deseada. Una vez que el detergente se ha convertido en polvo, se traslada por fajas transportadoras, para ir enfriando el producto, y se añade speckles, perfume y colorante según requerimientos estéticos.

## 5.2. Especificaciones de los equipos

En vista que no se ha realizado un diseño exacto se propone equipos, principales del proceso productivo, existentes del mercado los cuales permitirán un procesamiento de 20.000 toneladas por año.

Desde la Tabla 77 hasta la Tabla 85 se detallan las especificaciones técnicas de cada equipo, considerando su función, material, capacidad y marca.

**Tabla 77**

*Especificaciones de la torre de secado*

Torre de secado
Función: Secado de detergente en polvo Capacidad: Más de 5000 toneladas/año Largo: 1000 mm Ancho: Combustible: Petróleo, gas, carbón, biomasa Origen: Zhejiang, China Material: Acero inoxidable 304/316L Marca: Huaxin Fuente: 220V Potencia: 10 kW



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

**Tabla 78**

*Especificaciones de la zaranda vibratoria*

Zaranda vibratoria
Función: Eliminación de impurezas Capacidad: 150 kg Largo: 650 mm Ancho: 650 mm Material: Acero de carbono/acero inoxidable 304/SUS316 Marca: Huaxin Potencia: 0.5-2.2kw Tamaño de malla: 3 -600 malla



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

**Tabla 79**

*Especificaciones del Rotary mixer*

<b>Rotary mixer</b>
Función: Mezclador de polvo fino Capacidad: 1500 kg Largo: 1100 mm Ancho: 2350 mm Material: Acero 316 inoxidable Marca: JOSION Motor: 7.5kw

---

Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)



**Tabla 80**

*Especificaciones de la tolva*

<b>Tolva</b>
Función: Descarga y carga de granel Capacidad: 2000 kg Material: Acero de carbono Capacidad de descarga: 300 ton/hora Marca: JOSION Motor: 7.5kw

---



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

**Tabla 81**

*Especificaciones de la envasadora*

Envasadora
Función: Empaquetado de polvo Capacidad: 50 bag/min Peso: 420 kg Material: Acero inoxidable 304 Capacidad de descarga: 300 ton/hora Marca: WANHE Voltaje: 220 Tamaño: 5258*3610*3655mm Empaquetado: 5-1500g



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

**Tabla 82**

*Especificaciones del tanque crutcher*

Tanque crutcher
Función: Homogenizador pasta Capacidad: 50L-20000L Peso: 100 kg Rango de velocidad del husillo (rpm): 1 - 3400 rpm Material: Acero inoxidable 304/316L Marca: RAYEN Potencia: 22 kW Tamaño: 5258*3610*3655mm



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

### Tabla 83

#### *Especificaciones del tanque madurador*

##### **Tanque de mezcla madurador**

Función: Homogenizador  
Capacidad: 50L-20000L  
Peso: 1000 KG  
Rango de velocidad del husillo (rpm): 0 - 2800 rpm  
Material: SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L  
Marca: KOSUN FLUID  
Potencia: 7,5 kW  
Tamaño: Personalizado



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

### Tabla 84

#### *Especificaciones del silo de almacenamiento*

##### **Silo de almacenamiento**

Función: Almacenamiento de materia prima  
Capacidad: 5-50Tons  
Peso: 3500 KG  
Material: Hojas de acero galvanizado  
Marca: COB  
Tamaño: 2750mm \* 2750mm \* 4640mm



Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

**Tabla 85**

*Especificaciones del desaireador*

Desaireador
<p>Función: Desaireador de vacío Peso: 15.000 kgMaterial: De carbono o acero inoxidable Marca: Yuanda Tamaño: 50X50X50 cm</p> 

Nota: Adaptado a (Alibaba, 2024)

### **5.3. Proyección económica**

El alcance de la proyección económica se enfoca principalmente en los aspectos técnicos de la formulación y en los costos directos de equipamiento y de materia prima, sin profundizar en proyecciones detalladas como la tasa interna de retorno. Esta decisión metodológica se fundamenta en varios puntos clave: primero, el objetivo principal de la investigación, el cual es desarrollar y optimizar la formulación del detergente desde una perspectiva ingenieril, priorizando eficiencia de cada ensayo. Segundo, al centrarnos en los costos directos proporcionamos una base sólida para futuros análisis económicos detallados para el escalamiento industrial.

#### **5.3.1. Costo de maquinaria**

La inversión en activos fijos como lo es la compra de maquinaria, se obtiene en función al diagrama mostrado en la Figura 32. En la Tabla 86 se presenta la inversión en soles de los equipos principales.

**Tabla 86***Costo unitario de maquinaria*

Maquinaria	Cantidad	Precio (USD)	País de origen	Total
Tanque de almacenamiento acero 304	3	\$800.00	China	\$2,400.00
Silos de almacenamiento	6	\$1,700.00	China	\$10,200.00
Balanza industrial	1	\$2,000.00	China	\$2,000.00
Reactor neutralizador	1	\$3,000.00	China	\$3,000.00
Tanque de mezcla (crutcher)	1	\$1,999.00	China	\$1,999.00
Tanque de maduración	1	\$3,000.00	China	\$3,000.00
Filtros	3	\$1,350.00	China	\$4,050.00
Desaireador	1	\$800.00	China	\$800.00
Bombas de vacío	2	\$490.00	China	\$980.00
Torre de secado	1	\$110,000.00	China	\$110,000.00
Zaranda	1	\$2,250.00	China	\$2,250.00
Fajas transportadoras	2	\$250.00	China	\$500.00
Rotary mixer	1	\$5,999.00	China	\$5,999.00
Tolvas	2	\$100,000.00	China	\$200,000.00
Envasadora	2	\$2,250.00	China	\$4,500.00
Total, maquinaria (USD)				\$351,678.00
T.C				3.76
Total, maquinaria (PEN)				S/ 1,322,309.28

### 5.1.2. Estimación de costo de producción

Reiterando que la proyección ingenieril no ha considerado escalamiento, hacemos referencia a una estimación de los costos unitarios de insumos y materias primas necesarios para la producción de 20.000 ton/año. Se presentan a continuación en la Tabla 87.

**Tabla 87**

*Costo unitario de materia prima*

Ensayo / Materias Primas		STPP		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
Materia Prima	Precio (USD/kg)	Consumo (kg/ton)	Costo (USD/ton)						
Agua	138,24	0	138,24	0	138,24	0	138,24	0	138,24
Ácido Sulfónico	1,94	110,4	44,12%	115	45,97%	115	47,54%	115	46,74%
Soda Caustica	0,41	15,36	1,30%	16	1,35%	16	6,61%	16	1,37%
Silicato de sodio	0,31	200,64	12,81%	209	13,35%	209	86,39%	209	13,57%
Blanqueador óptico	26,26	0,96	5,19%	1	5,41%	1	0,41%	1	5,50%
Disilicato de sodio complejo	1	0	0,00%	55	11,33%	0	0,00%	27,5	5,76%
Metasilicato de sodio pentahidratado	0,71	0	0,00%	0	0,00%	55	22,74%	27,5	4,09%
Tripolifosfato de sodio	1,37	52,8	14,90%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Carbonato de sodio	0,41	42,24	3,57%	44	3,72%	44	18,19%	44	3,78%
Sulfato de sodio	0,22	399,36	18,10%	416	18,86%	416	171,96%	416	19,17%
<b>TOTAL (USD/ton)</b>		485,3952		485,27		469,32		477,30	
Tasa de Cambio ( 3,76)	Total (PEN/ton)	1825,0859		1824,6152		1764,6432		1794,6292	

## Conclusiones

En este trabajo de investigación se determinó el índice de blancura, el comportamiento de generación de espuma en las 3 formulaciones de detergente, en los que se diferenciaron por el diferente tipo de coadyuvante. Se concluye que a pesar de no igualar ni superar los niveles de índice de blancura del tripolifosfato de sodio, los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y aseguramiento de menor impacto ambiental se consideran aceptables para validar el cambio.

**Conclusión 1**, la nueva formulación del ensayo 2 con el coadyuvante metasilicato de sodio pentahidratado, tiene un poder de blanqueamiento de 50.3 menor al detergente convencional con tripolifosfato de sodio, que tiene un valor de 59.3. Se justifica la sustitución en razón a que el producto nuevo elimina el uso del tripolifosfato de sodio cuya capacidad de contaminación por eutrofización es eliminada al ser sustituida su uso por metasilicato de sodio pentahidratado, que se degrada en el medio ambiente en razón que sus componentes inorgánicos se integran al suelo y agua, en forma de silicatos naturales sin causar daño persistente.

**Conclusión 2**, El ensayo 2 tiene una alta efectividad de remoción de la mancha CS-46B Fritura de grasa, usada, coloreada con tinte violeta con un valor de 145.96 en la escala CIE en comparación a las dos otras formulaciones, esto se fundamenta ya que el coadyuvante utilizado, metasilicato de sodio pentahidratado proporciona una alcalinidad intermedia de 11.55 y un poder generador de espuma de 513.23 mL un valor cercano a los detergentes con tripolifosfato de sodio con 529.22 mL, resultando más efectiva.

**Conclusión 3**, el ensayo 2 exhibe propiedades fisicoquímicas favorables para su elaboración, dado que los parámetros evaluados comparados con el detergente

convencional demuestran que el ensayo cumple con las especificaciones requeridas de pH, viscosidad y humedad respectiva.

**Conclusión 4,** la formulación del ensayo 2 cumple con las normativas nacionales e internacionales orientadas en la reducción y eliminación del uso del tripolifosfato de sodio en productos de sanitarios. A nivel nacional, se adhiere a las disposiciones establecidas la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) y la norma técnica peruana NTP 319.129.1979. A nivel internacional, el ensayo elegido que representa al ensayo 2 se alinea a la Resolución 0689 del 2016 en Colombia como parte de la Comunidad Andina de Naciones, además a la Ley N° 4397/11 en Paraguay el cuál se alinea con el Reglamento de la Comunidad Europea N°259/2013 el cual prohíbe el uso de fosfatos en los detergentes. Esta opción no solo mejora la aceptación de la formulación en el mercado, sino que también posiciona el producto como un ensayo sostenible y responsable para los consumidores al solo contener óxido de silicio en 27.8 - 29.2 % en su composición.

## Recomendaciones

**Recomendación 1**, se recomienda llevar a cabo investigaciones con relación a agentes abrillantadores ópticos para aumentar el índice de blancura, y mejorar la performance del nuevo detergente formulado.

**Recomendación 2**, al realizar los ensayos de repetibilidad del desarrollo de slurry la temperatura del agua se mantiene a 80°C en baño maría, sin embargo, se aprecia un aumento de aproximadamente del 10°C con respecto a la temperatura fijada, debido al desprendimiento de calor en la reacción de neutralización del proceso, por lo que se recomienda tener en cuenta esta variación de la temperatura para mantenerla a 80°C.

**Recomendación 3**, en las pruebas de remoción de suciedad se recomienda utilizar manchas estandarizadas con el fin de probar una mejor eficacia del producto. Sin embargo, si no se llegará a tenerlas, se recomienda formular un tipo de suciedad que debe ser formulada de manera representativa con el fin de poder ser utilizada en las distintas repeticiones programadas.

**Recomendación 4**, se recomienda añadir a la formulación del producto nuevo enzimas para ayudar en la descomposición de manchas biológicas y condiciones de baja temperatura.

**Recomendación 5**, en un futuro y en función del plan de desarrollo que se tenga sería imprescindible hacer un balance de materia y energía real, a partir del cual se haga el diseño de la planta para el nivel de producción que se estime.

**Recomendación 6**, la proyección ingenieril únicamente detalla aspectos generales del proceso. Ante ello, para una aplicación a escala industrial, se recomienda complementar dicha proyección con un análisis detallado al balance de materia, si como también una evaluación técnica según las dimensiones y económica que respalde su viabilidad.

**Recomendación 7**, se recomienda ampliar el análisis en otros tipos de telas, considerando las necesidades y preferencias del mercado.

## Referencias bibliográficas

Adalid, N. (2011). *Fabricación de detergente en polvo*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Alibaba. (15 de 10 de 2024). Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-High-vacuum-Liquid-Ring-Pump\\_1600564384691.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_image.425c13a03yfL8&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-High-vacuum-Liquid-Ring-Pump_1600564384691.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_image.425c13a03yfL8&s=p)

Altamirano, R., & Terrenos, R. (2018). Metodología para determinar la calidad de agua del río Rímac para uso en amasado y curado de concreto. (36), 123-135. (F. d. Universidad de Lima, Ed.) doi:<http://dx.doi.org/10.26439/ing.ind2018.n036.2451>

Altmajer Vaz, D. (2004). Formulaciones detergentes biodegradables: Ensayos de Lavado. 50-150. Granada.

Base Base. (20 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://www.basebase.com.py/productos/173-polvo-para-lavar-ropas-limpiazul.html>

BROOKFIELD . (2024). *Viscosímetro de lectura de dial* . USA: AMETEK.

Broze, G. (13 de Abril de 1999). Handbook of Detergents, Part A:Properties. CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9780367803254>

Campaña, A. (2024). *Ingeniería básica de planta de fabricación de detergente en polvo de 20.000 Tn/año*. Sevilla.

Castro, J. (2012). *Determinación cuantitativa del impacto ambiental en México por el uso doméstico de los detergentes en polvo fosfatados y libres de fosfatos mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida*. Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, México.

Chateau, M., Galet, L., & Fages, J. (2005). Processing a detergent powder formulation: Direct compression, and high shear wet granulation followed by compression. *III(157)*, 191-198. Powder technology. Recuperado el 2024, de <https://hal.science/hal-01593338/document>

Conroy, G., & Sánchez, I. (2025). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta productora de detergente líquido*. Universidad de Lima, Lima.

COPLEY SCIENTIFIC. (2017). Quality Solutions for the testing of Detergents. COPLEY SCIENTIFIC, 6.

De Clerck, K., Demeyere, H., Labeque, R., Lodewick, R., & van Langenhove, L. (2007). Laundry Cleaning of Textiles/ Handbook for cleaning/decontamination of surfaces. 57. doi:10.1016/B978-044451664-0/50003-6

Díaz, J. (2005). *Propuesta metodología para determinar el potencial de humedad de un material granular a partir de la humedad relativa* (Vol. 7). Cali, Colombia.

DUMOXPRO. (20 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://www.dumoxpro.com/Exactitude-Consultancy>. (20 de Octubre de 2022). Obtenido de <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/25217/industrial-cleaning-market/>

Falbe, J. (1987). *Surfactants in Consumer Products: Theory, Technology, Applications*.  
*Springer, Heidelberg, 475.*

Garrett, R. (2013). *Biochemistry* (Quinta ed.). Cengage Learning.

González, A. (2018). *Ingeniería básica de planta de fabricación de detergente en polvo de 20.000 Tn/año*. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Gracia, J. (1 de Mayo de 2014). (U. N. México, Ed.)

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). Style IEEE. *Journal*, 1(1), 1-33.

Jiménez Dueñas, L., & Cortes Cortes, E. (28 de Junio de 2019). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS Y TÉCNICAS DE LOS DETERGENTES ECOLÓGICOS DERIVADOS DE LA SAPONINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) Y LA SAPONINA DEL JABONCILLO (*Sapindus saponaria* L.). 13(1). Boletín Semillas Ambientales.

Louis, J. (2002). *Surfactantes: Tipos y Usos*. Merida, Venezuela: Universidad de los Andes.

Maguiña , S., & Romero, J. (22 de Agosto de 2018). *Factores que determinan la compra de detergentes ecológicos en amas de casa, entre 20 y 40 años, del nivel socioeconómico B, de Lima Metropolitana y Callao*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Negocios, Lima.

MAXICLEAN. (20 de Octubre de 2024). Obtenido de  
<https://maxicleanperu.com/producto/detergente-doffi-x-15kg/>

Myers, D. (2006). *Surfactant science and technology* (Tercera ed.). (J. Wiley, Ed.) New Jersey, Canada: Wiley- Interscience.

NEURTEK instruments. (2024). *Análisis de los parámetros de la espuma, control de los efectos de los surfactantes. SITA Foam Tester*. SITA Lab Solutions.

Osinga, T. (2009). *España Patente nº 312.590*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/ES2312590T3/es>

P&G. (20 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://latam.pg.com/marcas-y-productos/>

Pachecho, W. (2015). Contaminación por detergentes-agentes nocivos olvidados. caso estudio: el río ganobles. En U. I. SEK (Ed.). Quito.

Paredes , J., & Roldán, D. (2022). *Detergentes y eutrofización en lagos y ríos: Una revisión sistemática*. Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93496>

PCE Instruments. (2023). *Medidor de viscosidad analógico de rotación PCE-RVI 1*. Albacete.

Quiroa, Y. (2016). *Determinación del contenido de fosfatos en detergentes para lavavajillas y daños que produce al medio ambiente en la Región Callao*. Callao. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12952/5034>

Riehm, D., & Britten, M. (2017). Understanding and controlling powder flow properties in detergent manufacturing. 3, 248-267. (C. Press, Ed.) Encyclopedia of Surface and Colloid Science. doi:<https://doi.org/10.1081/E-ESCS3-120053779>

Romero García, R. (2006). Detergentes con o sin fosfatos. 2-4.

Rosen, M., & Kunjappu, J. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. *John Wiley & Sons.*

Salager, J. (2002). *Surfactants types and uses FIRP Booklet*. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Química, Merida-Venezuela.

Sánchez, G., Blas, N., & Chau, G. (2010). *Informe Nacional sobre el estado del medio ambiente marino del Perú*. Lima: Ministerio de la producción.

Sapag, H. (1976). Limpieza y detergentes en la industria alimentaria. *Conferencia dictada en la Sesión Ordinario de la Soc.Ch. de Tec de Alimentos*, (págs. 1-5). Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121419/SAPAG\\_1976.pdf](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121419/SAPAG_1976.pdf)

Schweiker, G. (1981). *Mejoradores de la detergencia* (Vol. 58). J Am Oil Chem Doc. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02672225>

Shijiazhuang Standard Chemicals CO LTD. (21 de Abril de 2023). *The Power of Sodium Metasilicate: A Cleaner Future*. Recuperado el 6 de Octubre de 2024, de <https://www.standard-chem.com/news/the-power-of-sodium-metasilicate-a-cleaner-future>

Smulders, E., Rahse, W., Von Rybinski, W., Steber, J., Sung, E., & Wiebel, F. (2001). *Laundry Detergents*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. doi:10.1002/3527600450

Tai, L. H. (2000). Formulating Detergents and Personal Care.

Ugalde, M., & Ulloa, A. (2016). *Disminución del contenido de tripolifosfato de sodio en los detergentes aniónicos de uso más común en Costa Rica*. Costa Rica: Revista

Tecnología En Marcha. Obtenido de

[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/2659](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2659)

X-RITE. (2019). Serie Ci7600-Espectrofotómetro de esfera de mesa. *Pantone*, 9.

X-RITE. (2022). Guia para entender la comunicación del color. *Incorporated.*

Yangxin, Y., Jin, Z., & Bayly, A. (2008). Development of Surfactants and Builders in Detergent Formulations. (ELSEVIER, Ed.) 16(4), 517-527.  
doi:[https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(08\)60115-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(08)60115-9)

Ying, G., Kookana, R., & Dillon, P. (2015). El ajuste y control del pH es fundamental en la formulación de detergentes líquidos. Valores de pH extremos pueden causar irritación en la piel, dañar las telas o reducir la eficacia de limpieza. *Journal of Surfactants and Detergents*, 18, 1199-1207. doi:<https://doi.org/10.1007/s11743-015-1750-4>

Zoller, U. (2004). *Handbook of Detergents, Part B: Environmental Impact* (Primera ed.). Boca Raton: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9780203020500>

## **Anexos**

Anexo 1: Especificación técnica de detergentes .....	1
Anexo 2: Normativa de leyes y reglamentos que regulan el STPP.....	4
Anexo 3: Escala de color .....	9
Anexo 4: Ficha técnica del metasilicato de sodio pentahidratado .....	10
Anexo 5: Ficha técnica del disilicato de sodio complejo .....	11
Anexo 6: Ficha técnica del tripolifosfato de sodio.....	12
Anexo 7: Tabla psicométrica para relación de la torre de secado .....	13

# Anexo 1

## Especificación técnica de detergentes

<b>CONSTELACIÓN INDUSTRIAL DEL ASEO SAS</b>	<b>FICHA TECNICA DETERGENTE INDUSTRIAL</b>	PD-PG-001 - 15 Versión: 3 26-jun.-20 Página 1 de 2
---	--	---

<b>PRODUCTO</b>	<b>ORION</b>	Fabricado por: CONSTELACIÓN INDUSTRIAL DEL ASEO S.A.S Carrera 59 No. 5A - 77/85 Bogotá, Colombia PBX: (1) 4069777 - 3132526836 Industria Colombiana
-----------------	--------------	---

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:

Solución concentrada de tensoactivos, especial para la limpieza e higienización de toda clase de superficies lavables como pisos, paredes, baldosas, mesas, etc. Igualmente utilizado en el lavado húmedo de ropa, telas y tejidos, en máquina y a mano. No deja ninguna clase de residuos ni olores. Producto Biodegradable.

### INSTRUCCIONES DE USO:

Diluya una parte del producto con 10 de agua, en trabajos más pesados emplear puro. Aplique con fibra de uso doble o sencillo y retire con abundante agua.

### TABLA DE DILUCION Y RENDIMIENTO

Uso recomendado	(Producto-agua)	Rendimiento
Alta carga de suciedad	1-1	
Carga Media de suciedad	1-10	
Baja carga de suciedad	1-20	

### COMPOSICIÓN

Dodecilbencenosulfonato de sodio, preservante.

### PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

Parametro	Metodo	Min	Max	Especificacion Qualitativa
Viscosidad (3X12 c Vis/metro Brookfield		1000	1500	
Color				Ligeramente amarillo
Olor				Inoloro
Densidad (den)	Densímetro (gr/cm <sup>3</sup> )	1	1,05	
Ph (directo 20°C)	pHmetro (1-14)	6,5	7,5	

### VARIEDADES:

### CUMPLIMIENTO RESOLUCION 0689

Biodegradabilidad:	74,27% Volumetria y lectura Electrometrica
Contenido de fosfatos:	< 0,009% Espectofotometria /Volumetria

### RECOMENDACIONES, PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS

Código	Peligro
H302	Nocivo en caso de ingestión
H316	Provoca una leve irritación cutánea
H320	Provoca irritación ocular
P102	Mantener fuera del alcance de los niños
P262	Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa
P301+330+331+3	EN CASO DE INGESTIÓN: enjuagarse la boca. NO provocar el



ATENCIÓN


**DETERGENTE REGULAR ARIEL**  
 4.5 KG / 2600 KG / 900 GR / 520 GR / 360 GR / 160 GR

**INFORMACIÓN DEL PRODUCTO**

Doble Poder, limpieza profunda y cuida tu ropa. Ariel® Doble Poder fue desarrollado para ofrecer poder de limpieza y poder del cuidado en una sola lavada a su ropa blanca y de color. Gracias a su exclusiva tecnología con Microesferas remueve manchas profundas y cuida las fibras previniendo signos de desgaste.

Indicado para cualquier dureza de agua. Ariel tiene una fórmula especial patentada, que contiene: una mezcla especial de tensioactivos que eliminan las manchas más difíciles de manera rápida y eficiente, incluso en lavados a baja temperatura. Una fragancia más fresca y duradera. El ingrediente patentado "carezyme" que ayuda a mantener el aspecto nuevo de su mantelería, ropa de cama, toallas, etc., durante más tiempo.

Formatos de 4.5 KG / 2600 KG / 900 GR / 520 GR / 360 GR / 160 GR más profesionales y económicos. Diseñado para consumo profesional, para dar una mejor imagen a sus clientes.

**Composición química**

Nombre	Identificador del producto	%	Clasificación según la directiva 67/548/CEE
Sodium Carbonate	[No CAS] 497-19-8 [No CE] 107-038-8 [No Index] 01-005-00-2	10 - 20	Xn; R36
Sodium Dodecylbenzenesulfonate	[No CAS] 68419-50-9 [No CE] 129-707-4 [REACH] 01-2119489428-22	10 - 20	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R38
Sodium Silicate	[No CAS] 134-09-8 [No CE] 116-487-4 [REACH] 01-2119448725-31	5 - 10	Xi; R41 Xi; R37/38
C15-16 Pareth n	[No CAS] 68419-50-9 [No CE] 129-707-4 [REACH] 01-2119448725-31	1 - 5	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R40
Citric Acid	[No CAS] 77-92-9 [No CE] 101-469-1	1 - 5	Xi; R36
Nombre	Identificador del producto	%	Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]
Sodium Carbonate Peroxide	[No CAS] 1460-59-4 [No CE] 129-707-4	10 - 20	Or. Sol. 3, H272 Skin Irrit. 2, H317 Eye Dam. 1, H318 H302
Sodium Carbonate	[No CAS] 497-19-8 [No CE] 107-038-8 [No Index] 01-005-00-2	10 - 20	Eye Irrit. 2, H319
Sodium Dodecylbenzenesulfonate	[No CAS] 68419-50-9 [No CE] 129-707-4 [REACH] 01-2119489428-22	10 - 20	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Irrit. 2, H318 Aquatic Chronic 3, H412
Sodium Silicate	[No CAS] 134-09-8 [No CE] 116-487-4 [REACH] 01-2119448725-31	5 - 10	Skin Irrit. 2, H316 Eye Irrit. 1, H318 H335
C15-16 Pareth n	[No CAS] 68419-50-9 [No CE] 129-707-4 [REACH] 01-2119448725-31	1 - 5	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 1, H400
Citric Acid	[No CAS] 77-92-9 [No CE] 101-469-1	1 - 5	No clasificado

# ARIEL Detergente en polvo

## Fichas de seguridad

conforme al reglamento (CE) nº 453/2010

Nombre	Identificador del producto	%	Clasificación según la directiva 67/548/CEE
Sodium Carbonate	(No CAS) 497-19-8 (No CE) 207-838-8 (No Índice) 011-005-00-2	10 - 20	Xi; R36
Sodium Dodecylbenzenesulfonate	(No CAS) 68411-30-3 (No CE) 270-115-0 (REACH-no) 01-2119489428-22	10 - 20	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R38
Sodium Silicate	(No CAS) 1344-09-8 (No CE) 215-687-4 (REACH-no) 01-2119448725-31	5 - 10	Xi; R41 Xi; R37/38
C13-15 Pareth-n	(No CAS) 68439-50-9 (No CE) Polymer	1 - 5	Xn; R22 Xi; R41 N; R50
Citric Acid	(No CAS) 77-92-9 (No CE) 201-069-1	1 - 5	Xi; R36
Nombre	Identificador del producto	%	Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]
Sodium Carbonate Peroxide	(No CAS) 15630-89-4 (No CE) 239-707-6	10 - 20	Ox. Sol. 3, H272 Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Dam. 1, H318 Eye Irrit. 2, H319
Sodium Carbonate	(No CAS) 497-19-8 (No CE) 207-838-8 (No Índice) 011-005-00-2	10 - 20	
Sodium Dodecylbenzenesulfonate	(No CAS) 68411-30-3 (No CE) 270-115-0 (REACH-no) 01-2119489428-22	10 - 20	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Chronic 3, H412
Sodium Silicate	(No CAS) 1344-09-8 (No CE) 215-687-4 (REACH-no) 01-2119448725-31	5 - 10	Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 STOT SE 3, H335
C13-15 Pareth-n	(No CAS) 68439-50-9 (No CE) Polymer	1 - 5	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 1, H400
Citric Acid	(No CAS) 77-92-9 (No CE) 201-069-1	1 - 5	No clasificado

Texto completo de las frases R, H y EUH : ver sección 16

## SECCIÓN 4: Primeros auxilios

La información de la composición actualizada del producto ha sido remitida al Servicio de información Toxicológica (Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses).

En caso de intoxicación llamar al Servicio de Información Toxicológica: Tfno (24 horas) 91 562 04 20

### 4.1. Descripción de los primeros auxilios

Medidas de primeros auxilios en caso de inhalación : Si se presentan síntomas: salir al aire libre y ventilar el área sospechosa. Problemas respiratorios: consultar médico/servicio médico.

Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con la piel : Si se presentan síntomas: enjuagar inmediatamente con agua abundante. Si la irritación persiste, consultar con un médico.

Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con los ojos : Lavar inmediatamente con abundante agua (15 min.). Si la irritación persiste, consultar con un médico.

Medidas de primeros auxilios en caso de ingestión : No dar nada para beber, o solo un poco de agua. No provocar vómito. Consultar al médico/servicio médico.

### 4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Síntomas y lesiones posibles en caso de inhalación : Puede causar irritación o síntomas asmáticos.

Síntomas y lesiones posibles en caso de contacto con la piel : El contacto prolongado puede causar una irritación leve.

Síntomas y lesiones posibles en caso de contacto con los ojos : Puede causar irritación grave.

Síntomas y lesiones posibles en caso de ingestión : Dolores gastrointestinales.

### 4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deben dispensarse inmediatamente

Véase el apartado 4.1.

## SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

### 5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados : polvo químico seco, espuma resistente a los alcoholes, dióxido de carbono.

## Anexo 2

### Normativa de leyes y reglamentos que regulan el STPP

#### Ley General del Ambiente

##### LEY Nº 28611

EL PRESIDENTE DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

#### LEY GENERAL DEL AMBIENTE

#### TÍTULO PRELIMINAR

#### DERECHOS Y PRINCIPIOS

##### Artículo I.- Del derecho y deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

##### Artículo II.- Del derecho de acceso a la información

Toda persona tiene el derecho a acceder adecuada y oportunamente a la información pública sobre las políticas, normas, medidas, obras y actividades que pudieran afectar, directa o indirectamente, el ambiente, sin necesidad de invocar justificación o interés que motive tal requerimiento.

Toda persona está obligada a proporcionar adecuada y oportunamente a las autoridades la información que éstas requieran para una efectiva gestión ambiental, conforme a Ley.

##### Artículo III.- Del derecho a la participación en la gestión ambiental

Toda persona tiene el derecho a participar responsablemente en los procesos de toma de decisiones, así como en la definición y aplicación de las políticas y medidas relativas al ambiente y sus componentes, que se adopten en cada uno de los niveles de gobierno. El Estado concertará con la sociedad civil las decisiones y acciones de la gestión ambiental.

CONCORDANCIAS: D.S. N° 028-2008-EM (Reglamento de Participación Ciudadana en el Subsector Minero)

R.M. N° 304-2008-MEM-DM (Aprueban Normas que regulan el Proceso de Participación Ciudadana en el Subsector Minero)

D.S. N° 018-2012-AG (Aprueban Reglamento de Participación Ciudadana para la Evaluación, Aprobación y Seguimiento de Instrumentos de Gestión Ambiental del Sector Agrario)

##### Artículo IV.- Del derecho de acceso a la justicia ambiental

Toda persona tiene el derecho a una acción rápida, sencilla y efectiva, ante las entidades administrativas y jurisdiccionales, en defensa del ambiente y de sus componentes, velando por la debida protección de la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad

Presidencia de la República  
Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social

Decreto N° 7.505.-

**POR EL CUAL SE REGLAMENTA LA LEY N° 4397/11 “QUE PROHÍBE EL USO DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO EN PRODUCTOS DOMISANITARIOS NACIONALES Y/O EXTRANJEROS EN TODO EL TERRITORIO NACIONAL”.**

Asunción, 18 de octubre de 2011

**VISTO:** La necesidad de reglamentar la Ley N° 4397/11 “Que prohíbe el uso de Tripolifosfato de sodio en productos domisanitarios nacionales y/o extranjeros en todo el territorio Nacional”, a efectos del correcto cumplimiento de la misma; y

**CONSIDERANDO:** Que la Constitución Nacional en el Artículo 7º, Del derecho a un Ambiente Saludable, prescribe: “Toda persona tiene derecho a habitar en un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado. Constituyen objetivos prioritarios de interés social la preservación, la conservación, la recomposición y el mejoramiento del ambiente, así como su conciliación con el desarrollo humano integral. Estos propósitos orientarán la legislación y la política gubernamental pertinente.”

Que asimismo la Carta Magna en su Artículo 8º, De la Protección Ambiental, la misma dispone: “Las actividades susceptibles de producir alteración ambiental serán reguladas por la ley. Asimismo, ésta podrá restringir o prohibir aquellas que califique peligrosas. Se prohíbe la fabricación, el montaje, la importación, la comercialización, la posesión o el uso de armas nucleares, químicas y biológicas, así como la introducción al país de residuos tóxicos. La ley podrá extender ésta prohibición a otros elementos peligrosos; asimismo, regulará el tráfico de recursos genéticos y de su tecnología, precautelando los intereses nacionales. El delito ecológico será definido y sancionado por la ley. Todo daño al ambiente importará la obligación de recomponer e indemnizar.”

Que finalmente el Artículo 72 de la Ley Suprema de la Nación, preceptúa: Del control de calidad. “El Estado velará por el control de la calidad de los productos alimenticios, químicos, farmacéuticos y biológicos, en las etapas de producción, importación y comercialización” (...).

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL  
MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

RESOLUCIÓN N° 0689

( 03 MAY 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"

**EL MINISTRO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL Y  
EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

En ejercicio de sus facultades constitucionales y legales, en especial las conferidas por la Ley 170 de 1994, los numerales 2 y 11 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993, y el numeral 30 del artículo 2 del Decreto 4107 de 2011, y

**C O N S I D E R A N D O**

Que el artículo 78 de la Constitución Política determina que serán responsables de acuerdo con la Ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios.

Que el artículo 79 de la Constitución Política consagra que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de especial importancia ecológica.

Que mediante la Ley 170 de 1994 Colombia aprobó el "Acuerdo por el que se establece la Organización Mundial del Comercio", el cual incorpora como uno de sus acuerdos multilaterales anexos, el "Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio" que reconoce la importancia de que los países miembros adopten medidas necesarias para la protección de la salud y vida de las personas, la preservación del medio ambiente y la protección de los intereses esenciales en materia de seguridad de los productos, comprendidos los industriales y agropecuarios, dentro de los cuales se encuentran los reglamentos técnicos.

Que el mismo Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio define reglamento técnico como el "Documento en el que se establecen las características de un producto o los procesos y métodos de producción con ella relacionados, con inclusión de las disposiciones administrativas aplicables y cuya observancia es obligatoria. También puede incluir prescripciones en materia de terminología, símbolos, embalaje, marcado o etiquetado, aplicables a un producto, proceso o método de producción o tratar exclusivamente de ellas".

Que de acuerdo al principio de territorialidad de la ley, y en consonancia con la definición de reglamento técnico anteriormente enunciada, los productos objeto del presente

Para adoptar la “Ley de Control de Fosfatos en Detergentes”, a fin de controlar la cantidad de fosfatos en los detergentes de ropa que son fabricados, importados, distribuidos, vendidos y usados en Puerto Rico.

#### EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

El Gobierno de Puerto Rico, en su preocupación constante por la salud y bienestar de todos los puertorriqueños, lucha por alcanzar y mantener niveles altos de calidad en los recursos de agua de Puerto Rico. En esta encomienda, ha identificado la presencia de fosfatos en el agua como uno de los factores que afecta la calidad de las aguas de Puerto Rico. La presencia de fosfatos en abundancia actúa como un fertilizante y acelera el crecimiento de algas, plantas y microflora dentro de los embalses. Este crecimiento disminuye los niveles de oxígeno disuelto, bloquea las vías navegables con crecimiento de plantas y reduce la claridad del agua de los embalses. Esta fertilización excesiva y el crecimiento que resulta de ella crean un fenómeno llamado eutrofización. La eutrofización interfiere con el uso del agua por parte de los humanos para propósitos de beber y nadar, supervivencia y propagación de los peces y el consumo de agua por parte de animales.

El Gobierno también es consciente de que esta situación no se limita sólo a los embalses de Puerto Rico. Problemas similares en los Estados Unidos Continentales, después de que varios estados adoptaran leyes para el control de detergentes de lavado de ropa, resultaron en que los fabricantes voluntariamente adoptaran la eliminación de los fosfatos en todos los productos de lavado de ropa fabricados para venta doméstica, quedando tan sólo en Cantidad Trazada. Los problemas que se manifiestan actualmente en Puerto Rico relacionados a los detergentes de lavado de ropa aparentan ser el resultado de la importación de estos productos de fuentes fuera de los Estados Unidos.

Los requisitos establecidos en esta Ley fueron desarrollados tomando en consideración factores tales como: el costo de estas restricciones a los consumidores, los beneficios a la calidad de agua como resultado de estas restricciones y las reducciones en el costo del tratamiento de aguas residuales, al igual que otros beneficios en relación a la eficacia de la disposición de aguas residuales y al tratamiento de agua potable en Puerto Rico.

Mediante la aprobación de esta Ley, se le requerirá a cualquier persona que fabrique, importe, distribuya, venda o use detergentes de lavado de ropa en Puerto Rico, que cumpla con un contenido máximo de fósforo por peso de 0.5%, (según la definición de “Cantidad Trazada”), expresado como fósforo elemental. Cualquier persona que no cumpla con las disposiciones de esta Ley estará sujeta a penalidades.

Esta Ley resultará en el mejoramiento de la calidad del agua en Puerto Rico, la cual sirve, en muchas ocasiones, como la fuente de nuestra agua potable. Por ende, cumple con los objetivos constitucionales de salud y seguridad para nuestros ciudadanos.

DECISIÓN N° 259/2013/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 13 de marzo de 2013

por la que se modifica la Decisión n° 574/2007/CE a fin de incrementar el porcentaje de cofinanciación del Fondo para las Fronteras Exteriores en lo que respecta a determinados Estados miembros que sufren o corren el riesgo de sufrir graves dificultades en lo relativo a su estabilidad financiera

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea y, en particular, su artículo 77, apartado 2,

Vista la propuesta de la Comisión Europea,

Previa transmisión del proyecto de acto legislativo a los Parlamentos nacionales,

De conformidad con el procedimiento legislativo ordinario<sup>(1)</sup>,

Considerando lo siguiente:

- (1) La Decisión n° 574/2007/CE del Parlamento Europeo y del Consejo<sup>(2)</sup> establece el Fondo para las Fronteras Exteriores para el período 2007-2013 como parte del programa general «Solidaridad y gestión de los flujos migratorios» y prevé diferentes porcentajes de cofinanciación por la Unión de las acciones que dicho Fondo apoya.
- (2) La crisis financiera mundial y la recesión económica sin precedentes han afectado gravemente al crecimiento económico y la estabilidad financiera, provocando un deterioro acentuado de las condiciones financieras, económicas y sociales en varios Estados miembros. Algunos Estados miembros están sufriendo o corren el riesgo de sufrir graves dificultades, especialmente en lo relativo a su estabilidad financiera y económica, que son o pueden ser la causa del deterioro de sus situaciones de déficit y deuda y constituyen una amenaza para el crecimiento económico acrecentada por el entorno económico y financiero internacional.
- (3) Aunque ya se han emprendido importantes acciones para contrarrestar los efectos negativos de la crisis, el impacto de la crisis financiera en la economía real, el mercado laboral y la sociedad en general se está sintiendo en toda su amplitud. La presión sobre los recursos financieros nacionales aumenta, por lo que deben adoptarse rápidamente nuevas medidas para aliviar esta presión utilizando al máximo y de manera óptima la financiación de la Unión.

(5) Dicha ayuda financiera se concedió a Rumanía en virtud de la Decisión 2009/459/CE del Consejo, de 6 de mayo de 2009, por la que se concede ayuda financiera comunitaria a medio plazo a Rumanía<sup>(4)</sup>.

(6) En consonancia con las conclusiones del Consejo Ecofin de los días 9 y 10 de mayo de 2010, el Consejo adoptó un paquete completo de medidas que incluía el Reglamento (UE) n° 407/2010 del Consejo, de 11 de mayo de 2010, por el que se establece un mecanismo europeo de estabilización financiera<sup>(5)</sup>, y los Estados miembros de la zona del euro establecieron el 7 de junio de 2010 un Fondo Europeo de Estabilidad Financiera a fin de prestar ayuda financiera a los Estados miembros de la zona del euro que se encuentren en dificultades ocasionadas por circunstancias excepcionales fuera de su control y garantizar así la estabilidad financiera de la zona del euro en su conjunto, así como la de sus Estados miembros.

(7) A Irlanda y Portugal se les concedió la ayuda financiera del Mecanismo Europeo de Estabilización Financiera en virtud, respectivamente, de las Decisiones de Ejecución 2011/77/UE<sup>(6)</sup> y 2011/344/UE<sup>(7)</sup> del Consejo. También han recibido ayuda financiera del Fondo Europeo de Estabilidad Financiera.

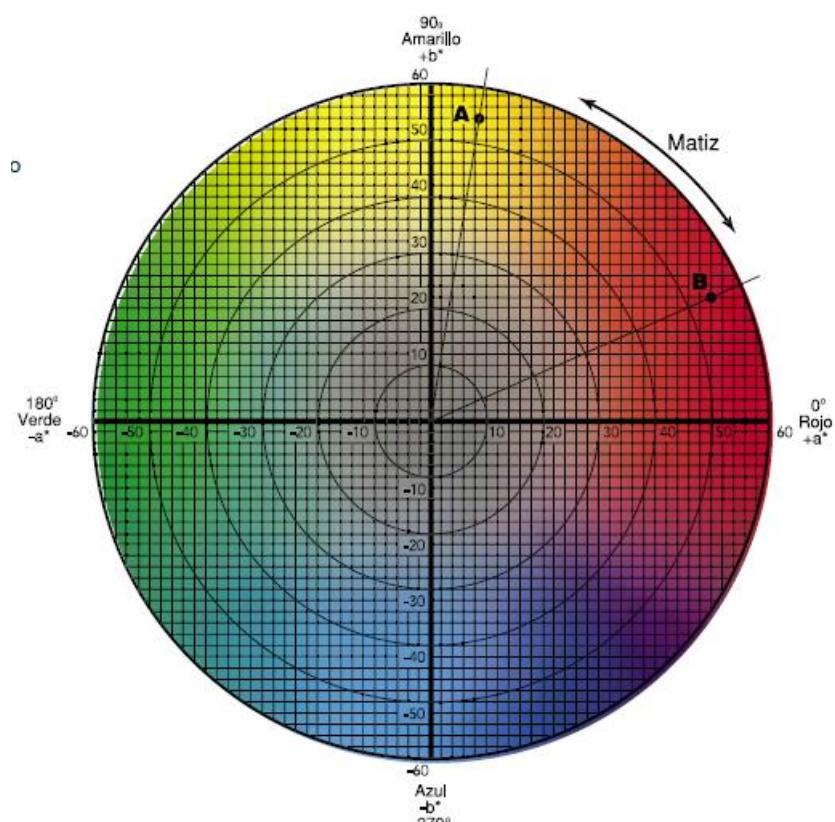
(8) El 8 de mayo de 2010 se celebraron el Acuerdo entre acreedores y el Acuerdo de préstamo para Grecia, y el 11 de mayo de 2010 entraron en vigor como un primer programa de ayuda financiera a Grecia. El 12 de marzo de 2012, los ministros de Finanzas de los Estados miembros de la zona del euro interrumpieron este primer programa y aprobaron un segundo programa de ayuda financiera a Grecia. Se decidió que el instrumento financiero para este segundo programa sería el Fondo Europeo de Estabilidad Financiera, que también desembolsaría el importe restante que la zona del euro ha de aportar en el marco del primer programa.

## Anexo 3

### Escala de color

**Figura 40**

Gráfica de color CIELAB



Nota: Adaptada a la escala de color Mursell (X-RITE, 2022)

## Anexo 4

# Ficha técnica del metasilicato de sodio pentahidratado

## METASILICATO SÓDICO PENTAHIDRATADO

### IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Nombre del Producto:	Metasilicato sódico pentahidratado
Formula:	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O
Descripción Química:	El Metasilicato Sódico Pentahidratado es un cristal cuadrado blanco o partícula esférica, no tóxico e insípido, fácilmente soluble en agua, fácil de absorber humedad y deliquescencia cuando se expone al aire. Tiene capacidad desincrustante, emulsionante, dispersante, humectante, osmótica y amortiguadora del pH.

### APLICACIONES TÍPICAS CONOCIDAS

Es ampliamente utilizado en diversas industrias de lavado. En la industria del lavado, como polvo de lavandería ultra-concentrado, detergente para la ropa, crema de lavandería, tintorerías, agentes blanqueadores de fibras, agentes blanqueadores de telas, etc., también es ampliamente utilizado en limpiadores de superficies metálicas, botellas de cerveza, limpiadores de disolventes flotantes, y totalmente soluble. Despues de eso, se puede utilizar como inhibidor de óxido de metal, limpiador de incrustaciones, limpiador de dispositivos eléctricos, y se puede utilizar en detergentes de la industria alimentaria.

También puede utilizarse como ajustador de la consistencia del lodo y coagulante del lodo en proyectos de perforación de petróleo crudo y natural y de minería de control. En la industria de la construcción, se utiliza como acelerante para modular el mortero resistente a los ácidos, el hormigón resistente a los ácidos y el cemento. En la industria del papel se puede utilizar como aglutinante, agente de tinta de pelado de papel usado, agente de tratamiento de la superficie del papel. En la industria textil, puede utilizarse como auxiliar de estampado y teñido y agente de pretratamiento de tejidos.

### CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

VARIABLE <sup>2</sup>	ESPECIFICACIÓN
óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O) (%)	Entre 28.7 y 30.0
Silica (SiO <sub>2</sub> ) (%)	Entre 27.8 y 29.2
Insolubles en agua (%)	0.05 máximo.
Fe (ppm)	100 máximo.
Blancura (%)	80 mínimo.
Densidad aparente (g/cc)	Entre 0.8 y 0.97
pH solución 1%	Entre 12 y 13
Punto de fusión (°C)	72.2
Tamaño de partícula (%) (16-30 mesh)	90 mínimo.

<sup>2</sup> Propiedades típicas, no deben ser consideradas como especificaciones.

Nota 1: Las características fisicoquímicas y organolépticas del producto son propias de un producto envasado y almacenado bajo los lineamientos descritos en este documento.

### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Almacenar en recipiente original bien tapado, en área fresca y seca. Evitar la exposición prolongada al aire, luz y calor.

## Anexo 5

### Ficha técnica del disilicato de sodio complejo

### COMPLEX SODIUM DISILICATE – CSDS

#### IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

**Nombre del Producto:** COMPLEX SODIUM DISILICATE - CSDS

**Descripción Química:** CSDS es un producto quelante basado en una molécula acomplejada con capacidad de intercambio en iones de calcio y magnesio similares a las del tripolifosfato de sodio. Tiene características ambientales superiores a las del STPP ya que no posee fosfatos en su estructura química.

#### APLICACIONES TÍPICAS CONOCIDAS

CSDS puede ser aplicado como builder en la mezcla de detergente tanto en crusher como en postadición. Su aplicación antes o después de la torre de secado no afecta las capacidades del producto. La concentración de CSDS a usar en las fórmulas es igual a la que se usa de STPP, sin embargo, ensayos previos son requeridos.

#### CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

VARIABLE <sup>1</sup>	ESPECIFICACIÓN
Apariencia	Gránulos Blancos
Blancura	85 mínimo

<sup>1</sup> propiedades típicas, no deben ser consideradas como especificaciones.

#### CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

VARIABLE <sup>2</sup>	ESPECIFICACIÓN
pH	12 máximo
Peso específico a granel g/ml	Entre 0.48 y 0.6
(Na <sub>2</sub> O+SiO <sub>2</sub> )%	50 mínimo
Exchange capacity (CaCO <sub>3</sub> ) mg/g	400 mínimo
Humedad	5 máximo
Insolubles en agua	1.5 máximo

<sup>2</sup> propiedades típicas, no deben ser consideradas como especificaciones.

Nota 1: Las características fisicoquímicas y organolépticas del producto son propias de un producto envasado y almacenado bajo los lineamientos descritos en este documento.

#### VIDA UTIL

12 meses a partir de su fecha de fabricación, empacado y almacenado bajo las condiciones descritas en este documento.

#### PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

CSDS puedes ser almacenado recomendando el uso tapabocas o de filtros de polvo para la nariz, no es inflamable, ni tampoco altamente reactivo.

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

CSDS puede ser almacenado durante más de un año en su empaque original. Debe permanecer cerrado en su empaque, aunque no posee propiedades higroscópicas. Se recomiendan medidas de almacenaje propias del almacenamiento de sacos.

COMPLEX SODIUM DISILICATE - Información de Producto - D'SAN Colombia

## Anexo 6

### Ficha técnica del tripolifosfato de sodio

### Sodium Tripolyphosphate (STPP)

**CAS No.:** 7758-29-4

**Formula:**  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$

**Molecular Weight:** 367.94

**Synonyms:** STPP; Pentasodium Triphosphate; Sodium Triphosphate

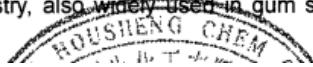
**Properties:** Sodium Tripolyphosphate is white microdot powder with luster, melting point at 622 °C, easily soluble in water, with remarkable chelating ability to some metal ions such as  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , can soften hard water, change suspension into solution, slightly alkaline, without causticity.

#### Specification:

<i>Index</i>	<i>Technical/Detergent Grade</i>
Main Content (As $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ):	94% min.
Phosphorus Pentoxide (as $\text{P}_2\text{O}_5$ ):	56.5% min.
Ortho+ Meta phosphate:	2% max.
PH Value (sol. al 1% m/v):	9.0 ~ 10.0
Insoluble Matters in Water:	0.1% max.
Loss on Heating (at 130°C):	1% max.
Iron (as Fe):	0.01% max
Density (g/cm <sup>3</sup> ):	0.80 ~ 1.10
Size (pass through 35mesh sieve):	90% min.
Rate of Hydration (At 1 Minutes):	83°C ~ 90°C
(At 5 Minutes):	88°C ~ 95°C

**Packing:** In 25kg PP woven bags lined with PE film bag inside, or in 1000kg jumbo bags.

**Applications:** Sodium Tripolyphosphate is used as main auxiliary of synthetic wash, soap synergistic agent, water softener, leather pre-tanning agent, dye auxiliary agent, and dispersant of suspension such as paint, kaolin, magnesium oxide, calcium carbonate drilling mud, preservative agent for paper making, organic synthesis catalyst, and used in epuration of petroleum product, gum latex storage, as dispersant, solvent in metal industry and pharmaceutical industry, also widely used in gum synthesis, foodstuff industry, and poultry process.



## Anexo 7

## Tabla psicométrica para entalpia de torre de secado

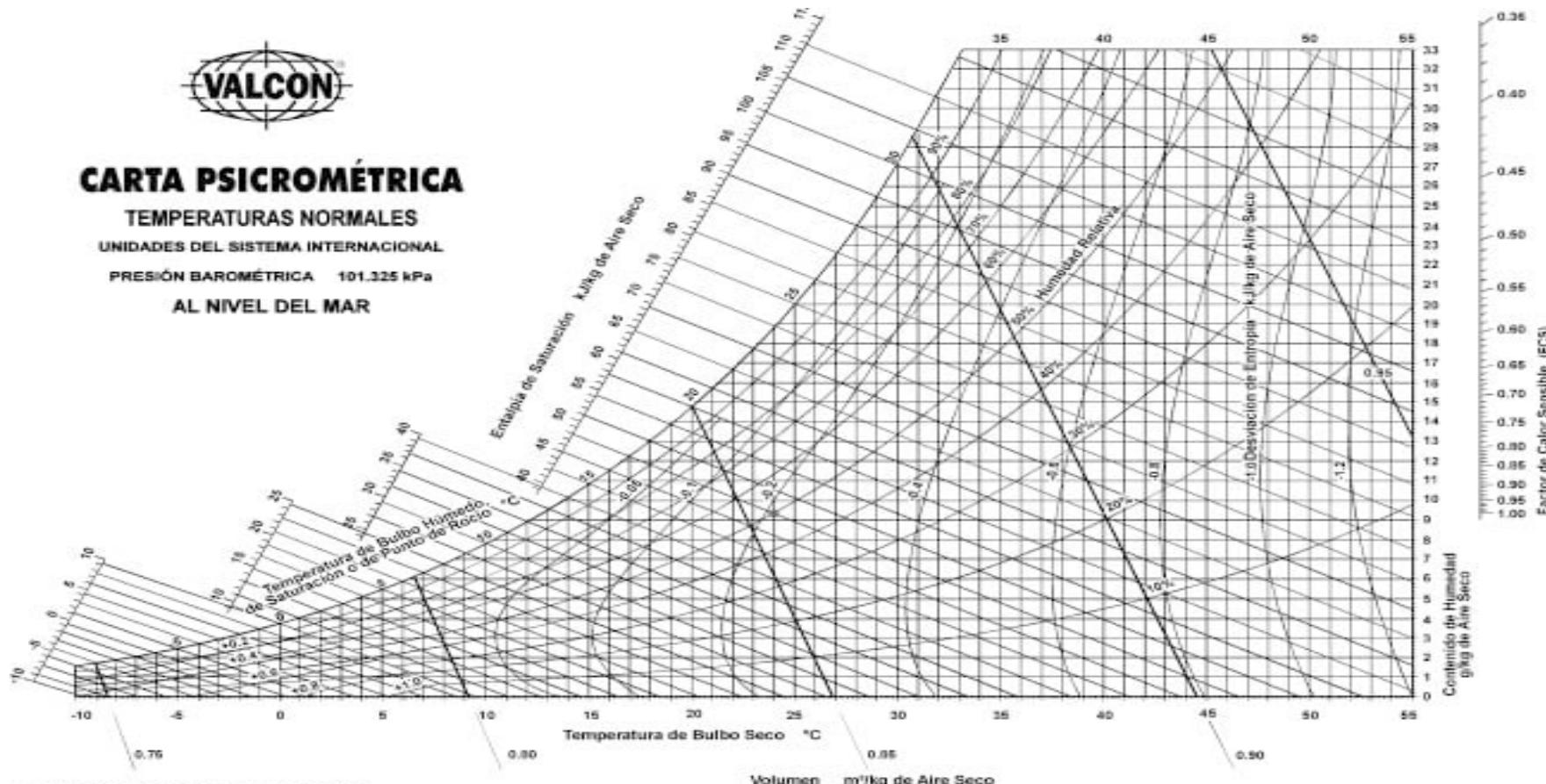


Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar).

