



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

**ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN  
FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO –SILICATO DE SODIO  
ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN**

**Danilo Fernando Pérez López**  
**Asesorado por la Inga. Vivian Lourdes Dardón de Castañeda**

**Guatemala, mayo de 2010**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN  
FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO –SILICATO DE SODIO  
ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DANILO FERNANDO PÉREZ LÓPEZ**

ASESORADO POR LA INGA. VIVIAN LOURDES DARDÓN DE CASTAÑEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL VI	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN  
FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO –SILICATO DE SODIO  
ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha julio de 2009.



Danilo Fernando Pérez López

Guatemala, Febrero del 2,010

Ingeniero  
Williams Álvarez  
Escuela de Ingeniería Química  
Faculta de Ingeniería  
USAC  
Presente  
Señor Director:

Me dirijo a usted con relación al trabajo de graduación presentado por el estudiante universitario **DANILO FERNANDO PEREZ LOPEZ** titulado “ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO -SILICATO DE SODIO ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN”, para el cual acepté en nombramiento de asesor.

Tengo la satisfacción de informarle que en esta fecha he terminado la asesoría de dicho trabajo de graduación, y después de las revisiones necesarias considero que el mismo esta apto para su trámite final, en consecuencia me permito aprobar dicho trabajo de graduación, para los efectos legales de graduación de su autor.

Sin otro particular, me es grato suscribirme ante usted.

Atentamente,



Vivian Lourdes Dardón de Catañeda

Ingeniero Químico

Colegiado # 189



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

Guatemala, 22 de abril de 2010  
Ref. EI.Q.TG.43.2010

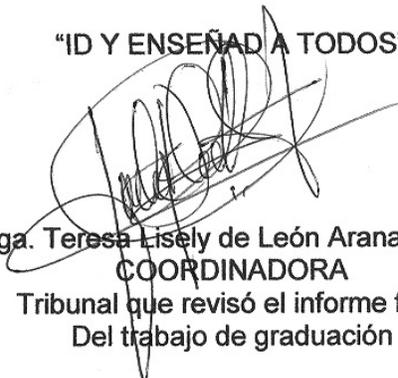
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-25-10-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **DANILO FERNANDO PÉREZ LÓPEZ**, identificado con carné No. **2001-13184**, titulado: **"ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO-SILICATO DE SODIO ALCALINO-INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN"** el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Vivian Lourdes Dardón de Castañeda, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Pérez López** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

  
Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

C.c.: archivo



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

Ref.EIQ.TG.054.2010

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante **DANILO FERNANDO PÉREZ LÓPEZ** titulado: **"ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO -SILICATO DE SODIO ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; MIQ; MPISC  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo de 2010

Cc: Archivo  
WGAM/am

71<sup>ava</sup> FORMANDO INGENIEROS QUÍMICOS EN GUATEMALA

PROGRAMA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2012



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 182.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE LA CONSISTENCIA DE LOS JABONES DE PAILA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ADITIVO –SILICATO DE SODIO ALCALINO- INCORPORADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Danilo Fernando Pérez López**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, mayo de 2010



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A**

<b>Dios</b>	Por ser mi fuerza en los momentos difíciles y por permitirme culminar hoy un sueño.
<b>Familia Marista</b>	Por reforzarme los valores de nuestro señor Jesucristo y nuestra Buena Madre.
<b>Mis padres</b>	Por su lucha, esfuerzo y sacrificio que han tenido y tuvieron durante todo este camino.
<b>Mi abuelita</b>	Nicolasa López, por el claro ejemplo de lucha y esfuerzo constante durante toda la vida, por la disciplina y sabiduría para guiarme por el buen camino.
<b>Mi esposa e hija</b>	Gloria y Faby, por ser luz y apoyo en esta etapa final del logro obtenido.
<b>Mi madrina</b>	Dorita, por que sin su apoyo no hubiera logrado muchos de mis triunfos, incluyendo este.
<b>Mis hermanos</b>	Mario y Gerber, por haber sido mi apoyo en momentos difíciles y por las obras que dejaron y dejarán en mi corazón.
<b>Mis amigos</b>	Por nuestra amistad sincera y los buenos momentos que hemos compartido.

**Inga. Vivian de  
Castañeda**

Por su apoyo durante este proyecto de graduación

**Ing. Elder Chupina**

Por su colaboración, consejos, apoyo y tiempo dedicado en este proyecto.

**Ing. César García**

Por su apoyo con este proyecto.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Especialmente a la Facultad de Ingeniería y Escuela de Ingeniería Química.

## **ACTO QUE DEDICO A**

<b>Dios</b>	Por ser mi guía en todo este camino y haberme permitido cumplir este sueño.
<b>Mis padres</b>	Aura Stella López y Mario Pérez Castillo
<b>Mi abuelita</b>	Nicolasa López Ramírez
<b>Mi esposa</b>	Gloria de Pérez
<b>Mi hija</b>	Fabiola Pérez
<b>Mi madrina</b>	Dorita NG
<b>Mis hermanos</b>	Mario Pérez y Gerber Maldonado
<b>Mis amigos</b>	Ludwing, Kevin, Jose David, Luis Felipe, Ely, Walter, Franty, Jacobo, Fernando, Crista, Nora, Ingrid y Etelvina y todos los que sin ser nombrados, saben el lugar que ocupan en mi vida.
<b>Ingenieros</b>	Vivian de Castañeda, Elder Chupina, César García, por su colaboración en esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
ANTECEDENTES.....	1
1. JABONES DE PAILA.....	5
2. SAPONIFICACIÓN.....	7
2.1 Con Agua: Hidrólisis.....	7
2.2 Tablas de saponificación.....	8
3. CINÉTICA QUÍMICA DE LA REACCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DEL JABÓN.....	9
4. CRISTALIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE GRASAS Y ACEITES...	11
5. ADITIVOS ESTABILIZADORES DEL CUERPO Y CONSISTENCIA (SILICATO DE SODIO).....	13
5.1 Tixotropía de los silicatos.....	13
5.2 Higroscopicidad del Silicato de Sodio.....	13

5.3	Propiedades químicas del silicato de sodio.....	14
5.3.1	Viscosidad.....	14
5.3.2	pH.....	14
5.3.3	Análisis fisicoquímicos.....	15
5.3.4	Almacenamiento.....	15
5.4	Interacción con compuestos orgánicos.....	16
<b>6.</b>	<b>ELABORACIÓN DEL PROCESO DEL JABÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>MERCADO DEL JABÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>8.</b>	<b>INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.....</b>	<b>21</b>
8.1	La evaluación de la consistencia en función de la penetración..	21
<b>9.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>23</b>
9.1	Variables.....	23
9.2	Delimitación del campo de estudio.....	23
9.3	Recursos humanos disponibles.....	24
9.4	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).	24
9.5	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	24
9.6	Recolección y Ordenamiento de la Información.....	25
9.7	Tabulación, Ordenamiento y Procesamiento de la información.	25
9.8	Análisis estadístico.....	25
<b>10.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>11.</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>45</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
	<b>APÉNDICES.....</b>	<b>49</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Procesos de cristalización de grasas.	12
2	Proceso de elaboración del jabón.	17
3	Penetrómetro de masas.	24
4	Penetrometría del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	27
5	Humedad del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	28
6	Alcalinidad total del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	28
7	Alcalinidad activa del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	29
8	Solubilidad en agua del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	29
9	Solubilidad en alcohol del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	30
10	pH del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.	30
11	Penetrometría del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	32

12	Humedad del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	33
13	Alcalinidad total del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	33
14	Alcalinidad activa del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	34
15	Solubilidad en agua del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	34
16	Solubilidad en alcohol del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	35
17	pH del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.	35

## TABLAS

I	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.	27
II	Análisis de varianza entre concentraciones y propiedades del jabón de paila.	31
III	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en crutcher.	32
IV	Análisis de varianza entre concentraciones y propiedades del jabón de paila en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en crutcher.	36
V	Datos de humedad y penetrometría de monitoreo, obtenidos durante el proceso de fabricación de jabón.	53

VI	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.	53
VII	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.01 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.	54
VIII	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.	54
IX	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.09 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.	55
X	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.	55
XI	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.01 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.	56
XII	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.	56
XIII	Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.	57
XIV	Datos para análisis de varianza de los resultados fisicoquímicos obtenidos de las pruebas de la adición de silicato de sodio alcalino en las etapas de crutcher y post adición.	57

XV	Datos para análisis de varianza de los resultados fisicoquímicos obtenidos de las pruebas de la adición de silicato de sodio alcalino en la etapa de crutcher.	58
----	--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Concentración de Silicato de Sodio Alcalino
<b>F</b>	Significancia
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>NaOH</b>	Hidróxido de Sodio
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Ácido oleico</b>	Grasa monoinsaturada típica de los aceites vegetales.
<b>Alcalino</b>	Se le denomina a todo material que tiene un solo electrón en su nivel energético más externo con tendencia a perderlo.
<b>Atomización</b>	Acción mediante la cual se pulveriza o se dispersa un líquido físicamente.
<b>Consistencia</b>	Cohesión entre partículas de una masa.
<b>Crutcher</b>	Reactor de agitación para mezcla de grasas.
<b>Estereoquímica</b>	Parte de la química que toma como base el estudio de la disposición espacial de los átomos que componen las moléculas y el cómo afecta esto a las propiedades y reactividad de dichas moléculas.
<b>Esterificación</b>	Proceso mediante el cual se esterifica un éster.

<b>Fragancia</b>	Olor suave y delicioso que se utiliza para aromatizar sustancias.
<b>Hidrólisis</b>	Reacción química del agua con una sustancia en la cual se forman los iones hidronio e hidroxilo.
<b>Hidrómetro</b>	Instrumento que determina el caudal, velocidad, fuerza y peso específico de los líquidos.
<b>Higroscopicidad</b>	Capacidad de los materiales a absorber la humedad atmosférica.
<b>Insolubilidad</b>	Que no puede disolverse o diluirse.
<b>Maleabilidad</b>	Propiedad de algunos materiales de poder ser descompuestos en láminas o extendidos.
<b>Miscible</b>	Materia que puede ser mezclada con otra.
<b>Paila</b>	Recipiente grande de metal, redonda y poco profunda.
<b>Penetrometría</b>	Método a través del cual se mide el grado de dureza de un cuerpo.

<b>Perfume</b>	Sustancia líquida o sólida, elaborada para que desprenda un olor agradable.
<b>Ph</b>	Símbolo correspondiente a la escala de valorización de la acidez y la alcalinidad de una solución.
<b>Polimórfico</b>	Que se presenta bajo varias formas moleculares.
<b>Reacción bimolecular</b>	Reacción en la cual dos especies reaccionan en una única etapa.
<b>Saponificación</b>	Reacción química entre un lípido y una base en la que se obtiene la sal de la base y del ácido.
<b>Silicato</b>	Compuesto formado por silicio y oxígeno.
<b>Surfactante</b>	Agente activo de superficie. Una sustancia que en virtud de sus propiedades anfífilas es capaz de actuar en la superficie de un líquido o en la interfase entre dos líquidos reduciendo la tensión superficial y mejorando su miscibilidad.
<b>Talco</b>	Mineral silicato de magnesio, suave al tacto, de color verde claro, blanco o gris y brillo perlado.

<b>Tensoactivo</b>	Compuesto que altera la tensión superficial de un líquido.
<b>Titulación volumétrica</b>	Método de valoración de la concentración de un líquido a través de las medidas de volumen.
<b>Tixotropía</b>	Propiedad de los fluidos no newtonianos y pseudoplásticos que muestran un cambio dependiente del tiempo en su viscosidad.
<b>Triglicéridos</b>	Ésteres con tres moléculas de ácidos grasos.
<b>Viscosidad</b>	Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales

## RESUMEN

El propósito principal de este trabajo fue mejorar la consistencia en un jabón de paila a través del aditivo silicato de sodio alcalino. El estudio se diseñó a partir de la teoría de cristalización de grasas y de la propiedad de cristalización del silicato de sodio alcalino a temperaturas normales, el cual, al realizar pruebas en planta incorporándolo en varios puntos del proceso y a diferentes concentraciones se lograron obtener muestras de jabón, las cuales se analizaron posteriormente.

Respetando la cuarentena establecida para jabones, se procedió a analizar cada una de las muestras, siendo la principal variable medida la penetrometría, método que nos indicó el grado de dureza (consistencia) que tuvo cada una, reflejando la mejora en la consistencia dentro de los límites de especificación. Así mismo, se analizaron las variables de alcalinidad, humedad, solubilidad y pH confirmando que no hubo ningún efecto secundario desfavorable en cuanto a funcionalidad del jabón y realizando análisis estadístico se determinó la dependencia entre variables.

## ABSTRACT

The main purpose of this study was to improve the consistency in a soap through alkaline sodium silicate additive. The study was designed from the theory of crystallization of fat and property of crystallization of alkaline sodium silicate at normal temperatures, as a result of incorporating plant testing at different points in the process: in addition Crutcher and post (option 1 ) and only in Crutcher (option 2) and in different concentrations; we obtained several samples which were analyzed later.

According to the quarantine established to soaps, we proceeded to analyze each of the samples, the main variable measure was the penetrometer, method which showed us the degree of hardness (consistency) that had each of the soups reflecting the improvement in the consistency within the specification limits, finding the most consistent point at a penetrometer of 1.4 mm at a concentration of 1.03 over the original when it was added on Crutcher. When testing addition in addition Crutcher and post; the best penetrometer was 1.42 mm at a concentration of 1.01 on the original concentration, confirming that the higher points of addition provides a better incorporation of silicate and optimizing its function and hardener. Also, the variables were analyzed for alkalinity, moisture, solubility and pH, confirming that there were no adverse side effects in terms of the functionality of the soap and through the statistical analysis we determined the dependence between variables.

## OBJETIVOS

### GENERAL:

Optimizar la consistencia de jabones de paila mediante el proceso de acondicionamiento por adición de silicato de sodio.

### ESPECIFÍCOS:

1. Evaluar jabón producido y refinado con base a las características funcionales propias de los jabones de paila.
2. Evaluar fórmulas de jabones con tres concentraciones diferentes de silicato de sodio.
3. Determinar el aumento de la consistencia en función de la adición de silicato de sodio sin afectar las características funcionales propias de los jabones de paila.
4. Evaluar estadísticamente los resultados encontrados a través de un análisis de varianza.



## HIPÓTESIS

La consistencia de un jabón de paila puede ser afectado por la calidad de las materias primas, por su formulación, por controles de proceso o por degradación del mismo,

El empaquetamiento molecular realizado durante el proceso de fabricación puede contribuir al aumento de consistencia incorporando un aditivo que no afecte las propiedades funcionales del jabón, características que se pueden encontrar en el silicato de sodio.

La consistencia del jabón puede aumentar directamente proporcional a la cantidad de silicato de sodio incorporado durante su proceso de manufactura, buscando un punto de equilibrio para que las características principales de un jabón no se pierdan.

La medición de la consistencia se puede medir a través de un penetrómetro de masas. Para los puntos de aplicación dentro del proceso de fabricación no existe un parámetro rígido, queda a criterio de diseño de proceso, por lo que también pueden existir innovaciones de proceso para mejorar rendimientos.



## INTRODUCCIÓN

El nivel de competencia mercadológico en la rama de los productos de limpieza del hogar se ha incrementado con el avance y mejora continua de formulaciones innovadoras.

El papel del Ingeniero Químico en este tema es esencial, principalmente en la parte de innovación industrial como en procesos de formulaciones, logrando de tal manera que se pueda involucrar un tema de estudio de análisis y de mejora.

Una buena consistencia en los jabones hace que no se deteriore al momento de almacenarlo y transportarlo para reflejar un buen aspecto al consumidor final.

El presente proyecto de investigación detalla cómo aumentar la consistencia de los jabones de paila a partir del aumento en los porcentajes de silicato de sodio, siendo un objetivo principal el aumento del nivel de competitividad en el mercado.



## ANTECEDENTES

La ciencia de hacer jabones se remonta al tiempo de los antiguos romanos. Originalmente comprendía la hidrólisis de una grasa o aceite con un álcali acuosos, el cual regularmente era una mezcla de carbonato de potasio e hidróxido de potasio obtenida a partir de la lixiviación de las cenizas de la madera con agua. Sin embargo, estas mezclas con sales de potasio presentaban baja consistencia.

La fabricación de jabones era un arte establecido en Europa para el siglo XVII. Los gremios de los fabricantes de jabón guardaban sus secretos cuidadosamente. Los aceites vegetales y animales eran utilizados con cenizas de plantas, junto con la fragancia.<sup>1</sup> Gradualmente más variedades de jabón se volvían disponibles para afeitarse y lavarse, así como también para bañarse y lavar ropa.

Un paso grande en la escala de la fabricación de jabón comercial ocurrió en 1791 cuando un químico francés, Nicholas Leblanc, patentó un proceso para la fabricación de cenizas de soda o carbonato de sodio, de la sal común. La ceniza de soda es el álcali obtenido de cenizas que se combinan con la grasa para formar jabón. El proceso de Leblanc rindió cantidades de buena calidad, y ceniza de soda barata.

---

<sup>1</sup> Wingrove, Alan y Caret Robert. **Química Orgánica**. México: Oxford University Press, 1981. 1249 pp

La ciencia de una fabricación moderna de jabón nació 20 años más tarde con el descubrimiento de Michel Eugene Chevreul, otro químico francés, de la naturaleza química y relación de grasas, glicerina y ácidos grasos. Sus estudios establecieron las bases para la química de la grasa y el jabón.

El contenido de carbono de las sales de ácido graso gobierna la solubilidad de un jabón. Las sales de ácido de menor peso molecular (hasta C12) presentan una mayor solubilidad en el agua y dan lugar a una espuma con grandes burbujas. Las sales de potasio y los ácidos (C14 a C20) son más solubles en agua que las sales de sodio correspondientes.

Las tendencias de mejoras de productos de los últimos años, se enfocan principalmente en la satisfacción del cliente, por lo que las características de funcionalidad, precio y apariencia de un jabón han sido los retos más importantes para la competencia del mercado.

El color, el olor, la consistencia y la residualidad de partículas en la ropa han sido las principales críticas de los consumidores del jabón hacia este producto. Las primeras dos características mencionadas van directamente de ingredientes en cuyas mejoras se involucra directamente el proveedor, mejorando como materia prima. La consistencia y la residualidad requiere mejora en formulación o proceso.

Se han encontrado insatisfacciones de clientes por jabón que se deforma en el proceso de distribución y luego de determinado tiempo de almacenaje, incluso en jabón que durante el uso se deforma afectando el tiempo de vida útil del mismo, lo cual genera desagrado de un producto.

Existen controles que monitorean que la consistencia durante el proceso de fabricación, pero al llegar al límite de control de proceso y no encontrar una mejora en la consistencia conllevan a una generación de problemas que afectan al cliente.



## 1. JABONES DE PAILA

Los jabones son sales alcalinas de ácidos grasos que poseen la combinación necesaria de propiedades surfactantes y de consistencia que optimizan la acción de lavado. Las materias primas son ácidos grasos y álcalis de sodio y/o potasio así como el agua, realizando la función de medio de reacción.

Los jabones, derivados de las grasas y aceites naturales, son los agentes tensoactivos clásicos. Las materias primas más importantes para fabricar jabón son los sebos, y el aceite de coco. Si es preciso, los aceites pueden tratarse antes de la saponificación, por ejemplo, decolorarse con tierra blanqueadoras para eliminar impurezas coloreadas o, en el caso de aceites con un elevado contenido en triglicéridos no saturados, hidrogenarse parcialmente para mejorar el color y la estabilidad.

Los ácidos grasos más comúnmente utilizados son aquellos cuya cadena de carbonos se encuentra entre los 8 y los 22 carbonos para los jabones comerciales. Las grasas y aceites naturales son mezclas de triglicéridos, es decir, glicerina esterificada con ácidos grasos.



## 2. SAPONIFICACIÓN

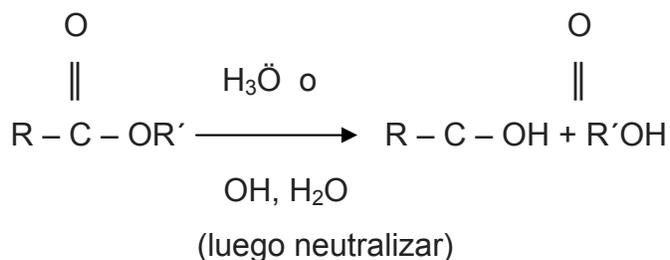
En términos muy sencillos, podríamos definir la saponificación como el proceso químico que convierte la grasa o el aceite y la soda, en jabón.

Los jabones son las sales de estas grasas o aceites que se producen con álcali, normalmente, el álcali es imprescindible para que se produzca esa reacción, los álcalis más utilizados en la fabricación del jabón son la soda (hidróxido sódico, NaOH) y la potasa (hidróxido potásico, KOH). Los jabones compuestos de sales sódicas son duros mientras que los jabones compuestos de sales potásicas son blandos, aun así los jabones dependen de la calidad de los demás materiales para lograr una buena consistencia.

Los ésteres generalmente reaccionan mediante el mecanismo de sustitución acil-nucleofílica.

### 2.1 Con agua: Hidrólisis

La reacción entre un ácido y un alcohol produce un éster y agua. La reacción contraria es la que un éster reacciona con agua. La reacción de hidrólisis de ésteres puede llevarse a cabo ya sea con condiciones ácidas o básicas; la principal diferencia consiste en que en ácido la reacción es reversible, mientras que en base no.



La hidrólisis de los ésteres en condiciones básicas es mucho más rápida que en agua. La reacción se denomina *promovida por base*. La base no es un catalizador ya que de hecho se consume en el proceso de la reacción. La hidrólisis de ésteres en condiciones básicas suele conocerse como saponificación (del latín *sapo*, jabón), término que se originó en relación con la fabricación del jabón.<sup>2</sup>

## 2.2 Tablas de saponificación

Las tablas de saponificación son tablas que recogen, como su nombre indica, los índices de saponificación de cada tipo de grasa. En general, su aplicación más extendida en el campo de la jabonería, es para conocer la cantidad exacta de soda, dependiendo del tipo de aceite que vayamos a utilizar, necesaria para que el jabón resultante esté completamente saponificado. En química, se define el índice de saponificación de una grasa, como el número que indica la cantidad en miligramos de hidróxido potásico, necesaria para saponificar por completo un gramo de esa grasa en concreto.

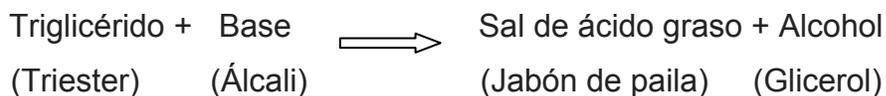
---

<sup>2</sup> Wingrove, Alan y Caret Robert. **Química Orgánica**. México: Oxford University Press, 1981. 1103 pp

### 3. CINÉTICA QUÍMICA DE LA REACCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DEL JABÓN

El término jabón se aplica a las sales de sodio o potasio de varios ácidos grasos.

La reacción básica se puede definir de la siguiente manera:



La velocidad a la que se realiza este proceso va a depender únicamente de la concentración de la base en el medio de reacción

La cinética química de la reacción promovida por base es una reacción bimolecular, cuya velocidad depende de la concentración del triéster y de la base:

$$r = k [\text{triester}] [\text{álcali}]$$

Donde  $k$  = constante de velocidad



## 4. CRISTALIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

Las propiedades polimórficas de las grasas en las aplicaciones prácticas están determinadas por múltiples factores, siendo éstos las interacciones de los triglicéridos entre los diferentes componentes en cada materia grasa, las interacciones moleculares de cada componente que influyen en la cristalización, la transformación bajo diversas condiciones externas (en particular, la variación de la temperatura), las interacciones entre los otros ingredientes, como componentes secundarios, emulgentes, etc.

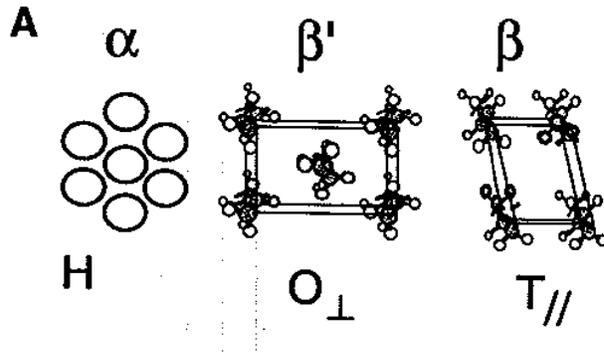
Existen tres formas principales presentadas en las grasas y/o aceites basándose en las sub estructuras celulares, que definen la sección transversal de los modos de empaquetamiento de cadena. La cadena de la estructura produce una secuencia repetitiva involucrando en cada unidad de las células, a lo largo de la cadena sobre un mismo eje.

Tres procesos están implicados durante la cristalización: la fase nuclearia (fase sólida de formación), la cristalización (crecimiento de cristales), y la maduración de cristal (cristal de la perfección), las cuales dependen directamente de la temperatura.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Widlak Neil y otros. **Crystallization and Solidification Properties of Lipid**. Illinois: AOCS Press, 2004. 3pp.

Figura 1. Procesos de cristalización de grasas



Fuente: Neil Widlack, Crystallization and Solidification Properties of Lipid, pág. 2

La elasticidad en una mezcla de grasas es influenciada no sólo por la cantidad y la distribución espacial de la red en masa, sino también por las propiedades de partículas, incluyendo el tamaño, forma, propiedades mecánicas y las interacciones de partículas. Existe una relación entre el módulo de elasticidad en función la cantidad de material sólido en una red global, se debe tener en cuenta propiedades de otras partículas basándose en su distribución espacial dentro de la red aceptando agentes que intervengan entre la fase de cristalización los cuales pueden ocupar los espacios vacíos, aportando el empaquetamiento de los cristales.

## **5. ADITIVOS ESTABILIZADORES DEL CUERPO Y CONSISTENCIA (SILICATO DE SODIO)**

### **5.1 Tixotropía de los silicatos**

Los silicatos de sodio reaccionan con compuestos ácidos. Cuando las soluciones de concentraciones relativamente alta se acidifican, los aniones de silicato soluble se polimerizan hasta formar un “gel”. Cuando se acidifican sílices disueltos de concentraciones relativamente diluidas se pueden formar “soles” activados.

El grado de polimerización de los aniones de las soluciones de silicato de sodio depende de la concentración de la solución, temperatura pH y otros factores. Al incorporarlo en las mezclas de grasas ocupa los espacios vacíos formados durante la fase de cristalización, de esta forma el empaquetamiento es mayor, reduciendo así la elasticidad y aumenta la consistencia.

### **5.2 Higroscopicidad del silicato de sodio**

El silicato de sodio es de baja higroscopicidad y ha sido uno de los componentes fundamentales en la elaboración de jabones y detergentes. En los jabones se aprovechan sus propiedades como tensoactivo, inhibidor de la corrosión y ayudante de secado.

### 5.3 Propiedades químicas del silicato de sodio

Los silicatos de sodio líquido son soluciones en agua manufacturadas a partir de proporciones variadas de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Dependiendo de su composición dan un amplio rango de propiedades físicas y químicas. Además de los silicatos de sodio líquidos. Los silicatos de sodio se producen fundiendo a altas temperaturas, carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) con arena sílice especialmente seleccionada. El pKa del ácido silícico tiene un valor de 9.7 a  $25^\circ\text{C}$  por lo tanto no reacciona totalmente con agua.<sup>4</sup>

#### 5.3.1 Viscosidad

La viscosidad es una propiedad física importante de las soluciones de silicato soluble. Desde el punto estándar de aplicaciones la viscosidad de las soluciones de silicato de sodio es una función de la relación, concentración y temperatura. La comparación de viscosidades de soluciones de silicato de sodio de varias relaciones, muestra que las viscosidades de soluciones más silíceas (relación más alta) aumentan más rápidamente con un incremento en concentración que aquellas de silicatos más alcalinos por lo que la viscosidad de la solución de silicato de sodio es una variable que referirá su concentración sin embargo no es un parámetro necesario para la industria del jabón como lo es la densidad.

#### 5.3.2 pH

El pH de las soluciones de silicato está íntimamente relacionado con la concentración y la relación de peso. El pH decrece cuando se incrementa el contenido de sílice. Análisis potenciométricos con ácidos muestran que el pH

---

<sup>4</sup> Xavier Doménech. **Química Ambiental en Sistemas Terrestres**. México: s.e. s.a. 96 pp

alto de las soluciones de silicato se mantiene hasta que el álcali es completamente neutralizado. La capacidad de amortiguamiento (la habilidad de una solución a resistir cambios en el pH) aumenta cuando se incrementan las proporciones de sílice soluble. Sin embargo, aún las soluciones de silicato diluido mantendrán un pH relativamente constante a pesar de agregar ácido, por lo que al aumentar la concentración se debería mantener constante el nivel de alcalinidad del jabón.

### **5.3.3 Análisis fisicoquímicos**

La densidad de las soluciones de silicato de sodio, se mide generalmente con un hidrómetro. Ya que las soluciones de silicato se expanden cuando se calientan, todas las medidas deben hacerse a 20°C. Los rangos permisibles de la densidad son entre 1.5 y 1.6 g/ml.

### **5.3.4 Almacenamiento**

Las soluciones de silicato de sodio se evaporan lentamente cuando son expuestas al aire, así que los tanques deben estar cerrados pero ventilados. Los tanques deben ser construidos de acero al carbón, hierro o concreto y deben tener espacio suficiente para que un hombre tenga acceso para la inspección y mantenimiento. Si es posible los tanques deben estar localizados en un punto cercano a su lugar de consumo.

#### **5.4 Interacción con compuestos orgánicos.**

Relativamente pocos compuestos orgánicos son compatibles con soluciones de silicato soluble concentrado. Solventes polares sensibles pueden causar una separación de fase o deshidratación. Pocos compuestos como la glicerina son miscibles y algunas veces se usan como humectantes y ayudan a plastificar la película de silicato. El silicato de sodio tiene un carácter hidrofílico, por lo que se deberá tener en cuenta la variable humedad al momento de aumentar la concentración del mismo en la formulación del jabón.





## **7. MERCADO DEL JABÓN**

En actualidad, el jabón es el artículo esencial de los seres humanos. Para un consumidor una buena consistencia denota una alta durabilidad ya que no presentará quebrantamiento ni ablandamiento; para el distribuidor representará mayor tiempo disponible de almacenaje por prolongar su forma original.

Esta consistencia no tiene que afectar las demás características funcionales de lavado de un jabón ni provocar ningún efecto secundario negativo al tener contacto con la ropa y con la piel del consumidor.



## **8. INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

### **8.1 La evaluación de la consistencia en función de la medición de penetración.**

La penetrometría es un método convencional de análisis de consistencia, el penetrómetro estático de punta mecánica uno de los más utilizados en la industria alimentaria (frutas) aplicada en este caso por su forma tridimensional parecida a la de un jabón de paila, sin embargo, no hay normativa aún relacionada para jabones, por lo que se utilizarán estándares en base a las durezas existentes en la actualidad.

Los análisis de penetrometría se realizan en áreas específicas del jabón, las cuales son parte superior, inferior y alrededor del cilindro. Con estas mediciones se obtienen datos que determinan una consistencia baja, aceptable o alta.

Junto con este análisis se realizarán mediciones de alcalinidad, humedad y solubilidad con el objetivo de establecer los efectos en las propiedades funcionales propias del jabón con la mejora en consistencia.



## **9. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **9.1 Variables**

Las variables analizadas fueron las siguientes:

- Concentración de Silicato: cantidad de silicato adicionada al jabón.
- Penetrometría: método para medir la dureza del jabón.
- pH: nivel de acidez del jabón
- Humedad: porcentaje de agua contenida en una porción de jabón.
- Solubilidad: proporción entre la cantidad de masa de jabón contenido en un volumen determinado de agua o alcohol.
- Alcalinidad: proporción de la capacidad de acidoneutralizarse el jabón en una solución acuosa.

### **9.2 Delimitación del campo de estudio**

El estudio experimental se llevó a cabo en una planta de jabones. Se formularon tres tipos de jabón en función de la concentración de Silicato de Sodio con el fin de comparar el aumento en la consistencia, esto a través de los datos de penetrometría evaluados entre diferentes corridas. Así mismo se evaluaron las demás características propias de los jabones a través de la determinación de la alcalinidad total, alcalinidad activa, humedad, pH, solubilidad en agua y alcohol.

### 9.3 Recursos Humanos disponibles

La línea operaron con la cantidad de personal necesario, las muestras fueron tomadas por supervisores de turno y los resultados de los análisis fueron validados por personal del departamento Control de Calidad interno, sin tener conocimiento de la prueba siendo un ejercicio de rutina normal, con esto se garantizó la certeza de los datos.

### 9.4 Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

Dentro de la instrumentación que se utilizaron se mencionan: Balanza analítica, horno, espátula, beackers, hot plate con agitación, agitadores magnéticos, probetas, ampollas de decantación, balón soxlet, condensador de reflujo, erlenmeyer, buretas, termobalanza, kitasato, bomba de vacío y papel filtro.

Figura 3. Penetrómetro de masas



## **9.5 Técnica cualitativa o cuantitativa**

Los métodos a utilizados fueron:

- Análisis de penetrometría en jabones.
- Determinación de materiales solubles en alcohol y agua.
- Determinación de la alcalinidad libre y total en jabones.
- Determinación de humedad por termobalanza.
- Determinación de alcalinidad y pH

## **9.6 Recolección y ordenamiento de la información**

Luego de haber culminado el tiempo de cuarentena, las muestras se analizaron con los métodos indicados. Al tener todos los datos se ordenaron por prueba, punto de adición de silicato y por concentración del mismo.

## **9.7 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

Al tener la información de forma ordenada, se procedió a determinar valores finales y graficar para analizar los comportamientos, así como concluir a cerca de los mismos.

## **9.8 Análisis estadístico**

Se realizaron promedios lineales y análisis de varianza para cada grupo de datos y para las pruebas en sí, llegando a conclusiones expuestas en la sección de resultados.



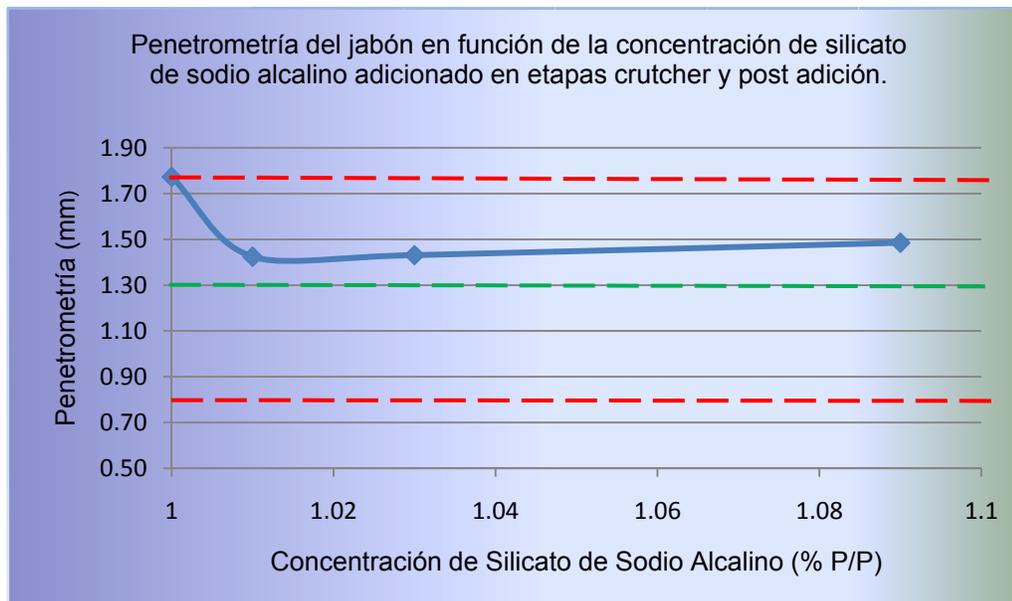
## 10. RESULTADOS

Tabla I. Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Concentración	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (%NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
A	1.77	21.17	0.0718	0.0244	14.188	28.993	10.6
1.01 A	1.42	19.53	0.0678	0.0214	13.749	24.545	10.4
1.03 A	1.43	21.29	0.0638	0.0206	16.802	26.785	10.6
1.09 A	1.49	16.20	0.0563	0.0239	14.774	29.107	10.5

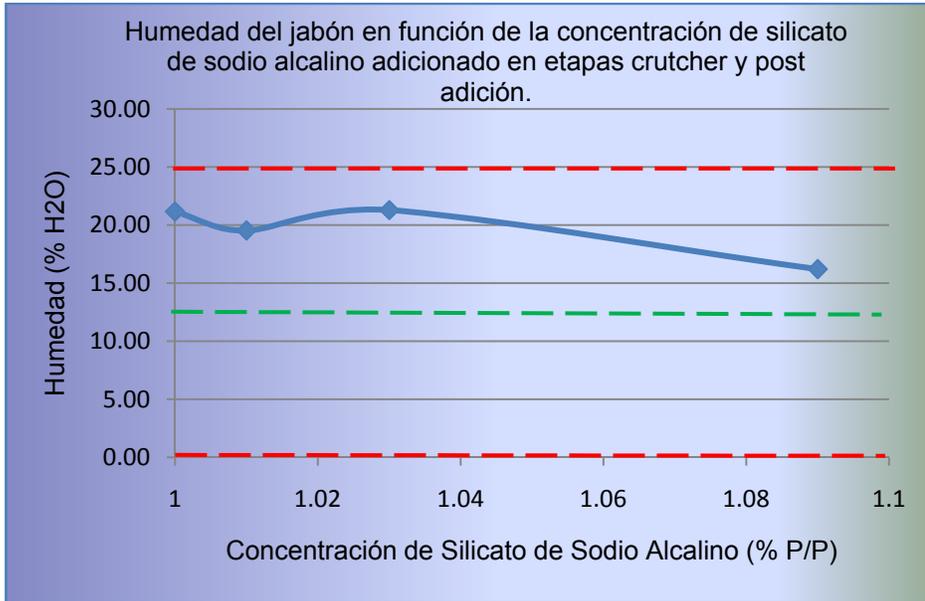
Fuente: Tablas VI a IX del Apéndice C

Figura 4. Penetrometría del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



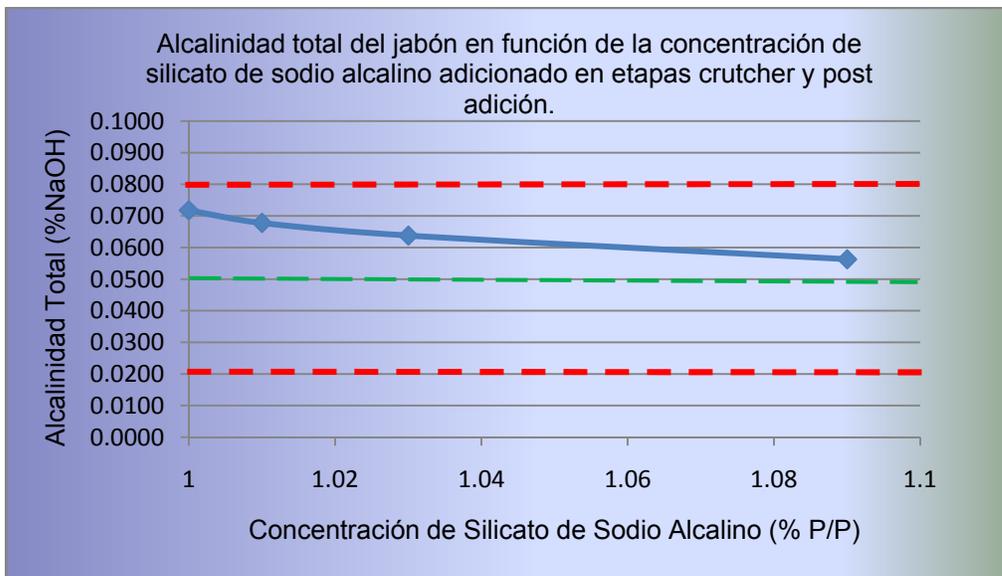
Fuente: Tabla I

Figura 5. Humedad del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



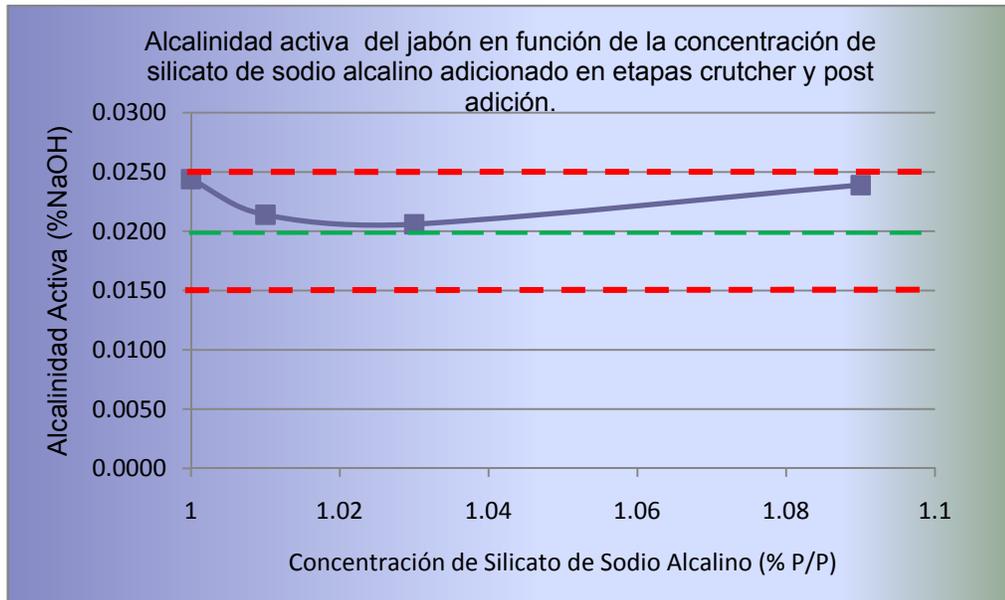
Fuente: Tabla I

Figura 6. Alcalinidad total del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



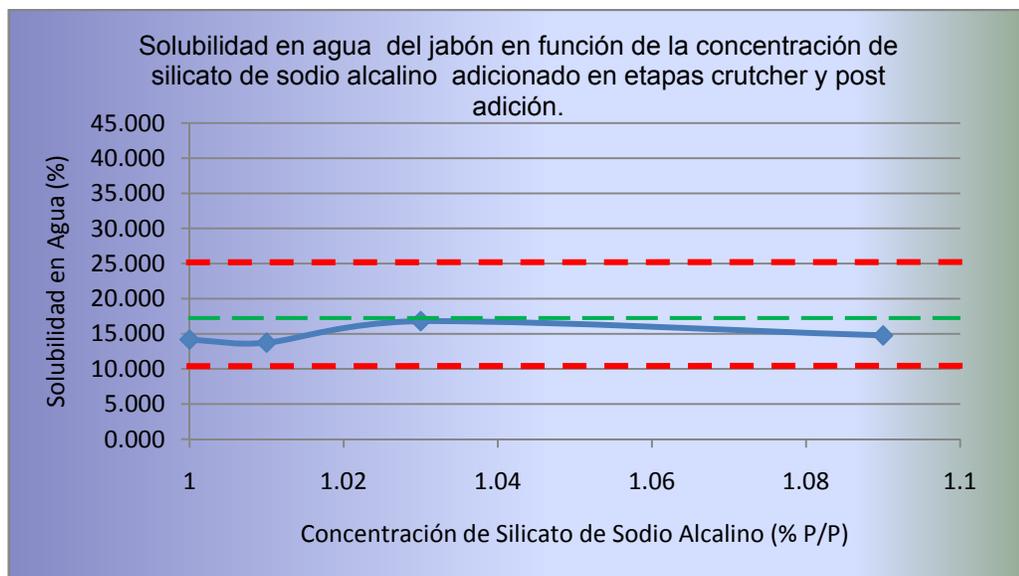
Fuente: Tabla I

Figura 7. Alcalinidad activa del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



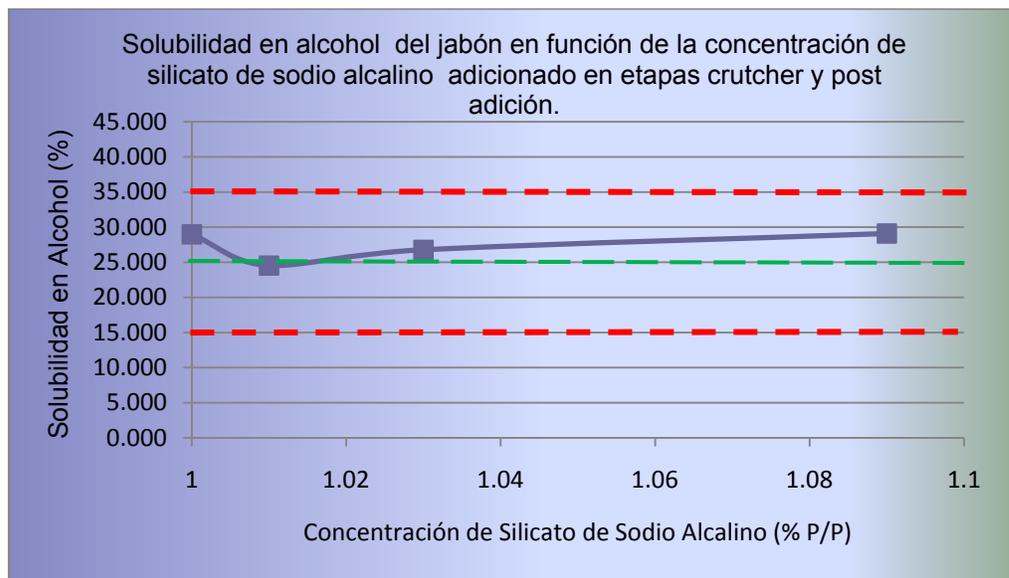
Fuente: Tabla I

Figura 8. Solubilidad en agua del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



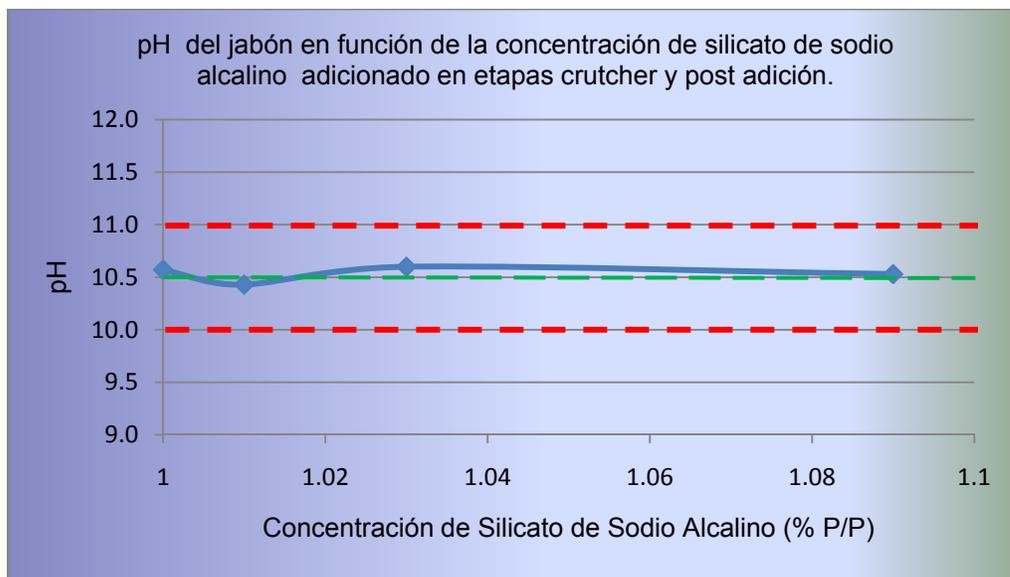
Fuente: Tabla I

Figura 9. Solubilidad en alcohol del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



Fuente: Tabla I

Figura 10. pH del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapas crutcher y post adición.



Fuente: Tabla I

Tabla II. Análisis de varianza entre concentraciones y propiedades del jabón de paila en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	5.42	3	1.81	1.05	0.394674387	3.16
Columnas	2737.36	6	456.23	265.08	1.48346E-16	2.66
Error	30.98	18	1.72			
<b>Total</b>	<b>2773.76</b>	<b>27</b>				

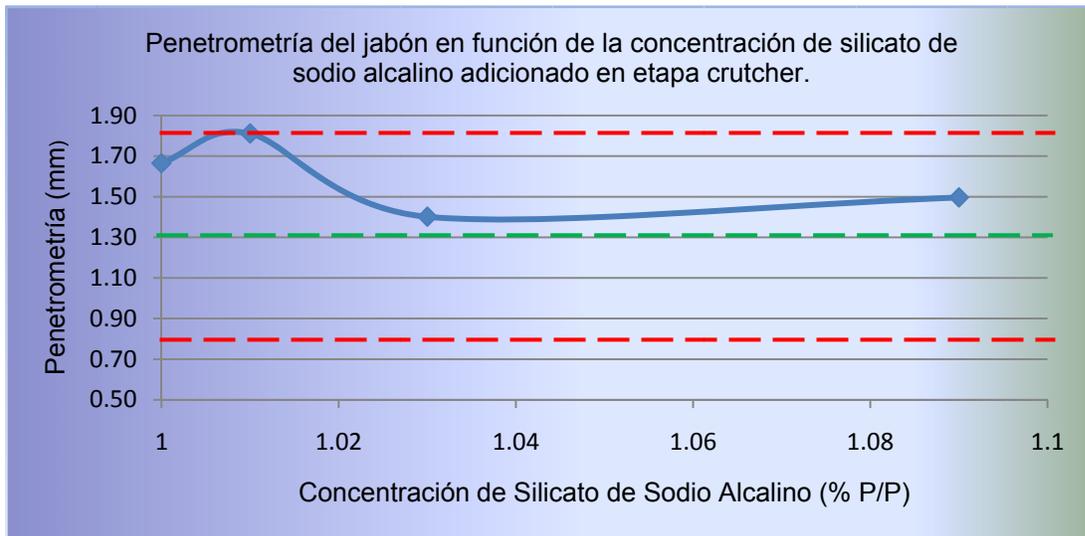
Fuente: Tabla XIV Apéndice C

Tabla III. Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en crutcher.

Concentración	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
A	1.67	22.28	0.0736	0.0239	14.186	28.994	10.6
1.01 A	1.81	20.55	0.0689	0.0213	13.892	26.113	10.4
1.03 A	1.40	21.21	0.0636	0.0212	15.647	24.984	10.4
1.09 A	1.50	17.50	0.0591	0.0233	15.999	27.356	10.5

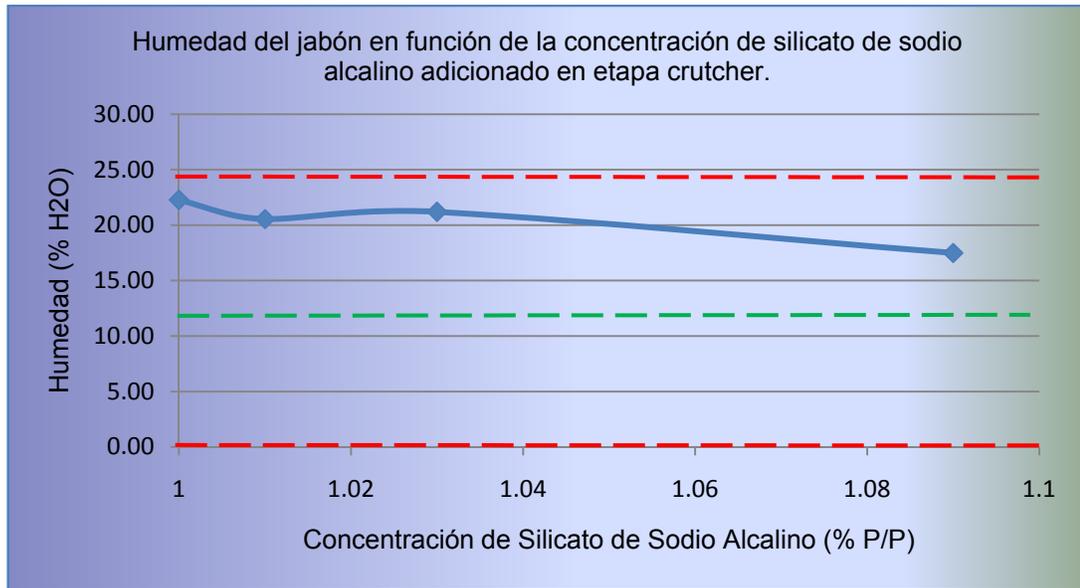
Fuente: Tablas X a XIII Apéndice C

Figura 11. Penetrometría del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



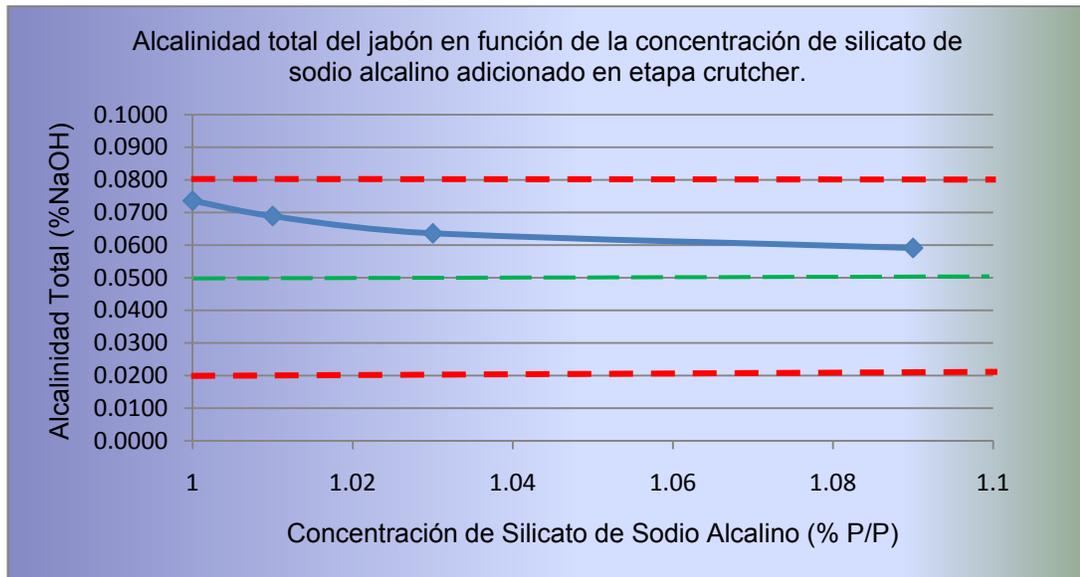
Fuente: Tabla III

Figura 12. Humedad del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



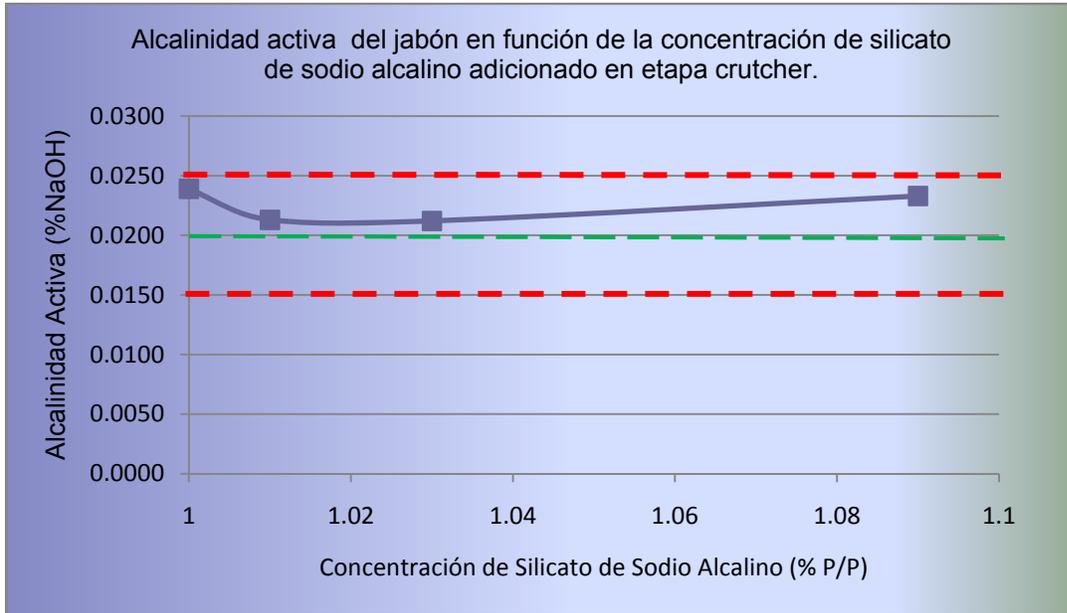
Fuente: Tabla III

Figura 13. Alcalinidad total del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



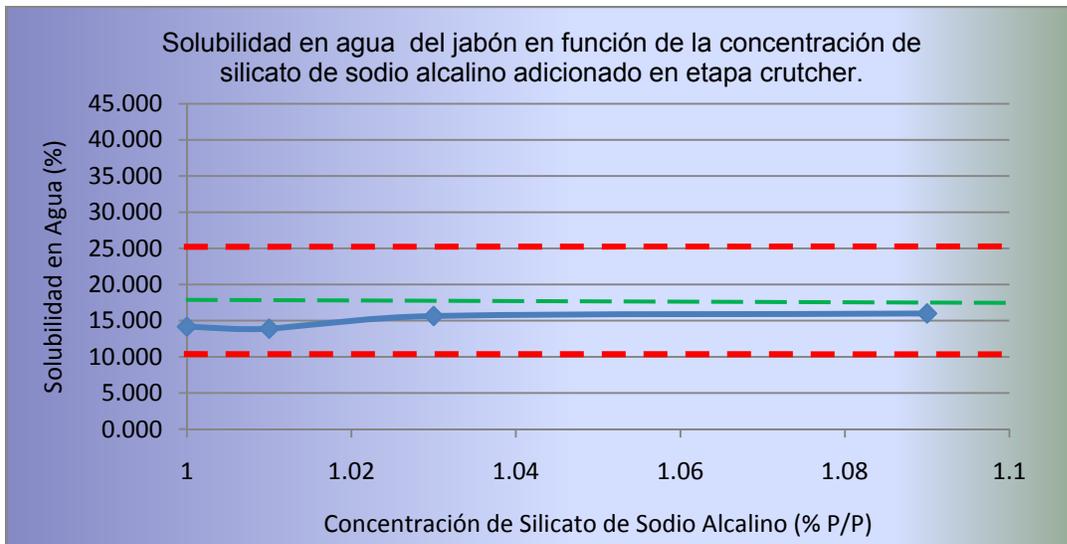
Fuente: Tabla III

Figura 14. Alcalinidad activa del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



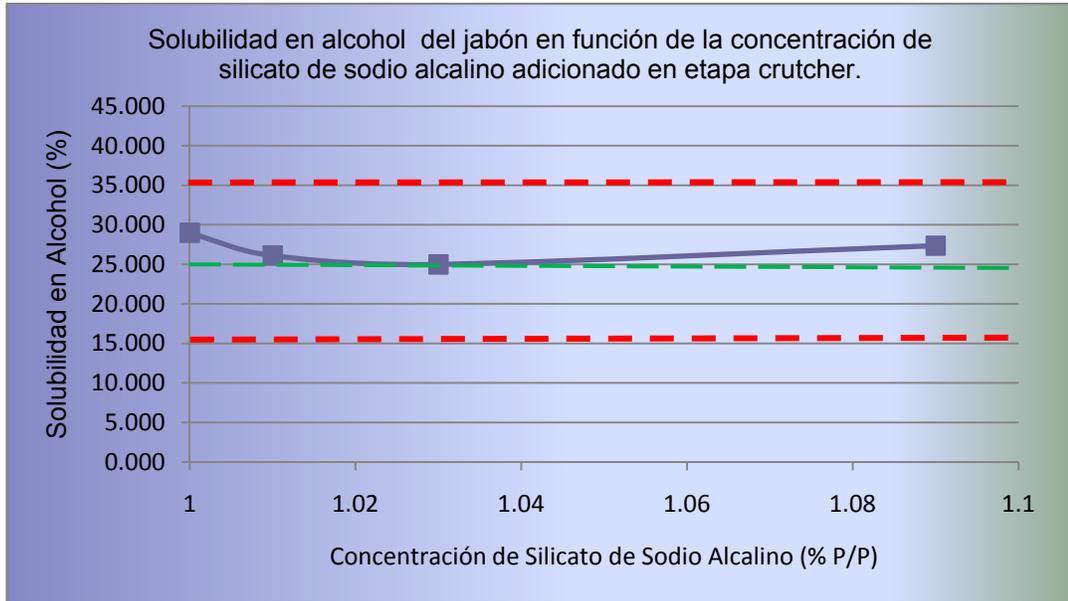
Fuente: Tabla III

Figura 15. Solubilidad en agua del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



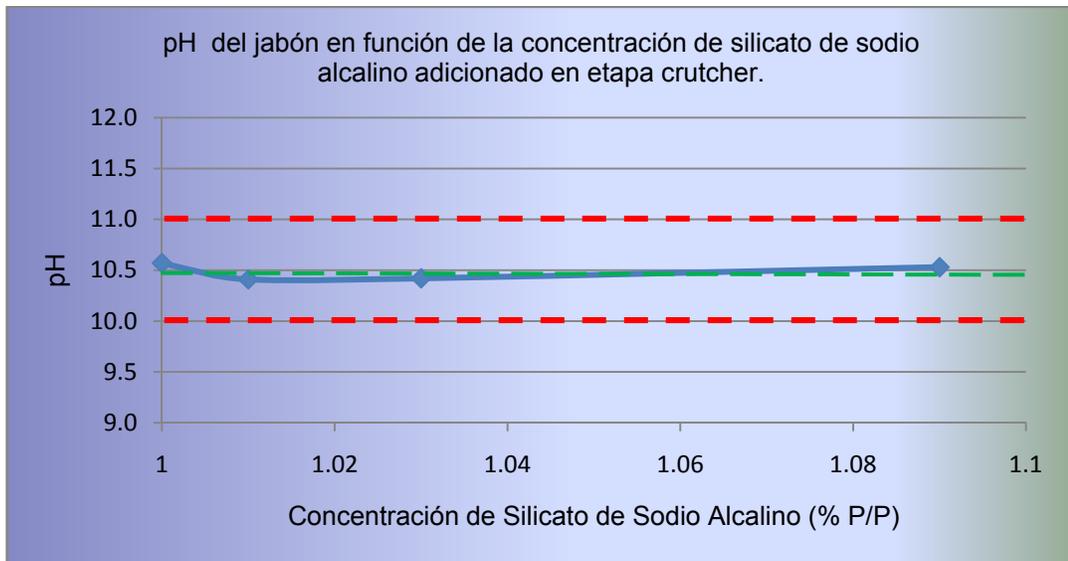
Fuente: Tabla III

Figura 16. Solubilidad en alcohol del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



Fuente: Tabla III

Figura 17. pH del jabón en función de la concentración de silicato de sodio alcalino adicionado en etapa crutcher.



Fuente: Tabla III

Tabla IV. Análisis de varianza entre concentraciones y propiedades del jabón de paila en pruebas de adición de silicato de sodio en manufactura de jabón en crutcher.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	2.34	3	0.78	0.62	0.611037173	3.16
Columnas	2731.66	6	455.28	362.60	9.13966E-18	2.66
Error	22.60	18	1.26			
<b>Total</b>	<b>2756.59</b>	<b>27</b>				

Fuente: Tabla XV Apéndice C

## 11. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las pruebas se realizaron bajo los parámetros de operación normal, con las materias primas dentro de especificaciones aprobadas por control de calidad para la elaboración del jabón de paila. Durante las pruebas se obtuvieron análisis fisicoquímicos para monitorear el proceso de fabricación, lo cual aseguró que las variables de proceso no influyeran de alguna manera en los resultados finales. Se recolectaron las muestras necesarias para llevar a cabo sus análisis respectivos, respetando el tiempo de cuarentena establecido.

Todas las muestras recolectadas se colocaron en estantes a temperatura ambiente durante 30 días, luego de este tiempo se procedió a analizar 10 muestras de cada una de las pruebas siendo los resultados los encontrados en las Tablas I y III de la sección de Resultados.

La primera serie de pruebas se efectuaron a cuatro diferentes concentraciones de silicato de sodio alcalino, incluyendo la concentración normal, adicionando silicato de sodio alcalino en crutcher y en el área de secado (post adición) al mismo tiempo; tal y como lo muestra la Figura 4, la penetrometría tuvo un descenso, la pendiente negativa confirma que efectivamente el aumento en la concentración de silicato de sodio influye en el aumento de la consistencia del jabón, la curva presenta un descenso abrupto y al aumentar la concentración baja hasta una penetrometría de 1.42 mm mas no sobrepasa 1.5mm, siendo una medida mayor a la presentada con la concentración original. Para que sea realmente funcional un aumento de consistencia, no deben afectarse las propiedades de lavado propias del jabón,

por lo que se analizaron al mismo tiempo la humedad, alcalinidad, solubilidad y pH.

La humedad se afectó directamente por la concentración de silicato de sodio (Figura 5), con una pendiente negativa, indicando que son inversamente proporcionales los dos parámetros, se muestran los límites observando que se mantiene dentro. La alcalinidad total refleja un descenso sin embargo se mantiene dentro del rango de especificación (Figura 6), en esta medición se determina la presencia de silicato total, el descenso muestra que hay menos silicato libre en porcentaje, por lo que la incorporación va en aumento. La alcalinidad activa no presenta mayor variación de los límites permisibles, a la cuarta prueba llega al límite superior, mismo punto de la concentración inicial (Figura 7) confirmando que la reacción de saponificación se realizó en su totalidad, y que el control de reacción se mantienen al no haber variación alguna. De ser 0 esta medición indicaría que no hay hidróxido de sodio en exceso por lo que no se llevó a cabo la reacción en su totalidad. La solubilidad en agua se mantuvo dentro de los rangos aceptables al igual que la solubilidad en alcohol (Figuras 8 y 9). El pH no presenta mayor variación manifestando el efecto buffer que ejerce el silicato de sodio; se mantiene entre 10 y 11, intervalo aceptable para el jabón (Figura 10).

En el segundo conjunto de pruebas se realizaron a las mismas cuatro concentraciones de la primera serie, variando el punto de adición en proceso, el silicato de sodio se agregó solamente en crutcher. Nuevamente se comprueba que existe un aumento en la consistencia debido a que se reduce el indicador de penetrometría (Figura 11); se observa un aumento en la penetrometría en el segundo punto, dato no uniforme a los demás obtenidos, el mismo se pudo afectar por baja incorporación a las grasas, lo cual no se refleja al momento de adicionar en más de un punto del proceso. La humedad sigue mostrando un descenso directamente proporcional a la concentración de silicato (Figura 12).

La alcalinidad activa muestra un ligero grado de aumento, menos pronunciado que la primera serie de pruebas. La alcalinidad total muestra un descenso conforme el aumento de la concentración de silicato sin salirse de los rangos permisibles de especificación (Figura 13), mismo caso que en la adición en crutcher y post adición el descenso muestra que hay menos silicato libre (mayor incorporación) . La alcalinidad activa se mantiene dentro de los límites y al igual que la primera serie de datos la tercer concentración se sitúa a la misma alcalinidad que la original (Figura 14). Las solubilidades no presentan mayor variación dentro de los límites (Figuras 15 y 16). El pH se presenta dentro de los límites sin presentar mayor variación entre ellos demostrando nuevamente el efecto buffer del silicato (Figura 17), todos estos puntos favorables para la prueba ya que funcionalmente el jabón no presenta atributo negativo.

La mayor consistencia se logró aumentando un 1% de la concentración fórmula de silicato de sodio, luego de esta concentración existe un descenso leve de consistencia, pero siempre reflejando una mejora en la misma,

La penetrometría demuestra un comportamiento más estable cuando se agrega en dos puntos críticos de proceso, en crutcher y en post adición, lo cual indica que existe una mejor incorporación de silicato, confirmando que al momento de cristalizarse las grasas, el silicato de sodio interaccionó de mejor manera incorporándose dentro de las cadenas estructurales ocupando el espacio de la red en masa y empaquetando de mejor manera los cristales de una manera física, no generando efectos negativos en apariencia de jabón.

Las propiedades químicas de lavado se mantienen dentro de los rangos en los dos casos, sin embargo al igual que la penetrometría, se muestran más uniformes cuando se agrega el silicato en dos puntos del proceso, confirmando de nuevo la buena incorporación del silicato en el jabón de paila.

Se realizó un análisis de varianza en para los dos casos utilizando el programa de Microsoft Excel en la sección de Datos el subgrupo de Análisis de Datos, encontrando, con un nivel de significancia de 5%, que los datos entre propiedades fisicoquímicas tienen dependencia entre variables, significa que la concentración de silicato de sodio alcalino en conjunto con las demás características propias del jabón sí dependen unas de otras.

## CONCLUSIONES

1. Con base al estudio realizado de las concentraciones de silicato de sodio alcalino en el jabón de paila, evaluadas tanto para la etapa crutcher como crutcher y post adición, reflejaron un efecto positivo en la consistencia mejorada dentro de la especificación de penetración.
2. La adición de silicato de sodio alcalino dentro de las concentraciones estudiadas resuelve el problema de baja consistencia, tanto en crutcher como en crutcher y post adición sin dejar efectos colaterales en las características funcionales del jabón de paila.
3. Las variables fisicoquímicas evaluadas: humedad, alcalinidad, solubilidad y pH, de los jabones de paila tienen dependencia entre sí, a partir de la concentración de silicato de sodio alcalino.



## RECOMENDACIONES

1. Para confirmar que las modificaciones en la concentración de silicato de sodio no afectan la efectividad funcional del jabón, se debería hacer un estudio de mercado con muestras aleatorias a una población de consumidores, estableciendo que no hay ninguna característica negativa que se pueda percibir desde apariencias hasta funcionalidades.
2. Realizar un estudio de análisis de costo beneficio, para que encontrando el punto óptimo de mejora en la consistencia no se vea afectada la rentabilidad de producción de jabón de paila.
3. Revisar la capacidad del equipo de producción de jabón para reproducir mayores puntos de adición en donde se logren incorporar otros aditivos endurecedores y así establecer si hay mejora en el proceso de empaquetamiento de los cristales de grasas con éstos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wildlak Neil; Hartel, Richard y Narine Suresh. **Crystallization and Solidification Properties of Lipid**. Champaign, Illinois. AOCS Press. 2004. 3-45 pp.
2. Wingrove, Alan S., y Caret, Robert L. **Química Orgánica**. México: Oxford University Press México, S.A. de C.V., 1981. 1101-1106, 1249-1256 pp.
3. Xavier Doménech. **Química Ambiental en Sistemas Terrestres**. México: s.e. s.a. 96 pp



## BIBLIOGRAFÍA

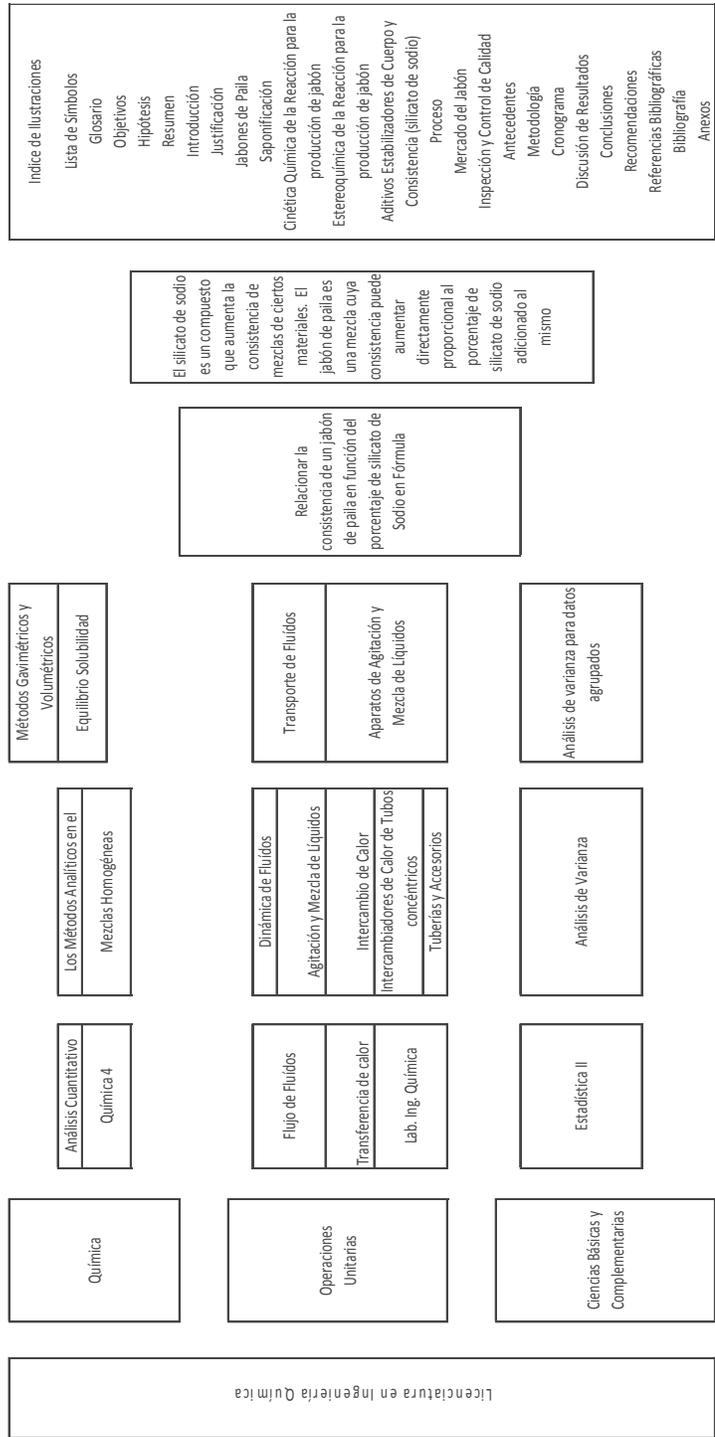
1. Kirk, Raymond y Donald Othmer. **Enciclopedia de tecnología química.** (Volumen 2). México: Editorial Hispanoamericana. 1962. 785 pp.
2. Skoog, Douglas y otros. **Química Analítica.** 2ª ed. México: Editorial McGraw Hill. 1995. 564 pp.
3. Wildlak Neil; Hartel, Richard y Narine Suresh. **Crystallization and Solidification Properties of Lipid.** Champaign, Illinois. AOCS Press. 2004. 3-45 pp.
4. Wingrove, Alan S., y Caret, Robert L. **Química Orgánica.** México: Oxford University Press México, S.A. de C.V., 1981. 1101-1106, 1249-1256 pp.
5. [http://www.12manage.com/methods\\_ishikawa\\_cause\\_effect\\_diagram\\_es.html](http://www.12manage.com/methods_ishikawa_cause_effect_diagram_es.html) (Agosto 2009)
6. [http://www.hrc.es/bioest/Anova\\_6.html](http://www.hrc.es/bioest/Anova_6.html) (Enero 2010)



## APÉNDICE A

### Procedimiento para la elaboración del trabajo de graduación del estudio de la consistencia de los jabones de paila en función de la concentración de aditivo –silicato de sodio alcalino- incorporado en el proceso de fabricación.

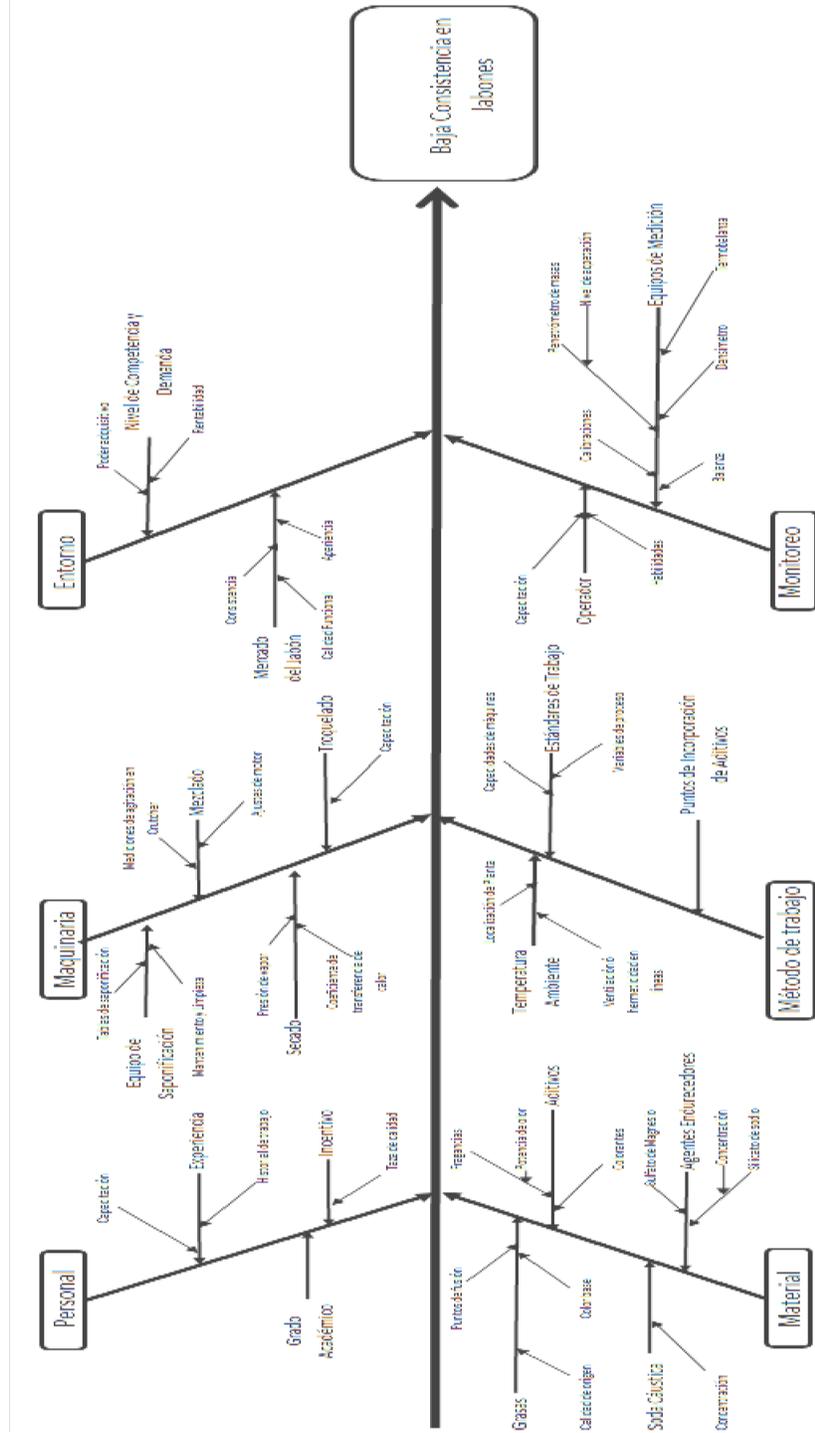
1 er. Paso Carrera	Zóo. Paso Arca	3 er. Paso Tema genérico	4 to. Paso Tema Especifico	5 to. Paso Tema específico	6 to. Paso Problema a resolver	7 mo. Paso Hipótesis	8 vo. Paso Temario Tentativo
-----------------------	-------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-------------------------	---------------------------------





## APÉNDICE B

**Diagrama Ishikawa del estudio de la consistencia de los jabones de paila en función de la concentración de silicato de sodio en su proceso de fabricación.**





## APÉNDICE C

Tabla V Datos de humedad y penetrometría de monitoreo, obtenidos durante el proceso de fabricación de jabón.

ADICIÓN DE SILICATO					
SILICATO EN CRUTCHER	SILICATO EN SECADO O POST ADICIÓN	TOTAL	%	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Penetrometría (mm)
A	0	A	A	31.16	2.08
0.70A	0.30A	A		30.79	2.22
1.01A	0	1.01A	1.01A	31.14	2.43
0.707A	0.303A	1.01A		30.17	2.05
1.03A	0	1.03A	1.03A	29.34	3.12
0.74A	0.29A	1.03A		28.81	2.87
1.09A	0	1.09A	1.09A	29.45	2.20
0.82A	0.27A	1.09A		30.39	2.20

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla VI Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	2.27	20.98	0.064	0.016	16.30	24.80	10.70
2	1.68	23.01	0.075	0.031	15.34	29.91	10.80
3	1.71	20.19	0.075	0.029	13.48	29.68	10.80
4	1.57	22.15	0.089	0.025	12.78	29.91	10.50
5	1.62	21.21	0.091	0.024	13.51	28.89	10.60
6	1.65	21.98	0.061	0.017	15.09	29.17	10.30
7	1.53	22.99	0.075	0.021	14.89	29.87	10.90
8	1.87	23.14	0.078	0.028	16.91	28.67	10.40
9	1.00	22.91	0.072	0.032	11.95	29.14	10.40
10	1.75	24.25	0.056	0.016	11.61	29.90	10.30
<b>Promedio</b>	<b>1.67</b>	<b>22.28</b>	<b>0.074</b>	<b>0.024</b>	<b>14.19</b>	<b>28.99</b>	<b>10.57</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla VII Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.01 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	2.15	22.73	0.088	0.032	15.71	27.71	10.8
2	1.98	21.17	0.072	0.025	14.19	27.45	10.9
3	1.77	21.11	0.079	0.027	14.11	25.89	10.6
4	1.87	20.97	0.069	0.023	14.01	26.89	10.6
5	1.56	20.96	0.072	0.024	13.98	28.99	10.7
6	1.65	20.89	0.07	0.023	13.51	29.83	10.5
7	1.51	20.43	0.071	0.024	13.45	29.88	10.4
8	1.57	21.27	0.069	0.028	14.43	29.45	10.4
9	1.77	21.24	0.072	0.022	14.43	29.78	10.4
10	1.90	20.92	0.056	0.016	14.06	34.06	10.4
<b>Promedio</b>	<b>1.77</b>	<b>21.17</b>	<b>0.072</b>	<b>0.024</b>	<b>14.19</b>	<b>28.99</b>	<b>10.57</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla VIII Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.67	20.75	0.056	0.016	12.26	26.76	10.6
2	1.91	20.16	0.071	0.023	13.91	25.98	10.4
3	1.95	22.56	0.089	0.024	13.89	27.45	10.4
4	2.11	23.11	0.093	0.027	13.56	25.67	10.5
5	1.31	20.18	0.087	0.02	13.89	26.67	10.3
6	1.34	19.12	0.065	0.019	13.87	28.08	10.6
7	1.89	19.54	0.067	0.021	13.99	25.16	10.3
8	1.98	20.45	0.057	0.018	13.98	23.17	10.4
9	1.83	20.53	0.040	0.021	13.59	25.21	10.3
10	2.12	19.14	0.064	0.024	15.98	26.98	10.3
<b>Promedio</b>	<b>1.81</b>	<b>20.55</b>	<b>0.069</b>	<b>0.0213</b>	<b>13.89</b>	<b>26.11</b>	<b>10.4</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla IX Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.09 de concentración original en manufactura de jabón en las etapas crutcher y post adición.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.85	21.67	0.072	0.016	8.16	19.16	10.7
2	1.42	20.54	0.068	0.019	13.76	24.55	10.5
3	1.43	19.61	0.068	0.017	13.87	25.61	10.3
4	1.42	18.59	0.068	0.021	13.76	23.54	10.4
5	1.45	19.52	0.061	0.019	13.73	24.55	10.4
6	1.41	19.53	0.067	0.016	13.58	23.45	10.5
7	1.45	19.61	0.071	0.017	13.55	24.55	10.5
8	1.39	19.31	0.071	0.017	13.99	25.55	10.4
9	1.20	17.63	0.060	0.040	18.30	25.30	10.2
10	1.22	19.30	0.072	0.032	14.79	29.19	10.4
<b>Promedio</b>	<b>1.42</b>	<b>19.53</b>	<b>0.068</b>	<b>0.021</b>	<b>13.75</b>	<b>24.55</b>	<b>10.43</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla X Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.20	20.92	0.064	0.016	12.08	25.58	10.6
2	1.26	21.13	0.059	0.024	17.45	26.09	10.6
3	1.65	23.04	0.068	0.024	15.44	24.98	10.5
4	1.21	24.02	0.078	0.021	14.88	24.57	10.3
5	1.40	20.02	0.056	0.022	16.17	24.38	10.4
6	1.48	20.01	0.064	0.017	16.07	24.78	10.3
7	1.41	20.16	0.061	0.019	15.01	25.76	10.4
8	1.40	20.68	0.058	0.021	14.51	24.35	10.4
9	1.45	19.78	0.064	0.024	18.10	24.20	10.4
10	1.55	22.32	0.064	0.024	16.76	25.15	10.3
<b>Promedio</b>	<b>1.40</b>	<b>21.21</b>	<b>0.064</b>	<b>0.021</b>	<b>15.65</b>	<b>24.98</b>	<b>10.4</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla XI Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.01 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.12	20.98	0.064	0.016	16.30	24.80	10.7
2	1.43	21.09	0.071	0.019	16.71	26.79	10.6
3	1.34	22.11	0.064	0.019	16.89	26.71	10.5
4	1.43	21.30	0.043	0.021	16.58	26.72	10.6
5	1.43	21.29	0.071	0.018	16.71	26.78	10.7
6	1.51	21.20	0.064	0.022	16.89	26.79	10.6
7	1.43	21.29	0.064	0.021	16.45	26.79	10.6
8	1.45	21.35	0.069	0.022	17.70	26.89	10.6
9	1.57	20.41	0.056	0.016	15.60	25.40	10.8
10	1.60	21.88	0.072	0.032	18.19	30.18	10.3
<b>Promedio</b>	<b>1.43</b>	<b>21.29</b>	<b>0.064</b>	<b>0.021</b>	<b>16.80</b>	<b>26.79</b>	<b>10.60</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla XII Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.97	19.90	0.064	0.016	11.00	25.00	10.6
2	2.03	19.91	0.067	0.017	15.99	25.98	10.6
3	1.89	18.71	0.089	0.016	16.01	25.98	10.7
4	1.28	18.98	0.059	0.019	16.02	26.89	10.5
5	1.21	19.10	0.071	0.015	16.52	26.99	10.5
6	1.05	14.54	0.063	0.016	15.59	27.89	10.5
7	1.12	15.12	0.069	0.016	15.88	28.75	10.5
8	1.89	16.10	0.061	0.016	15.99	28.99	10.5
9	0.97	17.97	0.024	0.048	15.60	26.30	10.5
10	1.55	14.62	0.024	0.054	21.39	30.79	10.4
<b>Promedio</b>	<b>1.50</b>	<b>17.50</b>	<b>0.059</b>	<b>0.023</b>	<b>16.00</b>	<b>27.36</b>	<b>10.5</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla XIII Resultados en pruebas de adición de silicato de sodio a 1.03 de concentración original en manufactura de jabón en la etapa crutcher.

Corrida	Penetrometría (mm)	Humedad (% H <sub>2</sub> O)	Alcalinidad total (% NaOH)	Alcalinidad Activa (% NaOH)	Solubilidad en Agua (%)	Solubilidad en Alcohol (%)	pH
1	1.95	20.59	0.064	0.032	10.42	25.42	10.8
2	1.49	15.59	0.056	0.024	10.77	29.11	10.5
3	1.49	14.43	0.051	0.026	14.77	29.11	10.3
4	1.41	15.88	0.061	0.021	15.15	29.14	10.3
5	1.35	13.91	0.056	0.024	15.21	29.15	10.6
6	1.11	13.09	0.059	0.026	15.98	29.11	10.8
7	1.14	13.45	0.056	0.022	15.43	29.11	10.8
8	1.34	13.01	0.056	0.024	16.11	29.01	10.4
9	1.27	20.71	0.048	0.024	16.1	28.9	10.5
10	2.30	21.35	0.056	0.016	17.8	33.01	10.3
<b>Promedio</b>	<b>1.49</b>	<b>16.20</b>	<b>0.056</b>	<b>0.024</b>	<b>14.77</b>	<b>29.11</b>	<b>10.53</b>

FUENTE: Resultados laboratorio control de calidad.

Tabla XIV Datos para análisis de varianza de los resultados fisicoquímicos obtenidos de las pruebas de la adición de silicato de sodio alcalino en las etapas de crutcher y post adición

Resumen	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	7	76.79	10.97	127.09
1.01A	7	69.77	9.97	98.07
1.03A	7	76.99	11.00	120.10
1.09A	7	72.18	10.31	116.14
Penetrometría	4	6.11	1.53	0.03
Humedad	4	78.19	19.55	5.62
Alcalinidad total	4	0.26	0.06	0.00
Alcalinidad Activa	4	0.09	0.02	0.00
Solubilidad en Agua	4	59.51	14.88	1.82
Solubilidad en Alcohol	4	109.43	27.36	4.66
Ph	4	42.13	10.53	0.01

Tabla XV Datos para análisis de varianza de los resultados fisicoquímicos obtenidos de las pruebas de la adición de silicato de sodio alcalino en la etapa de crutcher.

Resumen	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	7	77.79	11.11	131.38
1.01 A	7	72.87	10.41	108.40
1.03 A	7	73.74	10.53	108.74
1.09 A	7	72.96	10.42	110.52
Penetrometría	4	6.37	1.59	0.03
Humedad	4	81.54	20.38	4.22
Alcalinidad total	4	0.27	0.07	0.00
Alcalinidad Activa	4	0.09	0.02	0.00
Solubilidad en Agua	4	59.72	14.93	1.10
Solubilidad en Alcohol	4	107.45	26.86	2.96
pH	4	41.93	10.48	0.01