



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
UNIDAD DE POSGRADOS**

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS COSMÉTICAS

Proyecto de investigación y desarrollo
previo a la obtención del Grado
de Magíster en Ciencias y
Tecnologías Cosméticas

**EVALUACIÓN DE MODIFICADORES
REOLÓGICOS EN UNA FORMULACIÓN DE
SHAMPOO COMO ALTERNATIVA AL USO DE
CLORURO DE SODIO**

Autor:

Juan Fernando Gil Pozo

Dirigido por:

Pablo Wilson Arevalo Moscoso, Ph. D.

**EVALUACIÓN DE MODIFICADORES
REOLÓGICOS EN UNA FORMULACIÓN DE
SHAMPOO COMO ALTERNATIVA AL USO
DE CLORURO DE SODIO**

**EVALUACIÓN DE MODIFICADORES
REOLÓGICOS EN UNA FORMULACIÓN DE
SHAMPOO COMO ALTERNATIVA AL USO
DE CLORURO DE SODIO**

AUTOR:

JUAN FERNANDO GIL POZO

Ingeniero Químico

Egresado de la Maestría en Ciencias y Tecnologías Cosméticas

DIRIGIDO POR:

PABLO WILSON AREVALO MOSCOSO, Ph. D.

Ingeniero Químico



GIL POZO JUAN FERNANDO

Evaluación de modificadores reológicos en una formulación de *shampoo* como alternativa al uso de cloruro de sodio.

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2018
MAESTRIA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS COSMETICAS
Formato 170 x 240 mm Páginas: 87

Breve reseña de los autores e información de contacto:

Autor:



GIL POZO JUAN FERNANDO

Ingeniero químico

Egresado de la Maestría en Ciencias y Tecnologías Cosméticas

juanfernandogilp@gmail.com

Dirigido por:



PABLO WILSON AREVALO MOSCOSO, Ph. D.

Ingeniero químico

Docente Universidad Politécnica Salesiana – Cuenca

parevalo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

© 2018 Universidad Politécnica Salesiana

Cuenca – Ecuador

GIL POZO JUAN FERNANDO

EVALUACIÓN DE MODIFICADORES REOLÓGICOS EN UNA FORMULACIÓN DE *SHAMPOO*
COMO ALTERNATIVA AL USO DE CLORURO DE SODIO

IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
DEDICATORIA	XV
PREFACIO	XVI
PRÓLOGO	XVII
AGRADECIMIENTO	XVIII
1. CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación y planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes teóricos	1
1.3 Justificación de la investigación efectuada	3
1.4 Objetivo general	5
1.5 Objetivos específicos	6
1.6 Hipótesis	6
2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO	7
2.1 <i>Shampoo</i>	7
2.1.1 Introducción	7
2.2 Estado del arte	7
2.3 Enfoque teórico	10
2.3.1 <i>Shampoo</i>	10
2.3.1.1 Materias primas del <i>shampoo</i>	10
2.3.1.2 Clasificación de los tensioactivos	11
2.4 Reología del <i>shampoo</i>	13
2.4.1 Fluidos newtonianos	16
2.4.1.1 Unidades de viscosidad	17

2.4.1.2	Espesante con reología newtoniana comúnmente usado en <i>shampoo</i> .	18
2.4.1.2.1	Sales	18
2.4.2	Fluidos no newtonianos	19
2.4.2.1	Independientes del tiempo	19
2.4.2.2	Dependientes del tiempo	20
2.4.2.3	Espesantes con reología no newtoniana comúnmente usados en <i>shampoo</i> .	21
2.4.2.3.1	Alcanolamidas.	21
2.4.2.3.2	Cocamide DEA	22
2.4.2.3.3	Polietilenglicol modificado	22
2.4.2.3.4	Celulosa.	24
2.4.2.3.5	Espesantes a base de ácido acrílico	25
2.4.2.3.6	Espesantes, gomas naturales y arcilla	25
2.5	Métodos para determinar la viscosidad	26
2.5.1	Viscosímetro Engler	26
2.5.2	Viscosímetro de Ostwald	27
2.5.3	Viscosímetro de rotatorio.	27
2.5.4	Viscosímetro de caída de bola.	28
2.6	Espuma	29
2.7	Seguridad del <i>shampoo</i>	29
2.8	Estabilidad del <i>shampoo</i>	30
2.8.1	Factores extrínsecos	31
2.8.2	Factores intrínsecos.	31
2.8.3	Tipos de estudios de estabilidad	31
3.	CAPÍTULO III – ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA	33
3.1	Área de estudio	33
3.1.1	Modificadores reológicos.	33
3.1.1.1	Cloruro de sodio.	33
3.1.1.1.1	Curva de la sal	33

3.1.1.2	PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua.....	34
3.1.1.2.1	Modo de uso.....	35
3.1.1.3	Acrylates Copolymer.....	35
3.1.1.3.1	Características fisicoquímicas.....	36
3.1.1.3.2	Propiedades básicas del polímero en el agua.....	36
3.1.1.3.3	Propiedades de rendimiento del polímero en relación con los beneficios proporcionados.....	37
3.1.1.4	Lauryl Lactate.....	40
3.1.1.4.1	Características fisicoquímicas.....	41
3.1.2	Estabilidad preliminar.....	41
3.1.2.1	Procedimiento.....	42
3.1.3	Espuma.....	42
3.2	Metodología.....	43
3.2.1	Base de <i>shampoo</i>	43
3.2.2	Determinación de viscosidad y altura de espuma media.....	44
3.2.2.1	Viscosidad.....	44
3.2.2.2	Determinación del nivel de espuma.....	44
3.2.3	Determinación del porcentaje óptimo de cada agente reológico.....	45
3.2.4	Elaboración de las preparaciones de <i>shampoo</i>	46
3.2.5	Estabilidad de las preparaciones de <i>shampoo</i>	47
3.2.6	Análisis estadístico.....	47
3.2.6.1	Modelo de ANOVA de una vía y test de Tukey.....	48
4.	CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSION.....	49
4.1	Determinación de viscosidad y altura de espuma promedio en <i>shampoos</i> de venta en el mercado local.....	49
4.2	Determinación del porcentaje óptimo de cada agente reológico.....	50
4.2.1	Curva de viscosidad del cloruro de sodio.....	50
4.3	Elaboración de las preparaciones de <i>shampoo</i>	55
4.4	Estabilidad de las preparaciones de <i>shampoo</i>	56
4.5	Análisis estadístico.....	64

4.5.1	Evaluación de modificadores reológicos en una formulación de <i>Shampoo</i> como alternativas al uso de cloruro de sodio.....	64
4.5.1.1	Análisis de Varianza ANOVA de una vía y test de Tukey.....	64
4.5.1.1.1	Viscosidad.....	66
4.5.1.1.2	Nivel de espuma 1 minuto.....	69
4.5.1.1.3	Nivel de espuma 3 minutos.....	72
4.5.1.1.4	Nivel de espuma 5 minutos.....	74
5.	CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1	Conclusiones.....	77
5.2	Recomendaciones.....	78
	ANEXOS.....	79
	Anexo 1. Imágenes proceso de estabilidad de <i>shampoo</i>	79
A.	Muestras de <i>shampoo</i> con los diferentes modificadores reológicos.....	79
B.	Muestras testigo a temperatura ambiente.....	80
C.	Calentamiento de las muestras en la incubadora.....	81
D.	Enfriamiento de las muestras en la refrigeradora.....	81
E.	Final de cada ciclo lecturas de viscosidad y nivel de espuma.....	82
	GLOSARIO.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Tensioactivo – surfactante.....	11
Figura 2-2 Clases de tensioactivos.....	11
Figura 2-3 Tensioactivo no iónico.....	12
Figura 2-4 Representación de curvas de flujo para diferentes fluidos. 1) Fluido newtoniano, 2) fluido no newtoniano adelgazante, 3) fluido no newtoniano dilatante, 4) fluido de Bingham.....	15
Figura 2-5 Diagrama de un fluido en flujo cortante simple.....	16
Figura 2-6 Esquema representativo del esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de deformación (para un fluido newtoniano).....	17
Figura 2-7 Fluidos no newtonianos independientes del tiempo.....	20
Figura 2-8 Estructura de alcanolamidas.....	21
Figura 2-9 Estructura PEG.....	23
Figura 2-10 Estructura celulosa.....	24
Figura 3-1 Curva de la sal.....	34
Figura 3-2 Viscosidad vs. pH.....	37
Figura 3-3 Efecto del cloruro de sodio sobre la viscosidad (espesor sinérgico).....	38
Figura 3-4 Efecto del Cloruro de Sodio sobre el valor de rendimiento (espesor sinérgico).....	38
Figura 3-5 Efecto espesante «back-acid» en viscosidad.....	39

Figura 3-6 Efecto espesante «back-acid» sobre el valor de rendimiento.....	39
Figura 4-1 Curva de viscosidad Cloruro de Sodio.....	51
Figura 4-2 Curva de viscosidad <i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua</i>	52
Figura 4-3 Curva de viscosidad <i>Acrylates Copolymer</i>	53
Figura 4-4 Curva de viscosidad <i>Lauryl Lactate</i>	54
Figura 4-5 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía de las viscosidades de los diferentes modificadores reológicos.....	66
Figura 4 6 Obtención del valor crítico viscosidad.....	66
Figura 4-7 Test de Tukey Viscosidad.....	67
Figura 4-8 Gráfica test de Tukey – viscosidad	68
Figura 4-9 Diagrama de cajas – viscosidad	68
Figura 4-10 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 1 minuto de los diferentes modificadores reológicos	69
Figura 4-11 Obtención del valor crítico nivel de espuma 1 minuto.....	69
Figura 4-12 Test de Tukey – nivel de espuma 1 minuto.....	70
Figura 4-13 Gráfica test Tukey – espuma 1 minuto	71
Figura 4-14 Diagrama de cajas – nivel de espuma 1 minuto	71
Figura 4-15 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 3 minutos de los diferentes modificadores reológicos.....	72
Figura 4-16 Obtención del valor crítico nivel de espuma 3 minutos	72

Figura 4-17 Test de Tukey – nivel de espuma 3 minutos	73
Figura 4-18 Gráfica Test de Tukey – nivel de espuma 3 minutos	73
Figura 4-19 Diagrama de cajas – nivel de espuma 3 minutos	74
Figura 4-20 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 5 minutos de los diferentes modificadores reológicos	74
Figura 4-21 Obtención del valor crítico nivel de espuma 5 minutos	75
Figura 4-22 Test de Tukey – nivel de espuma 5 minutos	75
Figura 4-23 Gráfica test de Tukey – nivel de espuma 5 minutos	76
Figura 4-24 Diagrama de cajas nivel de espuma 5 minutos	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Fórmula de la base de <i>shampoo</i>	43
Tabla 3-2 Concentraciones para obtener una viscosidad requerida	46
Tabla 3-3 Letras asignadas a cada modificador reológico	48
Tabla 4-1 Lecturas de viscosidad de <i>shampoos</i> de venta en el mercado local.....	49
Tabla 4-2 Lecturas de altura de espuma en <i>shampoos</i> de venta en el mercado local .	49
Tabla 4-3 Porcentajes del Cloruro de Sodio y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad	50
Tabla 4-4 Porcentaje <i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/ Capric Glycerides (and) Aqua</i> y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad.	51
Tabla 4-5 Porcentaje <i>Acrylates Copolymer</i> y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad.....	53
Tabla 4-6 Porcentaje <i>Lauryl Lactate</i> y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad.....	54
Tabla 4-7 Porcentaje de cada agente reológico para alcanzar la viscosidad requerida	55
Tabla 4-8 Cronograma de lecturas de estabilidad.....	56
Tabla 4-9 Lecturas de viscosidad del Cloruro de Sodio durante cada ciclo del proceso de estabilidad	57

Tabla 4-10 Lecturas promedios nivel de espuma del Cloruro de Sodio durante cada ciclo del proceso de estabilidad	58
Tabla 4-11 Lecturas de viscosidad del <i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua</i> durante cada ciclo del proceso de estabilidad	59
Tabla 4-12 Lecturas promedios nivel de espuma del <i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua</i> durante cada ciclo del proceso de estabilidad.	60
Tabla 4-13 Lecturas de Viscosidad <i>Acrylates Copolymer</i> durante cada ciclo del proceso de estabilidad.	61
Tabla 4-14 Lecturas promedios nivel de espuma del <i>Acrylates Copolymer</i> durante cada ciclo del proceso de estabilidad	62
Tabla 4-15 Lecturas de viscosidad <i>Lauryl Lactate</i> durante cada ciclo del proceso de estabilidad	63
Tabla 4-16 Lecturas promedios nivel de espuma de <i>Lauryl Lactate</i> durante cada ciclo de estabilidad	64
Tabla 4-17 Datos utilizados para el análisis estadístico.....	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1. Esfuerzo de corte.....	16
Ecuación 2-2. Viscosidad η	16
Ecuación 2-3. Cálculo viscosidad – Engler	27
Ecuación 2-4. Cálculo viscosidad – Ostwald.....	27
Ecuación 2-5. Ley de Stokes	28
Ecuación 2-6. Velocidad límite	29

DEDICATORIA

A Dios quien es la guía en mi vida, a mi querida esposa Tatiana por su amor y comprensión, a mis hijos José Alejandro, María Gracia y Juan Manuel que son el motor de nuestras vidas, y a mis padres por haber hecho de mí un hombre de principios y valores.

Juan Fernando Gil Pozo

PREFACIO

Al ser el *shampoo* un producto cosmético de uso diario es necesario la constante mejora de los productos existentes; es decir, desarrollar nuevas formulaciones mediante estudios, teniendo como objetivo el cuidado capilar, además de cumplir con su función principal que es la limpieza. En el campo de la investigación, la tecnología cada vez avanza más, actualmente existen diversos agentes modificadores reológicos con diferentes composiciones u orígenes.

Por esta razón, este proyecto de investigación y desarrollo presenta un estudio de tres agentes modificadores de la viscosidad diferentes al cloruro de sodio; observando cómo se comportan cada uno de estos en una misma base de *shampoo* en comparación con el cloruro de sodio en los parámetros de viscosidad y nivel de espuma.

Para el análisis estadístico se utiliza la regresión lineal que es una herramienta que permite el análisis de la relación o dependencia de las variables.

Los resultados obtenidos del estudio propuesto se realizan en la plataforma de Minitab 17 en cumplimiento con los objetivos planteados.

PRÓLOGO

El presente trabajo debe ser comprendido como una propuesta para desarrollar nuevas formulaciones de *shampoo* con modificadores reológicos distintos al cloruro de sodio que es el más utilizado actualmente; ya que en este trabajo de investigación se realiza un estudio en el que se evalúan diferentes modificadores reológicos en una misma base de *shampoo*.

El presente trabajo se ha dividido en un total de cuatro capítulos. En el primero está la presentación, justificación de la investigación y se definen los objetivos.

En el capítulo 2 se encuentra el estado del arte de estudios realizados con el *shampoo*, además, define los conceptos necesarios para el desarrollo de dicho estudio.

En el capítulo 3 está el área de estudio que especifica los modificadores reológicos a estudiar y los parámetros físicos a controlar; además, consta la metodología y se indica los procesos a realizar para el desarrollo de los objetivos propuestos.

Finalmente, en el capítulo 4 se expone las conclusiones y algunas recomendaciones acerca del estudio concluido.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a la Maestría en Ciencias y Tecnologías Cosméticas, y a los docentes que participaron en la misma quienes nos transmitieron sus conocimientos y experiencias en favor de nuestro desarrollo profesional.

Un sincero y profundo agradecimiento al Ph. D. Pablo Wilson Arevalo Moscoso, tutor de esta tesis, por su orientación, conocimientos, tiempo, ayuda y motivación a lo largo de este estudio.

Juan Fernando Gil Pozo

1. CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación y planteamiento del problema

El *shampoo* es un producto de uso diario, en el mercado ocupa aproximadamente el 12 % del total de la industria de cuidado personal (Karsheva, Georgieva, & Birov, 2005).

Existen varios criterios sensoriales a tomar en cuenta para satisfacer al consumidor, una de ellas es la reología o viscosidad que se correlaciona con el espesor y las propiedades de flujo; este parámetro afecta tanto la eficiencia de limpieza como la percepción de un *shampoo*, también influye en las propiedades espumantes, en el proceso de llenado durante la producción, embalaje, almacenamiento y estabilidad a largo plazo del producto (Thermo Scientific, 2014). Razón por la que se estudiará otros modificadores reológicos existentes en el mercado diferentes al cloruro de sodio; la observación de la acción de cada uno de ellos permitiría conocerlos como nuevas opciones de modificadores reológicos.

1.2 Antecedentes teóricos

El desarrollo de productos para el cuidado del cabello se inicia con mezclas caseras con extractos de plantas y esencias de rosas y jazmín para tratar la calvicie, suavizar y disminuir la grasa del cabello.

En los siglos XV y XVI era común el lavado en seco con arcilla en polvo y después cepillado. El origen de lo que hoy conocemos como *shampoo* solamente fue posible gracias al desarrollo del proceso de saponificación, obtenido a partir de hervir una mezcla de soda cáustica, grasa animal y aceites naturales (Machado Inca, 2013).

Sin embargo, la novedad solamente llegó al público después de la Primera Guerra Mundial. El producto fue bautizado por los ingleses como *shampoo*, en alusión a la palabra hindú *champoo*, que significa masajear (normalmente con algún tipo de aceite, en combinación con componentes aromáticos tales como sándalo, jazmín, azafrán, rosa

y almizcle. A partir de la década de los 20, con la expansión de la industria de higiene y belleza en Europa y en los Estados Unidos, los *shampoos* empezaron a ganar más popularidad (Machado Inca, 2013).

El cabello presenta una corteza central denominada cutícula, responsable de las propiedades de tracción del cabello; el estado de la cutícula afecta a una variedad de propiedades percibidas por el consumidor, incluyendo sensación de pelo, brillo, etc. (Barel, Paye, & Maibach, 2009).

Una función importante del *shampoo* es proteger los elementos estructurales del cabello como la cutícula ya que durante la limpieza o lavado del cabello se puede producir un desgaste de las células de esta corteza; siendo probablemente la fuente más importante de daño a la superficie del cabello (Barel, Paye, & Maibach, 2009).

Actualmente el *shampoo* es un producto usado para la limpieza del cuero cabelludo y del cabello por todos los estamentos de la población (edad, sexo) preparada a base de agentes tensioactivos y espumantes. Se ha observado cambios drásticos en diseño y tecnología desde los más sofisticados a los más sencillos tanto en su función de limpieza como en la presentación o envasado para que su empleo sea más cómodo.

En 1955 un grupo informaba que las mujeres deseaban un *shampoo* que no solo permitiera la limpieza del cabello, sino que también lo dejara suave y brillante, con fácil enjuague. Al mismo tiempo, se destacaba que la principal tendencia en la formulación del producto requería que los tensioactivos tengan un efecto más suave sobre la piel y que no irrite los ojos en caso de que entrara en contacto (Wilkinson & Moore, 1990).

Los investigadores y fabricantes han corregido el pH adecuadamente al de la piel y del cuero cabelludo (Pacheco López, Estudio para la realización de preparados espumosos, 2010).

La historia cosmética continúa, presenta una gran evolución hasta el punto de que hoy en día se podría pensar que ya todo está dicho, que se ha llegado a la cúspide y que ya no es posible mejorar los productos existentes; sin embargo, los investigadores siguen en la búsqueda de nuevos preparados espumosos con nuevas opciones que dinamicen los sistemas de aplicación y hasta optimicen el aprovechamiento de los costosos principios activos.

Actualmente, en el mercado existen diferentes tipos de *shampoo* con diferentes propiedades: para bebés, dos en uno, cabello seco, graso, anticasma entre otros, pero principalmente lo que todo *shampoo* hace o debe hacer es despegar, emulsionar y poner

en suspensión la suciedad fijada en el cabello.

Una de las propiedades ideales del *shampoo* es la facilidad de aplicación, debe ser lo suficientemente viscoso para permanecer en las manos al aplicar; esta viscosidad se la consigue con el cloruro de sodio, aunque actualmente existen otros productos que permiten obtener igual propiedad, pero se debe analizar el costo-beneficio.

Otras de las características requeridas es la capacidad espumante, se espera que produzca espuma densa y abundante (Pacheco López, Estudio para la realización de preparados espumosos, 2010).

Con esta perspectiva, lo que queda claro es que no todo está dicho en el mercado del *shampoo*, pues pueden aparecer nuevos productos que brinden cambios novedosos (Pacheco López, Estudio para la realización de preparados espumosos, 2010).

1.3 Justificación de la investigación efectuada

Entre los cosméticos capilares se encuentra el *shampoo* cuya principal función es la limpieza del cabello y del cuero cabelludo, además, debe ser soluble en aguas duras o blandas, espumoso dejar el pelo flexible, fácil de peinar, que presente un pH neutro y que su viscosidad sea la adecuada (Vazques, 2012).

La fórmula más simple de un *shampoo* incluye los siguientes componentes:

- Agentes tensioactivos. Proporcionan detergencia, espuma, acondicionar el cabello; existen los no iónicos, catiónicos, aniónicos y anfóteros.
- Agentes impulsores y estabilizadores de espuma. Controlan su cantidad y consistencia o duración de la misma.
- Agentes modificadores de la reología. Logran la consistencia adecuada del producto o bien la reducción de la viscosidad.
- Agentes acondicionadores. Proporcionan suavidad, emoliencia, evitan la estática del cabello y facilitan el peinado.
- Agentes conservadores. Utilizados para prevenir el crecimiento de bacterias u

hongos.

- Fragancias. Deben ser compatibles con los componentes de la formulación, tienen como finalidad enmascarar los olores propios de la materia prima.
- Agentes opalescentes.
- Colorantes. Deben ser solubles con los componentes de la fórmula.
- Agentes modificadores de pH.
- Estabilizadores de color. Son absorbentes de los rayos UV y protegen al producto de cambios provocados por estos como decoloraciones (Martini M. , 2005).

Para la elaboración de un *shampoo* es indispensable considerar algunos aspectos:

- El costo.
- La calidad y cantidad de las burbujas. Esta característica depende de los surfactantes ya que no se usan únicamente para la limpieza, sino también para proporcionar una espuma más rica y más ondulada y para minimizar el riesgo de irritación. (Shlepr & Castner, 2006)
- Irritación de los ojos y de la piel. Para el diseño de un nuevo producto se debe considerar el pH este debe ser cercano al de la piel, para evitar estos efectos.

Para fines de la presente tesis se analizará más exhaustivamente el tema de la reología y características del flujo.

1.3.1 Reología y características de flujo

Para este aspecto existe una gran variedad de sustancias que permiten aumentar las características reológicas en las formulaciones del *shampoo* como alcanolamidas, las betaínas, los óxidos de aminos, polímeros, ésteres de polietilenglicol, la sal, etc.

Entre los requisitos necesarios para la formulación están tener facilidad para fluir fuera del envase, ser flexible, dar curvas de temperatura y pH contra viscosidad relativamente planas (cambios razonables de temperatura y pH no cambien drásticamente la viscosidad) (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

Existen muchos aditivos que permiten modificar la reología del *shampoo*, pero lo ideal en la formulación es reducir costos evitando el uso de agentes reológicos caros para

lograr una viscosidad adecuada, para este fin se puede utilizar efectos sinérgicos entre los componentes del *shampoo* (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

Entre los agentes reológicos más usados se encuentran los poliacrilatos y los derivados de polietilenglicol (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

Los poliacrilatos son polímeros de emulsión acrílica ligeramente reticulada, hinchable en álcali, diseñado para usar en aplicaciones de limpieza de alto contenido de tensioactivo (12-30 % en peso). El polímero se suministra como un líquido, y ofrece dispersión instantánea en agua y propiedades de baja viscosidad (antes de la neutralización) para un manejo fácil y bajo consumo de energía (Shlepr & Castner, 2006).

Otros productos como la hidroxietilcelulosa tienen la desventaja de una lenta pérdida de la viscosidad causada por ciertas enzimas. Los agentes reológicos no solo influyen en la viscosidad, sino que también influyen en el comportamiento de flujo, en función de fuerzas de corte externas (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

Los modificadores de la reología como el cloruro de sodio ofrecen aspectos funcionales del engrosamiento, suspensión y estabilización, los modificadores actuales deben ofrecer un aspecto mejorado al producto acabado; propiedades superiores de flujo y vertido; una sensación lisa, ligera, acolchada en uso.

El cloruro de sodio se utiliza no solo para aumentar la reología sino también ayuda a eliminar los restos de champú con los enjuagues, el cloruro de sodio es un modificador más económico y fácil de obtener a diferencia de otros modificadores. Sin embargo, hay una tendencia para eliminarlo del *shampoo*, ya que puede hacer que pierda suavidad el *shampoo*, por lo que podrían también utilizarse otros agentes reológicos de mayor precio, con tal de mantener los niveles de cloruro de sodio bajos (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

1.4 Objetivo general

Evaluar modificadores reológicos en una formulación de *shampoo* como alternativa al uso de cloruro de sodio.

1.5 Objetivos específicos

Elaborar formulación de *shampoo*, a través de un método experimental en el laboratorio, obteniendo como base para el ensayo de distintos modificadores reológicos.

Elaborar curvas de viscosidad de cada modificador reológico incluido el cloruro de sodio, a través de un estudio experimental en el laboratorio, determinando el porcentaje óptimo de cada agente reológico.

Comparar preparaciones elaboradas con los distintos modificadores reológicos en la misma base de *shampoo*, a través de un estudio experimental en el laboratorio, comparando los parámetros físicos de viscosidad y altura de espuma.

Realizar un estudio de estabilidad preliminar a las distintas preparaciones elaboradas con los diferentes modificadores reológicos en la misma base de *shampoo*, a través de un estudio experimental en el laboratorio, determinando el comportamiento de los parámetros físicos de viscosidad y altura de espuma.

1.6 Hipótesis

Existe un comportamiento similar en las tres preparaciones de *shampoo* con diferente agente reológico, con relación a la formulada con cloruro de sodio; entonces se puede reemplazar este último con otros agentes modificadores de viscosidad.

2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1 *Shampoo*

2.1.1 Introducción

Este producto es un sistema complejo de surfactantes y ante todo su función primaria es la limpieza del cabello. Sin embargo, los *shampoos* hacen más que remover la suciedad del cabello, además, en general son usados diariamente. Por lo que en las formulaciones deben actuar varios aditivos para mejorar las condiciones del cabello (Romanowski & Schueller, 2009).

Los *shampoos* han experimentado múltiples cambios desde los más sofisticados hasta los más sencillos, en diseño y tecnología. Los formuladores actualmente consideran atributos básicos del *shampoo* junto a los efectos acondicionantes y de suavidad (Wikinson & Moore, 1990).

Hay muchas exigencias en un *shampoo* en las que incluyen una sensación viscosa, una buena apariencia, una fragancia agradable, además, no debe ser muy caro.

Existen varios aspectos a tomar en cuenta antes de formular un producto: costo, calidad y cantidad de burbujas, irritación de los ojos y piel, viscosidad y características de flujo. El *shampoo* debe fluir fácilmente fuera del empaque primario con una consistencia flexible (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

2.2 Estado del arte

El tema está centrado en obtener nuevas opciones de modificadores reológicos, mediante la observación en la variación de algunos parámetros físicos (volumen de espuma, viscosidad) en comparación con el cloruro de sodio que es el modificador comúnmente usado.

El *shampoo* es un producto de uso diario por lo que representa un 12 % de total de la industria del cuidado personal (Agiba, Abdallah, Shaldam, & Abdallah, 2015).

Ashok Kumar and Rakesh Roshan Mali (2010) realizan una evaluación de formulaciones preparadas de *shampoo* y comparan con otros del mercado.

En este estudio observaron que los conservantes sintéticos causaron, a veces, efectos adversos entre los consumidores; por esta razón utilizaron un enfoque fisicoquímico de la conservación y de la formulación de un *shampoo* autoconservante, evitando riesgos que suponen los conservantes químicos, de esta manera, obtuvieron un *shampoo* con un pH ajustado a 5,5 que permite retener el manto ácido del cuero cabelludo.

Al comparar atributos estéticos como la espuma y la claridad tanto del *shampoo* de laboratorio como los del mercado, sus valores no son comparables. El volumen de espuma está a la par; estos presentan reología no newtoniana.

Los productos del mercado no se describen tan bien en las pruebas realizadas; sin embargo, gozan de una popularidad en el mercado; esto se debe principalmente a la falsa noción entre consumidores que «un *shampoo* que espuma bien, funciona bien», y ningún esfuerzo real por parte de los fabricantes para contrarrestar esta falacia.

En la actualidad, parece imposible que un *shampoo* a base de hierbas, con mejor rendimiento y más seguros, pueda llegar a ser más popular entre los consumidores; un enfoque en la popularización sería cambiar expectativas de los consumidores con énfasis en seguridad y eficacia.

Los formuladores deben considerar los posibles efectos nocivos de detergentes y otros aditivos químicos presentes en este tipo de productos. (Kumar & Roshan Mali, 2010)

En 2015 se realizó un estudio que tuvo como objetivo evaluar el efecto de factores de formulación tales como pH, cantidad del modificador reológico, comportamiento reológico y temperatura sobre la estabilidad del ketoconazol. Se observó que es estable a un pH 6,5 presentando buenas características físicas y químicas. En cuanto a la cantidad del modificador reológico las formulaciones que contenían 0,1 g de NaCl mostraron una mejor estabilidad y un comportamiento reológico tixotrópico ideal.

El comportamiento reológico posee un límite de elasticidad (mínimo esfuerzo cortante para que el flujo comience) y es dependiente del tiempo; se reduce la viscosidad al recortar y reconstruir.

La temperatura por debajo de 30 °C permite una estabilidad adecuada así como de la viscosidad. Presenta un volumen de espuma de 86 ml. Adicionalmente, se determinó la estabilidad de la formulación era válida para 18 meses (Agiba, Abdallah, Shaldam, & Abdallah, 2015).

Badi & Khan en el 2014 realizaron un estudio que tuvo como objetivo formular un *shampoo* herbario puro, evaluar y comparar sus propiedades fisicoquímicas con los sintéticos y herbales comercializados.

Obtuvieron los siguientes resultados:

El *shampoo* formulado a base de hierbas es claro y atractivo, mostró buena limpieza y detergencia, baja tensión superficial, pequeño tamaño de burbuja y buena estabilidad de espuma después de 5 minutos.

Tanto el *shampoo* preparado como el comercial mostraron resultados comparables para el 1 % de sólidos contenidos.

El rendimiento de acondicionamiento tras el lavado con el *shampoo* de hierbas dio una puntuación de 3 sobre 4; mientras que la puntuación de la comercializada sintética y de hierbas fue de 3,4 y 3,3 respectivamente. Los resultados indicaron que el *shampoo* formulado tiene un excelente rendimiento de acondicionamiento, a la par con el comercialmente disponible (Badi & Khan, 2014).

Se recomienda realizar más investigación y desarrollo para mejorar su calidad y seguridad; los parámetros del *shampoo* se pueden evaluar mediante el desarrollo de nuevas formulaciones. Los principales parámetros a evaluar son la viscosidad, estabilidad volumétrica de la espuma producida, pH y conductividad eléctrica (Badi & Khan, 2014), (Mainkar & Jolly, 2000).

En 2016 se realizó un estudio en el que se analiza tres parámetros fisicoquímicos como es el pH, viscosidad, conductividad, en seis formulaciones de *shampoo* con diferentes concentraciones de cloruro de sodio. En el que se observó que el pH de 4,8 fue constante en todas las formulaciones. En relación con la conductividad a mayor concentración de cloruro de sodio mayor conductividad. La viscosidad aumentó entre las concentraciones 0 %, 1 % y 3 % y en las concentraciones de 5 %, 10 %, 20 % hubo una disminución de la viscosidad; las concentraciones de cloruro sódico entre 1 % y 5 % presentaron concentraciones fisicoquímicas ideales para los *shampoos* (Loiola Vasconcelos, Martins Mesquita, Nascimento, & Mendes Cangussu, 2016).

2.3 Enfoque teórico

2.3.1 *Shampoo*

Sistema complejo de tensioactivos que permiten cumplir con su función de la siguiente manera: al colocar el *shampoo* en el cabello húmedo, es absorbido entre el cabello y los lípidos que están adheridos en la superficie hidrófoba del cabello; en donde los surfactantes o tensioactivos reducen la tensión de superficie favoreciendo la separación del sebo de cabello, en el que se emulsiona la materia grasa con el *shampoo* y el agua; finalmente, siendo arrastrados con el agua (Thermo Scientific, 2014).

2.3.1.1 **Materias primas del *shampoo***

En general el *shampoo* está formado por 80 % de agua, 10 % de surfactantes, 5 % de modificadores de la viscosidad, 2 % de preservantes, fragancias y colorantes y 3 % de aditivos de rendimiento. (Thermo Scientific, 2014)

También están presentes:

- a. Impulsores y estabilizadores de espuma
- b. Agentes acondicionadores
- c. Agentes secuestrantes
- d. Modificadores de la viscosidad.
- e. Agentes espesantes o fluidificantes (Wikinson & Moore, 1990).

Los tensoactivos o surfactantes se encuentran en mayor cantidad en la formulación, por lo que se detalla a continuación:

Tensioactivos. Cualquier sustancia cuyas moléculas presentan dos partes estructurales o grupos bien diferenciados denominados hidrofílico (afinidad por el agua) y lipofílico (afinidad por el aceite).

El grupo hidrofílico es soluble preferentemente en medios acuosos, polares o de fuerza iónica relativamente elevada, en cambio, el lipofílico es soluble en medios no acuosos apolares o de baja fuerza iónica (B. Moreno, 2003).



Figura 2.1 *Tensioactivo – surfactante*

Fuente: (B. Moreno, 2003)

Estos tienen la capacidad de adsorberse sobre superficies. Cuando la superficie es la interfaz entre líquidos y/o sólidos se disminuye la tensión interfacial; pero si la interfaz es entre líquido y aire el efecto más importante es la disminución de la tensión superficial. Los agentes tensioactivos tienen la propiedad de alterar la energía de una superficie con la cual entra en contacto (Pacheco López, Estudio para la realización de preparados espumosos, 2010).

2.3.1.2 Clasificación de los tensioactivos

Según su comportamiento iónico se clasifican en cuatro tipos:

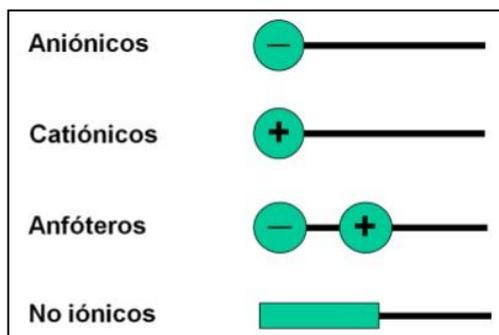


Figura 2.2 *Clases de tensioactivos*

Fuente: (Pacheco López, 2010)

1. Aniónico. Tienen la parte hidrófila cargada negativamente; excelentes en formación de espuma y costo bajo, muy utilizados en bases de *shampoo*.
2. Cationicos. Tienen la parte hidrófila cargada positivamente, se adsorben sobre la superficie de la fibra capilar, cuya carga es negativa; parecen ser los ideales pues forman suficiente espuma, limpieza adecuada, dejan el cabello fácil de peinar, brillo y libre de descarga electrostática.
3. Anfóteros. Son sustancias en el que los grupos hidrofílicos pueden estar cargados positivamente, negativamente o ambas en disolución acuosa, dependiendo del pH. Son utilizados como auxiliares por sus buenas propiedades acondicionadoras y contribución a la suavidad.
4. No iónicos. No son ionizables, su parte lipófila está constituida por una cadena grasa más o menos larga, su parte hidrófila también es muy variable por ello se pueden encontrar sustancias muy lipófilas o muy hidrófilas. De ahí la noción del balance hidrófilo-lipófilo (HLB); cuyos valores van de 0 a 20.
0-8 hidrófilo
8-12 intermedio
12-20 lipófilo
No son sensibles a las variaciones de pH (Martini, Chivot, & Peyrefitti, 1997).

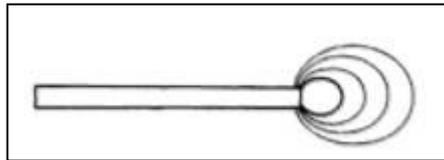


Figura 2.3 *Tensioactivo no iónico*
Fuente: (Martini, Chivot, & Peyrefitti, 1997)

Son utilizados generalmente como tensioactivos auxiliares debido a que pocos tienen suficiente poder espumante, utilizados como impulsores y estabilizadores de la espuma. Aunque se han desarrollado tensioactivos no iónicos que se pueden usar como tensioactivos principales con suficiente poder espumante (Wikinson & Moore, 1990).

Existen varios modificadores reológicos de *shampoo* tales como:

- Electrolitos: 1-4% p/p de cloruro amónico o sódico en alquil éter sulfatos aumentan de forma adecuada la viscosidad.
- Gomas naturales, alginatos.
- Derivados de celulosa (hidroxietil, hidroxipropil, carboximetil); tienen la ventaja de hacer la espuma más suave, evitan el depósito de suciedad en el cabello.
- Polímeros carboxivinílicos (carbómeros), además de ayudar a la viscosidad del *shampoo*, permiten la estabilidad del mismo.
- Otros modificadores reológicos son los diésteres etoxilados de ácidos grasos usados en *shampoos* en crema, ésteres fosfatos, óxidos de amidoaminas, etc., (Romanowski & Schueller, 2009).

La mayoría de los modificadores anteriormente citados dependen de la temperatura y concentración al momento de formular.

La viscosidad se puede reducir añadiendo pequeñas cantidades de disolventes como alcoholes, compuestos de polioxialquilenos o xilensulfonato sódico.

2.4 Reología del *shampoo*

La reología de un fluido es muy compleja, ya que trata el cambio de forma y flujo de la materia, comprendiendo la elasticidad, viscosidad y plasticidad.

La reología desempeña un papel importante en la producción, el llenado, la estabilidad de almacenamiento y también en las propiedades sensoriales del *shampoo* (Leidreiter, Jenni, & Maczkiewitz, 1996).

La viscosidad es un aspecto importante a tomar en cuenta tanto para los consumidores como para los formuladores, ya que con una viscosidad adecuada se obtendrá los siguientes fines:

El consumidor exige que la aplicación y dosificación sea simple, y especialmente en la limpieza esta debe ser excelente.

El formulador busca estabilidad de las fases, bajos costos y de la manipulación técnica que incluye estabilización de los ingredientes sólidos, tiempo de contacto prolongado sobre superficies verticales, facilidad para enjuagarlo y para diluirlo (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

La viscosidad de un fluido se puede definir como el valor de la tensión de cizalla dividido por la velocidad de cizallamiento (Romanowski & Schueller, 2009).

Existen tres tipos de viscosidades:

- Viscosidad dinámica. Denominada también como pendiente en cada punto de la curva de fluidez, la cual se encuentra detallada más adelante.
- Viscosidad cinemática (ν). Relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado. Las unidades más utilizadas de esta viscosidad son los centistokes (cst).
- Viscosidad aparente (η). Se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Utilizado al tratar de viscosidad para fluidos no newtonianos (Ramírez Navas, 2006).

El comportamiento reológico puede describirse como newtoniano o no newtoniano.

En la siguiente curva de flujo, se pueden observar algunas diferencias entre estos fluidos.

1. Fluido newtoniano. En este caso la viscosidad es constante e independiente de la rapidez de deformación
2. Fluido no newtoniano pseudoplástico. La viscosidad (pendiente de la curva) disminuye al incrementar la rapidez de la deformación; por lo que es conocido también como fluido adelgazante.
3. Fluido plástico. La viscosidad se incrementa al aumentar la rapidez de deformación, fluido conocido también como dilatante.

4. Fluido de Bingham. Se considera no newtoniano porque necesita un esfuerzo crítico para empezar a fluir, seguido de un comportamiento newtoniano (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010).

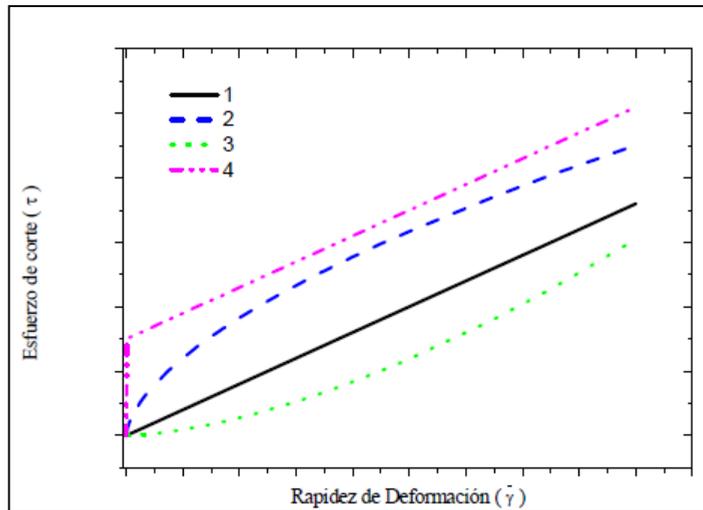


Figura 2.4 Representación de curvas de flujo para diferentes fluidos. 1) Fluido newtoniano, 2) fluido no newtoniano adelgazante, 3) fluido no newtoniano dilatante, 4) fluido de Bingham.

Fuente: (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010)

Inicialmente es importante conocer los conceptos de esfuerzo y deformación para los fluidos viscosos, en la siguiente figura se muestra una situación de flujo cortante simple. Aquí se tiene un líquido entre dos placas separadas una distancia L . La placa superior se mueve a una velocidad constante v debido a la acción de una fuerza F (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010).

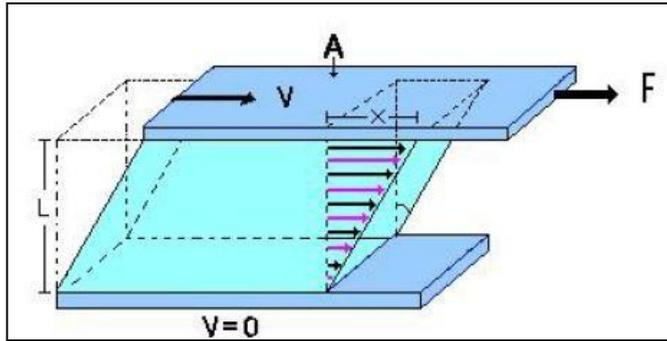


Figura 2.5 Diagrama de un fluido en flujo cortante simple
Fuente: (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010)

En este caso, el esfuerzo de corte τ que ejerce la placa superior al líquido está definido por:

$$\tau = F/A \quad (1)$$

Donde:
 F: Fuerza
 A: Área de la placa superior en la cual se aplica la fuerza.
 La deformación se expresa por γ .

Ecuación 2-1. Esfuerzo de corte

Fuente: (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010)

Los fluidos presentan una propiedad característica que es la resistencia a fluir que es la viscosidad η (relación esfuerzo de corte-rapidez de deformación).

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

Ecuación 2-2 Viscosidad η

Fuente: (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010)

2.4.1 Fluidos newtonianos

Es la relación lineal o constante entre la velocidad de deformación y el esfuerzo de corte (esfuerzo cortante o densidad de flujo viscoso de transporte de cantidad de movimiento), (Carrasco V., Castañeda P., & Altamirano O., 2015).

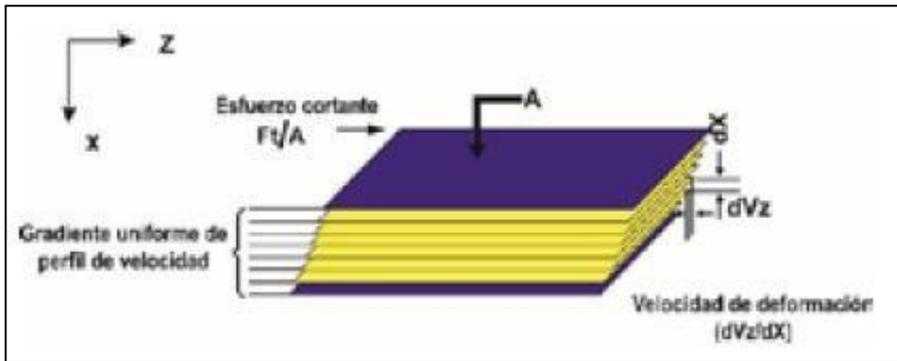


Figura 2.6 Esquema representativo del esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de deformación (para un fluido newtoniano)

Fuente: (Carrasco V., Castañeda P., & Altamirano O., 2015)

Esta relación matemática se denomina ecuación constitutiva y está expresada de la siguiente manera:

$$\tau = \mu\gamma$$

Donde:

τ : es el esfuerzo de corte

γ : rapidez de deformación

μ : Al sustituir esta ecuación constitutiva en la ecuación de la viscosidad se obtiene que la viscosidad η es una constante igual a μ , por lo que cuando se habla de la viscosidad μ se está haciendo referencia a un fluido newtoniano (Méndez-Sánchez, Pérez-Trejo, & Pani, 2010).

2.4.1.1 Unidades de viscosidad

Las unidades de viscosidad en el sistema cegesimal son $\text{g/cm}^*\text{s}$, llamadas poise o centipoise (cp).

En el sistema SI, la viscosidad se expresa en $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ($\text{kg/m}^*\text{s}$). Las unidades de viscosidad más utilizadas son los milipascales por segundo ($\text{mPa}\cdot\text{s}$) (Ramírez Navas, 2006).

Se debe tener en cuenta que $1000 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ La

conversión de unidades entre los dos sistemas es:

$$1 \text{ cp} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ g/cm}\cdot\text{s}$$

(Ramírez Navas, 2006)

2.4.1.2 Espesante con reología newtoniana comúnmente usado en *shampoo*

Como lo dicho anteriormente existen varios tipos de modificadores reológicos que se utilizan para alcanzar una viscosidad adecuada; el mercado de espesantes es amplio, especialmente en el área de cosméticos para el cabello y *shampoos* (Díaz Ramírez & Villafuerte Robles, 2012).

2.4.1.2.1 Sales

Estos electrolitos proporcionan una reología newtoniana; las sales como los cloruros de sodio, potasio, magnesio se pueden adicionar a un sistema aniónico de combinación anfotérica, se adicionan generalmente en una proporción de 1-2 %; son utilizados con mayor frecuencia ya sea como un sólido, solución acuosa o en combinación con otros espesantes respondientes a la sal (Romanowski & Schueller, 2009).

Función micelar. Las micelas son formadas por el agua y el surfactante presente en el sistema de *shampoo*; las moléculas de los surfactantes están formadas por una porción hidrofílica (agua) e hidrofóbica (aceite) que se orientan y reorientan constantemente permitiendo tomar muchas formas y funciones en la limpieza.

Las micelas del surfactante se hinchan al adicionar la sal, esto provoca una resistencia al movimiento, provocando un aumento del sistema viscoso (Lochhead, 2012).

2.4.2 Fluidos no newtonianos

En estos fluidos la relación entre esfuerzo de corte y velocidad de deformación no es proporcional, por lo tanto, no cumplen la ley de Newton (Carrasco V., Castañeda P., & Altamirano O., 2015).

Los fluidos no newtonianos se clasifican en independientes del tiempo y dependientes del tiempo.

2.4.2.1 Independientes del tiempo

La viscosidad no varía con el tiempo, a cualquier esfuerzo cortante dado.

Se clasifica en:

- Pseudoplástico o tixotrópico. La gráfica del esfuerzo cortante *versus* el gradiente de velocidad queda por arriba de la línea recta de los fluidos newtonianos; la curva inicia con mucha pendiente, indicando una viscosidad aparente elevada, luego la pendiente disminuye con el incremento del gradiente de velocidad.
- Dilatante. La gráfica del esfuerzo cortante *versus* el gradiente de velocidad queda por debajo de la línea recta de los fluidos newtonianos, la curva comienza con poca pendiente indicando una viscosidad aparente baja; después la pendiente aumenta con el incremento del gradiente de velocidad.
- De Bingham. Denominados también fluidos de inserción, requieren la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes de que comience el flujo; después de iniciado el flujo la pendiente de la curva es lineal (Mott, 2006).

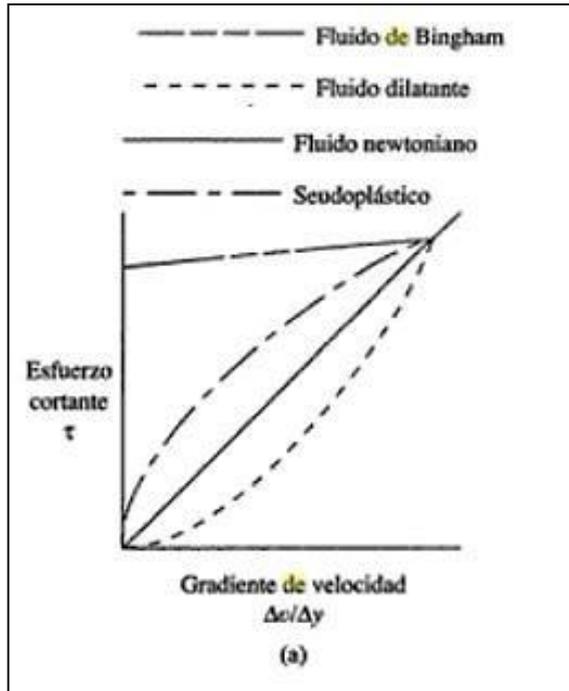


Figura 2.7 Fluidos no newtonianos independientes del tiempo

Fuente: (Mott, 2006)

2.4.2.2 Dependientes del tiempo

La viscosidad cambia si hay una variación en el esfuerzo cortante dado. Estos fluidos resultan difíciles de analizar porque la viscosidad aparente varía con el tiempo, así como el gradiente de velocidad y la temperatura (Carrasco V., Castañeda P., & Altamirano O., 2015).

Clasificación:

- **Electrorreológicos.** Están en desarrollo fluidos que poseen propiedades únicas, controlables por medio de la aplicación de una corriente eléctrica.
- **Magnetorreológicos.** Contienen partículas de hierro suspendidas en una base de fluido (Mott, 2006).

2.4.2.3 Espesantes con reología no newtoniana comúnmente usados en *shampoos*

2.4.2.3.1 Alcanolamidas

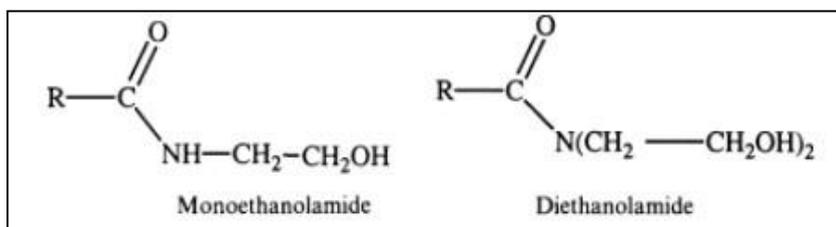


Figura 2.8 Estructura de alcanolamidas

Fuente: (Shipp, 1992)

Son espesantes hidrofóbicos no iónicos de bajo peso molecular; consisten en una combinación de etanolamidas derivados del coco; históricamente estos productos han proporcionado un medio fácil y eficaz para cambiar la reología del *shampoo*. La variación de temperatura afecta poco a estas moléculas. Se disponen de la mono y dialcanolamidas, estas últimas son las más utilizadas ya que son más eficaces para cualquier longitud de cadena alquilo dada. La dietanolamida de coco es la más utilizada debido a que es fácil de obtener y es de fácil incorporación por ser líquida (Knowlton & Pearce, 1993).

Las alcanolamidas presentan una reología no newtoniana; el aumento de la viscosidad se da al interaccionar con las micelas del surfactante aniónico. Además, se puede combinar con las sales y optimizar la obtención de la viscosidad. También ayuda a la formación de la espuma permitiendo una mayor duración. La alcanolamida más usada es la cocamide DEA (Romanowski & Schueller, 2009).

2.4.2.3.2 Cocamide DEA

Ácido graso de coco dietanolamida, derivado tensioactivo del aceite de coco que se utiliza en productos industriales, domésticos y cosméticos. Rara vez se ha reportado alergia de contacto con Cocamida DEA (Aalto-Korte, Pesonen, Kuuliala, & Suuronen, 2014).

En 1996 se realizó un informe final modificado sobre la evaluación de la seguridad de Cocamide DEA, llegando a una conclusión de que Cocamide DEA es segura en productos de enjuague y segura a concentraciones $\leq 10\%$ en productos cosméticos sin dejar de fumar. También se concluyó que Cocamide DEA no debe utilizarse como ingrediente en productos cosméticos en los que se forman compuestos N-nitroso (Andersen, 1996).

En cuanto a las alcanolamidas, en general, se ha determinado que pueden causar nitrosaminas tóxicas o cancerígenas, al ser incorporados en los cosméticos, el riesgo de formarlas es en la amina secundaria como las dietanolaminas más que la amina primaria y terciaria (Schoenberg, 1999). Razón por la que los formuladores actualmente están buscando reemplazar dietanolaminas por monoetanolaminas, pero sin afectar al costo. Existen otras alternativas basadas en monoisopropanolamina (MIPA) tales como isostearamida que están también disponibles para el control de la viscosidad y la espuma (Romanowski & Schueller, 2009).

2.4.2.3.3 Polietilenglicol modificado

Algunos sistemas de tensioactivos resultan difíciles de espesar o son incompatibles con los electrolitos por lo que los fabricantes han desarrollado alternativas que permiten superar estas dificultades.

En estos casos se utilizan otros tipos de espesantes no iónicos, como materiales modificados de polietilenglicol (PEG), (Shipp, 1992).

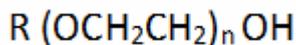


Figura 2.9 Estructura PEG

Fuente: (Romanowski & Schueller, 2009)

En donde:

R: representa el resto graso, puede ser un alcohol graso, éster de glicerilo o de propilenglicol.

n: representa el número medio de unidades repetitivas de polietilenglicol. (Romanowski & Schueller, 2009)

El incremento de la viscosidad se consigue mediante la disolución de cadenas poliméricas de alto peso molecular en el sistema surfactante; presenta algunas ventajas: es relativamente independiente del propio sistema tensioactivo, es estable a la hidrólisis, producen una mejor estabilidad de viscosidad bajo la influencia de condiciones adversas de pH y temperatura (Knowlton & Pearce, 1993).

Se han desarrollado espesantes de PEG altamente etoxilados, que ofrecen formas creativas de espesar sistemas surfactantes, humectar la piel y el cabello y mitigar la irritación de los tensioactivos primarios; estos espesantes hidrófilos de alto peso molecular son sensibles a la variación temperatura con una menor viscosidad a altas temperaturas y se volverán más viscosos a temperatura ambiente; esta propiedad facilita el envasado (Romanowski & Schueller, 2009).

A continuación, nombraremos algunos tipos de modificadores reológicos:

- Laureth-3 (polietilenglicoléter de lauril alcohol). En este caso el grupo R es un alcohol graso; laureth corresponde a la distribución de longitud de cadena de carbono y «3» corresponde a un promedio de tres moles modificación de PEG, este produce reología de adelgazamiento por corte.
- Oleato / cocoato de glicerilo PEG-18. El grupo R es un éster de glicerilo el oleato / cocoato, y el «18» es un promedio de moles de óxido de etileno (Romanowski & Schueller, 2009).
- Oleato de glicol de PEG – 55 propileno. El grupo R es un éster de propilenglicol. Este material está disponible en formas sólidas y pre-dispersas; puede incorporarse en sistemas tensioactivos a niveles bajos para dar un espesamiento efectivo (Knowlton & Pearce, 1993)

2.4.2.3.4 Celulosa

Los espesantes asociativos celulósicos con partes hidrofílicas e hidrófobas bien definidas presentan actualmente un interés creciente debido a sus aplicaciones extensivas, su biodegradabilidad, su falta de toxicidad y sus abundantes materias primas (Zhang, 2001).

Estos materiales son polímeros solubles en agua y compatibles con la mayoría de los ingredientes del *shampoo*. La hidroxietilcelulosa, metilcelulosa, hidroxipropil metilcelulosa son éteres de celulosa preferidos para la modificación de acuerdo con la invención. Estos productos exhiben un efecto de viscosidad sustancialmente mejorado en comparación con sus equivalentes de éter de celulosa no modificados (Romanowski & Schueller, 2009).

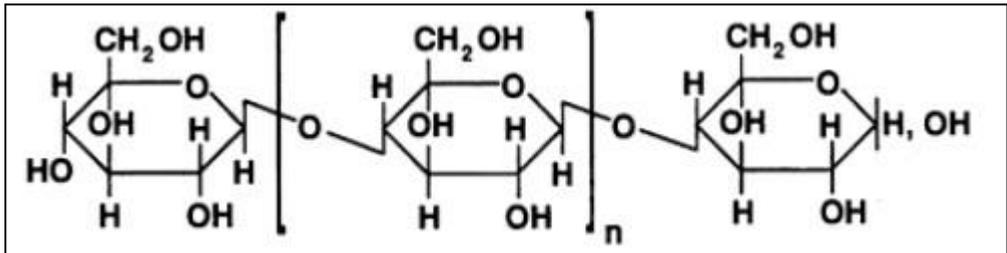


Figura 2.10 Estructura de la celulosa

Fuente: (Knowlton & Pearce, 1993)

La celulosa presenta estructuras básicas de repetición anhidroglucosa, y esta estructura presenta tres grupos de hidroxilo que pueden reaccionar de diversas maneras produciendo diversos derivados de celulosa.

Al utilizar derivados celulósicos en polvo que son de naturaleza hidrófila tomar en cuenta su incorporación, al producto cosmético, por lo que es recomendable primero humedecer las partículas de polvo antes de hidratarlas (Knowlton & Pearce, 1993).

Estos espesantes son compatibles con una amplia variedad de ingredientes cosméticos que incluyen tensioactivos aniónicos y catiónicos, electrolitos y materiales no iónicos.

Estos presentan un comportamiento pseudoplástico lo que permite un aumento de espuma con una estructura de burbuja apretada y un pH estable en un amplio rango (Romanowski & Schueller, 2009).

2.4.2.3.5 Espesantes a base de ácido acrílico

Las resinas de carbómero reticulado de alto peso molecular son polímeros de ácido acrílico. Mientras mayor sea el peso molecular del polímero usado, se obtendrá una viscosidad mayor. El carbómero debe ser primero neutralizado para funcionar como espesante (Knowlton & Pearce, 1993).

El espesamiento se da de la siguiente manera:

Inicialmente el carbómero debe ser neutralizado (trietanolamina o hidróxido de sodio), dando una sal ácida que forma una red polimérica, después se da una ionización del polímero acompañada de un rápido hinchamiento y a su vez atrapa el agua dando lugar al espesamiento; trabaja mejor en un pH de 6-8 (Romanowski & Schueller, 2009).

Los carbómeros son incompatibles con los tensioactivos catiónicos y no funcionan bien en presencia de electrolitos; por lo que en presencia de detergentes resulta difícil su estabilización (Knowlton & Pearce, 1993). Sin embargo, actualmente existen polímeros de ácido poliacrílico modificados hidrofóbicamente y el *Acrylates Copolymer* modificado hidrofóbicamente, muestran una mejora en la tolerancia de electrolito y el rango de pH (Romanowski & Schueller, 2009).

2.4.2.3.6 Espesantes, gomas naturales y arcilla

Existen muchos espesantes, gomas naturales y arcillas disponibles para la elaboración de *shampoo* como, por ejemplo: bentonita (arcilla), carragenano (extracto de algas

marinas), goma de guar, *veegum* (arcilla), goma de xantano, goma de algarroba, goma arábica, etc. (Knowlton & Pearce, 1993).

Entre los espesantes naturales más populares incluyen goma de xantano, silicato de magnesio y aluminio (*veegum*), bentonita y *Lauryl Lactate*.

Generalmente estos materiales se añaden primero a la fase acuosa y se incorporan con agitación vigorosa (Romanowski & Schueller, 2009).

- Goma de xantano. Polisacárido soluble en agua fría, se puede usar en un amplio rango de pH, presentan un comportamiento pseudoplástico.
- Silicato de magnesio y aluminio. A pesar de ser insolubles, este se hincha en presencia de agua formando una matriz viscosa nebulosa, exhibe un comportamiento tixotrópico reversible. Usado generalmente en sistemas surfactantes opacos o perlados.
- Bentonita. Es hidrofílica y puede ser dispersada dentro del agua; al humedecer se hincha formando un gel que es tixotrópico. La viscosidad puede ser mejorada al adicionar electrolitos (Romanowski & Schueller, 2009).

2.5 Métodos para determinar la viscosidad

El viscosímetro o viscosómetro es un instrumento empleado para medir la viscosidad, se basa en algunos de los fenómenos relacionados con la viscosidad.

2.5.1 Viscosímetro Engler

El recipiente se llena del líquido cuya viscosidad se quiere medir hasta una señal y se mantiene a temperatura constante en baño María; a continuación, se levanta el obturador y se cronometra el tiempo necesario para evacuar 200 cm³ de agua destilada y el empleado para igual cantidad de líquido problema. El resultado se expresa en grados Engler, E° (Calvo, Cuartero, & Puente, 2001).

$$\eta_r = \frac{\text{Tiempo líquido a } T \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Tiempo del agua a } 20^\circ\text{C}}$$

Ecuación 2-3. *Cálculo viscosidad – Engler*

Fuente: (Ramírez Navas, 2006)

2.5.2 Viscosímetro de Ostwald

Consiste en un tubo de vidrio de forma irregular, una de cuyas ramas posee un estrechamiento capilar con dos ensanchamientos en los extremos.

En esencia el viscosímetro es un tubo en U, y una de sus ramas es un tubo capilar fino conectado a un depósito superior. El tubo se mantiene en posición vertical y se coloca una cantidad de fluido en el depósito para que luego fluya por gravedad a través del capilar. Se registra el tiempo para el cual la superficie libre del tanque baja entre dos marcas (Calvo, Cuartero, & Puente, 2001).

Primero se calibra con agua estilada, midiendo el tiempo de descenso entre las dos marcas señaladas en el tubo y, luego, se ensaya con el líquido problema a distintas temperaturas en baños calefactores, a fin de trazar la gráfica correspondiente (Ramírez Navas, 2006).

$$\eta_r = \frac{\text{Tiempo líquido a } T \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Tiempo del agua a } 20^\circ\text{C}}$$

Ecuación 2-4. *Cálculo viscosidad – Ostwald*

Fuente: (Ramírez Navas, 2006)

2.5.3 Viscosímetro de rotatorio

Instrumento de inmersión que mide la viscosidad dinámica en baños abiertos bajo la presión atmosférica; utilizado en el presente estudio.

Su principio se basa en la rotación de un disco (husillo) o cilindro que se sumerge en el material a medir; en donde mide la fuerza de torsión necesaria para superar la resistencia viscosa de la rotación. El disco giratorio está acoplado con un muelle al árbol motor que

gira a una velocidad determinada. El ángulo de desviación del eje se mide electrónicamente dando la medida de fuerza de torsión.

Estos dan una lectura directa de viscosidad en centipoise (mPa.s) ya que se realizan los cálculos dentro del viscosímetro a partir de las medidas de fuerza, de la velocidad del eje y de sus características.

El viscosímetro está fabricado para tener en cuenta la velocidad seleccionada y el tipo de disco rotatorio o husillo seleccionado para dar los resultados en centipoise.

Las combinaciones de los discos rotatorios y velocidades permiten elegir una escala óptima para cualquier medición, dentro de la gama del aparato (Biobase Biozone Co., s. f.), (Ramírez Navas, 2006).

2.5.4 Viscosímetro de caída de bola

Se basa en un recipiente que contiene un fluido viscoso, su funcionamiento consiste en introducir una pequeña esfera dentro del recipiente, la cual parte del reposo y rápidamente alcanza la velocidad límite. El tiempo que le toma recorrer la distancia L determina la viscosidad de flujo (Sánchez, 2008).

Se calcula aplicando la ley de Stokes; la cual se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos números de Reynolds. Es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a velocidades bajas (Levitt, 1979).

$$F_r = 6\pi R\eta v$$

donde R es el radio de la esfera, v su velocidad y η la viscosidad del fluido.

Ecuación 2-5. *Ley de Stokes*
Fuente: (Ramírez Navas, 2006)

A partir de la velocidad límite se calcula la viscosidad del fluido:

$$V_s = \frac{2 R^2 g (\rho_p - \rho_f)}{9 \eta}$$

Donde: V_s es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite), g es la de la gravedad, ρ_p es la densidad de las partículas y ρ_f es la densidad del fluido.

Ecuación 2-6 Velocidad límite

Fuente: (Ramírez Navas, 2006)

2.6 Espuma

La espuma se comienza a formar en el momento que el detergente se disuelve en el agua, las moléculas comienzan a situarse en la superficie incrementando el área superficial del agua (Simmons, 2007).

La espuma actúa como un lubricante al facilitar la aplicación de la solución detergente, a su vez mantiene la acción limpiadora en la superficie de la cabeza; pero no es un indicador del poder de limpieza; ya que existe una tendencia generalizada entre los consumidores a creer que un *shampoo* con espuma abundante tiene mayor poder limpiador (Simmons, 2007).

2.7 Seguridad del *shampoo*

Se debe controlar que los *shampoos* elaborados no sean tóxicos, estos deben ser seguros tanto para la piel como para los ojos, aunque generalmente no representan peligro, ya que el *shampoo* tiene un corto tiempo de contacto con áreas sensibles. El material presente en una mayor proporción en el *shampoo* es el lauril sulfato. En el 2002 el *Cosmetic Ingredient Review* estableció que se utilizará en productos de cuidado personal (Othmer, 2012).

Según la FDA de los Estados Unidos cualquier producto antes de ser vendido debe determinarse su seguridad a través de pruebas; en el caso que no se determine la

seguridad debe indicarse en el producto como una advertencia. Actualmente, existe una serie de pruebas para determinar la seguridad; una de ellas es RIPT, pruebas de contacto para detectar alergias o irritaciones a repetición en humanos (Johansson & Somasundaran, 2007).

2.8 Estabilidad del *shampoo*

El objetivo de realizar la estabilidad de un producto cosmético es asegurar que un producto nuevo o modificado cumpla con las especificaciones físicas, químicas y normas de calidad cuando se almacenan en condiciones adecuadas (Castillo S. & Pastor C., 2012).

El estudio de estabilidad proporciona indicaciones sobre el comportamiento del producto, en determinado intervalo de tiempo, frente a condiciones ambientales a las que pueda ser sometido, desde la fabricación hasta su expiración.

Según el Manual de la International Federation of Societies of Cosmetic Chemists – IFSCC, la prueba de estabilidad es considerada un procedimiento predictivo, basado en datos obtenidos de productos almacenados en condiciones que buscan acelerar alteraciones, posibles de suceder en las condiciones de mercado. Como en todo procedimiento predictivo los resultados no son absolutos, pero tienen probabilidad de suceder (ANVISA, 2005).

Los parámetros que se prueban o se observan al evaluar la estabilidad del *shampoo* son los cambios de pH, la viscosidad, formación de espuma y la integridad del producto, la separación del producto, el color (Johansson & Somasundaran, 2007).

El estudio de estabilidad contribuye a:

- Proporcionar información sobre la confiabilidad y seguridad de los productos, mediante el monitoreo de la estabilidad organoléptica, fisicoquímica y microbiológica.
- Permite una orientación durante el desarrollo de formulaciones y material de acondicionamiento adecuado.
- Estimar el plazo de validez y proporciona información para su confirmación.

Existen varios factores que afectan la estabilidad de acuerdo con su origen pueden ser extrínsecas determinada por factores externos e intrínsecas dependen de factores inherentes a la formulación.

2.8.1 Factores extrínsecos

- **Tiempo.** La degeneración del producto por el paso del tiempo puede producir alteraciones organolépticas, fisicoquímicas, etc.
- **Temperatura.** Altas temperaturas aceleran reacciones fisicoquímicas afectando la viscosidad, aspecto, color, olor. Bajas temperaturas pueden producir alteraciones físicas como turbiedad, precipitación, cristalización.
- **Material de acondicionamiento.** Materiales de empaque como plástico, papel, vidrio pueden influenciar en la estabilidad.
- **Microorganismos.** Hay una mayor susceptibilidad de contaminación cuando hay presencia de agua en las formulaciones.

2.8.2 Factores intrínsecos

- **Incompatibilidad física.** Cuando se presenta precipitación, separación de fases, cristalización, formación de grietas, etc.
- **Incompatibilidad química.** En este factor incluyen varios aspectos los cuales son:
 - a. **pH.** Su valor está relacionado con diferentes aspectos como es la estabilidad de los ingredientes, eficacia y seguridad del producto.
 - b. **Reacciones de óxido-reducción.** Al darse reacciones de oxidación o reducción se puede producir alteraciones de la actividad de las sustancias activas, de las características organolépticas y físicas de las formulaciones.
 - c. **Reacciones de hidrólisis.** Se presentan cuando hay presencia de agua en las formulaciones.
 - d. **Interacciones.** Entre los ingredientes de la formulación y la interacción entre el material de acondicionamiento y los nombrados anteriormente (ANVISA, 2005).

2.8.3 Tipos de estudios de estabilidad

- **Estudio de estabilidad a tiempo real.** Este es realizado por el tiempo total del período de eficacia propuesto y en condiciones de temperatura y humedad determinadas por la naturaleza del producto.
- **Estudio de estabilidad acelerada.** En este estudio se realiza un aumento de la velocidad de degradación química o de los cambios físicos de un principio

activo, mediante el uso de condiciones de almacenamiento severas de temperatura y humedad.

- **Estudio de estabilidad de extremos.** El diseño de un esquema de estabilidad tal que solo son controladas las muestras de los extremos, por ejemplo, de tamaño de envase y/ o de dosis. El diseño supone que la estabilidad de las muestras de condiciones intermedias está representada por la de los extremos (Instituto de Salud Pública de Chile, 2006).

3 CAPÍTULO III – ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

3.1.1 Modificadores reológicos

3.1.1.1 Cloruro de sodio

Este espesante iónico, generalmente se incorpora en soluciones con tensioactivos del tipo aniónico para aumentar la viscosidad. Se utilizan en proporciones de 0,1 al 2 % del total de la fórmula (Romanowski & Schueller, 2009).

3.1.1.1.1 Curva de la sal

La curva de la sal es el gráfico entre la concentración de electrolitos *versus* la viscosidad lograda. Esta relación rara vez es lineal ya que este tiene un valor máximo de viscosidad y al adicionar más sal comienza a bajar la viscosidad.

Para la elaboración de la curva se adiciona en un 0,1 % a las fórmulas; después de cada adición se obtiene un valor de viscosidad moderada, para con estos datos graficar la curva. Los datos son tomados hasta dos puntos más allá de la viscosidad máxima (Romanowski & Schueller, 2009).

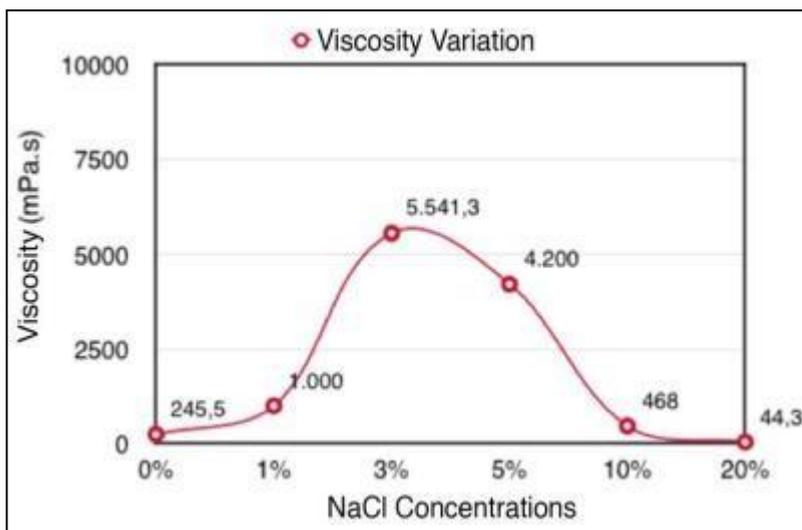


Figura 3.1 Curva de la sal

Fuente: (Loiola Vasconcelos, Martins Mesquita, Nascimento, & Mendes Cangussu, 2016)

3.1.1.2 PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua

Es un polietilenglicol modificado, líquido de alto rendimiento para sistemas tensioactivos acuosos.

Al ser un líquido, funciona especialmente bien en sistemas de mezcla fríos obteniendo una eficiente viscosidad en el *shampoo*.

Se ha observado que este espesante produce una viscosidad mayor que los convencionales en una concentración de 1-2 %.

Dicho rendimiento permite el uso de este producto en concentraciones menores que los productos convencionales y demuestra tanto su eficacia como economía en el espesamiento. Además, mejora la viscosidad en conjunto con la sal.

3.1.1.2.1 Modo de uso

Para espesar se debe precalentar el material a una temperatura superior a 50 °C y añadir a la base tensioactiva fría mezclando. La mezcla resultante es transparente a pH mayor o igual a 5,00. El pH de uso es de 5,0 a 9,0 y no necesita neutralizarse, es muy soluble en sistemas tensioactivos aniónicos, no iónicos y anfóteros, compatible con las sales catiónicas; 1-8 % son las concentraciones de uso típicas (Croda, s. f.).

3.1.1.3 Acrylates Copolymer

Es un polímero espesante a base de ácido acrílico que permite modificaciones reológicas, estabilización y suspensión de propiedades en sistemas tensioactivos. Con altos niveles de estos se pueden obtener formulaciones claras o transparentes en un pH de 5,5 o neutro. En formulaciones a base de tensioactivos se logra un alto valor de rendimiento (BASF, 2012).

Este aditivo reológico proporciona importantes propiedades de suspensión y estabilización a las formulaciones, especialmente con ingredientes insolubles y difíciles de estabilizar, tales como siliconas, pueden coemulsionarse y estabilizarse.

El mecanismo de espesamiento que realiza este material se denomina «hidrodinámico»: empaquetamiento físico de las moléculas de polímero, responsable del desarrollo de la suspensión y viscosidad.

Su proceso es el siguiente:

Al ser un polímero de emulsión acrílica hinchable en álcali y con estructura carboxilo en forma protonada, presenta moléculas de polímero enrolladas e imparten relativamente poca suspensión y viscosidad al líquido. Tras la neutralización, las moléculas se ionizan, se expanden debido a la repulsión de carga del carboxilato aniónico y proporcionan propiedades de suspensión y espesamiento al sistema acuoso en el que residen (Lubrizol, 2013), (BASF, 2012).

Se puede realizar formulaciones a base de surfactante en un amplio rango de pH: de 3,5 a 10 o más (Lubrizol, 2013).

3.1.1.3.1 Características fisicoquímicas

Apariencia: líquido blancuzco

Aspecto: lechoso

Olor: suave acrílico

pH: 3

Materia activa (polímero activo): 30 %

(Lubrizol, 2013) (BASF, 2012).

La dosis recomendada es de 3,0-8,0 %.

Viscosidad estándar 4000-10 000 mPa.s a 25 °C (1 % en agua, pH 7,5 eje 4 a 20 rpm).

Este polímero es compatible con tensioactivos no iónicos, aniónicos y anfóteros (BASF, 2012).

3.1.1.3.2 Propiedades básicas del polímero en el agua

Se ha observado que el polímero empieza a espesar un sistema acuoso a pH6,2. Por lo tanto, normalmente, es necesario ajustar el pH de la formulación por encima de 6,5 para obtener propiedades reológicas iniciales (Lubrizol, 2013).

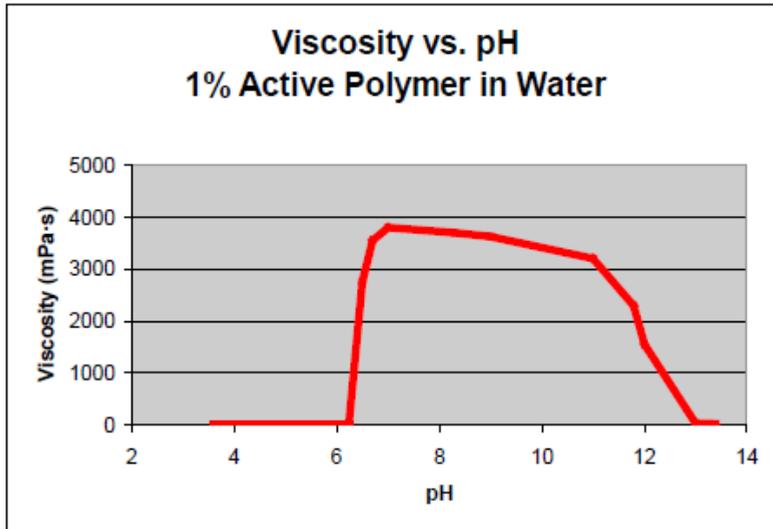


Figura 3.2 *Viscosidad vs. pH*
Fuente: (Lubrizol, 2013)

3.1.1.3.3 Propiedades de rendimiento del polímero en relación con los beneficios proporcionados

- Suspensión y espesamiento

El valor de rendimiento es de 100-150 dinas (dyn)/cm² con una estabilidad adecuada, se ha observado incluso una buena estabilidad en formulaciones de polímeros con valores de rendimiento tan bajos como 50-80 dyn/cm² (Lubrizol, 2013).

- Efecto de la sal

Este polímero también funciona sinérgicamente con el cloruro de sodio, para suspender, estabilizar y espesar las formulaciones a base de tensioactivos.

En la siguiente figura se observa un *shampoo* anticaspa con un 10,2 % en peso de tensioactivos y un pH final de 5,5. Esta formulación utiliza *laureth* sulfato de sodio y cocoamidopropil betaína que equivale a 13,7 % en peso de activos tensioactivos totales (Lubrizon, 2013).

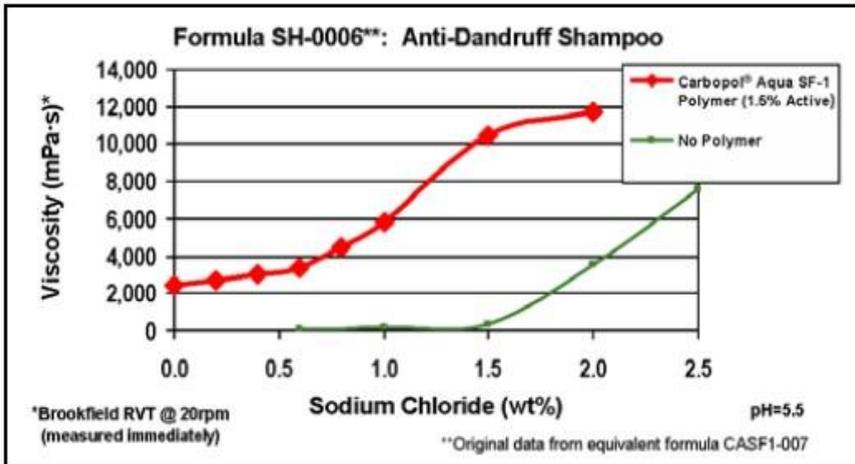


Figura 3.3 Efecto del cloruro de sodio sobre la viscosidad (espesor sinérgico)

Fuente: (Lubrizon, 2013)

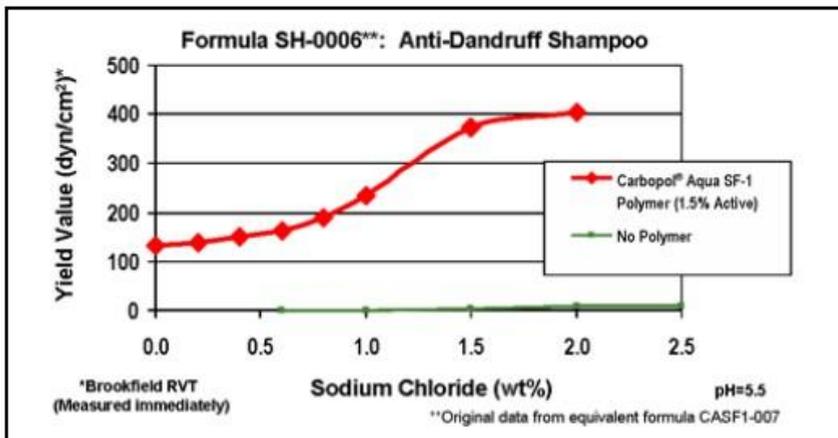


Figura 3.4 Efecto del cloruro de sodio sobre el valor de rendimiento (espesor sinérgico)

Fuente: (Lubrizon, 2013)

- pH: Espesamiento «back-acid»

Es una tecnología de espesamiento patentado por Lubrizol Advanced Materials, esta técnica consiste en reducir el pH de la formulación después de la neutralización en presencia de surfactantes (Lubrizol, 2013).

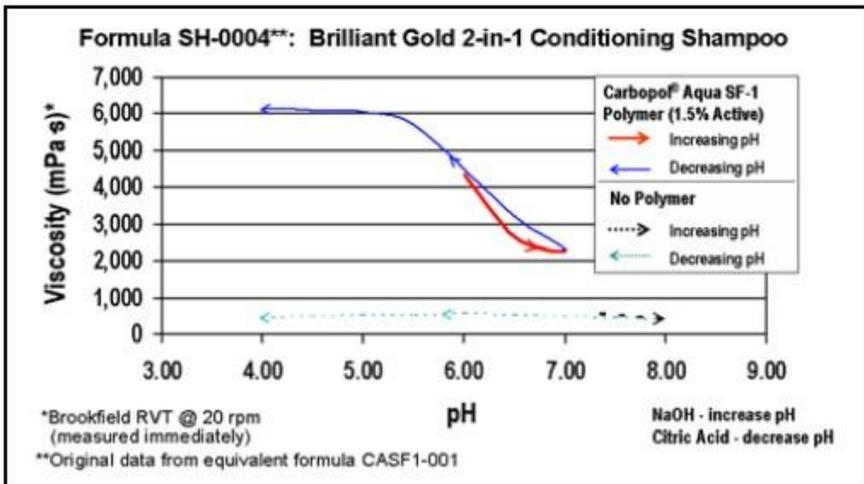


Figura 3.5 Efecto espesante «back-acid» en viscosidad

Fuente: (Lubrizol, 2013)

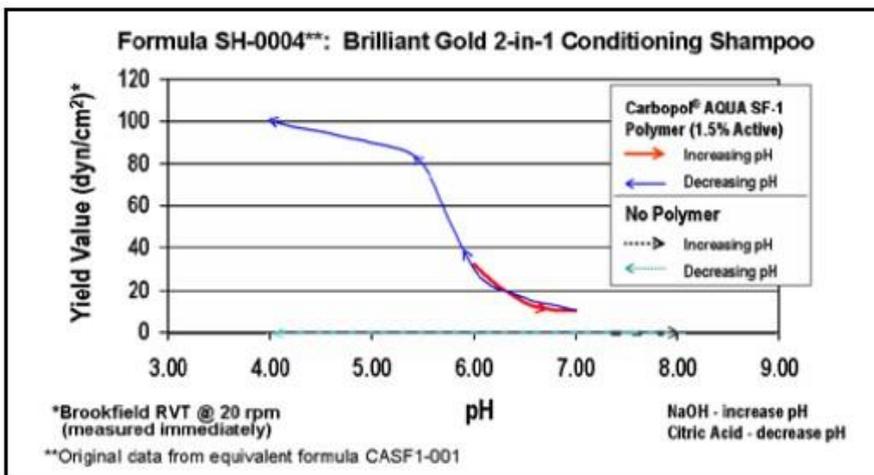


Figura 3.6 Efecto espesante «back-acid» sobre el valor de rendimiento

Fuente: (Lubrizol, 2013)

- Claridad

El polímero permite suspender partículas más grandes y espesar sistemas tensioactivos exhibiendo transparencia. Se debe ajustar el pH a 6.5-6.8 para maximizar la claridad y la eficiencia. La adición de electrolitos tenderá a disminuir la claridad. Sin embargo, algunas formulaciones pueden tolerar 0,1-0,2 % en peso de sal y aun así mantener una alta claridad (Lubrizon, 2013).

- Coemulsificación y estabilización

Como se ha mencionado anteriormente el polímero permite la estabilización de siliconas y otros líquidos insolubles en productos a base de tensioactivos. El grupo Lubrizon ha realizado una prueba de estabilidad a altas temperaturas y ha demostrado que no hay separación o signo de inestabilidad después de 10 semanas a 45 °C (Lubrizon, 2013).

- Cizallamiento

A velocidades de corte bajas, la viscosidad y el valor de rendimiento son altos y se pueden estabilizar los ingredientes insolubles y suspendidos. A altas velocidades de cizallamiento, la viscosidad es baja y el producto puede ser fácilmente bombeado o dispensado. La viscosidad se recupera inmediatamente cuando se reduce la cizalladura (Lubrizon, 2013).

3.1.1.4 *Lauryl Lactate*



Es un espesante líquido natural; éster obtenido mediante una reacción de alcohol graso y ácido láctico, es libre de nitrógeno, sal y polietilenglicol (PEG). Es biodegradable, suave con algunas propiedades emolientes y condicionantes para el cabello debido a sus características hidrófobas; sin efectos negativos sobre el comportamiento de espumación de las formulaciones (Kao, 2012).

En cuanto a la reología, por ser espesante hidrófobo permite un comportamiento de flujo de adelgazamiento por cizallamiento, lo que significa que la viscosidad disminuye con el aumento del corte de fuente. Este material mejora la estabilización de partículas dispersadas como perlizantes o aditivos como el piritionato de zinc, contra la sedimentación durante condiciones de almacenamiento, y tiene un efecto positivo durante el bombeo y la aplicación.

Permite una viscosidad estable en un pH < 7,5 y temperatura < 50 °C (Kao Chemicals Europe, 2012).

Se puede procesar a temperatura ambiente, su porcentaje de uso depende de la composición y el nivel de viscosidad deseado para producto final de consumo.

Puede variar de 0,3 % hasta 3 % aproximadamente (Kao, 2012), (Kao Chemicals Europe, 2012).

3.1.1.4.1 Características fisicoquímicas

Aspecto: claro e incoloro.

Olor: inodoro.

Valor ácido: (mg KOH/g): 10 máx.

Valor de saponificación: (mg KOH/g): 235-255

(Kao Chemicals Europe, 2012)

3.1.2 Estabilidad preliminar

Esta prueba también es conocida como prueba de selección, estabilidad acelerada o de corto plazo, tiene como objetivo auxiliar y orientar en la elección de las formulaciones.

Se realiza en la fase inicial de la realización del producto, con diferentes formulaciones, emplea condiciones extremas de temperatura con el objetivo de acelerar posibles reacciones entre sus componentes y el surgimiento de señales que deben ser observadas y analizadas conforme las características específicas de cada tipo de producto, permite la selección de las formulaciones.

3.1.2.1 Procedimiento

El producto debe ser colocado en un envase adecuado, dejando un espacio, es decir, no llenar el envase, ya que puede haber formación de gas. Este estudio dura generalmente quince días.

Por lo general las muestras son sometidas a calentamiento en estufas, enfriamiento en refrigeradores y a ciclos alternados de enfriamiento y calentamiento.

Los valores comunmente adoptados para los ciclos son:

Ciclos de 24 horas a 40 ± 2 C, y 24 horas a 4 ± 2 C – durante cuatro semanas.

Ciclos de 24 horas a 45 ± 2 C y 24 horas a -5 ± 2 C – durante 12 días (6 ciclos).

Ciclos de 24 horas a 50 ± 2 C y 24 horas a -5 ± 2 C – durante 12 días (6 ciclos).

Los parámetros que se evalúan generalmente son:

- Características organolépticas: aspecto, color, olor y sabor, cuando sea aplicable.
- Características fisicoquímicas: valor de pH, viscosidad y densidad, u otros.

Se debe tomar una muestra de referencia, también denominada patrón, que en general puede ser mantenida en nevera o a temperatura ambiente, al abrigo de la luz. En carácter complementario, pueden ser también utilizados muestras de mercado, cuya aceptabilidad sea conocida, u otros productos semejantes, considerados satisfactorios en lo referente a los parámetros evaluados (ANVISA, 2005).

3.1.3 Espuma

Denominado como el conjunto de burbujas gaseosas separadas por películas delgadas de líquido, formadas unas sobre otras en la superficie del líquido.

La formación de la espuma puede darse por un trabajo mecánico como agitación, caída del líquido desde cierta altura; la presencia de un agente espumante que provoca una disminución en la tensión superficial del líquido a espumar.

Las etapas de vida de la espuma son:

- a. Formación de la espuma. Desde algunos segundos hasta minutos.
- b. Maduración de la espuma desde la espuma húmeda a la espuma seca donde el espesor de la película es todavía grande respecto con la escala coloidal, de algunos minutos a algunas horas.
- c. La persistencia de las espumas secas cuya estabilidad de la película depende de las interacciones coloidales (Salager, Andérez, & Forgiarini, 1999).

3.2 Metodología

3.2.1 Base de *shampoo*

Se elaboró la siguiente formulación que posteriormente servirá como base para probar los diferentes modificadores reológicos.

Tabla 3-1 *Fórmula de la base de shampoo*

Fuente: *Autor*

PRODUCTO	CANTIDAD
Lauril éter sulfato sódico	10 %
Betaína	4 %
Cocamide DEA	2 %
DMDM Hidantoína	0,4 %
H ₂ O	CSP 100
Agente reológico	X1 *

X1*. Porcentaje de agente reológico a utilizar según aplique la preparación a desarrollar.

3.2.2 Determinación de viscosidad y altura de espuma media

Se realizaron lecturas de viscosidad y altura de espuma en tres productos de venta en el mercado local; obteniendo valores de referencia de viscosidad y altura de espuma para nuestro estudio.

3.2.2.1 Viscosidad

La viscosidad es una propiedad de los líquidos íntimamente vinculada con la resistencia al flujo. Se define como la fuerza requerida para mover en forma continua una superficie plana sobre otra, bajo condiciones específicas constantes, cuando el espacio entre ambas está ocupado por un líquido. La viscosidad se puede expresar en términos de viscosidad absoluta, que se define como la fuerza por unidad de área necesaria para mantener una unidad de gradiente de velocidad. Las unidades básicas son el poise y centipoise (siendo 1 poise = 100 centipoise) o en el SI (Sistema Internacional de Unidades), la unidad física de viscosidad dinámica es el pascal-segundo (Pa·s), (ANMAT & INAME, 2003).

Procedimiento

- a. La determinación se realiza utilizando el viscosímetro marca BIOBASE BDV-5S.
- b. Determinar el número de rotor a utilizarse en función de la naturaleza de la muestra a realizar la lectura.
- c. Colocar 250 mL de cada muestra en un vaso de precipitación e introducir el huso o *spindle* del viscosímetro en el mismo.
- d. La determinación de la viscosidad se efectúa a una temperatura de $25,0 \pm 0,1$ °C.

3.2.2.2 Determinación del nivel de espuma

El método ocupado consiste en medir la cantidad de espuma formada al agitar una solución de tensioactivo en agua. Las condiciones de preparación de la solución, agitación y medición de la espuma se deben observar cuidadosamente para que el método sea reproducible.

Instrumental

- a. Probeta graduada de 100 cm³
- b. Balanza analítica (Boeco Germany), sensible al 0,1 g
- c. Vaso de precipitación de 250 cm³

Procedimiento

- Preparar una solución al 1 % (agua 25 °C)
- Transferir 20 cm³ de la solución al 1 % a una probeta
- Tapar y agitar 20 veces
- Realizar la lectura en 1 minuto, 3 minutos y 5 minutos
- Leer el volumen del agua en la parte superior
- Restar el volumen total (agua + espuma)

3.2.3 Determinación del porcentaje óptimo de cada agente reológico

Para obtener la viscosidad adecuada con cada modificador reológico se realizaron curvas de viscosidad; variando las concentraciones en forma ascendente para obtener el porcentaje óptimo y hacer posteriores preparaciones.

Se obtuvieron tres lecturas de cada concentración y la curva se elaboró con el promedio de cada una.

Además, se aplicó una regresión lineal a los datos de cada una de las curvas obtenidas para observar su comportamiento.

Los modificadores reológicos utilizados son:

- Cloruro de Sodio

- *PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua Acrylates Copolymer*
- *Lauryl Lactate*

3.2.4 Elaboración de las preparaciones de *shampoo*

Con el objetivo de observar el comportamiento en cuanto a viscosidad y altura de espuma de cada agente reológico en la misma base de *shampoo* se elaboraron cuatro preparaciones a la concentración óptima obtenida en la curva de calibración.

Cada preparación de *shampoo* se preparó por triplicado para realizar el ensayo de los parámetros de viscosidad con la ayuda del viscosímetro rotacional y lectura de altura de espuma.

Las concentraciones óptimas obtenidas de cada agente reológico se observan en la siguiente tabla:

Tabla 3-2 *Concentraciones para obtener una viscosidad requerida*

Fuente: *Autor*

AGENTE REOLÓGICO	% VISCOSANTE
Cloruro de Sodio	0,8
<i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua Acrylates Copolymer</i>	1,5
<i>Lauryl Lactate</i>	0,8

La justificación del uso de los diferentes agentes reológicos objetos de estudio se describe a continuación:

- Cloruro de Sodio. Este modificador reológico se utiliza generalmente como solución acuosa, sólido o en combinación con otros espesantes permitiendo aumentar su rendimiento. Se utilizan en una proporción de 1-2 % (Romanowski & Schueller, 2009).

- *PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua*. Espesante líquido transparente a oscuro, olor suave característico; las concentraciones de uso típico son de 1-8 % (Croda, s. f.).
- *Acrylates Copolymer*. Espesante líquido blanquecino, la dosis recomendada es de 3-8%. Presenta sinergia con la sal (BASF, 2012).
- *Lauryl Lactate*. Es un espesante natural, tiene un aspecto claro e incoloro, inodoro, se puede utilizar en una concentración de 0,3-3 % (Kao Chemicals Europe, 2012).

3.2.5 Estabilidad de las preparaciones de *shampoo*

A las preparaciones elaboradas se las somete a una prueba de estabilidad que consiste en:

- Colocar las muestras a una temperatura de -5 ± 2 °C por 24 horas y a 45 ± 2 °C por 24 horas.
- Al final del primer ciclo se realiza lecturas de viscosidad y altura de espuma, este procedimiento se lleva a cabo por 12 días es decir 6 ciclos.
- Registrar las lecturas de viscosidad y espuma al final de cada ciclo.
- La lectura de viscosidad se realiza a 25 °C y la lectura de nivel de espuma se realiza de acuerdo con la Norma INEN 0831.
- Como testigo se dejó una muestra a temperatura ambiente durante este tiempo de estabilidad (ANVISA, 2005).

3.2.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado tiene como finalidad confirmar estadísticamente que si existen o no modificadores reológicos con un comportamiento similar al cloruro de sodio; que se pueda reemplazar este último con otros modificadores de viscosidad, para lo cual se aplicará la herramienta estadística ANOVA de una vía seguido del test Tukey.

Las herramientas estadísticas nombradas anteriormente, se indican a continuación:

3.2.6.1 Modelo de ANOVA de una vía y test de Tukey

El análisis de varianza de una vía implica el análisis de los datos de experimentos en los cuales se utilizaron más de dos tratamientos. Las características que diferencian los tratamientos uno de otro se denominan factor de estudio y los distintos tratamientos se conocen como niveles de un factor (Devore, 2008).

El análisis de varianza o ANNOVA permite probar entre varios tratamientos si estadísticamente son iguales en cuanto a sus medias o al menos una de ellas son diferentes (Salazar & Gutiérrez, 2008).

Estos resultados son corroborados mediante el test de Tukey para la discriminación de cuál o cuáles grupos de datos son diferentes entre sí.

Para realizar el análisis estadístico se importaron los resultados obtenidos en la estabilidad; para poder diferenciar e identificar cada agente reológico se le asigno una letra.

En la siguiente tabla se muestran las letras asignadas a cada agente reológico para dicho análisis.

Tabla 3-3 Letras asignadas a cada modificador reológico

Fuente: Autor

Modificador Reológico	Letra asignada
Cloruro de sodio	S
<i>PEG-150 Pentaerythryl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua</i>	C
<i>Acrylates Copolymer</i>	R
<i>Lauryl Lactate</i>	E

Software utilizado: Minitab 17.

4. CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Determinación de viscosidad y altura de espuma promedio en *shampoos* de venta en el mercado local

Tabla 4-1 Lecturas de viscosidad de *shampoos* de venta en el mercado local

Fuente: Autor

MUESTRA	L1 (mPa*s)	L2 (mPa*s)	L3 (mPa*s)	PROMEDIO (mPa*s)	PROMEDIO VISCOSIDAD (mPa*s)
<i>Shampoo X</i>	7022	7885	6235	7047	7119
<i>Shampoo Y</i>	7787	6457	6867	7037	
<i>Shampoo Z</i>	7756	7273	6793	7274	

Spindle #3, 12 rpm, @ 25 °C

Tabla 4-2 Lecturas de altura de espuma en *shampoos* de venta en el mercado local

Fuente: Autor

	LECTURAS	1 MINUTO	3 MINUTOS	5 MINUTOS
<i>Shampoo X</i>	L1 (ml)	28	28	28
	L2 (ml)	30	28	28
	L3(ml)	32	32	30
<i>Shampoo Y</i>	L1 (ml)	35	30	29
	L2 (ml)	40	39	39
	L3(ml)	40	39	39
<i>Shampoo Z</i>	L1 (ml)	29	28	28
	L2 (ml)	30	29	28
	L3(ml)	32	30	30
PROMEDIO		33	31	31

Los valores promedios obtenidos tanto de viscosidad como nivel de espuma servirán como referencia para nuestro estudio. En el país no existe una reglamentación donde se definan rangos para especificaciones que deba cumplir esta forma cosmética en cuanto

a estos parámetros, pero existen normativas como la Decisión 516 de la Comisión de la Comunidad Andina de las Naciones (CAN), se considera que cada fabricante tiene la libertad para determinar las especificaciones de su producto, con el único condicionante de cumplir con lo especificado en el artículo 2 en donde dice que: «Los productos cosméticos que se comercialicen dentro de la subregión no deberán perjudicar la salud humana cuando se apliquen en las condiciones normales o razonablemente previsibles de uso, teniendo presente particularmente, la presentación del producto, su etiquetado y las eventuales instrucciones de uso y eliminación, así como cualquier otra indicación o información que proceda del fabricante o del responsable de comercialización del producto» (CAN, 2002).

En el caso de la viscosidad esta debe ayudar a que el *shampoo* cumpla adecuadamente con sus funciones: aplicación y distribución en el cabello, es decir, no ser muy líquido o lo contrario.

4.2 Determinación del porcentaje óptimo de cada agente reológico

4.2.1 Curva de viscosidad del cloruro de sodio

Tabla 4-3 *Porcentajes del cloruro de sodio y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad*

Fuente: *Autor*

% Cloruro de Sodio	Promedio viscosidad (mPa*s)
0,5	1193
0,6	2599
0,8	6850
1	15419

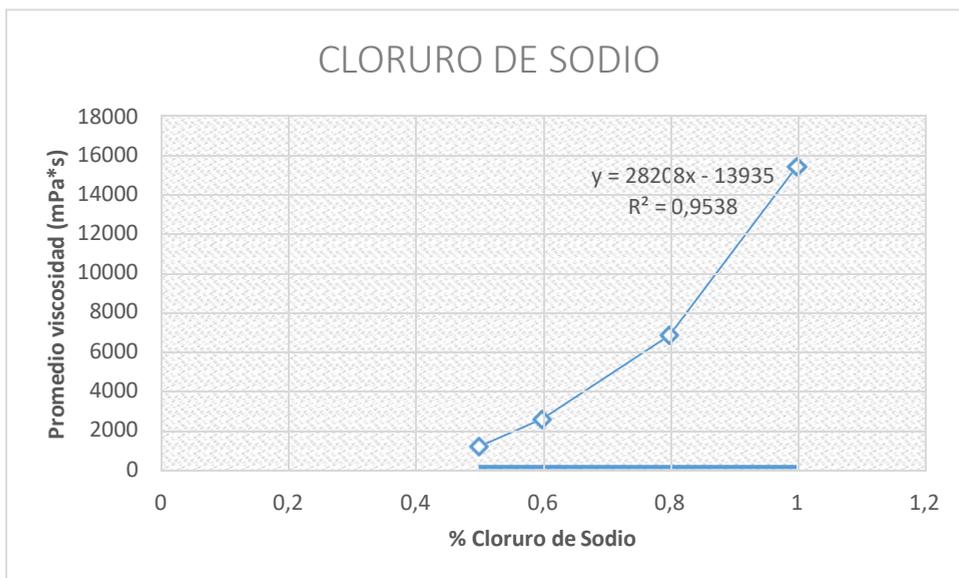


Figura 4.1 Curva de viscosidad Cloruro de Sodio

Fuente: Autor

Se observa que sí existe una relación entre las variables concentración del cloruro de sodio y viscosidad; a medida que asciende la concentración se incrementa la viscosidad, pero el incremento de la viscosidad es más o menos el doble del anterior.

Tabla 4-4 Porcentaje PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad.

Fuente: Autor

% PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua	Promedio viscosidad (mPa*s)
1	2046
1,5	8239
2	14687
2,5	21143

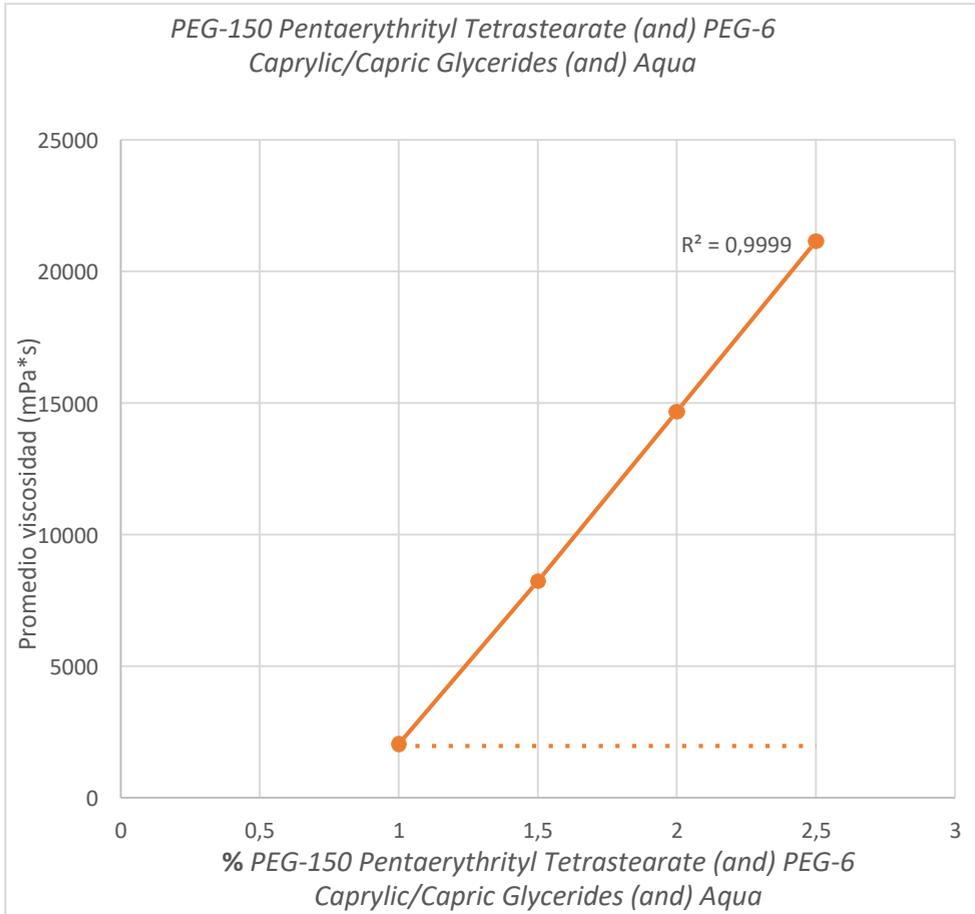


Figura 4.2 Curva de viscosidad PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua

Fuente: Autor

Se observa que sí existe una relación entre las variables concentración del presente modificador reológico y viscosidad; es decir, al aumentar un mismo porcentaje de modificador reológico, se incrementará de forma equivalente la viscosidad (cada 0,5% incrementa aprox. 6300 mPa*s).

Tabla 4-5 Porcentaje Acrylates Copolymer y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad

Fuente: Autor

% Acrylates Copolymer	Promedio viscosidad (mPa*s)
4	2126
5	5215
5,2	5533
5,5	6625
6	13640
7	25117

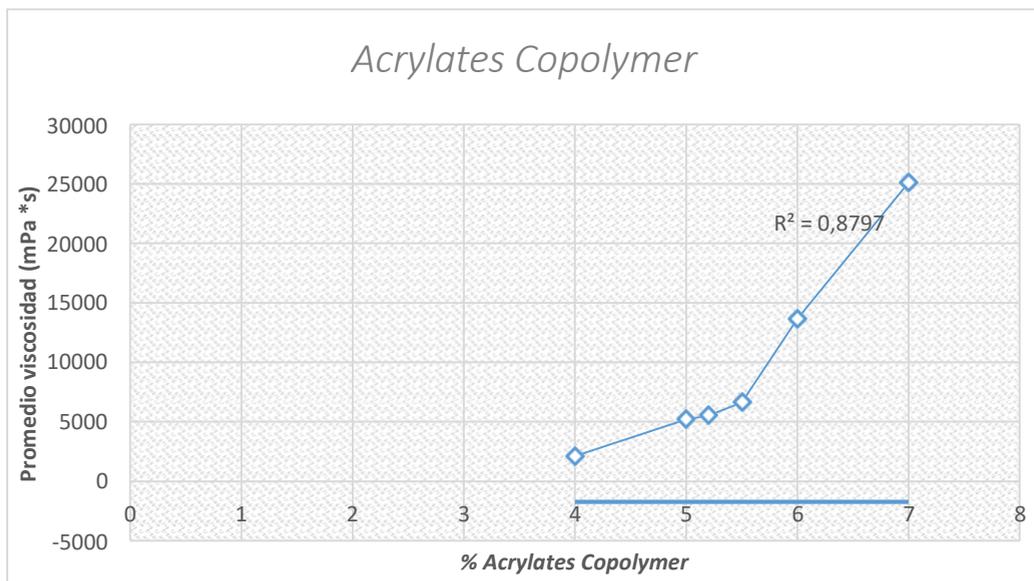


Figura 4.3 Curva de viscosidad Acrylates Copolymer

Fuente: Autor

En el caso del *Acrylates Copolymer* se observa que no son muy dependientes las variables concentración del *Acrylates Copolymer* y viscosidad, inicialmente se observa un pequeño incremento (aprox. 3000 mPa *s) y a una concentración de 7% la viscosidad se incrementa en gran cantidad (aprox. 11400 mPa *s) a diferencia de las concentraciones iniciales que sube en pequeñas cantidades la viscosidad.

Tabla 4-6 Porcentaje Lauryl Lactate y promedio de viscosidad para elaborar la curva de viscosidad

Fuente: Autor

% Lauryl Lactate	Promedio viscosidad (mPa*s)
0,5	126
0,6	336
0,8	7539
1,5	17149

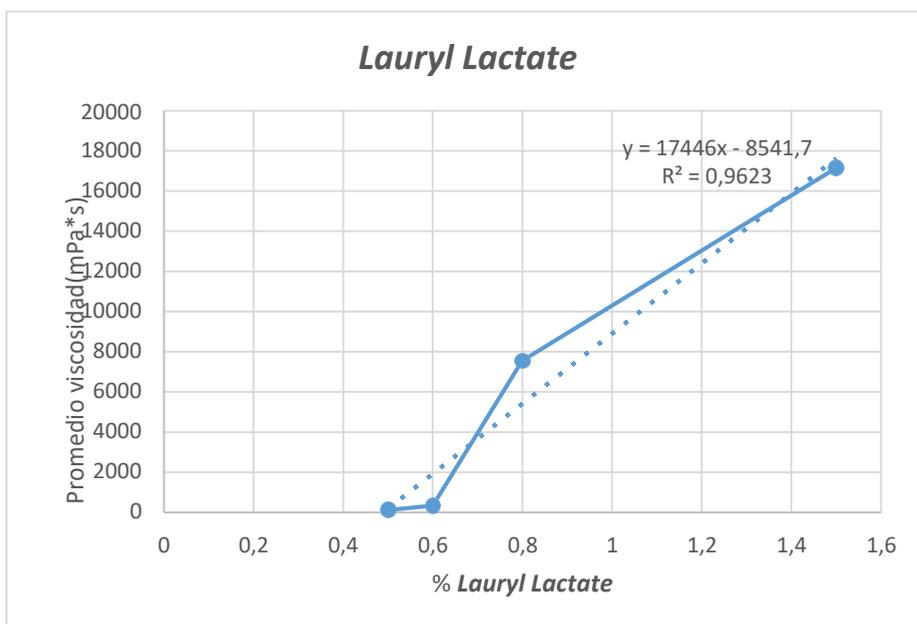


Figura 4.4 Curva de viscosidad Lauryl Lactate

Fuente: Autor

Se observa que sí existe una relación entre las variables concentración del *Lauryl Lactate* y viscosidad; es decir, al aumentar cantidad de modificador reológico se incrementará la viscosidad, pero el incremento no es equivalente al aumento de la concentración del modificador reológico; inicialmente sube poco la viscosidad, pero a la siguiente concentración sube de forma drástica.

4.3 Elaboración de las preparaciones de *shampoo*

A continuación, se muestra las concentraciones a utilizar para alcanzar las viscosidades y altura de espuma requerida, es decir, las que se encuentran dentro del promedio obtenido en los *shampoos* de venta local:

Tabla 4-7 Porcentaje de cada agente reológico para alcanzar la viscosidad requerida

Fuente: Autor

AGENTE REOLÓGICO	% VISCOSANTE	VISCOSIDAD (mPa*s)
Cloruro de Sodio	0,8	6850
<i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua</i>	1,5	8239
<i>Acrylates Copolymer</i>	5,5	6625
<i>Lauryl Lactate</i>	0,8	7539

Las viscosidades obtenidas mediante la curva de calibración son cercanas a la viscosidad promedio de los *shampoos* de venta en el mercado local; no se ha logrado conseguir la misma viscosidad debido a que cada agente reológico funciona de forma diferente como se observó en las curvas de viscosidad: unas suben poco a poco, otras de forma drástica y otras de forma equivalente al incremento de la concentración del modificador reológico.

4.4 Estabilidad de las preparaciones de *shampoo*

Las lecturas de prueba de estabilidad se realizaron de acuerdo con el siguiente cronograma:

Tabla 4-8 Cronograma de lecturas de estabilidad

Fuente: Autor

CRONOGRAMA DE LECTURAS			
CICLOS		FECHA	ACCIÓN
Ciclo 1	Calienta 24 h	18 de octubre de 2017	Lectura inicial – caliente
	Enfría 24 h	19 de octubre de 2017	Enfría
Ciclo 2	Calienta 24 h	20 de octubre de 2017	Lectura – caliente
	Enfría 24 h	21 de octubre de 2017	Enfría
Ciclo 3	Calienta 24 h	22 de octubre de 2017	Lectura – caliente
	Enfría 24 h	23 de octubre de 2017	Enfría
Ciclo 4	Calienta 24 h	24 de octubre de 2017	Lectura – caliente
	Enfría 24 h	25 de octubre de 2017	Enfría
Ciclo 5	Calienta 24 h	26 de octubre de 2017	Lectura – caliente
	Enfría 24 h	27 de octubre de 2017	Enfría
Ciclo 6	Calienta 24 h	28 de octubre de 2017	Lectura – caliente
	Enfría 24 h	29 de octubre de 2017	Enfría
	Lectura	30 de octubre de 2017	Lectura

En la siguiente tabla se muestran las lecturas realizadas al final de cada ciclo, estas se realizaron por triplicado.

Tabla 4-9 Lecturas de viscosidad del cloruro de sodio durante cada ciclo del proceso de estabilidad

Fuente: Autor

SHAMPOO CON CLORURO DE SODIO 0,8 % – S				
MUESTRA	Viscosidad mPa*s	Viscosidad mPa*s	Viscosidad mPa*s	Promedio viscosidad mPa*s
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	
INICIAL	6799	6852	6899	6850
S	6660	6466	6099	6408
S	5246	5771	5898	5638
S	6420	6411	6411	6414
S	6151	6359	6556	6355
S	6462	6209	6327	6333
S	6708	6750	6785	6748
TESTIGO	6210	6160	6162	6177

La viscosidad inicial en comparación con la viscosidad final después del período de estabilidad varía aproximadamente 1,5 %.

La viscosidad de la muestra testigo que se quedó a temperatura ambiente ha bajado en un 10 %; en comparación con el segundo ciclo de estabilidad hay una disminución variable, pero posteriormente este se estabiliza, por lo que se puede decir que esta muestra está siguiendo el proceso de la estabilidad.

En la siguiente tabla se muestra los promedios del nivel de espuma realizados al minuto, 3 minutos y 5 minutos.

Tabla 4-10 *Lecturas promedios nivel de espuma del cloruro de sodio durante cada ciclo del proceso de estabilidad*

Fuente: Autor

Muestra	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)
	Promedio 1 minuto	Promedio 3 minutos	Promedio 5 minutos
INICIAL	29	27	27
S	28	28	27
S	39	39	39
S	31	31	29
S	37	37	36
S	30	30	29
S	31	30	30
TESTIGO	33	33	32

Tabla 4-11 Lecturas de viscosidad del PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua durante cada ciclo del proceso de estabilidad

Fuente: Autor

SHAMPOO CON PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua – 1,5 % – C				
MUESTRA	VISCOSIDAD 1 mPa*s	VISCOSIDAD 2 mPa*s	VISCOSIDAD 3 mPa*s	Promedio viscosidad mPa*s
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	
INICIAL	8076	8352	8288	8239
C	7244	7323	7344	7304
C	6203	6415	6484	6367
C	6282	6529	6863	6558
C	6553	6568	6600	6574
C	6708	6745	6906	6786
C	6471	6613	6855	6646
TESTIGO	7930	8332	8052	8105

La viscosidad al final del período de estabilidad disminuye en un 20 % aproximadamente, inicialmente se presenta un mayor cambio, pero en los posteriores ciclos hay una pequeña variación, es decir, estabilizándose.

En comparación de la viscosidad inicial con la del testigo que se quedó a temperatura ambiente varía en un 2 %; pero según la estabilidad preliminar realizada, con el tiempo va a bajar un 20 %.

Se observa que se obtiene una viscosidad final similar al cloruro de sodio después del proceso de estabilidad, pero a una mayor concentración. Este agente inicialmente no presenta una viscosidad estable.

Tabla 4-12 Lecturas promedios nivel de espuma del PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua durante cada ciclo del proceso de estabilidad.

Fuente: Autor

Muestra	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)
	Promedio 1 minuto	Promedio 3 minutos	Promedio 5 minutos
INICIAL	31	31	30
C	28	28	28
C	38	38	37
C	39	38	37
C	31	31	30
C	31	29	28
C	36	36	36
TESTIGO	35	35	34

Al final del proceso de estabilidad se observa que este agente reológico, produce un mayor nivel de espuma que el cloruro de sodio, tomando en cuenta que tiene una mayor concentración del modificador reológico.

Tabla 4-13 Lecturas de Viscosidad Acrylates Copolymer durante cada ciclo del proceso de estabilidad.

Fuente: Autor

Shampoo con Acrylates Copolymer – 5,2 % – R				
MUESTRA	VISCOSIDAD 1 mPa*s	VISCOSIDAD 2 mPa*s	VISCOSIDAD 3 mPa*s	Promedio viscosidad mPa*s
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 2	
INICIAL	6610	6640	6625	6625
R	6096	6418	6419	6311
R	6322	6266	6303	6297
R	6271	6326	6261	6286
R	6945	6981	6859	6928
R	6577	6660	6692	6643
R	6453	6603	6513	6523
TESTIGO	6527	6623	6607	6586

La viscosidad al final del período de estabilidad disminuye 1,5 % aproximadamente en comparación con la inicial.

A una concentración de 5,2 % se obtiene una viscosidad final similar al del cloruro de sodio; además, se observa que este agente reológico inicialmente da una viscosidad estable, es decir, con el tiempo esta no baja notablemente.

Tabla 4-14 Lecturas promedios nivel de espuma del Acrylates Copolymer durante cada ciclo del proceso de estabilidad

Fuente: Autor

Muestra	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)
	Promedio 1 minuto	Promedio 3 minutos	Promedio 5 minutos
INICIAL	33	32	32
R	32	30	30
R	35	35	35
R	32	32	32
R	35	35	34
R	28	27	27
R	32	31	31
TESTIGO	41	41	40

Después del proceso de estabilidad, el nivel de espuma es mayor en un 3 % en comparación con el Cloruro de Sodio.

Tabla 4-15 Lecturas de viscosidad Lauryl Lactate durante cada ciclo del proceso de estabilidad

Fuente: Autor

Shampoo con Lauryl Lactate 0,8 % – E				
MUESTRA	VISCOSIDAD 1 mPa*s	VISCOSIDAD 2 mPa*s	VISCOSIDAD 3 mPa*s	Promedio viscosidad mPa*s
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	
INICIAL	7502	7556	7558	7539
E	7329	7444	7533	7435
E	7250	7586	7581	7472
E	7085	7196	7065	7115
E	6350	6393	6381	6375
E	6387	6736	6611	6578
E	7125	7272	7252	7216
TESTIGO	7822	7785	7837	7815

La viscosidad al final del período de estabilidad disminuye 4,00 % aproximadamente en comparación con la inicial.

Al mismo porcentaje del cloruro de sodio; este agente reológico proporciona una viscosidad final mayor que la viscosidad del cloruro de sodio.

En las lecturas realizadas al término de cada ciclo se observa que este agente reológico no presenta una viscosidad estable.

En comparación de la viscosidad inicial con la del testigo que se quedó a temperatura ambiente se observa que hay un aumento de viscosidad; pero que posteriormente podría bajar según datos observados en los ciclos de estabilidad.

Tabla 4-16 Lecturas promedios nivel de espuma de Lauryl Lactate durante cada ciclo de estabilidad

Fuente: Autor

Muestra	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)	Nivel de espuma (mL)
	Promedio 1 minuto	Promedio 3 minutos	Promedio 5 minutos
INICIAL	38	35	34
E	28	28	28
E	33	33	31
E	30	30	29
E	31	29	29
E	39	39	38
E	32	32	31
TESTIGO	42	41	40

Después del proceso de estabilidad el nivel de espuma es mayor en un 3 % en comparación con el cloruro de sodio.

4.5 Análisis estadístico

4.5.1 Evaluación de modificadores reológicos en una formulación de *Shampoo* como alternativas al uso de cloruro de sodio

4.5.1.1 Análisis de Varianza ANOVA de una vía y test de Tukey

Los datos utilizados para el análisis estadístico mediante análisis de varianza ANOVA y test de Tukey, se indican a continuación, al igual que las letras asignadas.

Tabla 4-17 Datos utilizados para el análisis estadístico

Fuente: Autor

Modificador reológico	Letra asignada	Promedio viscosidad mPa*s
Cloruro de Sodio 0,8 %	S	6408
	S	5638
	S	6414
	S	6355
	S	6333
	S	6748
<i>PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua – 1,5 %</i>	C	7304
	C	6367
	C	6558
	C	6574
	C	6786
	C	6646,3
<i>Acrylates Copolymer – 5,2 %</i>	R	6311
	R	6297
	R	6286
	R	6928
	R	6643
	R	6523
<i>Lauryl Lactate 0,8 %</i>	E	7435
	E	7472
	E	7115
	E	6375
	E	6578
	E	7216

4.5.1.1.1 Viscosidad

Los resultados presentados en las siguientes figuras se obtienen de la aplicación de las pruebas estadísticas.

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	1698465	566155	4,44	0,015
Error	20	2549701	127485		
Total	23	4248166			

Figura 4.5 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía de las viscosidades de los diferentes modificadores reológicos

Fuente: Autor

El análisis estadístico ANOVA de una vía proporcionó como resultado que hay diferencia de viscosidades entre los agentes reológicos. Se observa que existe una diferencia de estadística significativa ya que $P < 0,05$, de acuerdo con la Distribución F; ya que $F >$ valor crítico.

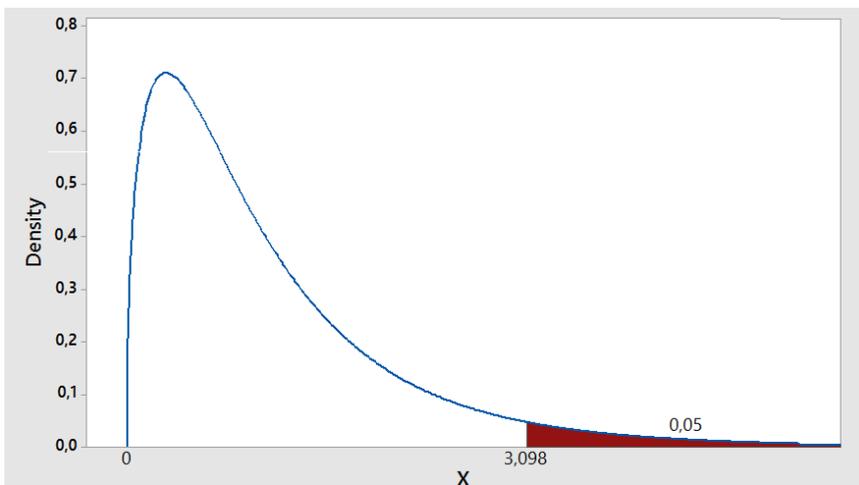


Figura 4.6 Obtención del valor crítico viscosidad

Fuente: Autor

Para poder discriminar cual es la diferencia entre los modificadores reológicos, a fin de determinar cuál se comporta de forma similar al cloruro de sodio, se realizó el test de Tukey, el cual se indica a continuación:

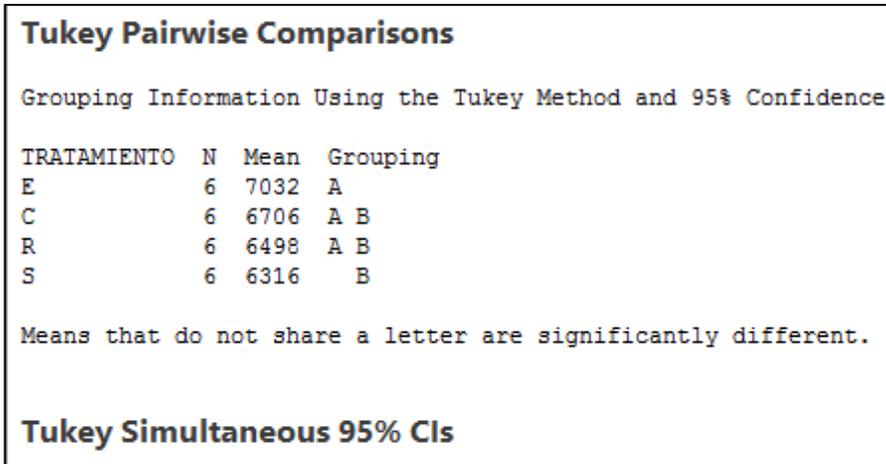


Figura 4.7 Test de Tukey Viscosidad

Fuente: Autor

El test evidenció la existencia de dos grupos A, B, en donde los tratamientos E (*Lauryl Lactate*) y S (Cloruro de Sodio) son significativamente diferentes; el C (*PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua*) y R (*Acrylates de Copolymer*) actúan de forma similar al Cloruro de Sodio.

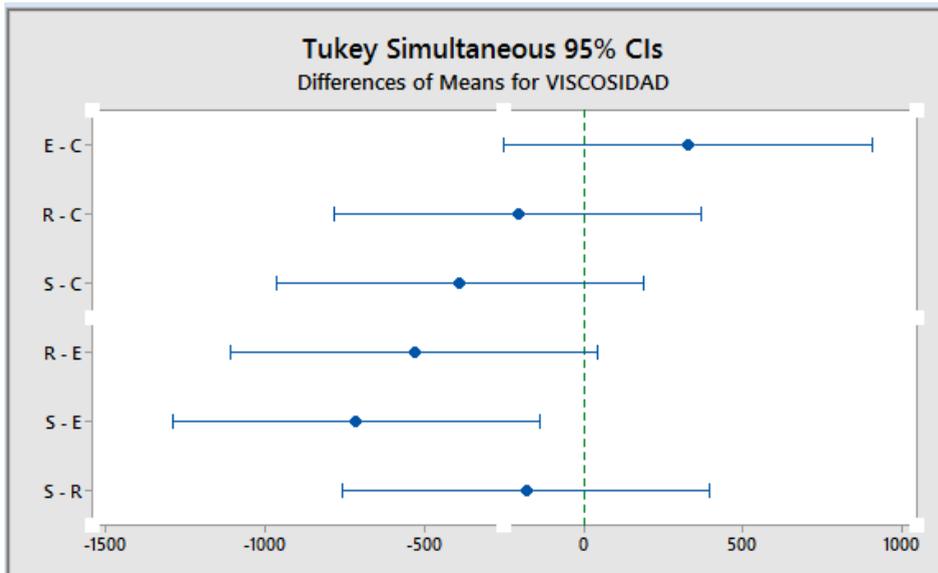


Figura 4.8 Gráfica test de Tukey – viscosidad

Fuente: Autor

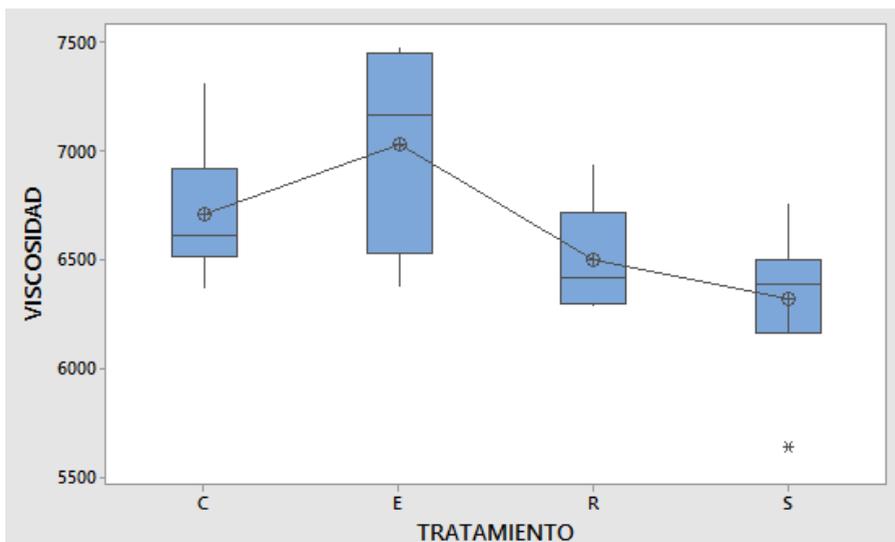


Figura 4.9 Diagrama de cajas – viscosidad

Fuente: Autor

4.5.1.1.2 Nivel de espuma 1 minuto

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTOS	3	11,87	3,955	0,27	0,847
Error	20	293,57	14,679		
Total	23	305,44			

Figura 4.10 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 1 minuto de los diferentes modificadores reológicos

Fuente: Autor

El análisis estadístico ANOVA de una vía proporcionó como resultado que no existe diferencia de los niveles de espuma a 1 minuto, es decir, todos los agentes reológicos producen un mismo nivel de espuma a 1 minuto.

También se puede decir que no existe diferencia significativa entre los tratamientos porque $P > 0,05$, o de acuerdo con la distribución F; ya que $F < \text{valor crítico}$.

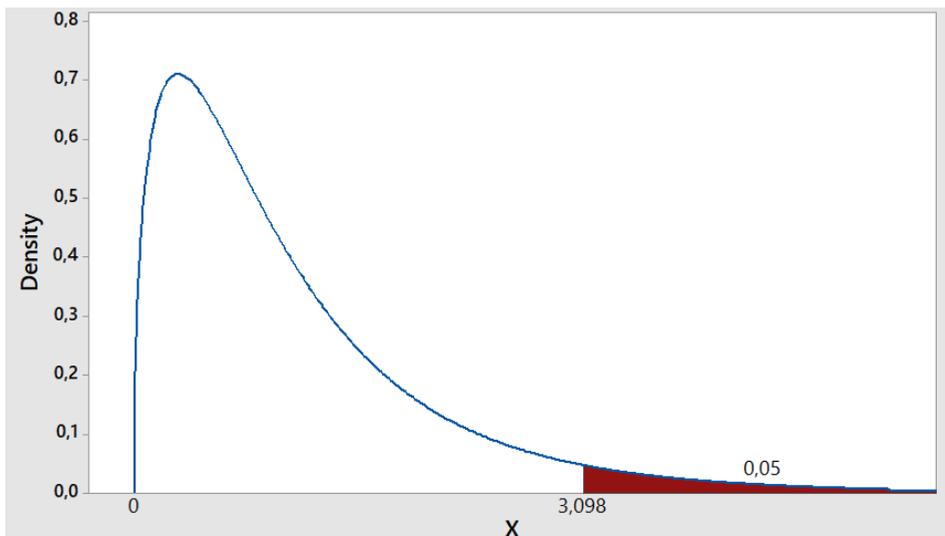


Figura 4.11 Obtención del valor crítico nivel de espuma 1 minuto

Fuente: Autor

Estos resultados se confirman con el test de Tukey.

Tukey Pairwise Comparisons			
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
TRATAMIENTOS	N	Mean	Grouping
C	6	33,83	A
S	6	32,67	A
E	6	32,11	A
R	6	32,11	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Figura 4.12 Test de Tukey – nivel de espuma 1 minuto

Fuente: Autor

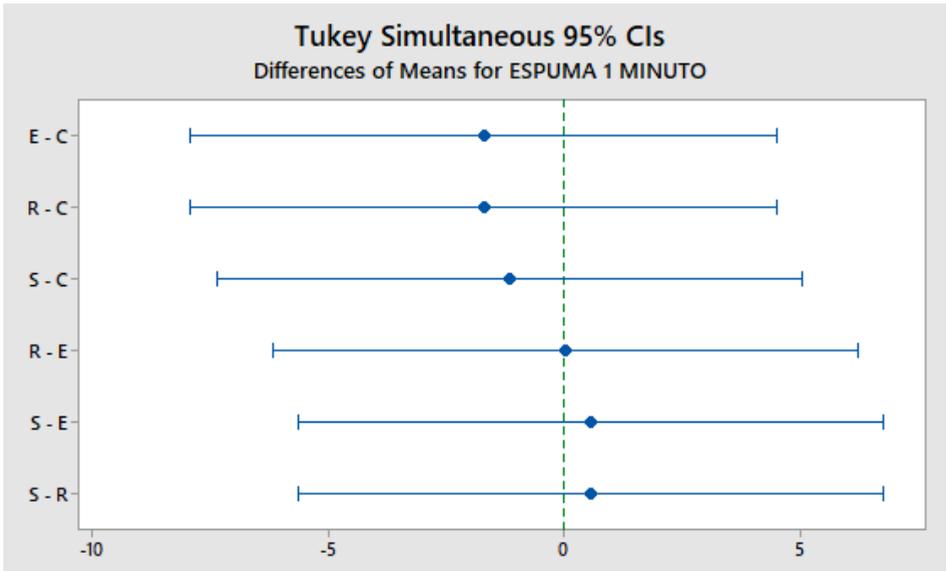


Figura 4.13 Gráfica test Tukey – espuma 1 minuto

Fuente: Autor

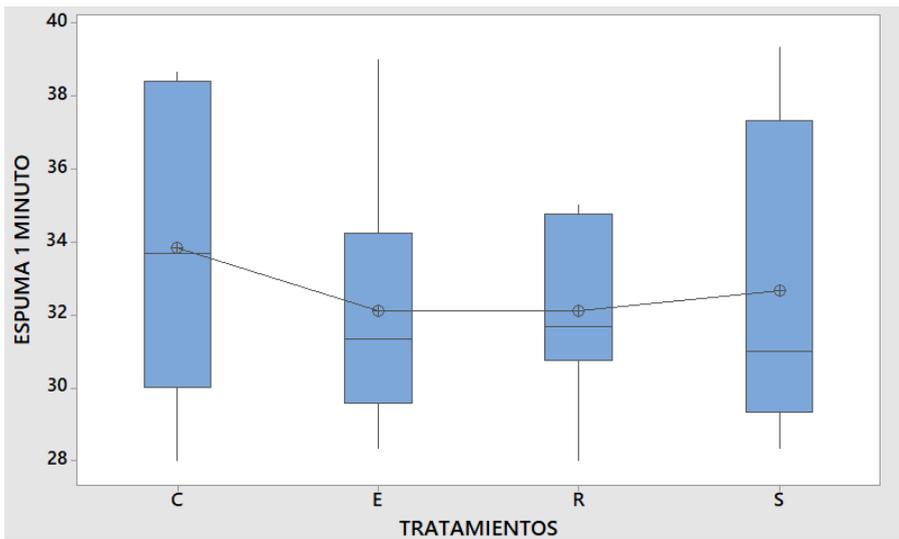


Figura 4.14 Diagrama de cajas – nivel de espuma 1 minuto

Fuente: Autor

4.5.1.1.3 Nivel de espuma 3 minutos

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTOS	3	9,755	3,252	0,20	0,893
Error	20	319,352	15,968		
Total	23	329,106			

Figura 4.15 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 3 minutos de los diferentes modificadores reológicos

Fuente: Autor

El análisis estadístico ANOVA de una vía proporcionó como resultado que no existe diferencia de los niveles de espuma a 1 minuto, es decir, todos los agentes reológicos producen un mismo nivel de espuma a los 2 minutos.

También se puede decir que no existe diferencia significativa entre los tratamientos porque $P > 0,05$, o de acuerdo con la Distribución F; ya que $F < \text{valor crítico}$.

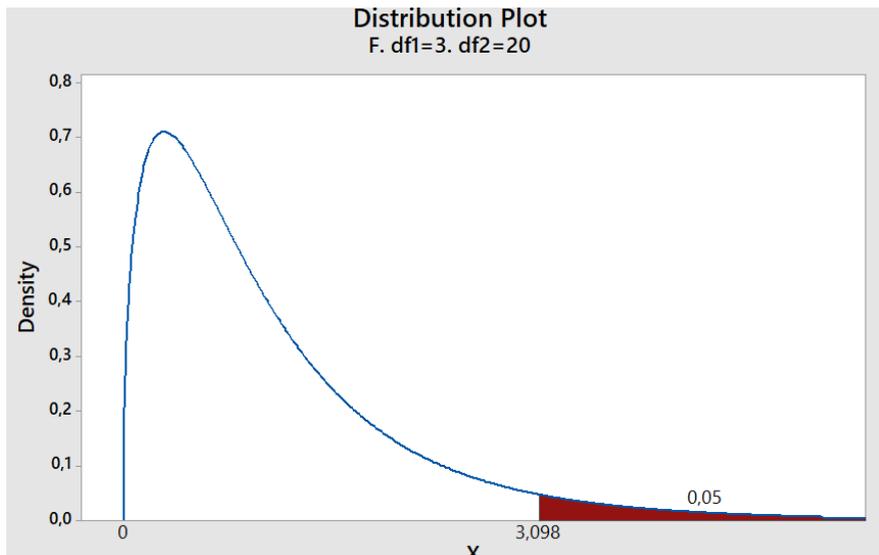


Figura 4.16 Obtención del valor crítico nivel de espuma 3 minutos

Fuente: Autor

Estos resultados se confirman con el test de Tukey.

Tukey Pairwise Comparisons			
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
TRATAMIENTOS	N	Mean	Grouping
C	6	33,28	A
S	6	32,33	A
E	6	31,78	A
R	6	31,67	A

Figura 4.17 Test de Tukey – nivel de espuma 3 minutos

Fuente: Autor

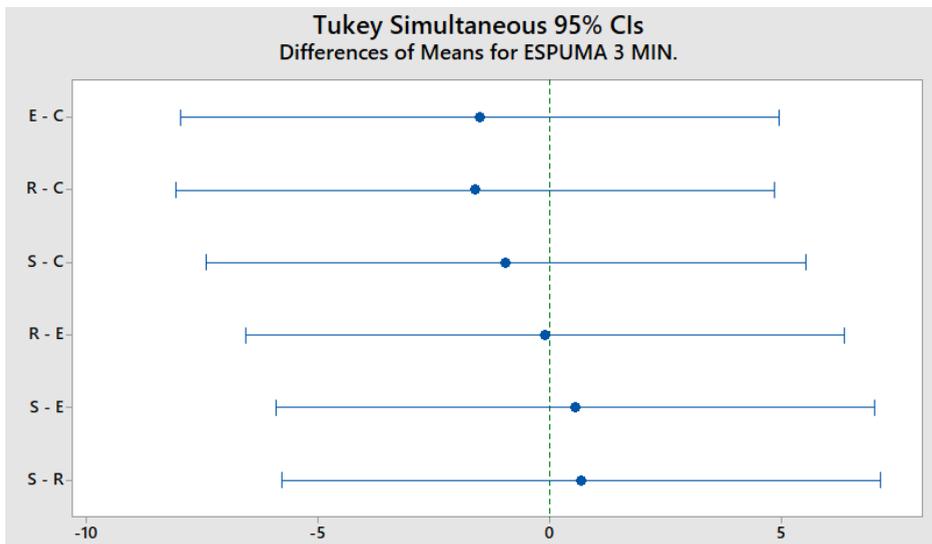


Figura 4.18 Gráfica Test de Tukey – nivel de espuma 3 minutos

Fuente: Autor

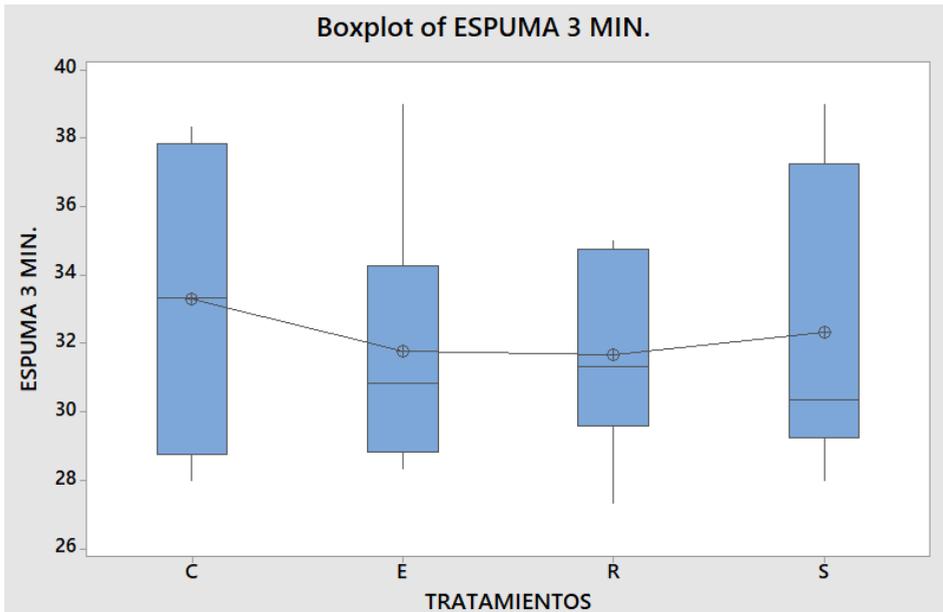


Figura 4.19 Diagrama de cajas – nivel de espuma 3 minutos

Fuente: Autor

4.5.1.1.4 Nivel de espuma 5 minutos

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTOS	3	9,718	3,239	0,22	0,883
Error	20	298,389	14,919		
Total	23	308,106			

Figura 4.20 Resultados del análisis de varianza ANOVA de una vía del nivel de espuma 5 minutos de los diferentes modificadores reológicos

Fuente: Autor

El análisis estadístico ANOVA de una vía proporcionó como resultado que no existe diferencia de los niveles de espuma a 5 minutos, es decir, todos los agentes reológicos producen un mismo nivel de espuma a los 5 minutos.

También se puede decir que no existe diferencia significativa entre los tratamientos porque $P > 0,05$, o de acuerdo con la Distribución F; ya que $F < \text{valor crítico}$.

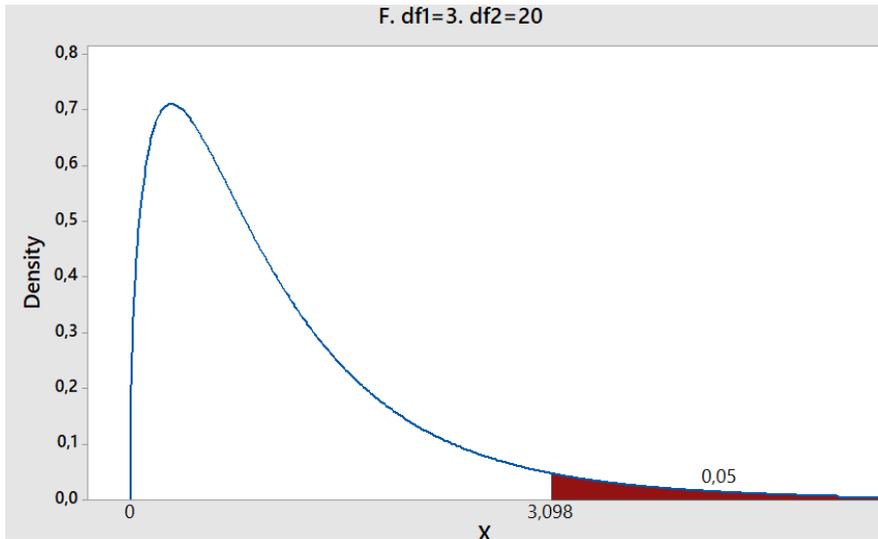


Figura 4.21 Obtención del valor crítico nivel de espuma 5 minutos

Fuente: Autor

Estos resultados se confirman con el test de Tukey.

Tukey Pairwise Comparisons			
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
TRATAMIENTOS	N	Mean	Grouping
C	6	32,56	A
S	6	31,78	A
R	6	31,50	A
E	6	30,78	A

Figura 4.22 Test de Tukey – nivel de espuma 5 minutos

Fuente: Autor

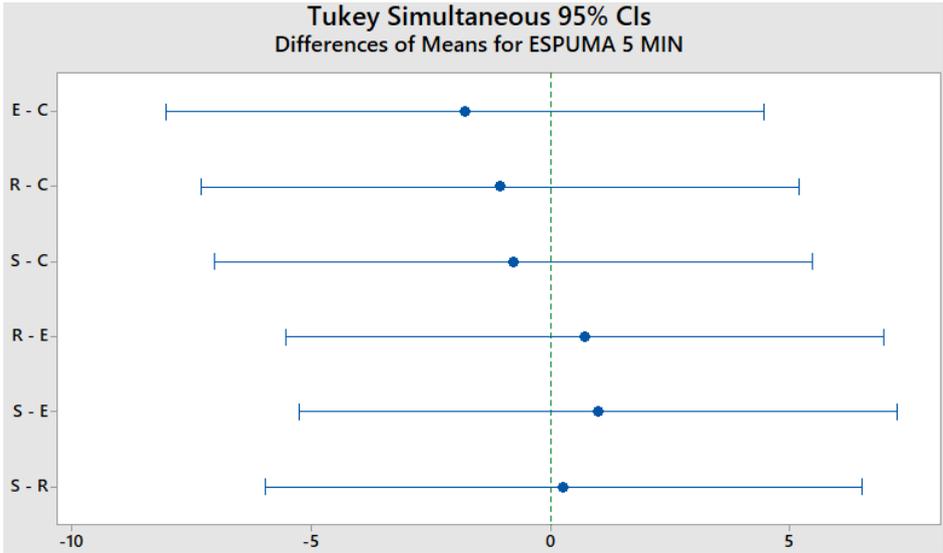


Figura 4.23 Gráfica test de Tukey – nivel de espuma 5 minutos

Fuente: Autor

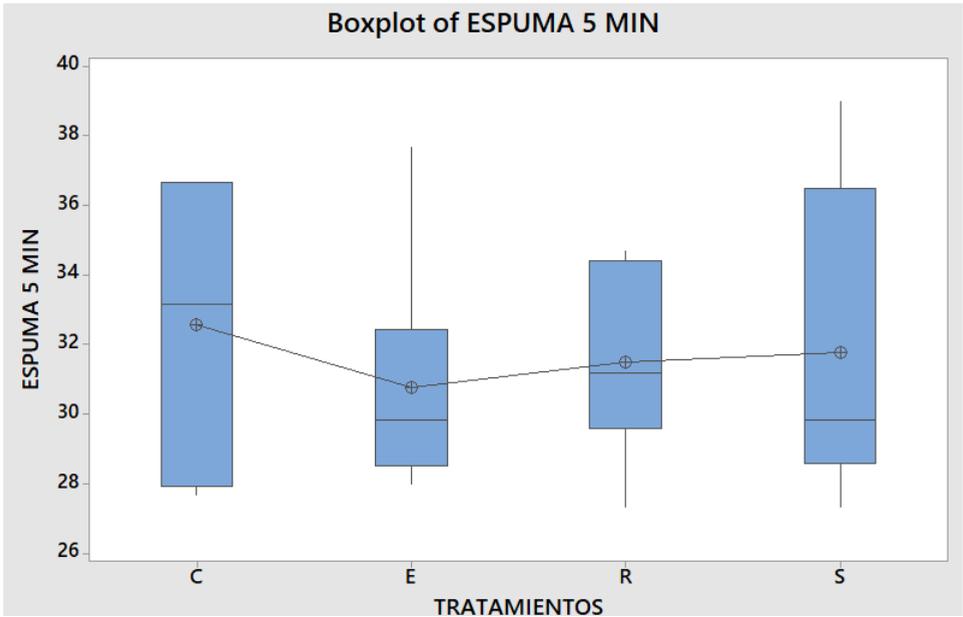


Figura 4.24 Diagrama de cajas nivel de espuma 5 minutos

Fuente: Autor

5 CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- De acuerdo con la hipótesis planteada se observa que existe un comportamiento similar de las dos preparaciones de *shampoo* con el *PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua (C), Acrylates Copolymer (R)*; la tercera preparación con el agente reológico *Lauryl Lactate (E)* actúa diferente al cloruro de sodio; por lo que se puede reemplazar el cloruro de sodio con los dos primeros modificadores reológicos estudiados.
- Se formuló una base de *shampoo* a un pH de 7 con tres tipos de tensioactivos: aniónico, anfotérico y no iónico. Estos tensioactivos son altamente utilizados en la industria cosmética para este tipo de preparados; y no demostraron incompatibilidad con los diferentes modificadores reológicos utilizados.
- De acuerdo con las curvas de viscosidad elaboradas se pudo observar que cada modificador reológico actúa de forma diferente; de aquí se obtuvieron las concentraciones adecuadas para las preparaciones de los distintos *shampoos* con una viscosidad cercana a la de los de venta en el mercado local.
- Las viscosidades de las preparaciones de *shampoo* inicialmente se obtuvieron de acuerdo con las curvas de viscosidad, pero se ha observado que unas son estables y otras no después del período de estabilidad.

En cuanto a la espuma, los agentes reológicos estudiados producen un nivel de espuma similar a los *shampoos* de venta local, tanto al minuto, 3 minutos y 5 minutos, además, se ha observado que los modificares reológicos estudiados inicialmente presentan un nivel de espuma parcialmente mayor al que contiene cloruro de sodio; se puede decir que el nivel de espuma es mayor debido a que están en mayor concentración en las preparaciones excepto el *Lauryl Lactate* que está en una misma concentración.

- Después del período de estabilidad se ha observado que la viscosidad varía en diferentes porcentajes, pero el modificador que tuvo una variación notable fue el *PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua* el cual varió en un 20 % después del período de estabilidad.

En cuanto al nivel de espuma, se observó que hay pequeñas variaciones que no son muy significativas; ya que de acuerdo con el análisis estadístico todos actúan de forma similar al cloruro de sodio; comprobándose con el test de Tukey.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el estudio, mediante combinaciones de estos modificadores reológicos en sinergia con el cloruro de sodio.
- Continuar con el período de estabilidad a las preparaciones realizadas.
- Buscar otras alternativas de modificadores reológicos al cloruro de sodio.
- Realizar estudios de costos con los diferentes modificadores reológicos en comparación con el cloruro de sodio.

ANEXOS

Anexo 1. Imágenes del proceso de estabilidad del *shampoo*

A. Muestras de *shampoo* con los diferentes modificadores reológicos



Muestras de *Shampoo* con Cloruro de Sodio



Muestras de *Shampoo* con PEG-150 Pentaerythrityl Tetrastearate (and) PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides (and) Aqua



Muestras de *Shampoo* con *Acrylates Copolymer*



Muestras de *shampoo* con *Lauryl Lactate*

B. Muestras testigo a temperatura ambiente



Muestras que se quedaron a temperatura ambiente durante el periodo de estabilidad

C. Calentamiento de las muestras en la incubadora



Muestras en la incubadora por ciclos de 24 horas a $45 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

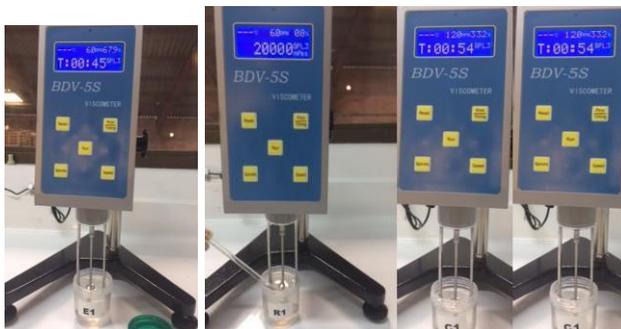
D. Enfriamiento de las muestras en la refrigeradora



Muestras en la refrigeradora por ciclos de 24 horas a $-5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

E. Final de cada ciclo lecturas de viscosidad y nivel de espuma

a) Lectura viscosidad



Realización de las lecturas de viscosidad en el viscosímetro BDV-5S

b) Nivel de espuma



1. Preparació
solució de
shampoo al 1 %



2. Transferir a una probeta 20 mL.
3. Agitar y realizar lecturas en 1, 3 y 5 minutos.

GLOSARIO

Espuma. Acumulación de burbujas que se genera en la superficie de un líquido. En esta masa gaseosa, las burbujas se aglutinan entre sí con una cierta consistencia.

Fluido newtoniano. Fluido cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo o cizalla contra su tasa de deformación es lineal.

Fluido no newtoniano. Aquel en donde la viscosidad cambia en relación con el esfuerzo de corte y velocidad de deformación.

Husillo. Parte del viscosímetro, es un tornillo largo y de gran diámetro, permite extender el rango de viscosidad del viscosímetro por el límite inferior.

Reología. Ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia; estudia los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aalto-Korte, K., Pesonen, M., Kuuliala, O., & Suuronen, K. (2014). Dermatitis de contacto alérgica ocupacional causada por ácidos grasos de coco dietanolamida. *Contact Dermatitis*.
- Agiba, A., Abdallah, M., Shaldam, M., & Abdallah, M. (2015). Development & Optimization of Anti-Dandruff *Shampoo* by Modifying its Rheological Behavior. *Journal Appl. Cosmetol*, 129-137.
- Andersen, F. (1996). Informe final modificado sobre la evaluación de la seguridad de Cocamide DEA. *Revista del Colegio Americano de Toxicología*.
- ANMAT, & INAME. (2003). Determinación de la viscosidad. *Farmacopea Argentina*, 155.
- ANVISA, A. N. (Mayo de 2005). Guía de estabilidad de productos cosméticos. *Serie calidad en cosméticos*. Brasilia: Editora Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria.
- B. Moreno, R. (2003). Desarrollo de un modelo Ciencimétrico Unificado. *Ingeniería del Conocimiento y Vigilancia Tecnológica aplicada a la Investigación en el campo de los tensioactivos. Desarrollo de un modelo ciencimétrico unificado*. Granada: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Granada.
- Badi, K. A., & Khan, S. A. (2014). Formulation, evaluation and comparison of the herbal *shampoo* with the commercial *shampoos*. *ELSEVIER*, 301-305.
- Barel, A., Paye, M., & Maibach, H. (2009). *Hand Book of Cosmetic Science and Technology*. New York: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- BASF. (7 de noviembre de 2012). *BASF Care Creations*. Obtenido de www.personal-care.basf.com
- Biobase Biozone Co., L. (s. f.). Manual de usuario. Viscosímetro digital BDV-5S. Shandong, China: Biobase.
- Calvo, E., Cuartero, A., & Puente, M. (2001). *Propiedades fluidodinámicas. Determinación de la viscosidad del aceite de vaselina. Viscosímetro Engler*. Barcelona: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona, EUETIB.
- CAN, C. (2002). *Desición 516*.
- Carrasco V., L., Castañeda P., L., & Altamirano O., K. (Diciembre de 2015). Determinación de los parámetros reológicos de un champú con el modelo de

- Carreu-Yasuda. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
- Castillo S., R. A., & Pastor C., J. (Mayo de 2012). Evaluación de estudios de estabilidad acelerada fisicoquímica de champús anticasca que contienen piritionato de zinc. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Croda. (s. f.). Obtenido de Croda do Brasil Rua Croda 580 – Distrito: www.croda.com/la/pc
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. California: Cengage Learning Editores S. A.
- Díaz Ramírez, C. C., & Villafuerte Robles, L. (2012). Elementos que influyen la medición del efecto de electrolitos sobre la extensión de una gota de *shampoo*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 32.
- Díaz Ramírez, C., & Villafuerte Robles, L. (2012). Elementos que influyen la medición del efecto de electrolitos sobre la extensión de una gota de champú. *Scielo*, 3.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (13 de marzo de 2006). Guía para la realización y presentación de estudios de estabilidad de productos farmacéuticos en Chile. Santiago, Chile.
- Johansson, I., & Somasundaran, P. (2007). *Handbook for cleaning/decontamination of surfaces*. New York: Elsevier.
- Kao. (10 de mayo de 2012). *Technical Data Sheet Lauryl Lactate*. Obtenido de Kao Corporation S. A.: www.kaochemicals-eu.com
- Kao Chemicals Europe. (2012). *Kao Corporation S. A.* Obtenido de www.kaochemicals-eu.com
- Karsheva, Georgieva, & Birov. (2005). Flow Behaviour of Two Industrially made *Shampoos*. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 323-328.
- Knowlton, J. L., & Pearce, S. E. (1993). Tinckeners and Gum. En *Handbook of Cosmetic Science & Technology* (pág. 13). Great Britain: Elsevier Science Publishers.
- Kumar, A., & Roshan Mali, R. (2010). EVALUATION OF PREPARED *SHAMPOO* FORMULATIONS AND TO COMPARE FORMULATED *SHAMPOO* WITH MARKETED *SHAMPOOS*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 120-126.
- Leidreiter, H. I., Jenni, K., & Maczkiewitz. (1996). Rheology of toiletry products: Physical properties and sensory assessment. *Parfümerie und Kosmetik*.

- Levitt, B. (1979). *Química Física práctica de Findlay*. London: Reverté S. A.
- Lochhead, R. Y. (2012). *Shampoo and Conditioner Science – Practical Modern Hair Science*. Obtenido de [nononsensecosmethic.org: http://www.nononsensecosmethic.org/wp-content/uploads/2015/04/Shampoo-and-conditioner-science.pdf](http://www.nononsensecosmethic.org/wp-content/uploads/2015/04/Shampoo-and-conditioner-science.pdf)
- Loiola Vasconcelos, T., Martins Mesquita, R., Nascimento, A., & Mendes Cangussu, Í. (2016). VARIATION OF THREE PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN SIX SHAMPOO FORMULATIONS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF SODIUM CHLORIDE. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*, 4823-4828.
- Lubrizol. (7 de febrero de 2013). *The Lubrizol Corporation*. Obtenido de www.lubrizol.com/personalcare
- Machado Inca, J. (2013). Evaluación del efecto *antisponge* de los mucílago de *Opuntia ficus*, Aloe vera y las saponinas de Agave americana en un *shampoo* en personas con cabello esponjado. Riobamba, Ecuador.
- Mainkar, A., & Jolly, C. (2000). Evaluation of commercial herbal *shampoos*. *International Journal Cosmetic Science*, 385-391.
- Martini, M. (2005). *Introducción a la Dermofarmacia y a la Cosmetología*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Martini, M. C., Chivot, M., & Peyrefitti, G. (1997). *Cosmetología – Dermocosmética y estética*. Barcelona: Masson S. A.
- Méndez-Sánchez, A. F., Pérez-Trejo, L., & Pani, A. M. (2010). Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Journal Lapen*, 237-245.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.
- Othmer, K. (2012). *Chemical Technology of Cosmetics*. John Wiley & Sons.
- Pacheco López, C. (Febrero de 2010). Estudio para la realización de preparados espumosos. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pacheco López, C. (Febrero de 2010). Estudio para la realización de preparados espumosos. Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ramírez Navas, J. (2006). Introducción a la Reología. En *Introducción a la reología de los alimentos* (pág. 20). Cali: ReCiTelA.
- Romanowski, P., & Schueller, R. (2009). Introduction to *Shampoo Thickening*. En P. Romanowski, & R. Schueller, *Beginning Cosmetic Chemistry* (págs. 313-323). USA: Alluredbooks.

- Salager, J. L., Andérez, J. M., & Forgiarini, A. (1999). Influencia de la formulación sobre las espumas. *Laboratorio de Formulación, Interfaces, Reología y Procesos – FIRP*, 1-14.
- Salazar, R., & Gutiérrez, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Distrito Federal: Mc-Graw Hill Interamericana.
- Sánchez, B. (29 de septiembre de 2008). *Tesis Instituto Politécnico Nacional – IPN*. Obtenido de Viscosímetro de bola: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2044/ViscosimetroBola.pdf?sequence=1>
- Schoenberg, T. (1999). Formulating alkanolamide – free products Schoenberg. *Household & personal products industry*.
- Shipp, J. (1992). Hair care products. En S. Williams, & W. Schmitt, *Chemistry and Technology of the Cosmetics and Toiletries Industry* (pág. 41). New York: Springer Science + Business Media.
- Shlepr, J., & Castner, J. (2006). More than rheology: multi-functional polymers with superior aesthetics in hair care applications. *COSMETICS AND TOILETRIES MANUFACTURE WORLDWIDE*.
- Simmons, J. (2007). *Cosméticos: Formulación, preparación y aplicación*. Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones.
- Thermo Scientific. (2014). The Rheological Behaviour of Shower Gel – What makes a product acceptable for aspecific target customer. *Thermo Fisher Scientific*, 1.
- Vazques, D. (2012). *Calidad organoléptica y fisicoquímica de shampoos para cabello normal que se expenden en boticas del centro de la ciudad de Trujillo*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Wilkinson, J. B., & Moore, R. J. (1990). *Cosmetología de Harry*. Madrid: Díaz de Santos S. A.
- Zhang, L. M. (2001). *Espesantes asociativos celulósicos*. Elsevier

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS COSMÉTICAS

Autor:
Juan Fernando Gil Pozo

Dirigido por:
Pablo Wilson Arevalo Moscoso, Ph. D.

EVALUACIÓN DE MODIFICADORES REOLÓGICOS EN UNA FORMULACIÓN DE *SHAMPOO* COMO ALTERNATIVA AL USO DE CLORURO DE SODIO

Al ser el shampoo un producto cosmético de uso diario, requiere seguir mejorando los productos existentes; es decir desarrollando nuevas formulaciones mediante estudios, teniendo como objetivo el cuidado capilar además de cumplir con su función principal que es la limpieza; en el campo de la investigación la tecnología cada vez avanza más, actualmente existen diversos agentes modificadores reológicos con diferentes composiciones u orígenes.

Por esta razón, este proyecto de investigación y desarrollo presenta un estudio de tres agentes modificadores de la viscosidad diferentes al Cloruro de Sodio; observando cómo se comportan cada uno de estos en una misma base de shampoo en comparación con el Cloruro de Sodio cuyos parámetros a comparar son la viscosidad y el nivel de espuma.

Para el análisis estadístico se utiliza la regresión lineal que es una herramienta que permite el análisis de la relación o dependencia de las variables.

Los resultados obtenidos del estudio propuesto se realizan en la plataforma de Minitab 17 en cumplimiento con los objetivos planteados.

