



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

**REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES
ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS**

Karen Roxana Morales Gómez

Asesorado por el Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES
ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KAREN ROXANA MORALES GÓMEZ

ASESORADO POR EL Dr. ADOLFO NARCISO GRAMAJO ANTONIO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. David Ricardo Cerezo Toledo
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha enero de 2012.



Karen Roxana Morales Gómez



Guatemala, 26 de Septiembre de 2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón

Informo a usted que he revisado el contenido del INFORME FINAL correspondiente al trabajo de graduación titulado "REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS", de la estudiante universitaria Karen Roxana Morales Gómez, Carné 200714193.

Luego de la revisión efectuada el suscrito considera que la propuesta llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Dr. Adolfo Gramajo

Colegiado N.º. 264

ASESOR

Adolfo Gramajo
Ingeniero Químico
Colegiado 264



Guatemala, 29 de octubre de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.070.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-006-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Karen Roxana Morales Gómez.**

Identificada con número de carné: **2007-14193.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Adolfo Narciso Gramajo Antonio.**

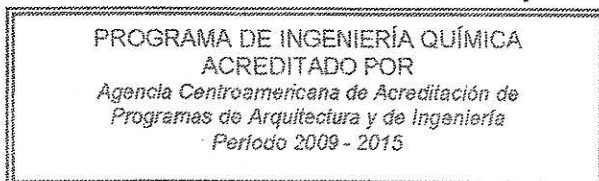
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.012.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **KAREN ROXANA MORALES GÓMEZ** titulado: "**REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.




Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 156.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **REFORMULACIÓN DE SHAMPOO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AGENTES ESPESANTES, MANTENIENDO SU FUNCIONALIDAD Y REDUCCIÓN DE RECURSOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Karen Roxana Morales Gómez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 1 de abril de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, y permitirme alcanzar esta nueva meta siendo la fuerza que me motivó a seguir adelante.
- La Virgen María** Por acompañarme a lo largo de mi vida como buena madre, permitiéndome ponerme sus brazos en los momentos en que todo parecía difícil.
- Mis padres** Wilfredo Morales y Violeta Gómez, por haberme traído al mundo, ser siempre mi ejemplo a seguir y por su apoyo incondicional aún en las madrugadas, cuando las noches se hacían cortas para cumplir con las metas, espero esto sea un paso más para poder aspirar a llegar a ser como ustedes.
- Mis hermanas** Nancy y Madelyn Morales, por estar conmigo en los momentos buenos y malos dándome su apoyo incondicional y la alegría necesaria para encarrilar mi camino.
- Mis abuelos** Por creer en mí y darme a los mejores padres del mundo, con su ejemplo y entrega.

Mis amigos

Paula Boiton, Walter Mansilla, María Fernanda Vásquez, Elidia Castillo, Carmen Arango y José Lira, por acompañarme en esos momentos cruciales y calmarme cuando el estrés atacaba mi mente. Gracias por convertirse en ese eslabón que faltaba en mi vida.

Mi novio

Alberto Fajardo, por su paciencia, amor y entrega, siendo ese ejemplo de lucha que me inspira cada día a seguir adelante, con el ideal de tener al mejor compañero de vida.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme sus puertas y permitirme llamarla mi *alma máter*, mi segundo hogar, en donde se me concedió el título y esa identidad de ser orgullosamente *Sancarlista*.

Facultad de Ingeniería

Por formarme como ingeniera química y prepararme para enfrentar los retos del día a día como profesional.

**Escuela de Ingeniería
Química**

Por enseñarme a abrir mi mente cada día y poder enfrentar cada reto desde perspectivas diferentes.

AGRADECIMIENTOS A:

Dr. Adolfo Gramajo

Por su apoyo, tiempo y dedicación para ayudarme a cumplir mi meta de convertirme en ingeniera química.

Lic. Cristian Lemus

Por su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto, brindándome los medios y los conocimientos necesarios para concluir el mismo.

Iselda Morales

Por ayudarme a abrirme las puertas para el desarrollo de mi investigación y por todo el apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Emulsiones.....	5
2.1.1. Tipos de emulsión.....	5
2.1.1.1. Estabilidad de emulsiones.....	6
2.1.1.2. Componentes	6
2.2. Viscosidad	7
2.2.1. Viscosidad absoluta o dinámica.....	8
2.2.2. Viscosidad cinemática	8
2.3. Tipos de fluidos	9
2.3.1. Fluidos Newtonianos	10
2.3.2. Fluidos no Newtonianos	10
2.4. Agitación mecánica y mezclado de fluidos	11
2.4.1. Equipo para agitación	11
2.4.1.1. Tipos de agitadores	13
2.5. Comportamiento de fluidos en recipientes mezcladores	15

2.5.1.	Número de Reynolds.....	16
2.5.2.	Consumo de potencia	17
2.5.3.	Velocidad de descarga del impulsor.....	20
2.5.4.	Carga de velocidad	21
2.6.	Shampoo.	22
2.6.1.	Materias primas.....	23
2.6.1.1.	Detergente o surfactante.....	23
2.6.1.2.	Estabilizadores de espuma	24
2.6.1.3.	Acondicionadores.....	25
2.6.1.4.	Agentes espesantes.....	26
2.6.1.5.	Modificadores de la viscosidad	26
2.6.1.5.1.	Gomas naturales.....	27
2.6.1.5.2.	Celulosas	29
2.6.1.5.3.	Mezclas	30
2.6.1.6.	Agentes secuestrantes.....	30
2.6.1.7.	Preservante	31
2.6.1.8.	Reguladores de pH	32
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	33
3.1.	Variables	33
3.1.1.	Variables del sistema	33
3.1.2.	Variables a manipular.....	34
3.2.	Delimitación de campo de estudio	35
3.3.	Recursos humanos disponibles	36
3.4.	Recursos materiales disponibles	37
3.4.1.	Equipo	37
3.4.2.	Cristalería	38
3.4.3.	Materia prima	38
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	38

3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	39
3.6.1.	Proceso actual previo a elaboración.....	39
3.6.2.	Proceso a nivel planta piloto actual	41
3.6.3.	Proceso a nivel de industrial actual	42
3.6.4.	Proceso a nivel planta piloto mejorado	43
3.6.5.	Proceso a nivel industrial mejorado	44
3.7.	Tabulación y procesamiento de información	45
3.7.1.	Datos constantes en formulación.....	45
3.7.2.	Pruebas condiciones actuales	46
3.7.3.	Pruebas con gomas naturales.	46
3.7.4.	Pruebas con derivados de celulosa	48
3.7.5.	Pruebas con mezclas	51
3.7.6.	Datos de parámetros operacionales	52
3.7.7.	Procesamiento de datos operacionales	52
3.8.	Análisis estadístico	54
3.8.1.	Análisis de varianza (ANOVA)	54
3.8.1.1.	Diseño de bloques al azar	56
3.8.2.	Prueba de Tukey	59
4.	RESULTADOS	61
4.1.	Tendencias de viscosidad	61
4.1.1.	Viscosidad Goma Xantan	61
4.1.1.1.	Electrolito variable	61
4.1.1.2.	Electrolito constante	67
4.1.2.	Viscosidad CMC	73
4.1.2.1.	Electrolito variable	73
4.1.2.2.	Electrolito constante	79
4.1.3.	Viscosidad Alkont EL3645	85
4.1.3.1.	Electrolito constante	85

4.2.	Rentabilidad en fórmula	92
4.2.1.	Reducción en materiales variables.....	92
4.2.2.	Reducción de tiempo de producción	95
4.3.	Plan de análisis de los resultados	98
4.3.1.	Métodos y modelos de datos según variables	98
4.3.1.1.	Número de Reynolds.....	98
4.3.1.2.	Consumo de potencia	99
4.3.1.3.	Velocidad de descarga del impulsor...99	
4.3.1.4.	Carga de velocidad	100
4.3.1.5.	Rendimiento energético	100
4.4.	Análisis estadístico	101
4.4.1.	Análisis de varianza (ANOVA).....	101
4.4.2.	Prueba de Tukey	102
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	105
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	117
	APÉNDICES.....	119
	ANEXOS.....	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento.....	9
2.	Flujo axial en tanques agitados.....	12
3.	Agitador tipo hélice o marino.....	13
4.	Turbina de aspas inclinadas y curvas.	14
5.	Dimensiones geométricas de sistema de agitación normal.	14
6.	Correlación de número de Reynolds y número de potencia.	19
7.	Estructura química de Lauril éter sulfato de sodio.	24
8.	Estructura química de Cocamide DEA.....	25
9.	Estructura química de Policuaternium-7.	25
10.	Estructura química de guaran, polisacárido principal de la goma guar.....	27
11.	Estructura química de la goma Xantan	28
12.	Estructura química de la carboximetil celulosa sódica.....	29
13.	Estructura química del EDTA.....	30
14.	Estructura química metilcloroisotiazolinona.	31
15.	Estructura química del ácido cítrico	32
16.	Proceso previo a la elaboración de Shampoo a nivel de planta piloto e industrial	40
17.	Elaboración de shampoo a nivel planta piloto actual.	41
18.	Elaboración de shampoo a nivel industrial actual.	42
19.	Elaboración de shampoo a nivel de planta piloto mejorado.	43
20.	Elaboración de shampoo a nivel industrial mejorado.....	44

21.	Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de electrolito (goma constante).....	62
22.	Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de electrolito (goma constante).....	63
23.	Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de electrolito (goma constante).....	64
24.	Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de electrolito (goma constante).....	65
25.	Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de electrolito (goma constante).....	66
26.	Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de goma Xantan.....	68
27.	Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de goma Xantan	69
28.	Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de goma Xantan.....	70
29.	Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de goma Xantan.....	71
30.	Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de goma Xantan	72
31.	Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de electrolito (CMC)	74
32.	Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de electrolito (CMC).....	75
33.	Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de electrolito (CMC).....	76
34.	Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de electrolito (CMC).	77
35.	Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de electrolito (CMC)..	78
36.	Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de CMC.....	80
37.	Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de CMC	81
38.	Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de CMC.....	82
39.	Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de CMC.....	83
40.	Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de CMC	84

41.	Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de Alkont EL 3645	86
42.	Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de Alkont EL 3645 ..	87
43.	Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de Alkont EL 3645 ...	88
44.	Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de Alkont EL 3645 ..	89
45.	Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de Alkont EL 3645..	90

TABLAS

I.	Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal.....	15
II.	Variables del sistema.....	34
III.	Variables a manipular.....	35
IV.	Delimitación del campo de estudio.....	36
V.	Variables cuantitativas de estudio	39
VI.	Datos constantes en formulación.....	45
VII.	Recolección de datos condiciones actuales	46
VIII.	Recolección de datos experimentales para análisis de gomas naturales para una cantidad constante de goma.	47
IX.	Recolección de datos experimentales para análisis de gomas naturales para una cantidad constante de electrolito....	48
X.	Recolección de datos experimentales para análisis de derivados de la celulosa constante.....	49
XI.	Recolección de datos experimentales para análisis de derivados de la celulosa variable.....	50
XII.	Recolección de datos experimentales para análisis de mezclas de surfactantes	51

XIII.	Parámetros experimentales de operación.....	52
XIV.	Procesamiento de datos de operación	53
XV.	Comparación de tiempos de operación promedio	53
XVI.	Diseño de bloques al azar	56
XVII.	Tabla de ANOVA.....	59
XVIII.	Definición de variables figura 21	62
XIX.	Definición de variables figura 22	63
XX.	Definición de variables figura 23	64
XXI.	Definición de variables figura 24	65
XXII.	Definición de variables figura 25	66
XXIII.	Cantidad de electrolito para obtener viscosidad objetivo con Goma Xantan (8000 cP).....	67
XXIV.	Definición de variables figura 26	68
XXV.	Definición de variables figura 27	69
XXVI.	Definición de variables figura 28	70
XXVII.	Definición de variables figura 29	71
XXVIII.	Definición de variables figura 30	72
XXIX.	Cantidad de Goma Xantan para obtener viscosidad objetivo (8000 cP).....	73
XXX.	Definición de variables figura 31	74
XXXI.	Definición de variables figura 32	75
XXXII.	Definición de variables figura 33	76
XXXIII.	Definición de variables figura 34	77
XXXIV.	Definición de variables figura 35	78
XXXV.	Cantidad de electrolito para obtener viscosidad objetivo con CMC (8000 cP).....	79
XXXVI.	Definición de variables figura 36	80
XXXVII.	Definición de variables figura 37	81
XXXVIII.	Definición de variables figura 38	82

XXXIX.	Definición de variables figura 39.....	83
XL.	Definición de variables figura 40.....	84
XLI.	Cantidad de CMC para obtener viscosidad objetivo (8000 cP) ..	85
XLII.	Definición de variables para figura 41.....	86
XLIII.	Definición de variables para figura 42.....	87
XLIV.	Definición de variables para figura 43.....	88
XLV.	Definición de variables para figura 44.....	89
XLVI.	Definición de variables para figura 45.....	90
XLVII.	Cantidad de Alkont EL 3645 para obtener viscosidad objetivo (8000 cP)	91
XLVIII.	Resumen cantidades óptimas promedio.....	91
XLIX.	Costos actuales de fórmula	92
L.	Costos totales de acuerdo a análisis de nuevas formas.....	93
LI.	Comparación costo actual y costos de nuevas fórmulas	94
LII.	Reducción de material variable: cloruro de sodio	95
LIII.	Comparación tiempo promedio por presentación, actual y de nuevas fórmulas	96
LIV.	Comparación tiempo promedio por análisis, para cada espesante respecto al actual	97
LV.	Estatus selección de espesantes.....	97
LVI.	Comparación de número de Reynolds	98
LVII.	Comparación de consumo de potencia	99
LVIII.	Velocidad de descarga del impulsor	99
LIX.	Comparación de carga de velocidad	100
LX.	Comparación de rendimiento esperado y real obtenido	100
LXI.	Matriz de bloques. Tratamientos: espesantes	101
LXII.	Comparación estadística para hipótesis nula H0 y alternativa Ha (nivel de confianza 95%).....	102
LXIII.	Matriz de diferencias método de Tukey	103

LXIV.	Matriz al concluir con comparador (diferencia $>W$ “No son iguales).....	103
LXV.	Matriz de respuesta para selección de tratamientos	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
G	Aceleración gravitacional
h	Altura del tanque
J	Ancho de los deflectores
CMC	Carboximetil Celulosa
H	Carga de velocidad del impulsor
N_Q	Coefficiente de descarga
D_a	Diámetro del impulsor o agitador
D_t	Diámetro del tanque
C	Distancia del plano de rotación respecto al fondo del tanque
O/W	Emulsión de aceite disperso en agua
W/O	Emulsión de agua dispersa en aceite
° C	Grados Celsius
w	Grosor de aspa
L	Largo de aspa
N_p	Número de potencia
P	Potencia de impulsor
Q	Velocidad de descarga del impulsor
N	Velocidad de rotación
μ	Viscosidad absoluta (dinámica)
v	Viscosidad cinemática

GLOSARIO

Agitación mecánica	Forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiriera un movimiento circular en el interior de un recipiente.
Agitador	(Impulsor). Equipo mecánico, en un sistema de agitación, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico que crea un flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente.
Emulsificador	Agente superficial activo que facilita la mezcla de dos o más sustancias líquidas que se separarían en sus partes componentes en condiciones normales.
Emulsión	Sistemas bifásicos que se preparan combinando dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está uniformemente disperso en el otro.

Fase	Cada una de las partes macroscópicas de una composición química y propiedades físicas homogéneas que forman un sistema.
Materia prima	Todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final.
Número de Reynolds	Número adimensional utilizado en mecánica de fluidos y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido, da una medida de la relación entre fuerzas de inercia, y fuerzas viscosas.
Tensión superficial	Propiedad de un líquido a la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.
Tenso activo	(Surfactante). Sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.
Viscosidad	Propiedad física de un fluido que define la facilidad de un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se analizó el aumento de la viscosidad en un shampoo mediante reformulaciones y mejoras en el proceso, con el fin principal de reducir la cantidad de recursos utilizados.

El método experimental de reformulaciones y análisis de proceso, se llevó a cabo en una industria de shampoo guatemalteca, ubicada en la ciudad de Guatemala, en la que se realizó pruebas a nivel de planta piloto y pruebas a nivel de planta industrial.

Para realizar la reformulación del producto se utilizó nuevos agentes espesantes entre los cuales se contempló la goma natural Xantan, Carboximetil celulosa sódica (CMC), y Alkont EL 3645 que es una mezcla de surfactantes no iónicos. En el proceso se realizó el análisis del efecto de cada uno de los nuevos espesantes en la viscosidad del producto, combinado con el electrolito cloruro de sodio.

Al mismo tiempo, mediante análisis estadístico se determinó que el mejor de todos los espesantes, con base en los resultados experimentales finales, fue el Alkont EL 3645, utilizando un porcentaje de este del 0,3485 %.

Finalmente se determinó una reducción de recursos materiales del 0,50 % en cuanto a materias primas y de 19,73 % en el recurso tiempo de producción. Para obtener éstos resultados se llevó a cabo un análisis acerca de las variables de proceso de operación, que engloban los factores de equipos utilizados y el consumo energético. Para la determinación de los efectos en el

consumo energético se determinó los parámetros adimensionales: número de Reynolds con un valor de $NRe= 160,22$, el número de potencia con un valor de $NP=1,7$. Velocidad de descarga $Q= 3,12$ y la carga de velocidad $H= 0,04803$ m.

Mediante análisis de ANOVA, con un nivel de confianza del 95 % se determinó que el efecto causado por los espesantes no es el mismo, al utilizar la viscosidad como variable respuesta.

OBJETIVOS

General

Aumentar la viscosidad de un shampoo, mediante reformulación, mejoras en el proceso, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos.

Específicos

1. Obtener una fórmula de mayor viscosidad a la actual en la que los nuevos componentes sean compatibles con los existentes.
2. Reducir la cantidad de componentes actuales, mediante la adición de nuevos agentes espesantes
3. Reducir el tiempo de producción manteniendo los parámetros de especificación establecidos para el proceso de obtención de la fórmula.
4. Evaluar si existe una diferencia significativa entre las viscosidades obtenidas para cada reformulación y su relación con la fórmula actual.

Hipótesis

Al adicionar nuevos agentes espesantes a la fórmula actual del Shampoo, se logra un aumento significativo en la viscosidad, sin afectar la funcionalidad de éste.

Hipótesis nula

Todos los agentes espesantes tienen el mismo efecto en la viscosidad del Shampoo para todas sus presentaciones.

$$\mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa

No todos los espesantes tienen el mismo efecto en la viscosidad del Shampoo para todas sus presentaciones.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

INTRODUCCIÓN

El uso de cosméticos hoy en día es indispensable para el cuidado personal, ya que estos son los encargados de proporcionar belleza y salud al cuerpo.

Entre los cosméticos de mayor consumo y de primera necesidad, se encuentra el shampoo, ya que su uso en la mayoría de los casos es de forma diaria, por lo que la demanda de este es elevada.

El shampoo es una emulsión que contiene agentes surfactantes, los cuales se encargan del arrastre de la suciedad y grasa acumulada en el cuero cabelludo, y son de fácil remoción mediante agua.

Como producto destinado a la limpieza, el shampoo, está constituido a su vez por agentes espesantes que le brindan consistencia, para su fácil aplicación y extensión en el cuero cabelludo, es por ello que la compatibilidad de dichos agentes con los demás componentes del producto, es de gran vitalidad.

El análisis de formulaciones de shampoo tiene como fin alcanzar la perfecta armonía entre cada uno de los agentes constituyentes en este, de modo que la funcionalidad sea adecuada, por lo que la búsqueda del aumento de la viscosidad es un factor indispensable para satisfacer los estándares de dicha funcionalidad.

Debido a esto es importante tener conocimiento acerca de las alternativas existentes para lograr la consistencia deseada en el producto así como su estabilidad físico-química.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala existen pocas investigaciones acerca de los componentes básicos de productos cosméticos, como por ejemplo shampoo. Este agente cosmético nació en 1762, y la denotación de este como “shampoo” fue utilizado por primera vez en Inglaterra, término incursionado por el vendedor de productos cosméticos Kasey Hebert.

El estudio de formulaciones cosméticas con base en emulsiones O/W de alcoholes grasos sulfatados en agua con espesantes electrolíticos, tales como el cloruro de sodio, son muy pocas y no se enfocan específicamente en el aumento de la viscosidad, sin embargo, las investigaciones existentes sí lo hacen en el tema de la viscosidad como parámetro de análisis, ya que evalúan los efectos que sufre dicha propiedad respecto a cambios en los procesos y formulaciones, pero como se mencionó, el objetivo principal no es el aumento de esta, sino simplemente la evaluación de sus efectos.

En septiembre de 1985, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, se realizó el trabajo de graduación titulado *Alcoholes grasos y sulfatados y su utilización en manufactura de productos de lavado del cabello. Efecto de la adición de electrolito cloruro de sodio en la viscosidad de sus soluciones*, por el ingeniero Erwin Donis, quien expuso la tendencia de la viscosidad en productos cosméticos respecto a diferentes porcentajes de cloruro de sodio adicionados a diferentes alcoholes grasos.

Para el caso de la formulación actual de shampoo, emulsión O/W de Lauril éter sulfato de sodio en agua, con cloruro de sodio como agente viscosante por excelencia, es de gran influencia la investigación realizada por el ingeniero Donis, ya que es un hito para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación. Entre los fines principales de la investigación del ingeniero Donis se puede mencionar el estudio reológico de las emulsiones de alcoholes grasos sulfatados para determinar la selección del alcohol más adecuado para usos cosméticos, así como el efecto de los electrolitos en los alcoholes a temperatura ambiente.

El ingeniero Donis logró determinar que para las emulsiones constituidas por lauril sulfato de sodio como fase dispersa oleosa, existe una cantidad de electrolito cloruro de sodio óptima, la cual es indicador de la máxima viscosidad posible a alcanzar en la mezcla y en la que posterior a ésta concentración del soluto, la viscosidad presenta un decrecimiento progresivo hasta alcanzar su valor inicial, comportamiento que se debió a la formación de micelas hidrolíticas entre los iones cloruro y la unión de ión sodio a la cadena del alcohol graso.

En esta investigación, se determinó que al disminuir la concentración de lauril- sulfato de sodio, era más difícil alcanzar el punto óptimo al adicionar de cloruro de sodio; este comportamiento es perjudicial para productos cosméticos, ya que agregar esta sal en exceso pueden provocarse irritaciones en la piel y otro tipo de padecimientos, por lo que con la información presentada por el ingeniero Donis se hace evidente que para alcanzar el punto de viscosidad y cantidad de cloruro de sodio óptimos, es necesario tener la concentración de alcohol graso adecuada para que el uso de cloruro de sodio no sea excesivo.

En noviembre de 1998, también en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, se realizó el trabajo de graduación, *Evaluación del efecto de las variables de fabricación sobre la viscosidad del producto final, en el proceso de fabricación de una emulsión industrial*, por la ingeniera Gisela Medinilla, quien expuso los efectos que las variables de fabricación, tales como la temperatura de operación y el tiempo de agitación, podían causar en la viscosidad del producto final.

La ingeniera Medinilla realizó un modelo estadístico para determinar la significancia de sus variables de análisis, siendo éstas la temperatura del agua caliente, el tiempo de agitación y el porcentaje de agua caliente. De esta forma determinó que las tres variables eran significativas para una temperatura entre 60 y 80 °C, entre 1 y 2 horas de agitación, y entre 60 y 70 % de agua caliente. Al mismo tiempo combinó los factores temperatura-duración, temperatura-porcentaje de agua caliente y duración-porcentaje de agua caliente, interacciones de las cuales solo se consideró significativa la de temperatura-porcentaje de agua caliente.

De acuerdo a la determinación de la significancia, se concluyó que el incremento de la temperatura del agua caliente disminuye la viscosidad del producto final siempre que esta se encuentre en un rango entre 60 y 80 °C, que el incremento de porcentaje de agua caliente disminuye la viscosidad siempre que este se encuentre entre el 60 y 70 %, y que la duración de agitación aumenta la viscosidad siempre que el tiempo de agitación se incremente de una a dos horas.

Y como una conclusión más relevante, determinó que el efecto que tiene el porcentaje de agua caliente sobre la viscosidad del producto final es mayor al efecto de la temperatura del agua, y el efecto de la temperatura del agua sobre la viscosidad del producto final es mayor que el efecto de la duración de agitación.

Entre otras fuentes de interés se encuentra la tesis doctoral *Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos*, realizada en Granada, octubre de 2009 en la Universidad de Granada, departamento de Ingeniería Química por el ingeniero Mario Ortega, investigación que contiene información de gran diversidad en cuanto teorías y definiciones acerca de la viscosidad y reología de soluciones tanto iónicas como no iónicas, así como sus tendencias y efectos de acuerdo a varios factores.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Emulsiones

Las emulsiones son sistemas bifásicos que se preparan combinando dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales está uniformemente disperso en el otro. Las dos fases que constituyen el sistema reciben el nombre de fase dispersa o interna y fase continua o externa; se define como fase dispersa aquella que se encuentra en forma de pequeños glóbulos, y como fase continua aquella que es el medio de dispersión.

La mayoría de las emulsiones incorporan una fase acuosa en una fase no acuosa.

2.1.1. Tipos de emulsión

La caracterización de las emulsiones depende del tipo de sistema bifásico, en el que se define quien es la fase discontinua y la fase continua. Si la fase dispersa es aceite (fase no acuosa), y la fase continua es una solución acuosa, el sistema se designa con el nombre de emulsión aceite en agua (O/W). Inversamente, si la fase dispersa es una solución acuosa y la fase continua es un material oleaginoso o aceite, se designa el sistema como emulsión de agua en aceite (W/O).

2.1.1.1. Estabilidad de emulsiones

Toda emulsión es termodinámicamente inestable como consecuencia de la energía libre de Gibbs en exceso, presente en la superficie de los glóbulos de fase dispersa. Este fenómeno provoca la floculación, que consiste en que debido a la reducción de las fuerzas de repulsión y predominancia de las fuerzas de atracción, los glóbulos tiendan a unirse provocando la reducción en la superficie. Al mismo tiempo existe el riesgo de que las partículas dispersas puedan coalescer o fusionarse, lo que conlleva a la destrucción de la emulsión. Para contrarrestar este efecto se utiliza un tercer componente denominado, agente emulsionante, para mejorar la estabilidad.

Con base en lo dicho, una emulsión estable debe contener por lo menos tres tipos de componentes: la fase dispersa, el medio de dispersión y el agente emulsionante.

2.1.1.2. Componentes

Los componentes básicos de una emulsión son la fase dispersa, el medio de dispersión y el agente emulsionante. La fase dispersa al igual que el medio de dispersión, puede ser agua o aceite; si la fase dispersa es agua, el medio de dispersión será aceite y de forma inversa, si la fase dispersa es aceite el medio de dispersión será agua.

El agente emulsionante, llamado también agente emulsificador, debe contener entre sus propiedades deseables, ser tensioactivo, para así reducir la tensión superficial; debe ser absorbido rápidamente, alrededor de los glóbulos dispersos, como una película condensada; debe aumentar la viscosidad de la

emulsión y ser efectivo en una concentración relativamente baja. Existen agentes emulsificantes de tipo sintético, naturales y sólidos finamente divididos.

Los más importantes para el análisis de la investigación, son los emulsificantes sintéticos, ya que éstos son muy efectivos para reducir la tensión Interfacial entre las fases interna y externa de aceite y agua respectivamente. Este fenómeno se debe a que la molécula posee tanto propiedades hidrófilas como hidrófobas.

Debido a que la fase acuosa de la emulsión favorece el desarrollo de microorganismos, se debe agregar un conservador del producto, los conservadores hidrosolubles son los más efectivos.

2.2. Viscosidad

La viscosidad es la propiedad física de un fluido que define la facilidad de un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta o viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de la resistencia de este respecto al deslizamiento sobre una superficie determinada, o a sufrir deformaciones internas.

La adición de aditivos reológicos favorece la estabilidad de los sistemas dispersos, debido a que estos dificultan la movilidad y en consecuencia el acercamiento y posibilidad de floculación de las partículas, y con esto se disminuye la tendencia a la separación de fases.

2.2.1. Viscosidad absoluta o dinámica

Es la viscosidad definida en unidades de pascal segundo ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) en el Sistema Internacional (SI), o también Newton segundo por metro cuadrado ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$), análisis dimensional que es posible reducirlo a kilogramo por metro segundo ($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$); esta última expresión dimensional de unidades se denominó en Francia como Poiseuille (PI), que no es lo mismo que un Poise. Un poise(P), es una unidad correspondiente al sistema CGS de unidades, el cual se define como dina segundo por centímetro cuadrado($\text{dina} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$), o de gramos por centímetro segundo ($\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$).

La unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica es el *centipoise* (cP), el cual es equivalente a una centésima del poise (10^{-2} P). La forma de expresión en el sistema internacional equivalente a un centipoise es 10^{-3} pascal segundo ($\text{Pa} \cdot \text{s}$). Para fines prácticos se denotará la viscosidad absoluta con el símbolo μ .

2.2.2. Viscosidad cinemática

Entre las formas de expresión de la viscosidad, también existe la viscosidad cinemática, la cual es el cociente de la viscosidad absoluta o dinámica, respecto a la densidad del fluido.

En el sistema internacional se expresa en unidades de metro cuadrado por segundo (m^2/s) y en el sistema CGS en unidades de *stoke* (St) con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo (cm^2/s) y el centistoke que es el submúltiplo más utilizado (cSt), equivalente a 10^{-2} stokes. Para fines prácticos se denotará la viscosidad cinemática con el símbolo ν .

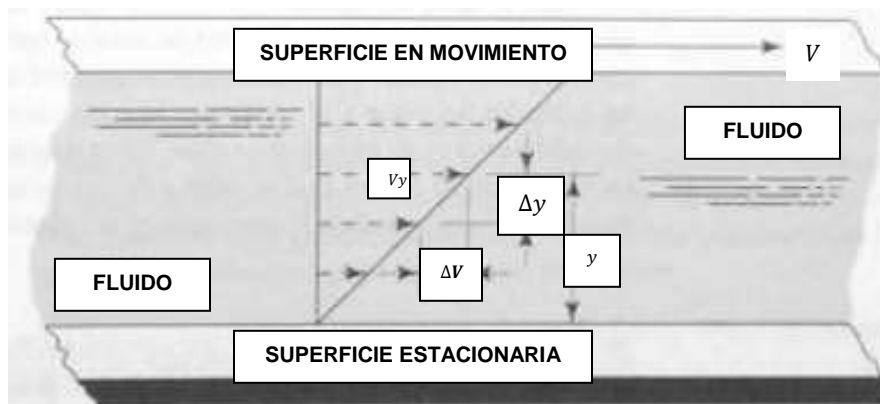
2.3. Tipos de fluidos

Es posible denotar los tipos de fluidos de acuerdo a conceptos fundamentales como lo son el gradiente de velocidad y el esfuerzo cortante. El gradiente de velocidad o tasa cortante es una medida del cambio de velocidad y se expresa mediante $\Delta V/\Delta y$.

Este concepto parte del principio de una condición fundamental, en la que cuando un fluido real está en contacto con una superficie de frontera posee la misma velocidad de esta.

Implícitamente en el movimiento del fluido se considera como efecto de este, un esfuerzo cortante (τ) que es la fuerza requerida para que una unidad de área del fluido, se deslice sobre otra.

Figura 1. **Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento.**



Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de fluidos. p. 161.

2.3.1. Fluidos Newtonianos

Son aquellos en los que su viscosidad absoluta solo es función de la condición del fluido, en particular de su temperatura, y la magnitud del gradiente de velocidad no tiene ningún efecto sobre la magnitud de dicha viscosidad.

2.3.2. Fluidos no Newtonianos

Son aquellos en los que su viscosidad absoluta depende no solo de la condición del fluido, sino también de la magnitud del gradiente de velocidad. Se hace evidente la clasificación de éstos fluidos mediante la relación entre el esfuerzo cortante respecto del gradiente de velocidad y la viscosidad dinámica aparente respecto al gradiente de velocidad.

Los fluidos no newtonianos se pueden clasificar a su vez en independientes o dependientes del tiempo. Entre los fluidos independientes del tiempo se encuentran los pseudoplásticos o tixotrópicos, que son de viscosidad aparente elevada; los fluidos dilatantes, que son de viscosidad aparente baja; y los fluidos de Bingham o de inserción, que requieren de la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes que inicie su flujo. Entre los fluidos dependientes del tiempo se encuentran los fluidos electrorreológicos y los magnetorreológicos.

De acuerdo a estudios previos, se ha determinado que un shampoo normal de uso doméstico, posee un comportamiento de tipo no newtoniano, independiente del tiempo y de naturaleza del tipo “inserción”.

2.4. Agitación mecánica y mezclado de fluidos

La agitación de acuerdo a la definición de Geankoplis¹ “se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circular en el interior de un recipiente”.¹ Al mismo tiempo haciendo referencia al mismo autor, “el mezclado implica partir de dos fase individuales y lograr que ambas fases se distribuyan al azar entre sí”.¹ Para fines de la presente investigación, el objetivo principal de la agitación es el mezclado de dos líquidos miscibles.

2.4.1. Equipo para agitación

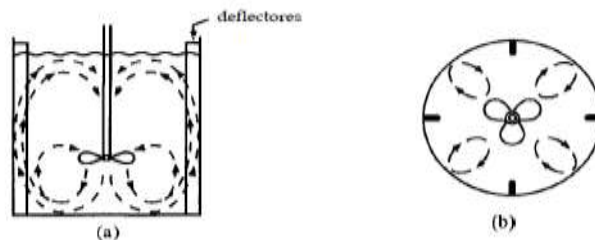
La agitación se realiza mediante la utilización de tanques agitados, es decir equipos que disponen de un aparato giratorio, el cual tiene como fin principal lograr la dispersión y mezclado del fluido. En estos tanques es necesario que la altura del fluido sea equivalente en forma aproximada a su diámetro.

Entre los equipos más utilizados existen los agitadores de flujo axial y agitadores de flujo radial, y la clasificación de cada tipo depende del ángulo formado entre las aspas y el plano de rotación.

Para fines de la presente investigación, se centrará la atención en los agitadores de flujo axial, que son aquellos en los que sus aspas forman un ángulo de menos de 90° respecto al plano de rotación, y el flujo fluye axialmente hacia abajo en el eje central y hacia arriba a los lados del tanque de la forma siguiente:

¹C. J. Geankoplis, *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p. 161.

Figura 2. **Flujo axial en tanques agitados**



Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 161.

Al mismo tiempo también es conveniente centrar la atención en aquellos agitadores en los cuales se combine el flujo axial y radial del flujo dentro del tanque.

Los tanques agitados pueden o no poseer desviadores, para el caso de los que no los poseen, si se agita un líquido de baja viscosidad, mediante un agitador para flujo axial, existe el riesgo de la formación de remolinos en el flujo, independientemente del tipo de agitador que se utilice, lo que genera un vórtice como consecuencia de la fuerza centrífuga presente en el sistema del líquido que está girando.

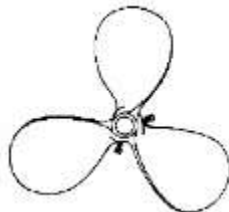
Generalmente, aún con este riesgo potencial, se obtienen procesos satisfactorios, sin embargo dicho riesgo limita las velocidades de rotación de operación, y además se debe considerar que la masa de remolino de líquido, generalmente provoca ondas oscilantes en el tanque, lo cual junto con el remolino profundo, provoca fuerzas fluctuantes que afectan el eje del agitador.

2.4.1.1. Tipos de agitadores

La clasificación de los agitadores se realiza de acuerdo al tipo de flujo así como por su forma, su función principal, entre otros parámetros.

El agitador propulsor de tres aspas o también llamado de tipo marino, posee forma de hélice. Este puede ser móvil. En este tipo de agitadores existen dos rangos de velocidades que son 1150 a 1750 rpm con transmisión directa, y 350 a 420 rpm con transmisión de engranajes. Para la suspensión de sólidos es recomendable hacer uso del tipo de transmisión por engranajes, ya que éstas suelen ser más viscosas y su dispersión es más lenta.

Figura 3. **Agitador tipo hélice o marino**



Fuente: PERRY, Robert H. Manual del ingeniero químico, Tomo V. p. 19-6.

Por otro lado existen también otros agitadores tales como los agitadores de turbina, los cuales son utilizados para procesar fluidos con rango amplio de viscosidades. El diámetro de una turbina suele medir del 30 al 50 % del diámetro del tanque. Normalmente tiene de cuatro a seis aspas.

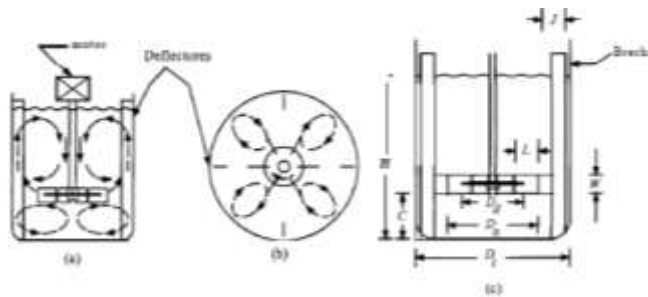
Figura 4. **Turbina de aspas inclinadas y curvas**



Fuente: PERRY, Robert H. Manual del ingeniero químico, Tomo V. p. 19-6.

Las proporciones geométricas consideradas como normales en el sistema de agitación son las siguientes:

Figura 5. **Dimensiones geométricas de sistema de agitación normal**



Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

Tabla I. **Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal**

$\frac{Da}{4} = 0.3 \text{ a } 0.5$	$\frac{H}{Dt} = 1$	$\frac{c}{Dt} = \frac{1}{3}$
$\frac{w}{Da} = \frac{1Dd}{5Da} - \frac{2}{3}$	$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$	$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 164.

En donde:

- Da = diámetro del impulsor o agitador
- Dt = diámetro del tanque
- C = distancia del plano de rotación respecto al fondo del tanque
- h = altura del tanque
- L = largo de aspa
- w = grosor de aspa
- J = ancho de los deflectores

2.5. Comportamiento de los fluidos en recipientes mezcladores

Entre los parámetros a relacionar en un tanque agitado mecánicamente, se encuentra, el número de Reynolds del agitador o impulsor, la velocidad de descarga del impulsor, carga de velocidad y el consumo de potencia involucrado en el sistema.

2.5.1. Número de Reynolds

El número de Reynolds del impulsor sirve para determinar la presencia o ausencia de turbulencia dentro del recipiente, y se define como:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad [\text{Ecuación 1, Ref. 4}]$$

En donde:

- N_{Re} = número de Reynolds [ad]
- D_a = diámetro del impulsor [m]
- N = velocidad de rotación [rev/s]
- ρ = densidad del fluido [kg/m³]
- μ = viscosidad absoluta [Pa*s]

El flujo en el tanque es turbulento cuando $N_{Re} > 10000$. Entre números de Reynolds de 10 000 y aproximadamente 10, hay un intervalo de transición en el cual el flujo es turbulento en el impulsor y laminar en las partes alejadas del recipiente, y así cuando en el flujo $N_{Re} < 10$, éste será laminar. La importancia de la determinación del tipo flujo, radica en que a partir del número de Reynolds, este se correlaciona con factores y características del rendimiento del proceso, entre estas, el tiempo de mezclado, el índice de bombeo del impulsor y el consumo de energía del impulsor.

Para fines del rendimiento del proceso es importante tener en cuenta que en flujos laminares, se produce esfuerzo cortante y las fuerzas cortantes del fluido son mayores que sus fuerzas de inercia.

En el caso de flujo turbulento, también se produce esfuerzo cortante como resultado de los remolinos pequeños o grandes; la escala de los remolinos grandes depende de las dimensiones del equipo mientras que en los remolinos pequeños es independiente del equipo. El esfuerzo cortante en el fluido es mayor cerca del impulsor que junto a la pared del tanque, por lo que se presentan diferencias más grandes en tanques de mayor tamaño que los pequeños.

Al mismo tiempo las fuerzas de inercia se desarrollan cuando un fluido cambia de dirección o de velocidad. Entre otras consideraciones el área Interfacial entre los fluidos a mezclar, se puede ampliar o reducir mediante las fuerzas de viscosidad entre ellos y de inercia cuando interactúan con fuerzas inter-faciales, tales como la tensión superficial.

Entre otras consideraciones, las diferencias de concentración y temperatura se reducen mediante el flujo masivo o circulación volumétrica dentro del recipiente. Este fenómeno se logra a partir de la difusión masiva de Taylor, la cual consiste en reducir en espesor las diferencias de temperatura y concentración mediante movimiento masivo en el que existen gradientes de velocidad.

2.5.2. Consumo de potencia

El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido, su viscosidad absoluta, la velocidad de rotación, el diámetro del impulsor, a partir del número de potencia, ya que existe una correlación gráfica del número de potencia en función del número de Reynolds.

El número de potencia es un número adimensional que relaciona la potencia del impulsor con las variables de operación involucradas en el número de Reynolds. Este se define como:

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D a^5} \quad [\text{Ecuación 2, Ref. 4}]$$

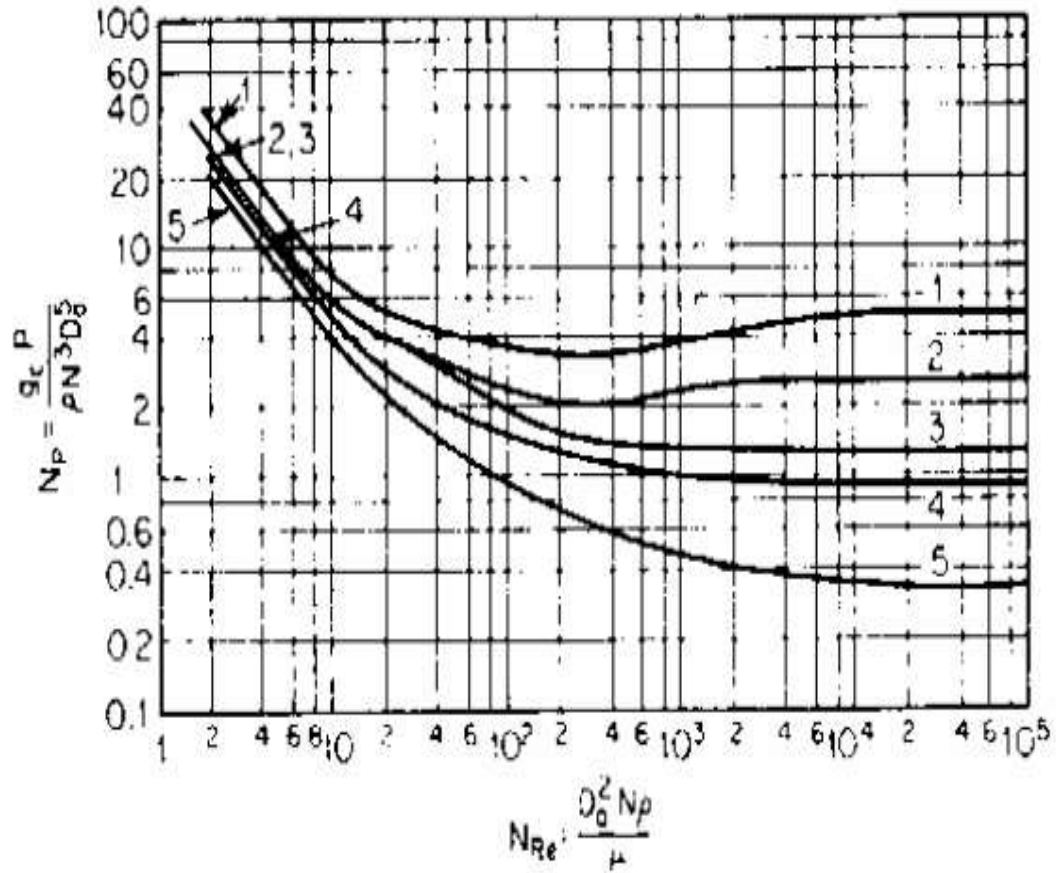
En donde:

- N_p = número de potencia [ad]
- D_a = diámetro del impulsor [m]
- P = potencia de impulsor [J/s o W]
- ρ = densidad del fluido [kg/m³]

Consecuentemente se puede obtener relación entre la potencia del impulsor y la carga de velocidad y velocidad de descarga.

A continuación se presenta el gráfico de correlación entre el número de Reynolds y el número de potencia.

Figura 6. Correlación de número de Reynolds y número de potencia



Fuente: PERRY, Robert H. Manual del ingeniero químico. Tomo V. p. 19-10.

- “Curva 1. Turbina de seis aspas planas (igual a la figura 3.4-3 pero con seis aspas); $D/W = 5$; cuatro deflectores cada uno con $Dt/J = 12$.
- Curva 2. Turbina abierta de seis aspas planas (igual a la Fig. 3.4-2~ pero con seis aspas); $D/W = 8$; cuatro deflectores con $Dt/J = 12$.
- Curva 3. Turbina abierta de seis aspas a 45° (igual a la Fig. 3.4-2d pero las aspas a 45°); $D/W = 8$; cuatro deflectores con $Dt/J = 12$.
- Curva 4. Propulsor; inclinación 20, cuatro deflectores con $Dt/J = 10$; también es válida para el mismo propulsor en posición angular y desplazado del centro sin deflectores.

- Curva 5. Propulsor; inclinación = Da , cuatro deflectores con $Dt / J = 10$; también es válida para un propulsor en posición angular desplazada del centro sin deflectores.²

2.5.3. Velocidad de descarga del impulsor

La velocidad de bombeo o de descarga es la velocidad de flujo perpendicular al área de descarga del impulsor. El fluido que pasa por esa área tiene velocidades proporcionales a la velocidad periférica del impulsor en condiciones de flujo turbulento. Se define como:

$$Q = N_Q N D_a^3 \quad [\text{Ecuación 3, Ref.4}]$$

En donde:

- Q = velocidad de descarga del impulsor [m^3/s]
- N_Q = coeficiente de descarga [ad]
- N = velocidad de rotación [rev/s]
- D_a = diámetro del impulsor [m]

El coeficiente de descarga se ha determinado experimentalmente para diferentes velocidades de descarga y se concluyó que para $N_Q = 0.4$ a 0.5 para una hélice con una inclinación igual que el diámetro para un $N_{Re} = 10^5$. Para las turbinas $N_Q = 0.7$ a 2.9 rango que depende del número de aspas, la altura de las aspas en relación del diámetro de la hélice y el diámetro del tanque.

²Curvas 1, 2 y 3 reproducidas con permiso de R. L. Bates, P. L. Fondy y R. R. Corpstein. *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, 2, 310 (1963). Derechos registrados por la American Chemical Society. Curvas 4 y 5 tomadas con permiso de J. H. Rushton, E. W. Costich y H. J. Everett. *Chem. Eng. Progr.*, 46, 395, 467 (1950).

Para el caso de estudio se utilizó un $N_Q = 1.3$ debido a que el agitador más utilizado regularmente en el proceso es de seis aspas, este coeficiente de descarga es el recomendado según Mc Cabe, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.

2.5.4. Carga de velocidad

La carga de velocidad de la corriente de descarga del impulsor, es una medida de la fuerza máxima que puede ejercer el fluido, cuando cambian su velocidad o dirección. Se define como:

$$H = N_p N^2 D_a^2 / N_Q g \quad \text{[Ecuación 4, Ref. 4]}$$

En donde:

- H = carga de velocidad del impulsor [m]
- N_Q = coeficiente de descarga [ad]
- N = velocidad de rotación [rev/s]
- D_a = diámetro del impulsor [m]
- N_p = número de potencia [ad]
- g = aceleración gravitacional [m2/s]

De acuerdo a la interrelación entre los factores anteriores, es posible determinar condiciones de conveniencia para el proceso de modo que se mejore el rendimiento.

Entre dichas mejoras si se desea aumentar la velocidad de descarga con el mismo consumo de potencia, se debe utilizar un impulsor de diámetro menor con una mayor velocidad de rotación; esto se debe, a que un impulsor con

carga elevada de fluido, es el que tiene una alta velocidad de descarga y periférica, lo que los hace útiles para la rápida reducción de las diferencias de concentración en la corriente de descarga del impulsor, lo que se denomina mezcla rápida.

La velocidad de descarga se puede aumentar al mismo consumo de potencia, incrementando el diámetro del impulsor y reduciendo la velocidad rotacional y periférica, sin embargo se utiliza un impulsor de diámetro grande para mezclas en las que se involucren cambios de temperatura.

2.6. Shampoo

De acuerdo al libro de Harry, se define un shampoo como: “una preparación de surfactante en forma de líquido, sólido o polvo, el cual es usado bajo condiciones específicas, tales que sea posible remover la grasa, suciedad, y residuos de impurezas acumulados en cuero cabelludo, sin afectar severamente el cuero cabelludo o la salud del consumidor.”

La estructura fundamental de un shampoo en forma general se compone por:

- Detergentes
- Estabilizadores de espuma
- Acondicionadores
- Agentes espesantes
- Modificadores de viscosidad
- Agentes secuestrantes
- Agentes clarificantes
- Preservantes

2.6.1. Materias primas

Los materiales a utilizar para la fabricación de un shampoo, dependen de la funcionalidad para la cual, haya sido diseñado el mismo. A continuación se describen los materiales considerados en la formulación del presente estudio.

2.6.1.1. Detergente o surfactante

El lauril éter sulfato de sodio (SLES) es un reactivo químico que pertenece a la familia de los alcoholes éter sulfatados. Este posee carácter de detergente sintético y pertenece al grupo de surfactantes aniónicos, siendo estos aquellos que tienen carga negativa en su porción hidrofílica.

Los sulfatos de los alcoholes grasos etoxilados poseen la ventaja de representar costos bajos, proporcionar suavidad al producto, y al mismo tiempo tienden a actuar como agentes reforzadores de espuma.

Su fórmula química es $CH_3(CH_2)_{10}CH_2(OCH_2CH_2)_nOSO_3Na$, en donde n normalmente puede ser 2 o 3.

El producto comercial es heterogéneo tanto en la cadena alcalina como en los grupos etoxilo.

El SLES puede ser obtenido a partir de la etoxilación del lauril sulfato de sodio (SDS).

Figura 7. **Estructura química de Lauril éter sulfato de sodio**



Fuente: Agentes tensoactivos. www.itescan.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23857.

DOC. Consulta: 5 de noviembre de 2011.

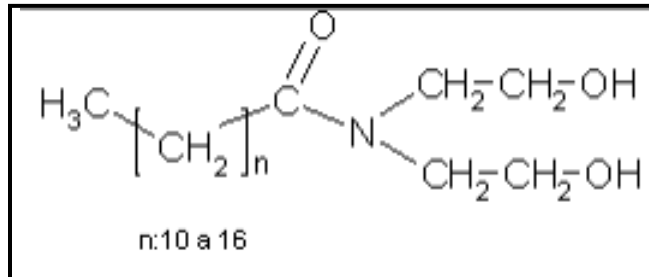
2.6.1.2. Estabilizadores de espuma

Los constructores de espuma son ingredientes que al ser agregados a una fórmula, incrementan la calidad, el volumen y la estabilidad de la espuma. También suelen mejorar la viscosidad y aportan un leve efecto acondicionador al cabello. Los principales estabilizadores de espuma son los ácidos grasos de alcanolamidas.

Para la fines de estudio se utilizará como estabilizador de espuma, la Dietanolamida de ácido graso de coco, denominada también Cocamide DEA, que es un líquido oleoso viscoso.

La Cocamide DEA es utilizada por su funcionalidad como emulsionante y codisolvente, y al combinar sus propiedades espesantes y formadoras de estructura, tiene la capacidad de brindar protección a la piel con un suave poder detergente propio.

Figura 8. **Estructura química de Cocamide DEA**

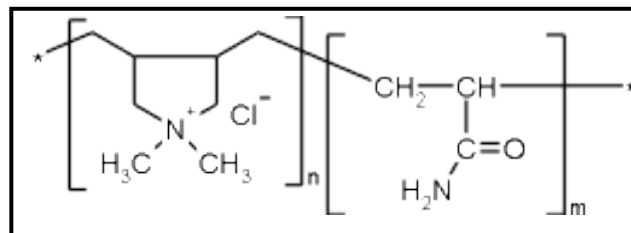


Fuente: Agentes tensoactivos. www.itescan.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23857.
DOC. Consulta: 7 de noviembre de 2011.

2.6.1.3. **Acondicionadores**

Son implementados con la finalidad de brindar un mejor manejo en las fibras del cabello, así como lubricación y suavidad. El agente acondicionador a utilizar en la formulación será policuaternium-7, el cual es un agente acondicionador y humectante completamente soluble en agua y se encuentra disponible comercialmente en forma de líquido viscoso.

Figura 9. **Estructura química de Policuaternium-7**



Fuente: Agentes tensoactivos. www.itescan.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23857.
DOC. Consulta: 7 de noviembre de 2011.

2.6.1.4. Agentes espesantes

Los agentes espesantes sirven para darle cuerpo al producto, de modo que se logre mejorar la consistencia para su fácil manejo. Entre los agentes espesantes a utilizar se utilizará como base las sal inorgánica, cloruro de sodio, el cual es de coste moderado pero debe ser utilizado en cantidades limitadas, permite regular la consistencia y propiedades de flujo, además de facilitar la aplicación del producto.

Más adelante para fines de la reformulación se combinará el cloruro de sodio con otros agentes también modificadores de la viscosidad, o en su defecto se tratará con fórmulas en las que la sal será sustituida por completo.

2.6.1.5. Modificadores de viscosidad

Estos son también agentes espesantes pero su distinción del agente anterior, cloruro de sodio, radica en que éstos no han sido implementados aún en la formulación del shampoo.

Entre los agentes espesantes que se pueden utilizar en la industria de shampoo, se encuentran:

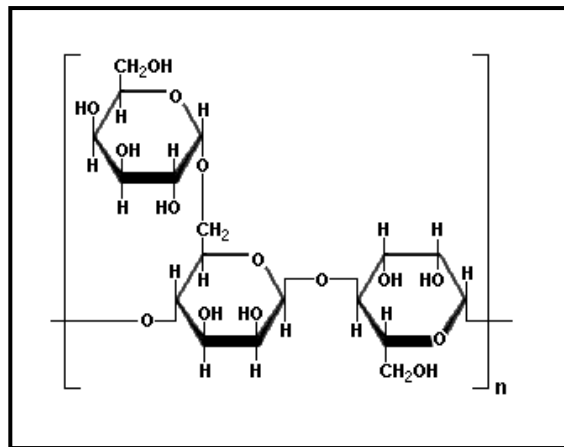
- Electrolitos (1-4 por 100 (p/p) de cloruro amónico o sódico en alquiléter sulfatos incrementa apreciablemente la viscosidad.
- Gomas naturales
- Derivados de celulosa
- Polímeros carboxivinílicos.
- Mezclas diversas

2.6.1.5.1. Gomas naturales

Entre las gomas naturales de gran rentabilidad se encuentra la goma guar, que se usa principalmente para espesar soluciones acuosas y para controlar la movilidad de materiales dispersados o disueltos. También se usa para espesar diferentes cosméticos. Es un polvo blanco a blanco-amarillento, casi sin olor y sin sabor. Las calidades técnicas son ligeramente más oscuras en el color. Polvo blanco a blanco-amarillento, casi sin olor y sin sabor. El pH de una solución al 1 % de goma guar está entre 5,0 y 7,0.

Las soluciones de goma guar tienen una acción de buffer y son muy estables a pH de 4 a 10,5.

Figura 10. **Estructura química de guaran, polisacárido principal de la goma guar**



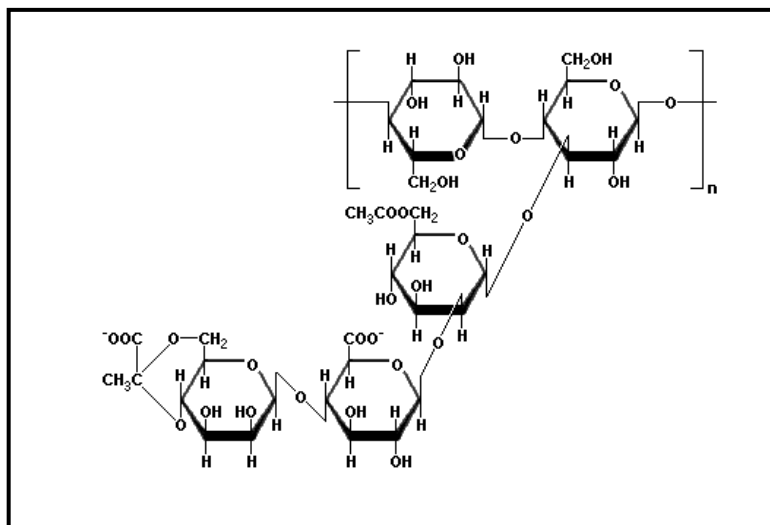
Fuente: artículo carbohidratos o glúcidos.

<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html> Consulta: 10 de noviembre 2011.

Entre otras de las gomas naturales a utilizar se encuentra la goma Xantan (Kelco), que es una goma polisacárida de alto peso molecular producida por fermentación de un cultivo puro de un carbohidrato con *Xanthomonascampestris*, purificada luego con alcohol isopropílico, secada y molida.

Se encuentra comercialmente como un polvo blanco o color crema, insípido, con suave olor orgánico; el polvo y las soluciones son estables a 25 °C o menos; no tiene poliformismo; las soluciones acuosas son neutras al tornasol. Es un coloide hidrófilo para espesar, suspender, emulsionar y estabilizar sistemas de base acuosa.

Figura 11. Estructura química de la goma Xantan



Fuente: artículo carbohidratos o glúcidos.

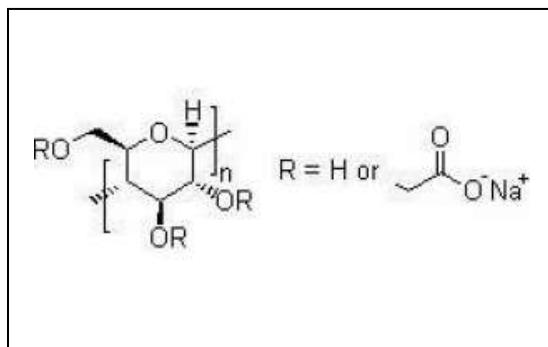
<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html> Consulta: 10 de noviembre 2011.

2.6.1.5.2. Celulosas

Entre los derivados de la celulosa se encuentra la carboximetil celulosa sódica, que es una sal sódica de éter, carboximetílico de celulosa. Se dispone de varios tipos de viscosidad: baja, media, alta y extra alta.

Comercialmente se encuentra en polvo o gránulos de color blanco a crema, que es higroscópico; su pH en una solución acuosa 1 en 100 es alrededor de 7,5. En cuanto a su solubilidad, fácilmente se dispersa en agua para formar soluciones coloidales, sin embargo es insoluble en alcohol, éter u otros disolventes orgánicos. Es un agente para aumentar la viscosidad.

Figura 12. Estructura química de la carboximetil celulosa sódica



Fuente: usos carboximetil celulosa sódica.

[http://www.aditivosalimentarios.com/index.php/codigo/466/Carboximetil Celulosa-sOдика](http://www.aditivosalimentarios.com/index.php/codigo/466/Carboximetil%20Celulosa-sOдика)

Consulta: 10 de noviembre 2011.

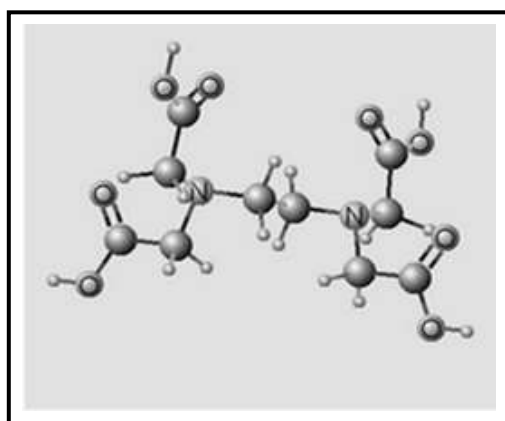
2.6.1.5.3. Mezclas

Entre la clasificación de mezclas diversas, una de las opciones más rentables es el Alkont EL 3645, que es un mezcla de tensioactivos no-iónicos. Se utiliza como agente de viscosidad en formulaciones acuosas en frío para el cuidado del cabello: shampoos, anticaspas, tratantes, para bebe, acondicionadores y enjuagues.

2.6.1.6. Agentes secuestrantes

En la formulación se utilizará ácido etilendiaminetetraacético, EDTA tetrasódico, que es un agente secuestrante que da por resultado una disminución de la concentración de calcio en suero. Se diseña para competir con los metales por los grupos reactivos fisiológicos, evitando o revertiendo así sus efectos tóxicos e incrementando su excreción.

Figura 13. Estructura química del EDTA



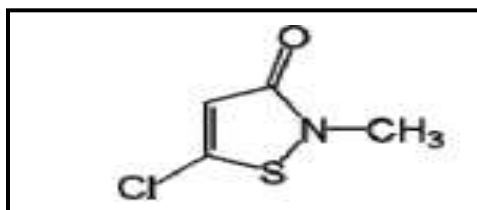
Fuente: artículo de complejos de coordinación.

<https://www.truthinaging.com/ingredients/tetrasodium-edta>. Consulta: 08 de noviembre 2011.

2.6.1.7. Preservantes

Los preservantes son aditivos que todo shampoo contiene para evitar la proliferación de microorganismos. En la formulación se utilizará dos tipos de preservante, la metilcloroisotiazolinona, que es un plaguicida fungicida. Su fórmula química es C_4H_4ClNO .

Figura 14. Estructura química metilcloroisotiazolinona



Fuente: Isotiazolinona. <http://es.mercatrade.com/producto/7394/Isotiazolinona>. Consulta: 12 de noviembre 2011.

Comercialmente se utiliza como plaguicidas una mezcla de metilcloroisotiazolinona/ metilisotiazolinona, que posee una fórmula estructural, 2-metil-4-tiazolina-3-cetona 5-cloro-metil-4-tiazolina-3-cetona y está compuesto específicamente por 5-cloro-2-metil-4-tiazolina-3-cetona (CMI) y 2-metil-4-tiazolina-3-cetona (MI).

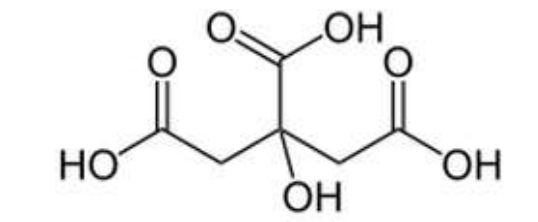
Esta mezcla rompe el vínculo entre las bacterias y proteínas de algas, de modo que cuando entra en contacto con los microbios inhibe su crecimiento, lo que conduce a la muerte de estos microbios. Tiene efectos biocidas sobre las bacterias comunes, hongos y algas. Entre sus ventajas se encuentran su alta eficacia biocida, buena estabilización, ya que es de baja toxicidad y no es oxidativo, y su bajo costo de operación. Puede mezclarse con el cloro y la mayoría de cationes, aniones, y surfactantes no iónicos.

2.6.1.8. Reguladores de pH

Los reguladores o controladores de pH en productos cosméticos suelen ser ácidos y bases comunes. El objetivo principal de estos es proteger el producto de cambios de color, olor, y a los posibles niveles de irritación debidos a cambios en el pH.

Para la formulación deseada se utilizará ácido cítrico para la regulación del pH. El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbóxico que está presente en la mayoría de las frutas. Su fórmula química es $C_6H_8O_7$. Es un buen conservante y antioxidante natural.

Figura 15. Estructura química ácido cítrico



Fuente: artículo de ácido cítrico. <http://www.makymat.com/contenido/AcidoCitrico.pdf>. Consulta: 11 de noviembre 2011.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

La definición de variables para el desarrollo del método consiste, en las variables del sistema y las variables a manipular. Las primeras, clasificadas de acuerdo a su naturaleza y a su comportamiento durante la experimentación; y las segundas, son las que pueden controlarse por el experimentador.

3.1.1. Variables del sistema

Las variables del sistema de acuerdo a su naturaleza, se dividen en dependientes e independientes. Y de acuerdo al comportamiento durante la experimentación, se dividen en constantes o no constantes. Estas se describen a continuación.

Tabla II. **Variables del sistema**

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	NATURALEZA		COMPORTAMIENTO DURANTE RÉPLICA DE EXPERIMENTACIÓN	
		DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	CONSTANTE	NO CONSTANTE
Temperatura	Grados Celcius (° C)		X	X	
Ph	-----	X			X
Viscosidad dinámica	Centipoises (cP)	X			X
Gravedad específica	-----	X			X

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Variables a manipular**

Para el presente estudio, solo se consideró como variables a manipular, el porcentaje de cada soluto utilizado, siendo estos, el soluto electrolito cloruro de sodio, y los tres agentes espesantes para cada caso experimental.

Tabla III. **Variables a manipular**

Variable	Unidad de medida
Porcentaje de cloruro de sodio	% peso
Porcentaje de agente espesante	% peso

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El análisis de la viscosidad para la reformulación de producto se enfocará en el proceso de realización de las diferentes presentaciones del shampoo, aguacate, manzana, herbal, manzanilla y sábila. Al mismo tiempo, el estudio se basará en la reducción de los recursos mediante mejoras y control sobre el proceso productivo.

Se mantendrá un costo de fórmula no mayor a un cinco por ciento del actual.

Tabla IV. **Delimitación del campo de estudio**

Tipo de industria:	Industria de shampoo
Ubicación:	Ciudad de Guatemala
Estudios a realizar en:	Instalaciones de empresa de shampoo, laboratorio de control de calidad y planta industrial de cosméticos.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador:

- Karen Roxana Morales Gómez
- Profesión: estudiante de ingeniería química Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Correo electrónico: karoxmg@hotmail.com

Asesor de investigación:

- Adolfo Gramajo
- Profesión: Ingeniero químico
- Colegiado No.: 264 (Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala).
- Correo electrónico:adolfoqramajo@gmail.com

Asesor dentro de la empresa:

- Cristian Alexander Lemus Estrada
- Profesión: Químico Biólogo
- Colegiado No. 2640 (Colegio de Farmacéuticos y Químicos de Guatemala)
- Correo electrónico: calemus@ilpsa.com

3.4. Recursos materiales disponibles

Para el trabajo de graduación, se realizará el proceso de investigación experimental en una empresa de shampoo de la industria guatemalteca, con sede en la ciudad de Guatemala, se realizará tanto las pruebas de planta piloto como las pruebas a nivel de planta industrial.

3.4.1. Equipo

- Agitador neumático Gerald K. Heller- Electronic controller GT21
- Balanzas analíticas digitales OHAUS
- Potenciómetro
- Viscosímetro Brookfield D115
- Tanque de acero inoxidable 2000 L
- Agitador eléctrico tipo Propela
- Variador de frecuencia
- Bomba neumática
- Desmineralizador

3.4.2. Cristalería

- 3 balones aforados de 1000 mL
- 2 probetas de 100 mL
- 10 recipientes de vidrio
- 2 beackers de acero inoxidable

3.4.3. Materias primas

- Agua destilada
- Lauril éter sulfato de sodio
- Cloruro de sodio
- Metilcloroisotiazolinona/ metilisotiasolinona
- EDTA
- Policuaternium -7
- Ácido cítrico
- Fragancia
- Colorantes
- Goma Xantan
- Alkont EL 3645
- Carboximetil celulosa sódica
- Ácido cítrico

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La técnica a utilizar en el método experimental es de carácter cuantitativo, ya que las variables de análisis, así como las que se van a manipular, son medibles.

Tabla V. **Variables cuantitativas de estudio**

<u>VARIABLE</u>	<u>TIPO DE VARIABLE</u>	<u>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN</u>
Porcentaje de cloruro de sodio	Variable de manipulación	Balanza
Porcentaje de espesante	Variable de manipulación	Balanza
Viscosidad	Variable de respuesta	Viscosímetro Brookfield D115
pH	Variable de respuesta	Potenciómetro

Fuente: elaboración propia.

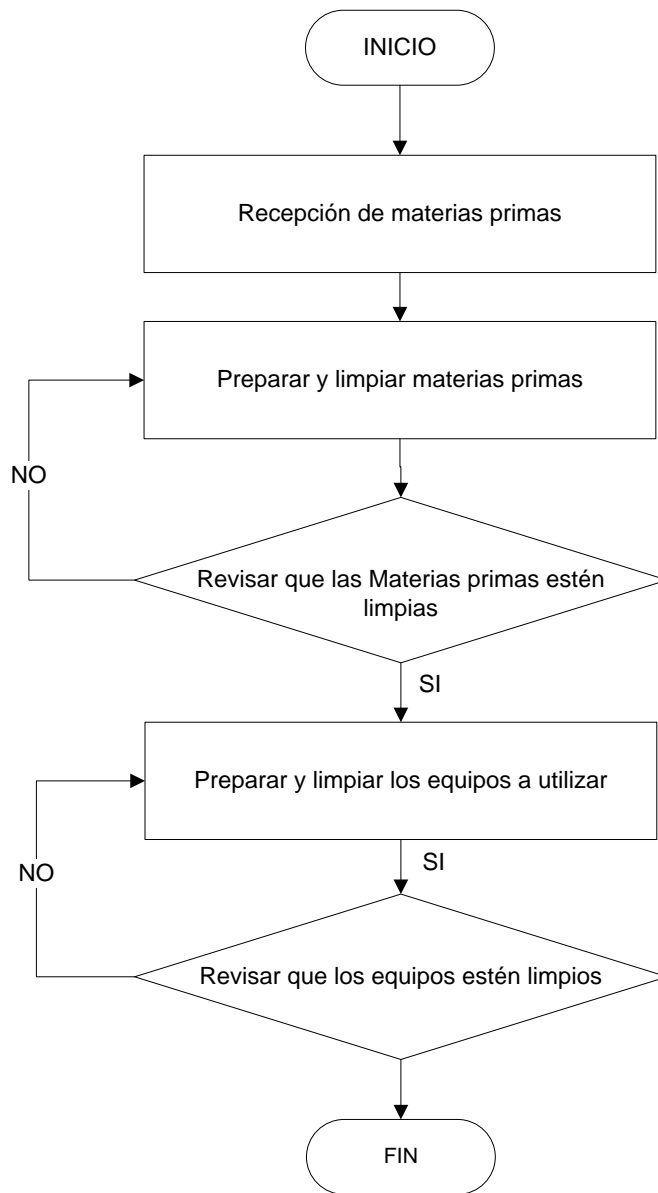
3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para el proceso de recolección y ordenamiento de los datos, se tomó como base el proceso actual, desde las operaciones previas a la fabricación, hasta el proceso final, y de esta forma diseñar un procedimiento con mejoras en cuanto a al tiempo de operación.

3.6.1. Proceso actual previo a elaboración

El proceso actual previo a la elaboración, consiste en la verificación de materias primas y condición de limpieza y funcionamiento de los equipos a utilizar.

Figura 16. **Proceso previo a la elaboración de shampoo a nivel de planta piloto e industrial**

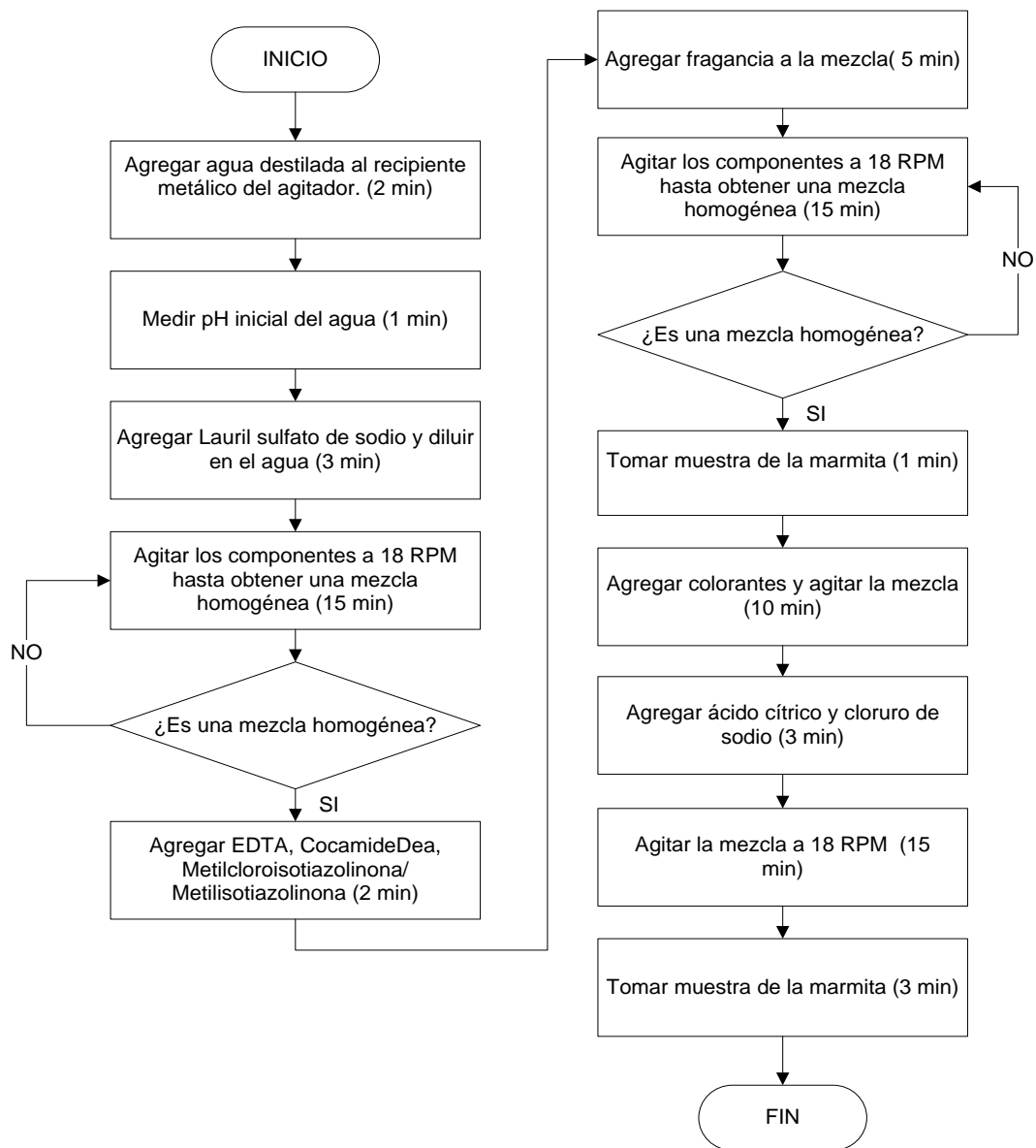


Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Proceso a nivel planta piloto actual

A continuación se muestra el proceso de fabricación a nivel planta piloto utilizado actualmente, este corresponde a los tiempos de preparación de shampoo dentro de un laboratorio fisicoquímico.

Figura 17. **Elaboración de shampoo a nivel planta piloto actual**

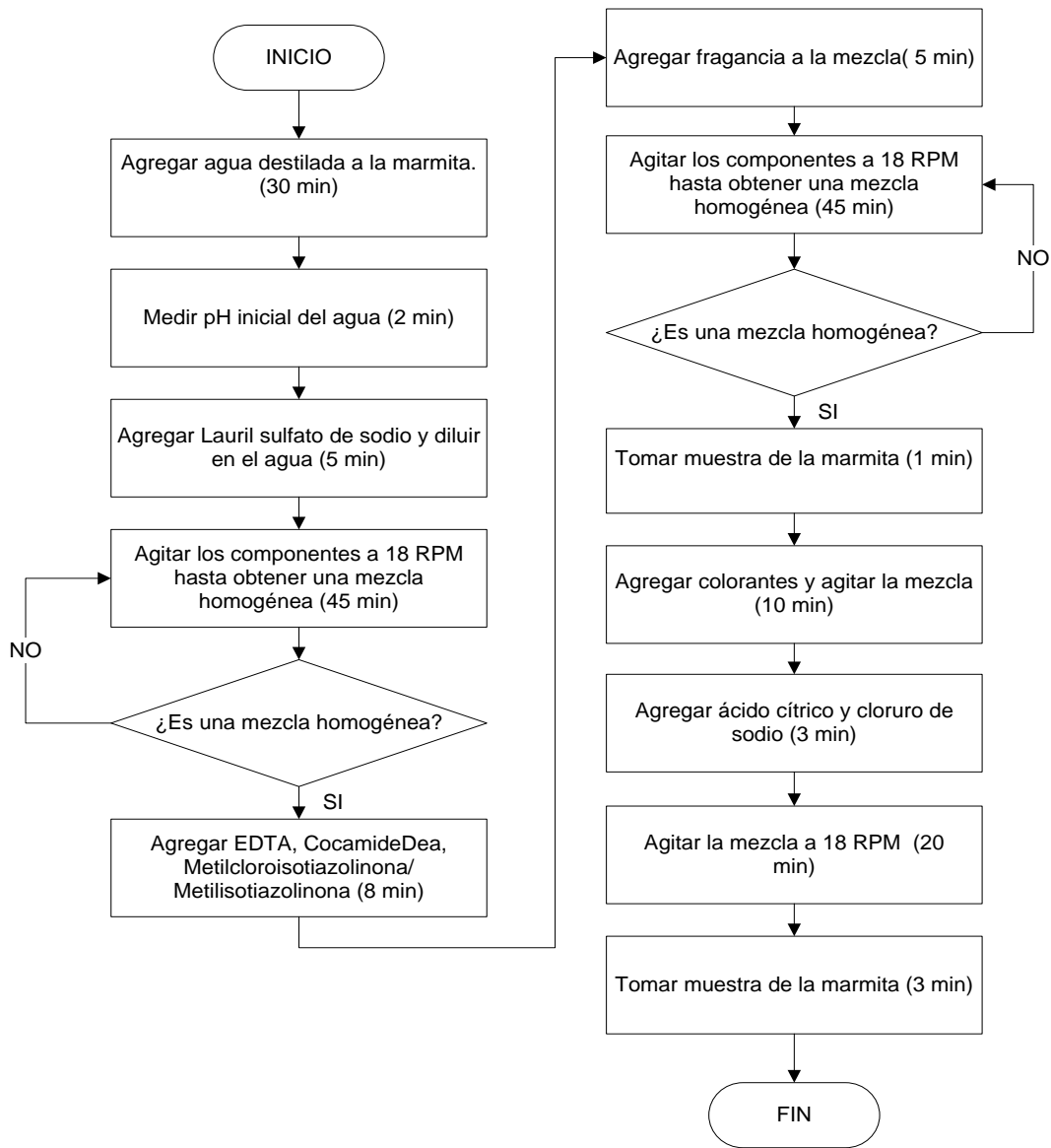


Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Proceso a nivel planta industrial actual

A continuación se muestra el proceso de fabricación a nivel planta industrial utilizado actualmente, este corresponde a los tiempos de preparación de shampoo dentro de la planta de producción.

Figura 18. **Elaboración de shampoo a nivel industrial actual**

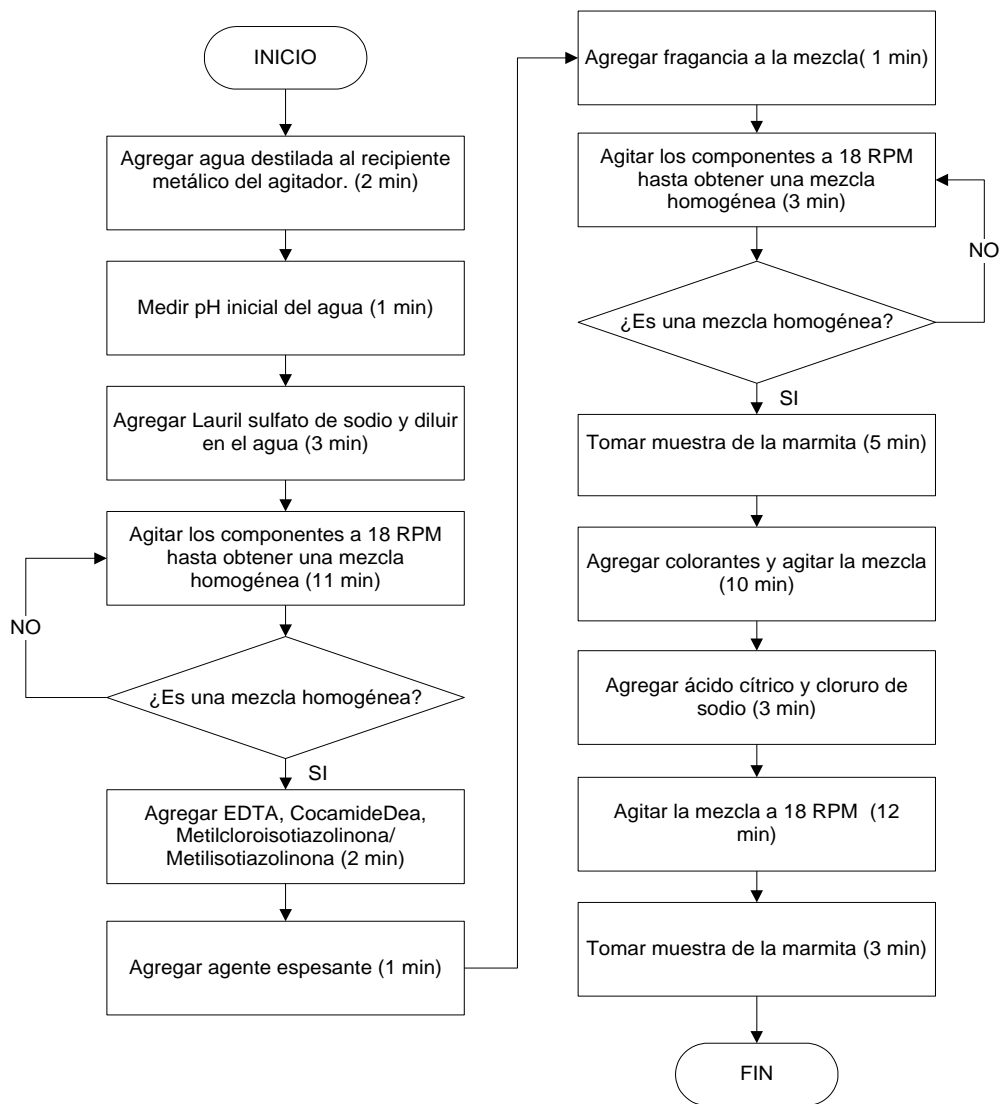


Fuente: elaboración propia.

3.6.4. Proceso a nivel planta piloto mejorado

A continuación se muestra el proceso de fabricación a nivel planta piloto mejorado, este corresponde a los tiempos de preparación de shampoo dentro de un laboratorio fisicoquímico.

Figura 19. **Elaboración de shampoo a nivel de planta piloto mejorada**

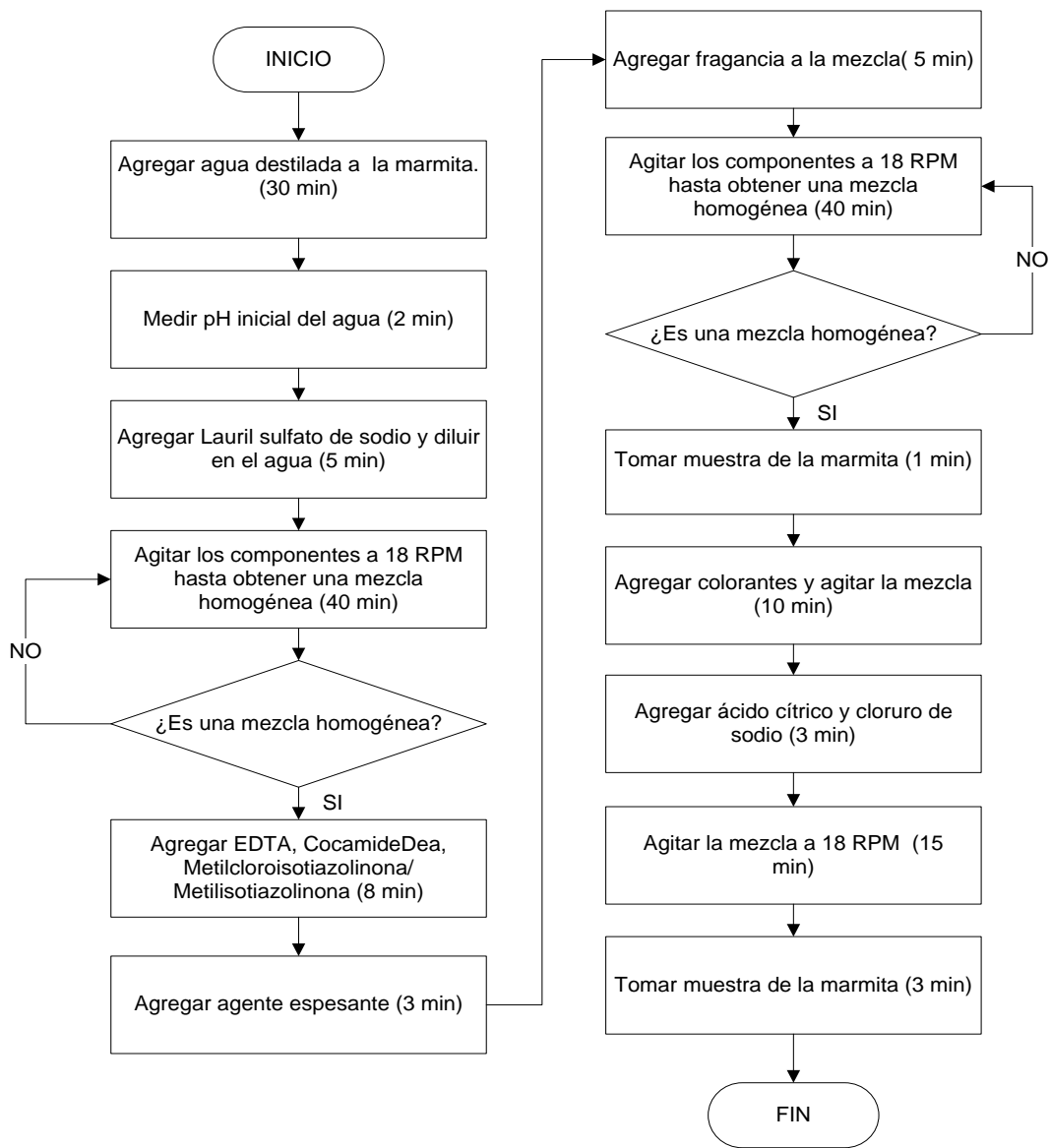


Fuente: elaboración propia.

3.6.5. Proceso a nivel industrial mejorado

A continuación se muestra el proceso de fabricación a nivel planta industrial, mejorado, este corresponde a los tiempos de preparación de shampoo dentro de la planta de producción.

Figura 20. **Elaboración de shampoo a nivel industrial mejorado**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación y procesamiento de la información

El ordenamiento de los datos recolectados mediante experimentación se realizará mediante un formato en que se incluyan las variables que se deseen registrar.

3.7.1. Datos constantes en formulación

Los datos constantes en formulación, corresponden a la cantidad porcentual de materias primas, que no son susceptibles de ajustes para cumplir con la funcionalidad del shampoo.

Tabla VI. Datos constantes en formulación

REACTIVO	CANTIDAD REQUERIDA (%)	CANTIDAD REQUERIDA (g)
AGUA DESTILADA	85,9947	859,75
LAURIL ETER SULFATO DE SODIO	9,0020	90,00
EDTA TETRASODICO	0,05001	0,50
COCAMIDE DEA (dietanolamida de ácido graso de coco)	2,5006	25,00
POLICUATERNIUM -7	0,2500	2,50
FRAGANCIA	0,5001	5,00
METILCLOROISOTIAZOLINONA/ METILISOTIASOLINONA	0,0700	0,70
COLORANTE 1	0,00048	0,00488
COLORANTE 2	0,00157	0,01572
ÁCIDO CÍTRICO	0,13002	1,30

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Pruebas condiciones actuales

Las pruebas bajo condiciones actuales, corresponden a los resultados de los parámetros de control durante la elaboración de shampoo para determinar la situación actual de la fórmula.

Tabla VII. **Recolección de datos condiciones actuales**

PORCENTAJE DE SAL AÑADIDO (%)	PORCENTAJE DE ÁCIDO CÍTRICO (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	VISCOSIDAD (cP)
1,50	0,06	25,4	6,3	-----
0,50	0,03	25,4	6,3	2050
0,30	0,03	25,2	6,29	3675
0,10	0,01	25,15	6,4	4000
0,05	-----	25,15	6,4	4325
0,05	-----	24,9	6,4	4650
0,05	-----	24,95	6,42	4850
0,05	0,005	24,9	6,3	5000

Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Pruebas con gomas naturales

Las pruebas con gomas naturales consisten en dos tipos de formulaciones, siendo la primera el uso de goma constante y electrolito variable; y la otra prueba el uso de electrolito constante y goma variable.

Tabla VIII. **Recolección de datos experimentales para análisis de gomas naturales para una cantidad constante de goma**

Nombre de la goma: _____				
Cantidad de goma utilizada en fórmula 1,00 %.			Presentación: _____	
PORCENTAJE DE SAL (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	GRAVEDAD ESPECÍFICA (g)	VISCOSIDAD (cP)
0,50	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,70	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,90	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
1,10	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
1,30	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃

Nomenclatura de tabla VIII: T_i= temperatura de shampoo (° C); pH_i= pH de la solución. ; ρ_i= Gravedad específica de la solución; μ_i=viscosidad del shampoo (cP).

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Recolección de datos experimentales para análisis de gomas naturales para una cantidad constante de electrolito**

NOMBRE DE LA GOMA: _____				
CANTIDAD DE ELECTROLITO UTILIZADO EN FÓRMULA 1,5 %. PRESENTACIÓN: _____				
PORCENTAJE DE GOMA (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	GRAVEDAD ESPECÍFICA (g)	VISCOSIDAD (cP)
0,20	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,40	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,60	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,80	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
1,00	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃

Nomenclatura de tabla IX: T_i= temperatura de shampoo (° C); pH_i= pH de la solución; ρ_i= Gravedad específica de la solución; μ_i=viscosidad del shampoo (cP).

Fuente: elaboración propia.

3.7.4. Pruebas con espesantes derivados de la celulosa

Las pruebas con carboximetil celulosa (CMC), consisten en dos tipos de formulaciones, siendo la primera el uso de CMC constante y electrolito variable; y la otra prueba el uso de electrolito constante y CMC variable.

Tabla X. **Recolección de datos experimentales para análisis de derivados de la celulosa constante**

Nombre de espesante: _____
Cantidad de CMC utilizada en fórmula 0,50 %. Presentación: _____

PORCENTAJE DE SAL (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	GRAVEDAD ESPECÍFICA (g)	VISCOSIDAD (cP)
0,30	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,60	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,90	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
1,20	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
1,50	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃

Nomenclatura de tabla X: T_i= temperatura de shampoo (° C); pH_i= pH de la solución; ρ_i= Gravedad específica de la solución; μ_i=viscosidad del shampoo (cP)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Recolección de datos experimentales para análisis de derivados de la celulosa variable**

NOMBRE DE ESPESANTE: _____				
CANTIDAD DE ELECTROLITO UTILIZADO EN FÓRMULA 0,50 %. PRESENTACIÓN: _____				
PORCENTAJE DE CMC (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	GRAVEDAD ESPECÍFICA (g)	VISCOSIDAD (cP)
0,10	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,20	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,30	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,40	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,50	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃

Nomenclatura de tabla XI: T_i= temperatura de shampoo (° C); pH_i= pH de la solución; ρ_i= Gravedad específica de la solución; μ_i=viscosidad del shampoo (cP)

Fuente: elaboración propia.

3.7.5. Pruebas con mezclas

Las pruebas con mezcla, Alkont El 3645 consisten en dos tipos de formulaciones, siendo la primera el uso de Alkont constante y electrolito variable; y la otra prueba el uso de electrolito constante y Alkont variable.

Tabla XII. **Recolección de datos experimentales para análisis de mezclas de surfactantes**

Nombre de espesante: _____				
Cantidad de goma utilizada en fórmula 1,00 %.Presentación: _____				
PORCENTAJE DE ALKONT EL3645 (%)	TEMPERATURA (° C)	Ph	GRAVEDAD ESPECÍFICA (g)	VISCOSIDAD (cP)
0,12	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,24	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,36	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,48	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃
0,60	T ₁	pH ₁	ρ ₁	μ ₁
	T ₂	pH ₂	ρ ₂	μ ₂
	T ₃	pH ₃	ρ ₃	μ ₃

Nomenclatura de tabla XII: T_i= temperatura de shampoo (° C); pH_i= pH de la solución; ρ_i= Gravedad específica de la solución; μ_i=viscosidad del shampoo (cP).

Fuente: elaboración propia.

3.7.6. Datos de parámetros operacionales

Los parámetros operacionales corresponden a las especificaciones de los equipos con las que se realiza el proceso, entre ellas las dimensiones listadas a continuación.

Tabla XIII. Parámetros experimentales de operación

Número de tanque: _____							
Capacidad del tanque _____ L.							
No. Tanque	DIÁMETRO DEL TANQUE (m)	DIÁMETRO DEL IMPULSOR (m)	ALTURA DEL TANQUE (m)	DISTANCIA PLANO DE ROTACIÓN DEL FONDO (m)	LARGO DE ASPA (m)	GROSOR DE ASPA (m)	ANCHO DE DEFLECTORES (m)
N_1	D_{t1}	D_{a1}	h_1	C_1	L_1	W_1	J_1
N_2	D_{t2}	D_{a2}	h_2	C_2	L_2	W_2	J_2

Nomenclatura de tabla XIII: N_i = Número de tanque; D_{t_i} = Diámetro del tanque (m); D_{a_i} = Diámetro del impulsor (m); h_i = Altura del tanque (m); C_i = Distancia del plano de Rotación del fondo (m); L_i = Largo de Aspa (m); W_i = Grosor de aspa (m); J_i = ancho de deflectores (m)

Fuente: elaboración propia.

3.7.7. Procesamiento de datos operacionales

El procesamiento de datos operacionales corresponde a los números adimensionales de proceso, para la comparación de la operación actual respecto a los resultados obtenidos al realizar las pruebas con la fórmula seleccionada.

Tabla XIV. **Procesamiento de datos de operación**

SUSTANCIA ESPESANTE	DENSIDAD (kg/m ³)	VISCOSIDAD (cP)	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	Número DE REYNOLDS (ad)	NÚMERO DE POTENCIA (ad)	POTENCIA (WATT)	VELOCIDAD DE DESCARGA (m ³ /s)	CARGA DE VELOCIDAD (m)	TIEMPO DE OPERACIÓN (MIN)
S ₁	ρ ₁	μ ₁	N ₁	N _{re1}	N _{P1}	P ₁	Q ₁	H ₁	t ₁
S ₂	ρ ₂	μ ₂	N ₂	N _{re2}	N _{P2}	P ₂	Q ₂	H ₂	t ₂
S ₂	ρ ₃	μ ₃	N ₃	N _{re3}	N _{P3}	P ₃	Q ₃	H ₃	t ₃

Nomenclatura de tabla XIV S_i= sustancia espesante (i=1 gomas naturales; i=2 derivados de celulosa; i=3 Alkont EL 3645); ρ_i= densidad (kg/m³); μ_i= viscosidad de shampoo (cP); N_i= Velocidad de rotación (RPM); N_{rei}= número de Reynolds (ad); N_{Pi}= Número de potencia (ad); P_i=Potencia (Watt); Q_i= Velocidad de descarga del impulsor (m³/s); H_i= Carga de velocidad. (m); t_i= Tiempo de operación para cada espesante (min).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Comparación de tiempos de operación promedio**

TIEMPO PROCESO ACTUAL (MIN)	TIEMPO DE PROCESO MEJORADO (MIN)	VARIACIÓN DE COMPARACIÓN DE TIEMPOS
t _A	t ₁	Δt ₁
	t ₂	Δt ₂
	t ₃	Δt ₃

Nomenclatura de tabla XV: t_A= Tiempo de operación actual (min); t_i= Tiempo de operación para cada espesante (min); Δt_i= Variación de Tiempo de operación para cada espesante (min)

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico corresponde al uso de análisis de varianza y a partir de este la comprobación mediante Tukey para definir la significancia entre un espesante y otro.

3.8.1. Análisis de la varianza (ANOVA)

Es una herramienta para el control de procesos y métodos analíticos. Es útil para la comparación de diversos métodos de análisis con diversas características, diversos analistas entre sí, o una serie de laboratorios que analizan una misma muestra con el mismo método. También se puede utilizar cuando se desea analizar una misma muestra expuesta a diferentes condiciones. “En todos estos ejemplos hay dos posibles fuentes de variación: una es el error aleatorio en la medida y la otra es lo que se denomina factor controlado (tipo de método, diferentes condiciones, analista o laboratorio)” .³

El análisis de varianza es reconocido por ser una metodología de análisis de datos que pretende medir el error experimental, medir el efecto de los tratamientos y probar una hipótesis.

A partir del análisis de varianza es importante resaltar conceptos de interés, los cuales se presentan a continuación:

- Experimento: aplicación de estímulos en áreas controladas con el propósito de observar su comportamiento. En este caso se analizará la reformulación en Shampoo y sus efectos en su viscosidad absoluta.

³EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)- Comparación de múltiples poblaciones.

RicardBoqué, Alicia Maroto. Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universitat Rovira i Virgili

- Factor controlado: cualquier variable independiente bajo estudio. En un mismo experimento se puede analizar más de un factor. En este caso el factor será la viscosidad del shampoo.
- Tratamiento: cualquier modalidad del factor en estudio. En este caso se puede determinar varios grupos de tratamientos, los cuales pueden estar ligados a las condiciones de almacenamiento y estabilidad del producto, tales como condiciones ambientales, refrigeración y uso de horno, todo esto para un solo tipo de presentación del shampoo. Por otro lado, también se encuentra la agrupación de tratamientos con base en las diferentes presentaciones con las que se comercializa el shampoo que son aguacate, manzana, herbal, manzanilla y sábila.
- Control o testigo: tratamiento que se usa como base de comparación. Puede ser un criterio como por ejemplo el más barato, el más usado o el más conocido. No todos los experimentos requieren testigo.
- Unidad experimental: objeto o área en donde el tratamiento ejerce efecto. En este caso la unidad experimental serán los niveles de venta del producto, ya que este se relaciona estrechamente con la frecuencia de uso del producto capilar.
- Variable de respuesta: es cualquier dato o resultado de medición que permita cuantificar el efecto de un tratamiento. Por ejemplo la durabilidad en semanas del shampoo.
- Error experimental: variaciones en los datos por causas desconocidas o que están fuera del control del investigador. Este no puede ser eliminado, solamente minimizado, mediante aleatorización y el uso de repeticiones.

3.8.1.1. Diseño de bloques al azar

Las unidades experimentales se agrupan en unidades mayores llamadas bloques. Un tratamiento aparece una vez en el bloque, y cada bloque es una repetición. Los bloques se orientan en forma perpendicular a un gradiente, que es la fuente de variación, que puede ser creciente o decreciente pero constante. Entre sus ventajas se encuentra su fácil adaptación a condiciones reales, sin embargo también presenta la desventaja de que es más complicado que otros diseños como lo es el diseño al completo azar y para garantizar la homogeneidad de los bloques no debe haber demasiados tratamientos. Se recomienda como máximo es 16 tratamientos, los cuales deben ser balanceados, de modo que si se pierde algún dato este debe ser estimado.

El análisis se realizará tomando en cuenta que es el caso de un sorteo entre del bloque, de la forma siguiente:

Tabla XVI. Diseño de bloques al azar

Bloques Tratamientos	Bloques					Promedio
	PRESENTACIÓN 1	PRESENTACIÓN 2	PRESENTACIÓN 3	PRESENTACIÓN 4	PRESENTACIÓN 5	
1	Y1,1	Y1,2	Y1,3	Y1,2	Y1,3	Y1.prom
2	Y2,1	Y2,2	Y2,3	Y2,2	Y2,3	Y2.prom
3	Y3,1	Y3,2	Y3,3	Y3,2	Y3,3	Y3.prom
4	Y4,1	Y4,2	Y4,3	Y4,2	Y4,3	Y4.prom
Promedio	Y1prom	Y2prom	Y3prom	Y2prom	Y3prom	yij

Fuente: elaboración propia.

- $i = 1, 2, \dots, a$
- $y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

- $j = 1, 2, \dots, b$

Para fines prácticos se utiliza la siguiente nomenclatura:

- $Y_{i,j}$ = total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento
- y = promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento
- $Y_{a,b}$ = datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento
- y_{ij} = observación
- μ = media general
- τ_i = efecto del tratamiento iésimo
- β_j = efecto del bloque jésimo
- ϵ_{ij} = error aleatorio
- $t \rightarrow$ Tratamientos
- $r \rightarrow$ Bloques (repeticiones)

Para el análisis de varianza se utiliza un algoritmo definido que se describe paso a paso a continuación:

Factor de corrección

- $FC = \frac{y_{..}^2}{rt}$ [Ecuación 5, Ref. 7]

Suma de cuadrados

- Bloques: $\left(\sum_{j=1}^r \frac{y_j^2}{t} \right) - FC$ (SSB) [Ecuación 6, Ref. 7]
- Tratamientos: $\left(\sum_{j=1}^t \frac{y_{.j}^2}{r} \right) - FC$ (SSA) [Ecuación 7, Ref. 7]
- Total: $\left(\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 \right) - FC$ (SST) [Ecuación 8, Ref. 7]
- Error: $Sc_{total} - Sc_{bloques} - Sc_{tratamientos}$ [Ecuación 9, Ref. 7]

Grados de libertad

- Bloques: $r - 1$ [Ecuación 10, Ref. 7]
- Tratamientos: $t - 1$ [Ecuación 11, Ref. 7]
- Error: $(r - 1)(t - 1)$ [Ecuación 12, Ref. 7]
- Total: $(r * t) - 1$ [Ecuación 13, Ref. 7]

Cuadrados medios

- Tratamientos: $CM \text{ tratamientos} = \frac{Sc \text{ tratamientos}}{GL \text{ tratamientos}}$ [Ecuación 14, Ref. 7]
- Error: $CM \text{ error} = \frac{Sc \text{ error}}{GL \text{ error}}$ [Ecuación 15, Ref. 7]

Razón de Fisher

- $F_{calculada} = \frac{CM \text{ tratamientos}}{CM \text{ error}}$ [Ecuación 16, Ref. 7]

Se debe hallar también como parámetro de comparación la razón de Fisher según tablas de F de Fisher.

Regla de decisión

- $F_{calculada} > F_{tabulada} \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula.
- $F_{calculada} \leq F_{tabulada} \rightarrow$ Se acepta la hipótesis nula

Tabla de ANOVA

Tabla XVII. **Tabla de ANOVA**

Factor de Varianza	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Bloque					
Tratamientos					
Error					
Total					

Fuente: elaboración propia.

Coeficiente de variación

- $\bar{y} = \frac{y_{..}}{rt}$ [Ecuación 17, Ref. 7]
- $CV = \frac{\sqrt{CM\ error}}{\bar{y}} * 100$ [Ecuación 18, Ref. 7]

3.8.2. Prueba de Tukey

Fue desarrollada en 1946 por W. Tukey. Se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones o se desea usar una prueba más rigurosa que la de Duncan. Es de fácil cálculo puesto que se define un solo comparador, resultante del producto del error estándar de la media por el valor tabular en la tabla de Tukey usando como numerador el número de tratamientos y como denominador los grados de libertad del error.

Tiene como fin principal determinar un comparador mediante la relación $w = q * S_{\bar{x}}$, en donde $S_{\bar{x}}$ es el error estándar de la media y se calculará mediante la relación $S_{\bar{x}} = \frac{\sqrt{CM\ error}}{r}$, y q es un valor proporcionado por las tablas de Tukey. Luego se procede a calcular la matriz de diferencias en donde la primera columna ordena cada error de las medias para cada tratamiento en forma decreciente y la primera fila ordena los mismos en forma creciente de izquierda a derecha.

La regla de decisión en la prueba de Tukey consiste en si la diferencia de la matriz es mayor o menor igual que el comparador de la siguiente manera: $|dif| > w$ entonces se rechaza la hipótesis nula y si $|dif| \leq w$ entonces se acepta la hipótesis nula.

4. RESULTADOS

4.1. Tendencias de viscosidad

Las tendencias de viscosidad representan el comportamiento de la viscosidad como variable respuesta, en relación a la adición de los diferentes solutos utilizados.

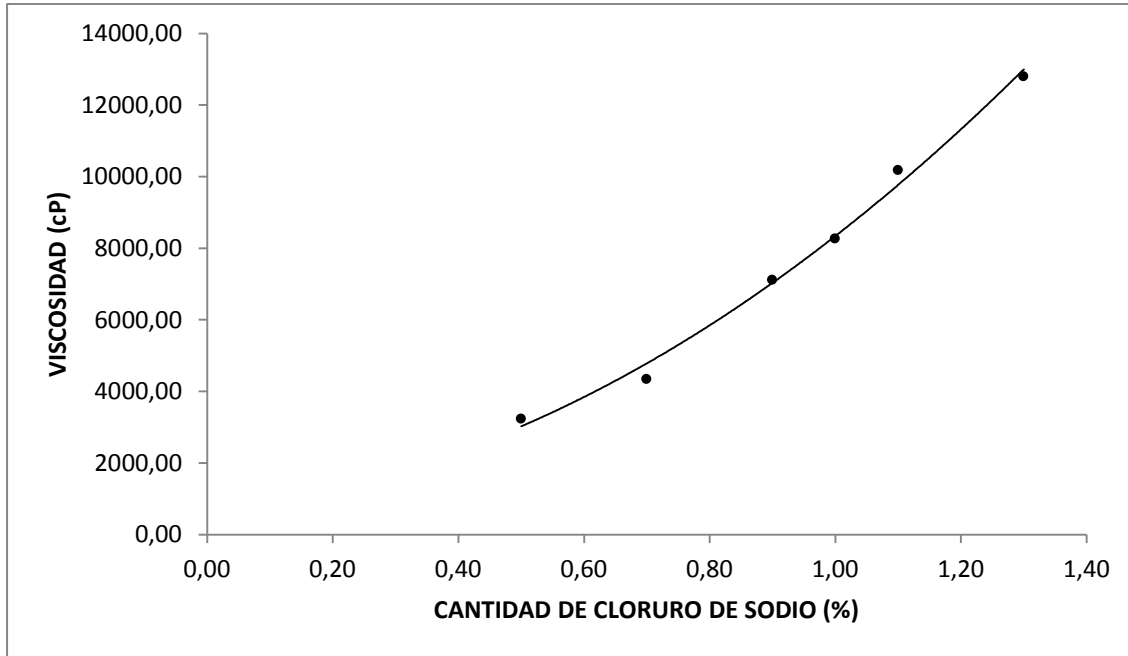
4.1.1. Viscosidad goma Xantan

A continuación se presenta los gráficos de tendencia de ambos casos de experimentación con goma Xantan como espesante junto con el electrolito cloruro de sodio.

4.1.1.1. Electrolito variable

Para la evaluación del comportamiento de la viscosidad de Shampoo respecto a la cantidad de electrolito variable, se utilizó una cantidad de goma Xantan constante de 1,00 %.

Figura 21. **Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de electrolito (goma constante)**



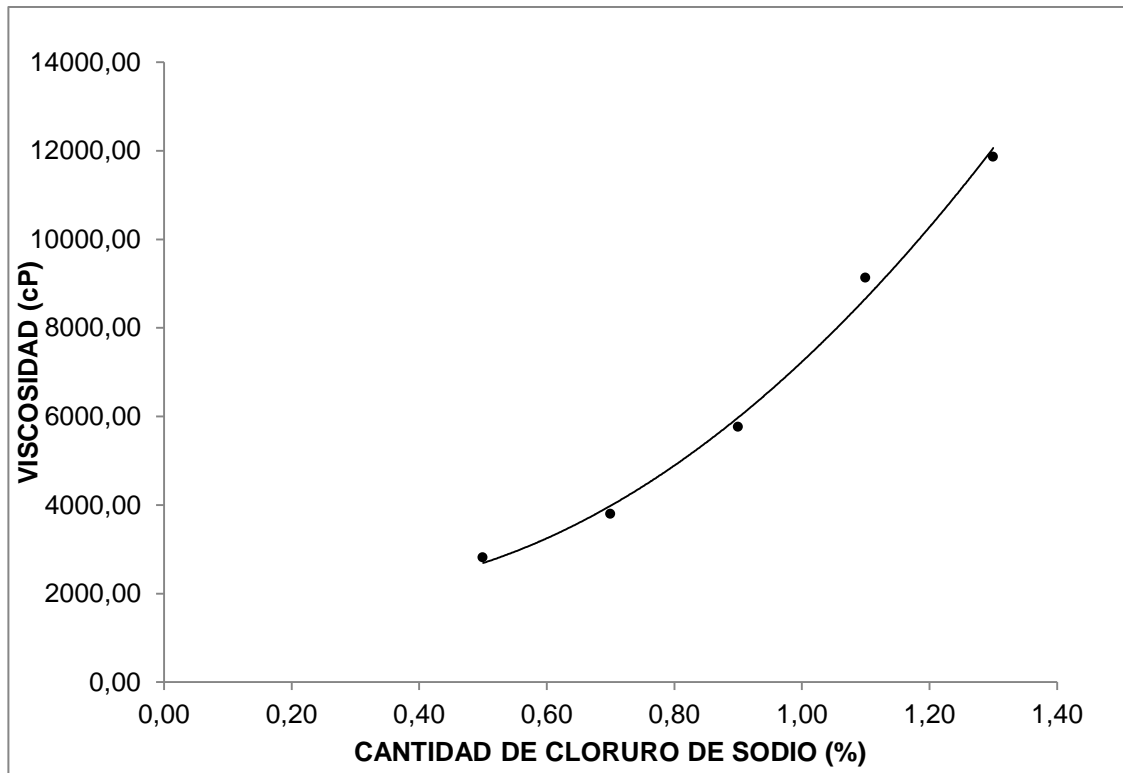
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Definición de variables figura 21**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo aguacate	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 6121,9x^2 + 1445,5x + 772,51$	$R^2 = 0,9929$

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de electrolito (goma constante)**



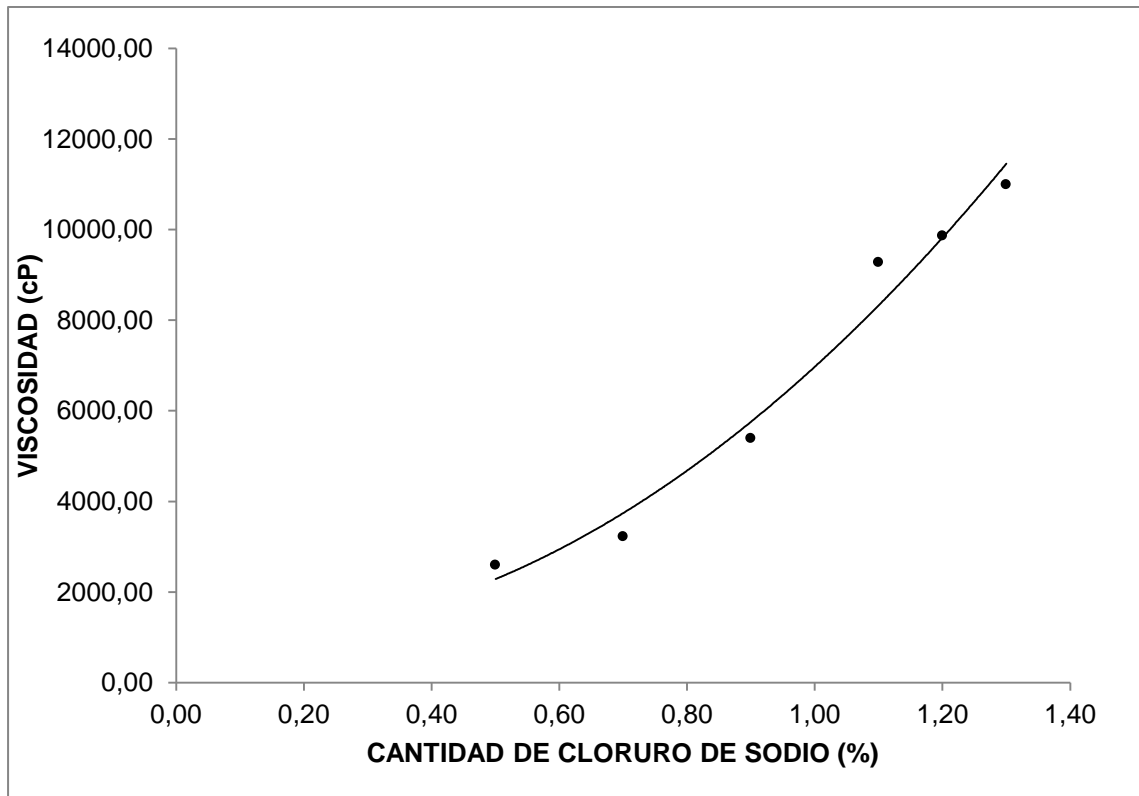
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Definición de variables figura 22**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo sábila	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 8750x^2 - 4033,3x + 2519,2$	$R^2 = 0,9939$

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de electrolito (goma constante)**



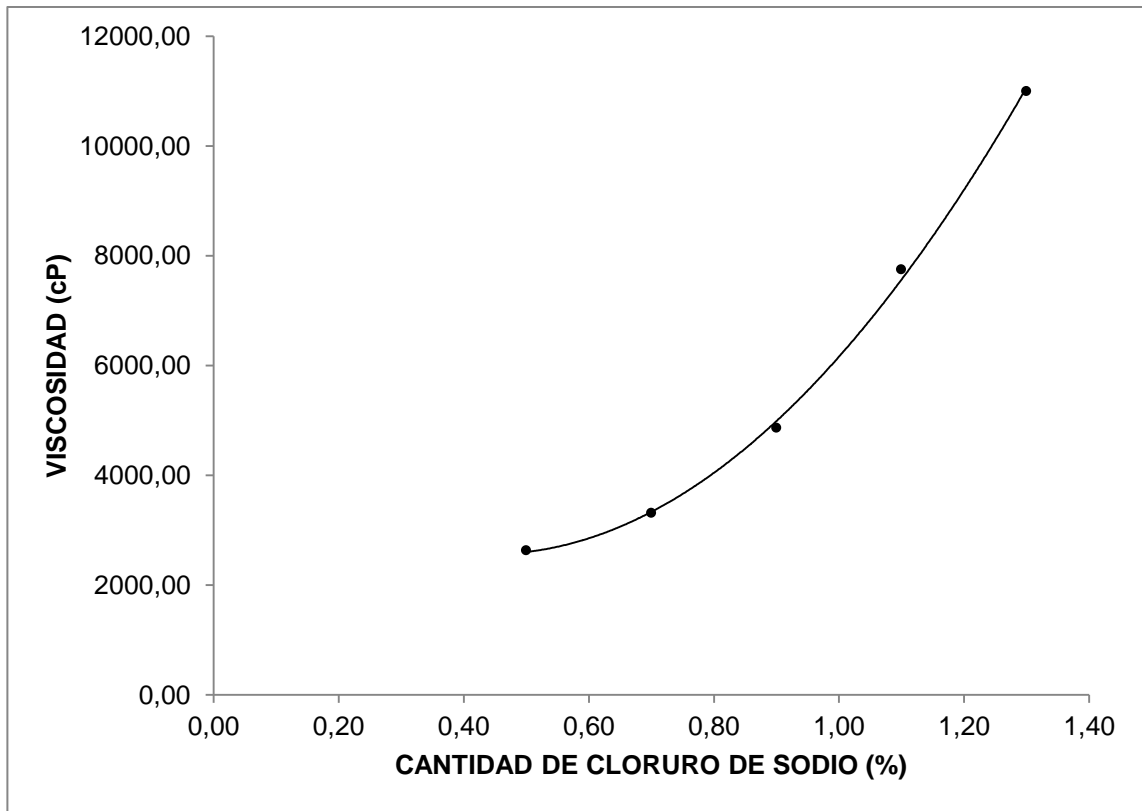
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Definición de variables figura 23**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo herbal	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 6955,3x^2 - 1059,6x + 1076,1$	$R^2 = 0,9754$

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de electrolito (goma constante)**



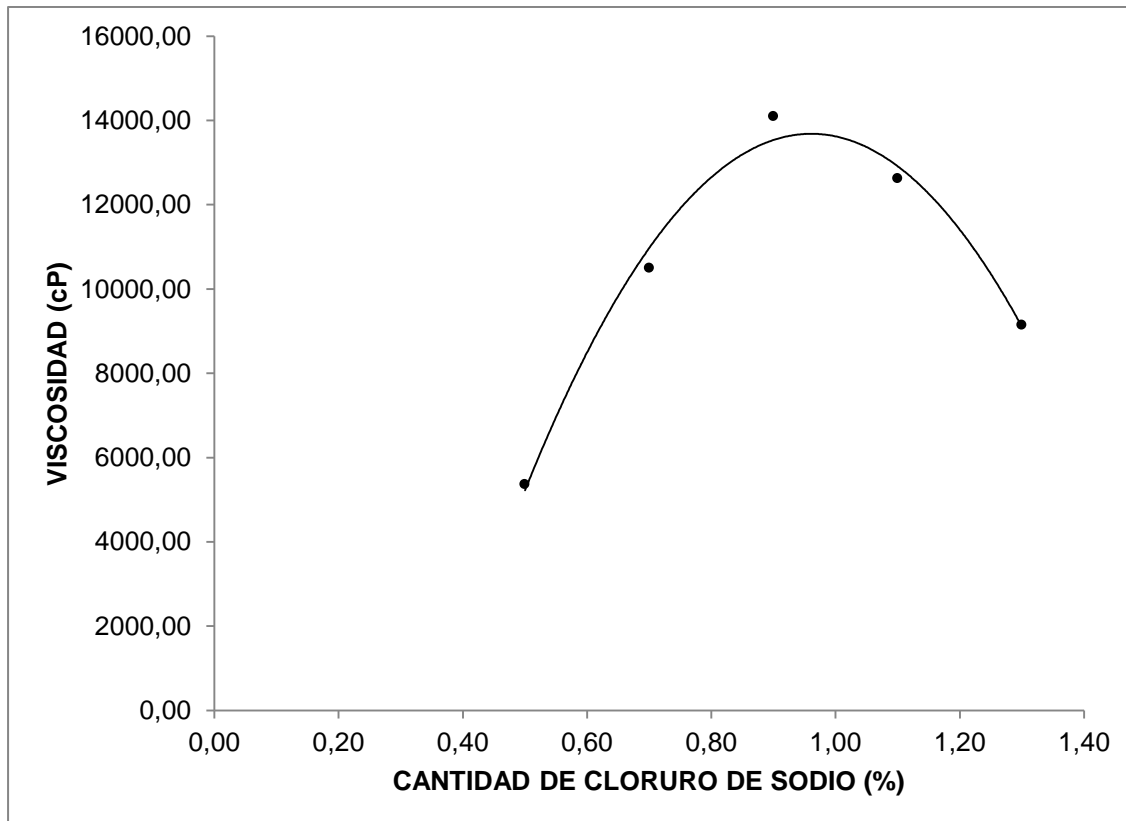
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Definición de variables figura 24**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzana	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 11548x^2 - 10202x + 4818,1$	$R^2 = 0,9989$

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de electrolito (goma constante)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Definición de variables figura 25**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzanilla	Cantidad de cloruro de sodio	$y = -39821x^2 + 76529x - 23085$	$R^2 = 0,9859$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Cantidad de electrolito para obtener viscosidad objetivo con goma Xantan (8000 cP)**

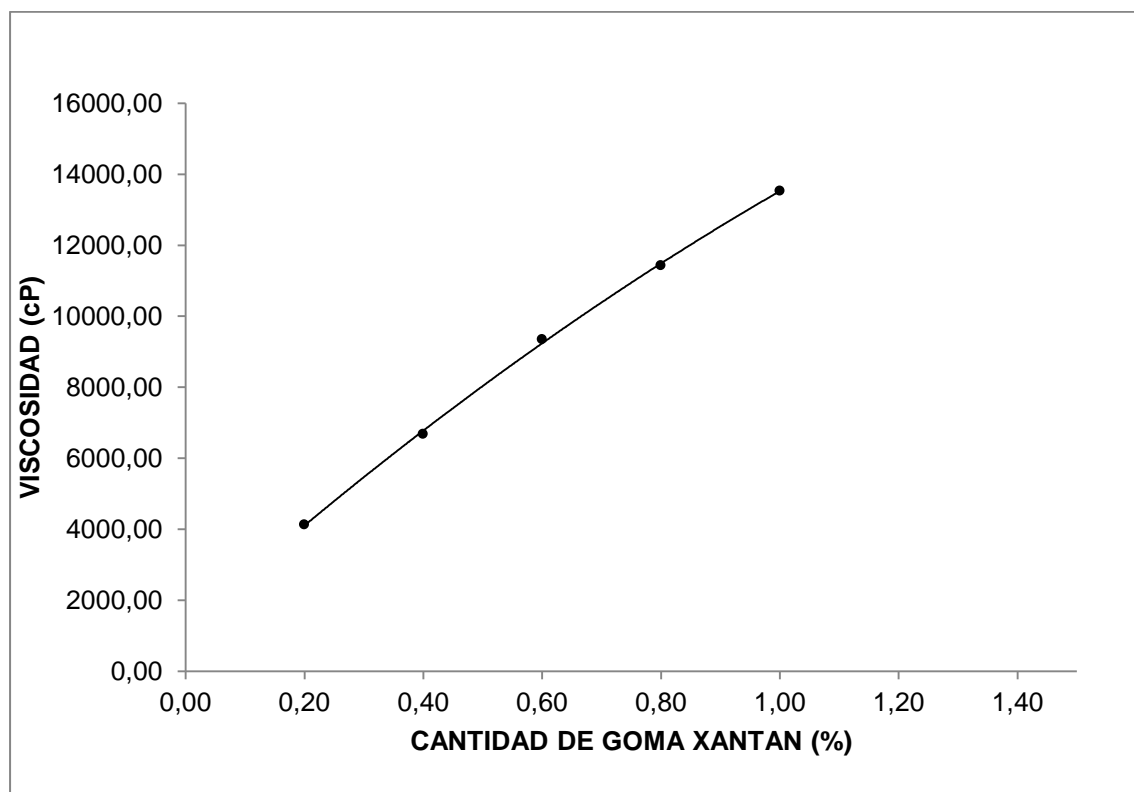
Presentación	Ecuación de tendencia (Viscosidad: $y=8000$ cP)	Cantidad óptima de electrolito cloruro de sodio (%)
Aguacate	$y = 6121,9x^2 + 1445,5x + 772,51$	0,9748
Sábila	$y = 8750x^2 - 4033,3x + 2519,2$	1,0547
Herbal	$y = 6955,3x^2 - 1059,6x + 1076,1$	1,0768
Manzana	$y = 11548x^2 - 10202x + 4818,1$	1,1278
Manzanilla	$y = -39821x^2 + 76529x - 23085$	0,5831
PROMEDIO		0,9634

Fuente: elaboración propia, con información de tablas XVIII-XXII.

4.1.1.2. Electrolito constante

Para la evaluación del comportamiento de la viscosidad de shampoo respecto a la cantidad de electrolito constante, se utilizó una cantidad de 1,50 %.

Figura 26. **Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de goma Xantan**



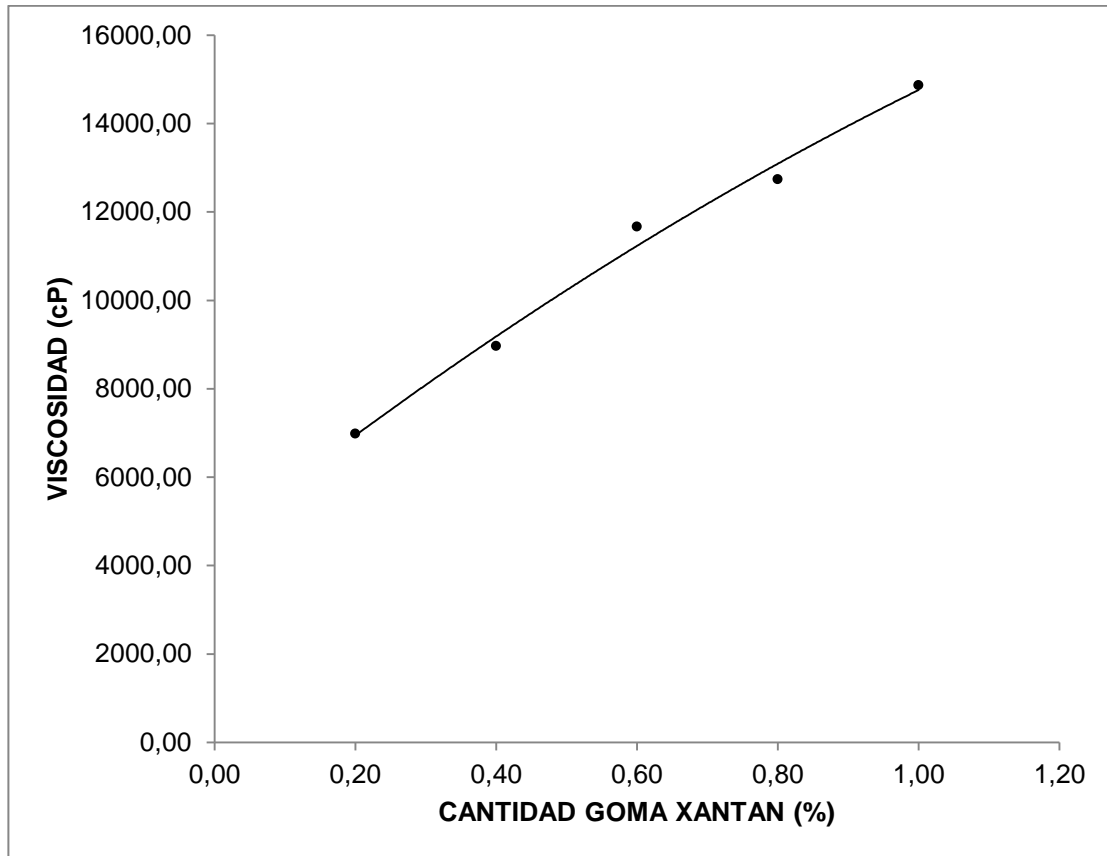
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Definición de variables figura 26**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo aguacate	Cantidad de goma Xantan	$y = -2648,8x^2 + 14954x + 1220$	$R^2 = 0,9995$

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de goma Xantan**



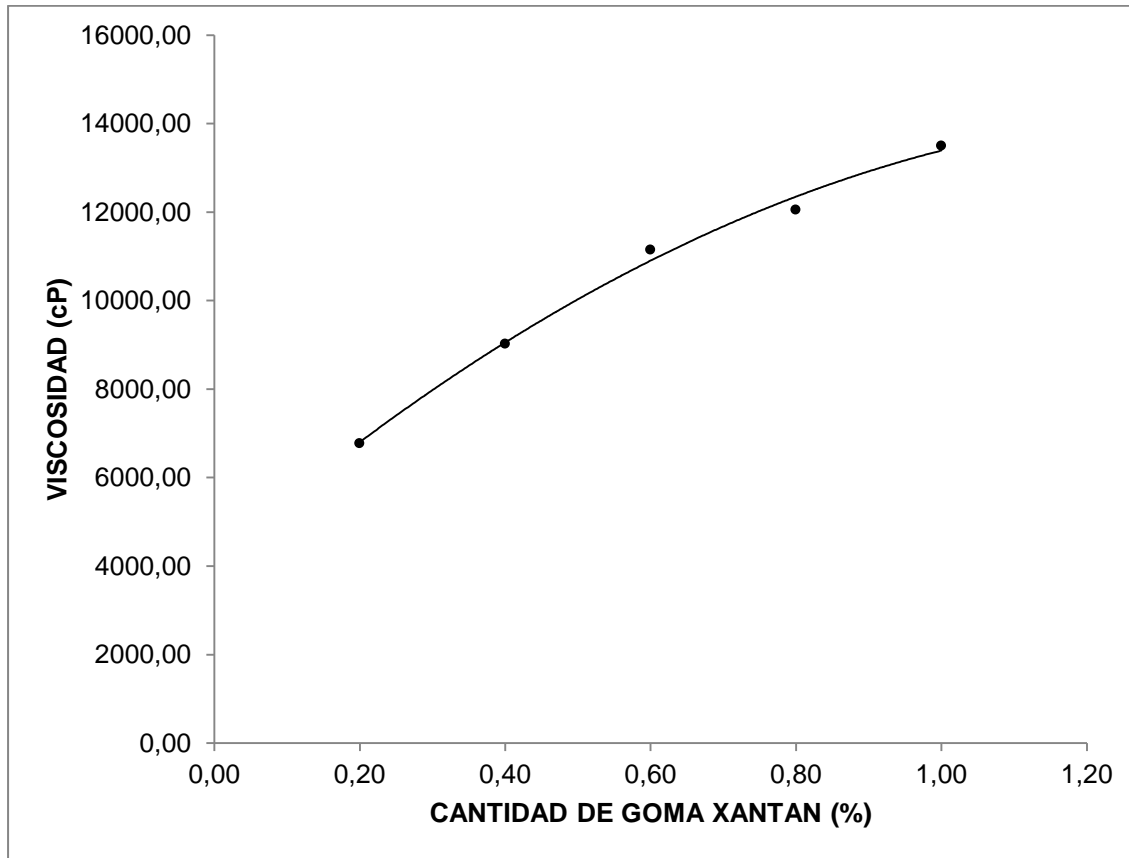
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Definición de variables figura 27**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo sábila	Cantidad de goma Xantan	$y = -2381x^2 + 12624x + 4516,7$	$R^2 = 0,9903$

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de goma Xantan**



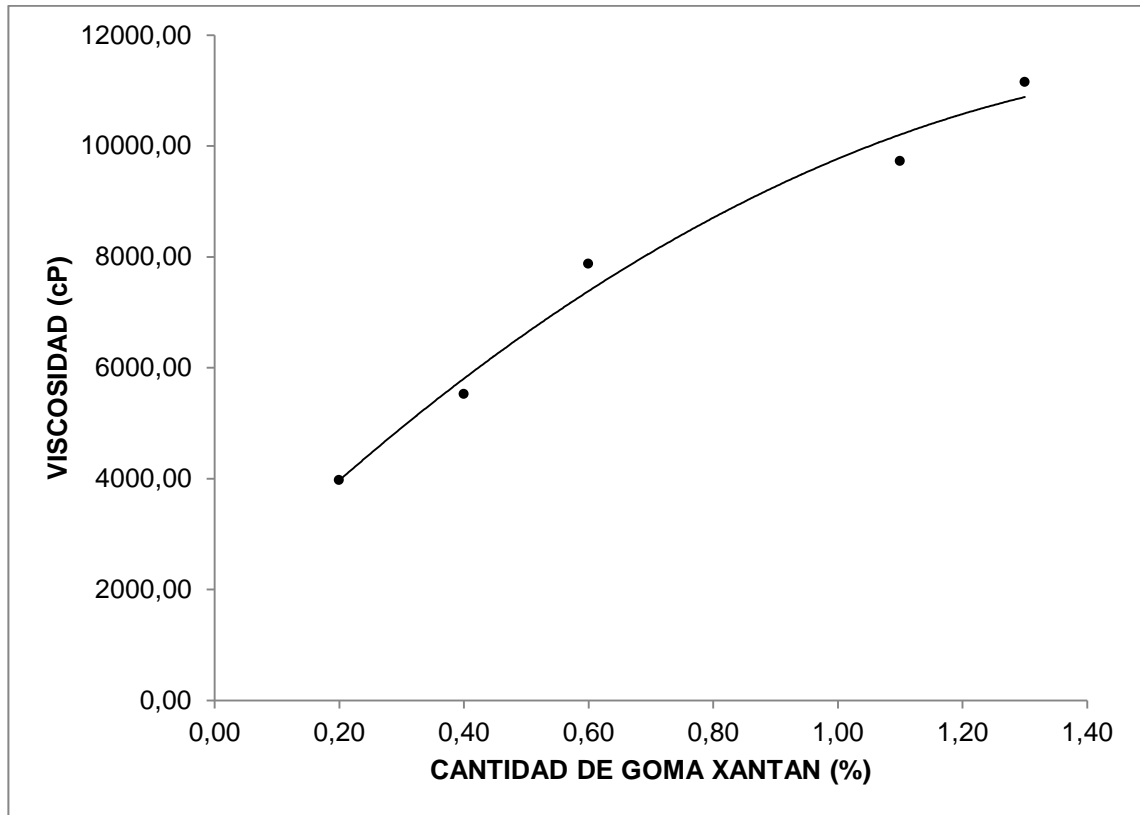
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Definición de variables figura 28**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo herbal	Cantidad de goma Xantan	$y = -5044,6x^2 + 14291x + 4145$	$R^2 = 0,9941$

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de goma Xantan**



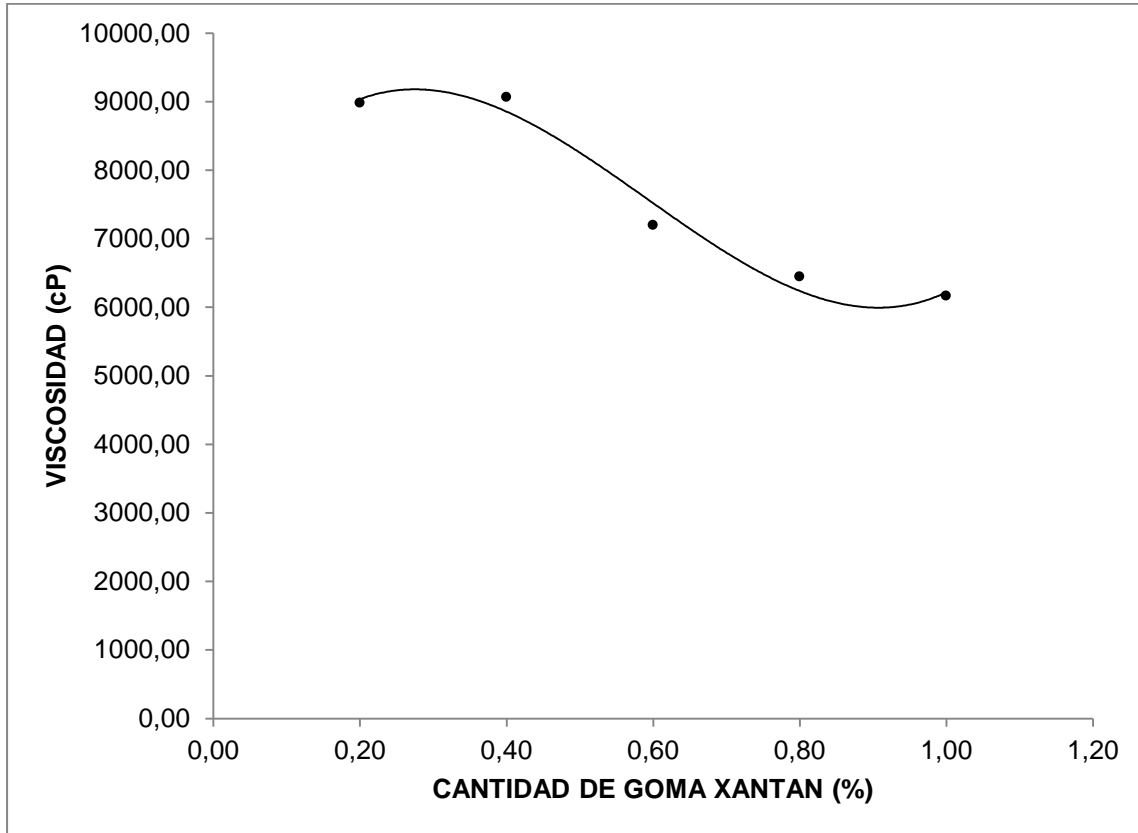
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Definición de variables figura 29**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzana	Cantidad de goma Xantan	$y = -3219,8x^2 + 11115x + 1875,1$	$R^2 = 0,9821$

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de goma Xantan**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Definición de variables figura 30**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzanilla	Cantidad de goma Xantan	$y = 25174x^3 - 44628x^2 + 18817x + 6856,7$	$R^2 = 0,974$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Cantidad de goma Xantan para obtener viscosidad objetivo (8000 cP)**

Presentación	Ecuación de tendencia (Viscosidad: y=8000 cP)	Cantidad óptima de goma Xantan (%)
Aguacate	$y = -2648,8x^2 + 14954x + 1220$	0,4971
Sábila	$y = -2381x^2 + 12624x + 4516,7$	0,2920
Herbal	$y = 6955,3x^2 - 1059,6x + 1076,1$	1,0768
Manzana	$y = -3219,8x^2 + 11115x + 1875,1$	0,6882
Manzanilla	$y = 25174x^3 - 44628x^2 + 18817x + 6856,7$	0,5356
PROMEDIO		0,6179

Fuente: elaboración propia, con información de tablas XXIV-XXVIII.

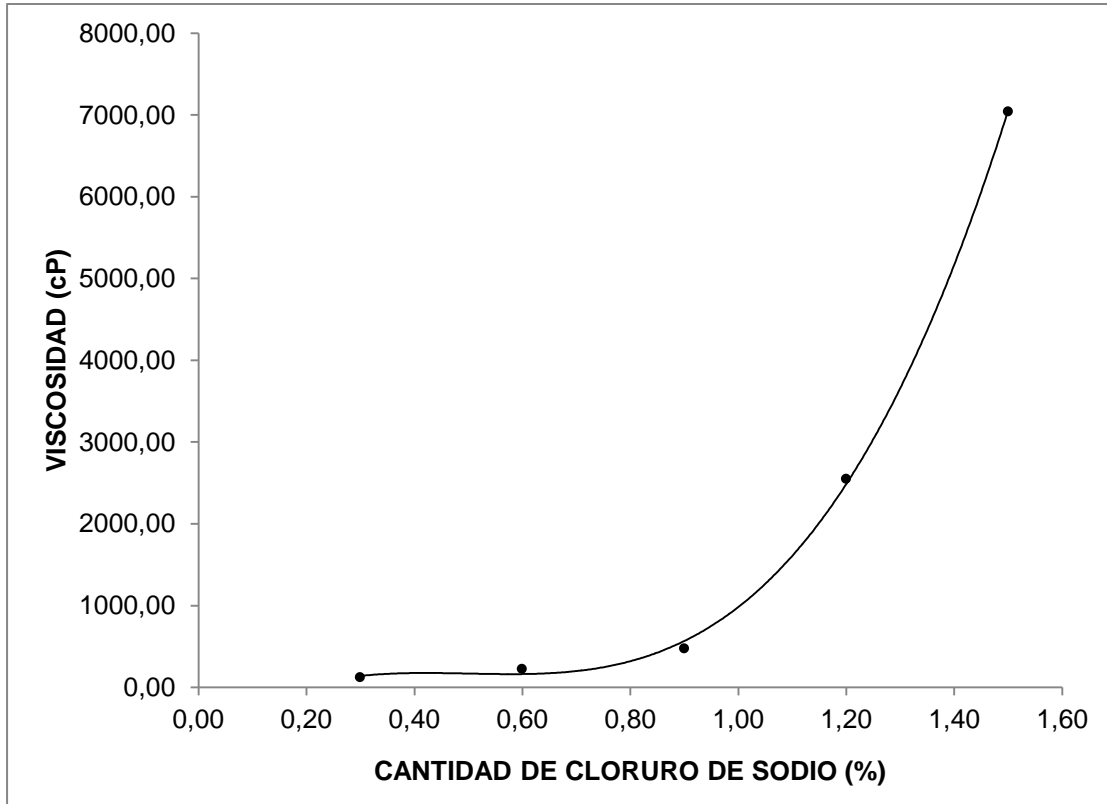
4.1.2. Viscosidad CMC

A continuación se presenta los gráficos de tendencia de ambos casos de experimentación con carboximetil celulosa como espesante junto con el electrolito cloruro de sodio.

4.1.2.1. Electrolito variable

Para la evaluación del comportamiento de la viscosidad de shampoo respecto a la cantidad de electrolito variable, se utilizó una cantidad carboximetil celulosa (CMC) constante de 0,5 %.

Figura 31. **Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de electrolito (CMC)**



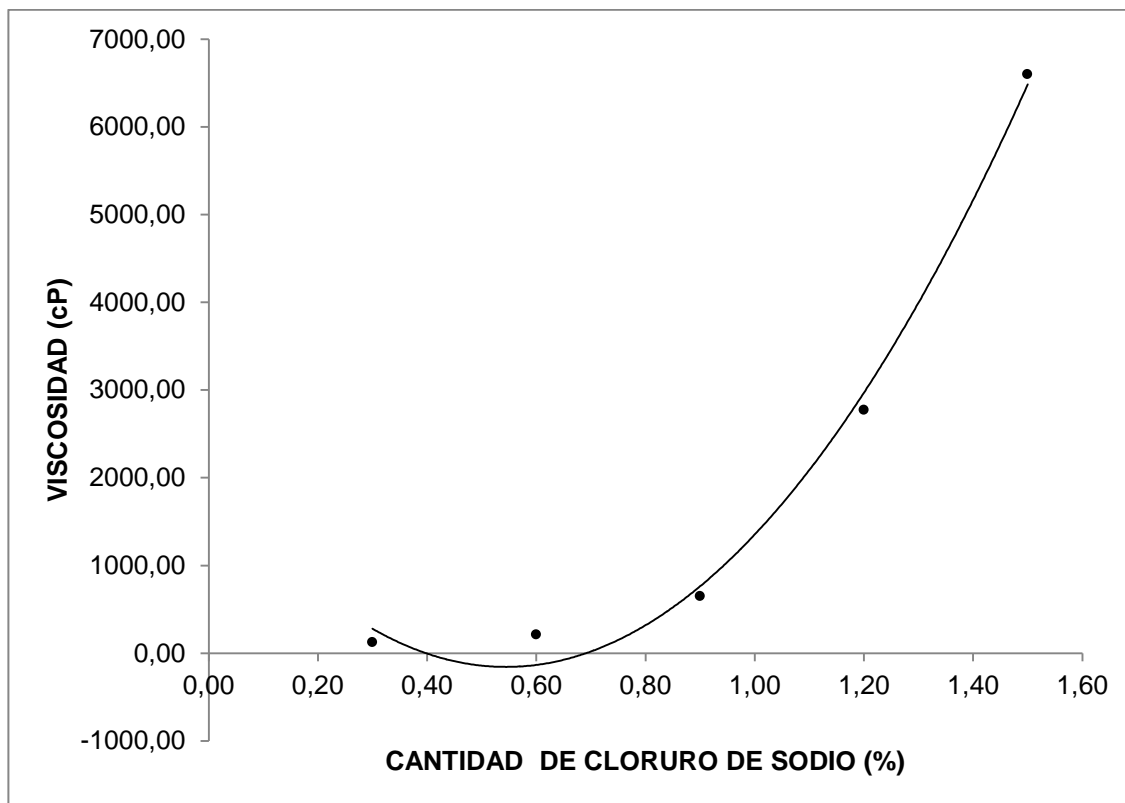
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Definición de variables figura 31**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo aguacate	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 6998,5x^3 - 10475x^2 + 5094,2x - 634$	$R^2 = 0,9995$

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de electrolito (CMC)**



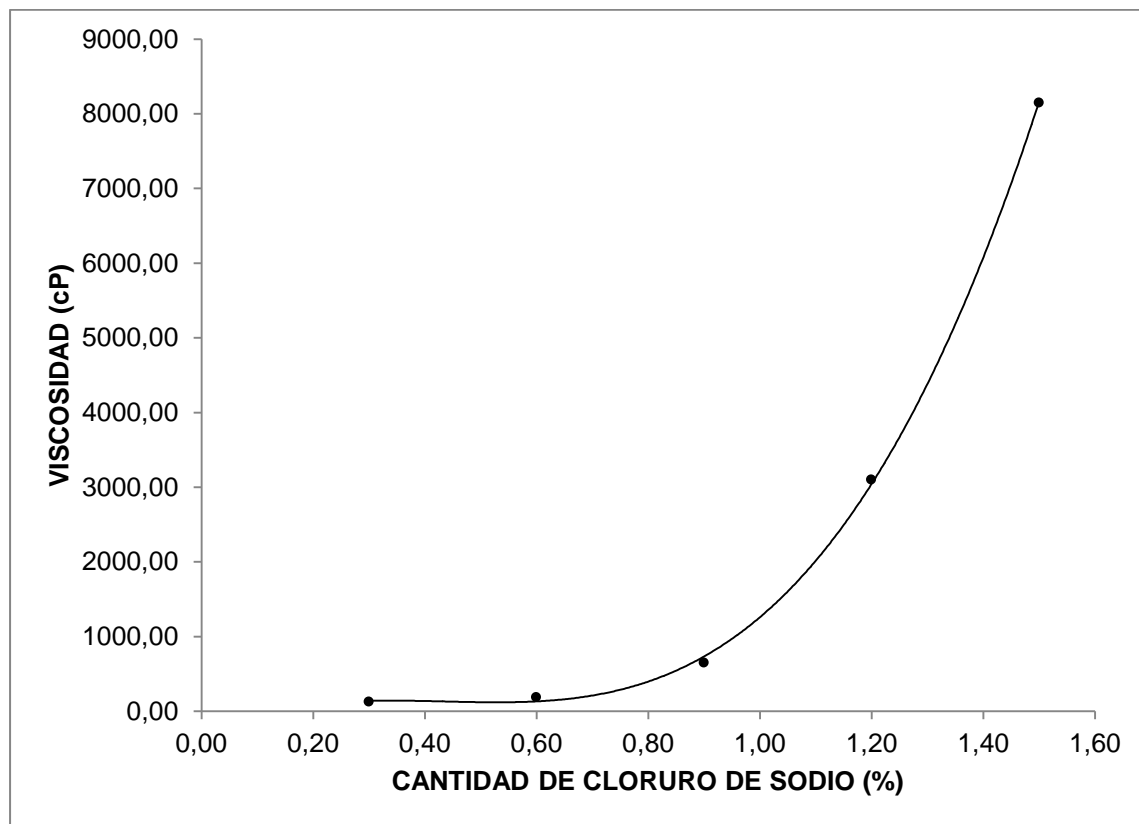
Fuente: elaboración propia

Tabla XXXI. **Definición de variables figura 32**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo sábila	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 7271,8x^2 - 7918,5x + 2000$	$R^2 = 0,9932$

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de electrolito (CMC)**



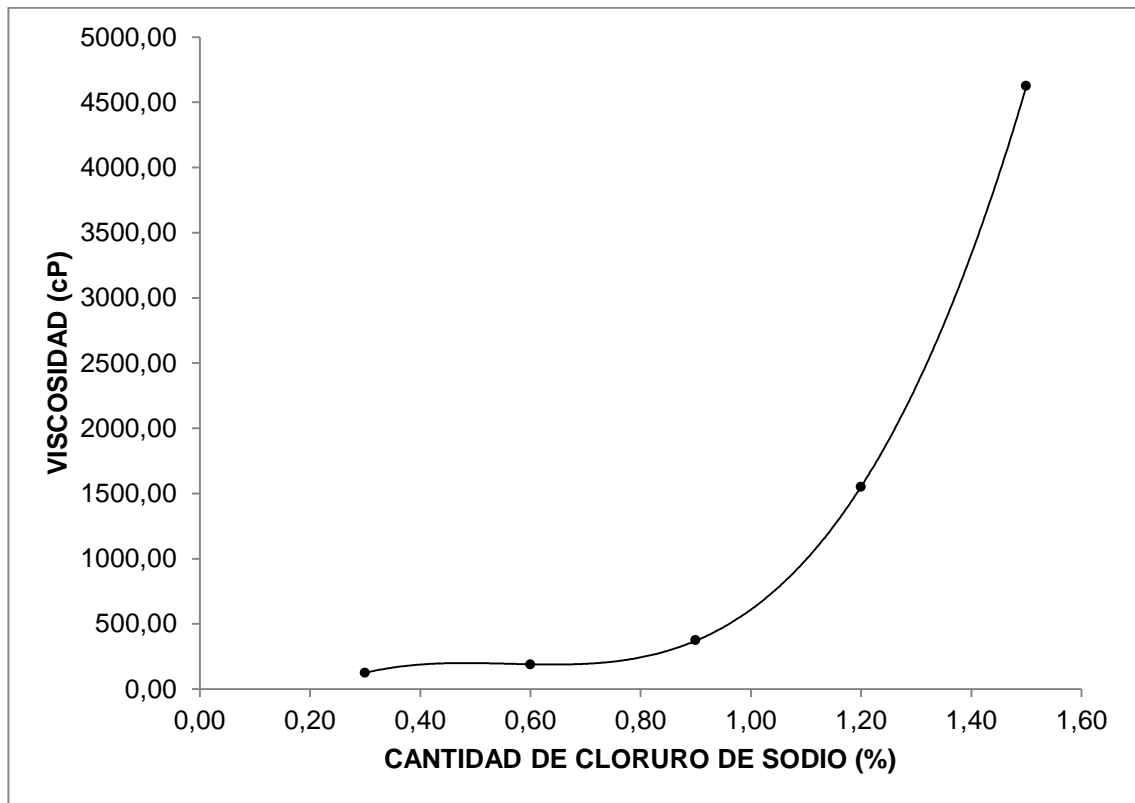
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Definición de variables figura 33**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo herbal	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 6790,1x^3 - 8839,3x^2 + 3653,8x - 345$	$R^2 = 0,9997$

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de electrolito (CMC)**



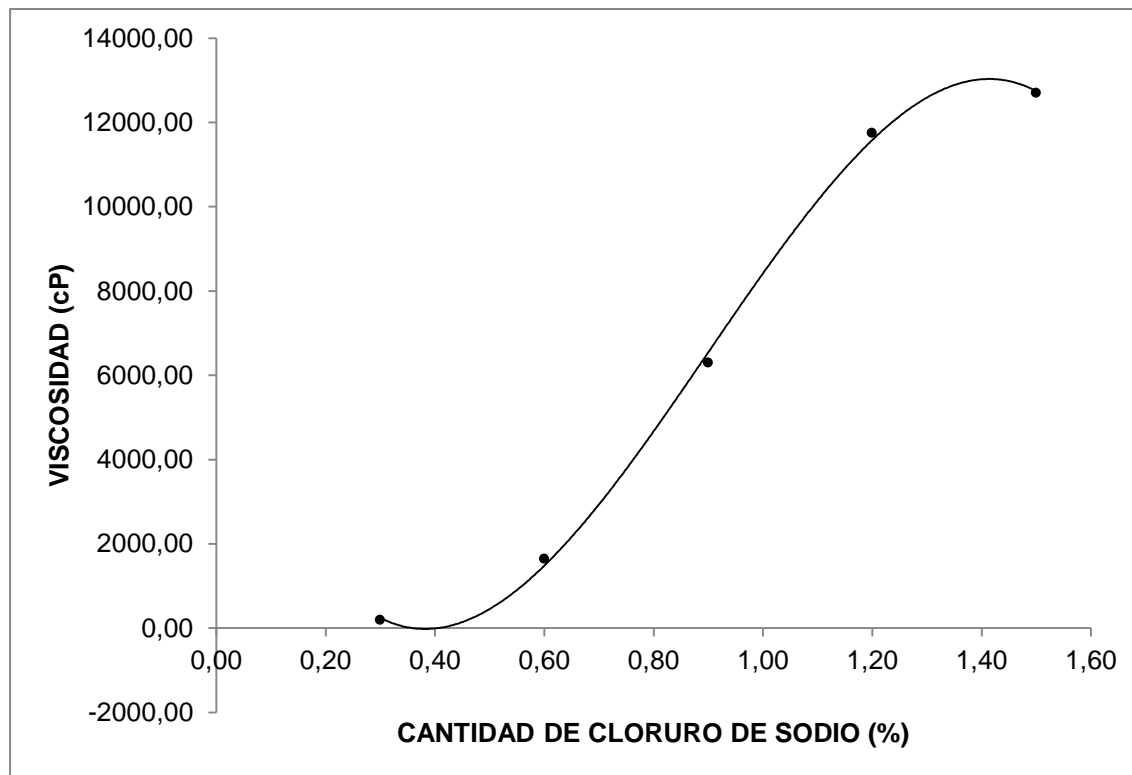
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Definición de variables figura 34**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzana	Cantidad de cloruro de sodio	$y = 5478,4x^3 - 9226,2x^2 + 5072,4x - 715$	$R^2 = 1,000$

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de electrolito (CMC)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Definición de variables figura 35**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzanilla	Cantidad de cloruro de sodio	$y = -23765x^3 + 64008x^2 - 38492x + 6670$	$R^2 = 0,9991$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Cantidad de electrolito para obtener viscosidad objetivo con CMC (8000 cP)**

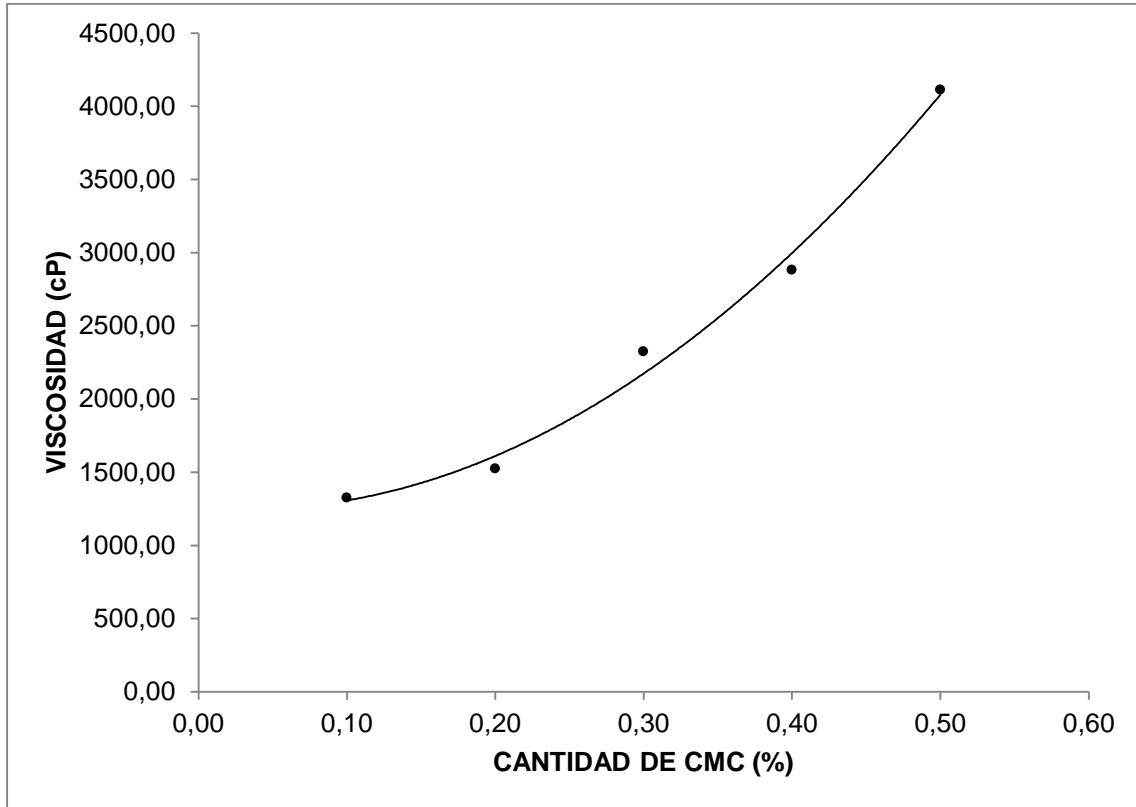
Presentación	Ecuación de tendencia (Viscosidad: y=8000 cP)	Cantidad óptima de electrolito (%)
Aguacate	$y = 6998,5x^3 - 10475x^2 + 5094,2x - 634$	1,5431
Sábila	$y = 7271,8x^2 - 7918,5x + 2000$	1,6035
Herbal	$y = 6790,1x^3 - 8839,3x^2 + 3653,8x - 345$	1,4928
Manzana	$y = 5478,4x^3 - 9226,2x^2 + 5072,4x - 715$	1,6924
Manzanilla	$y = -23765x^3 + 64008x^2 - 38492x + 6670$	1,7490
PROMEDIO		1,61616

Fuente: elaboración propia, con información de tablas XXX-XXXIV.

4.1.2.2. Electrolito constante

Para la evaluación del comportamiento de la viscosidad de shampoo respecto a la cantidad de electrolito constante, se utilizó una cantidad de 0,5 %.

Figura 36. **Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de CMC**



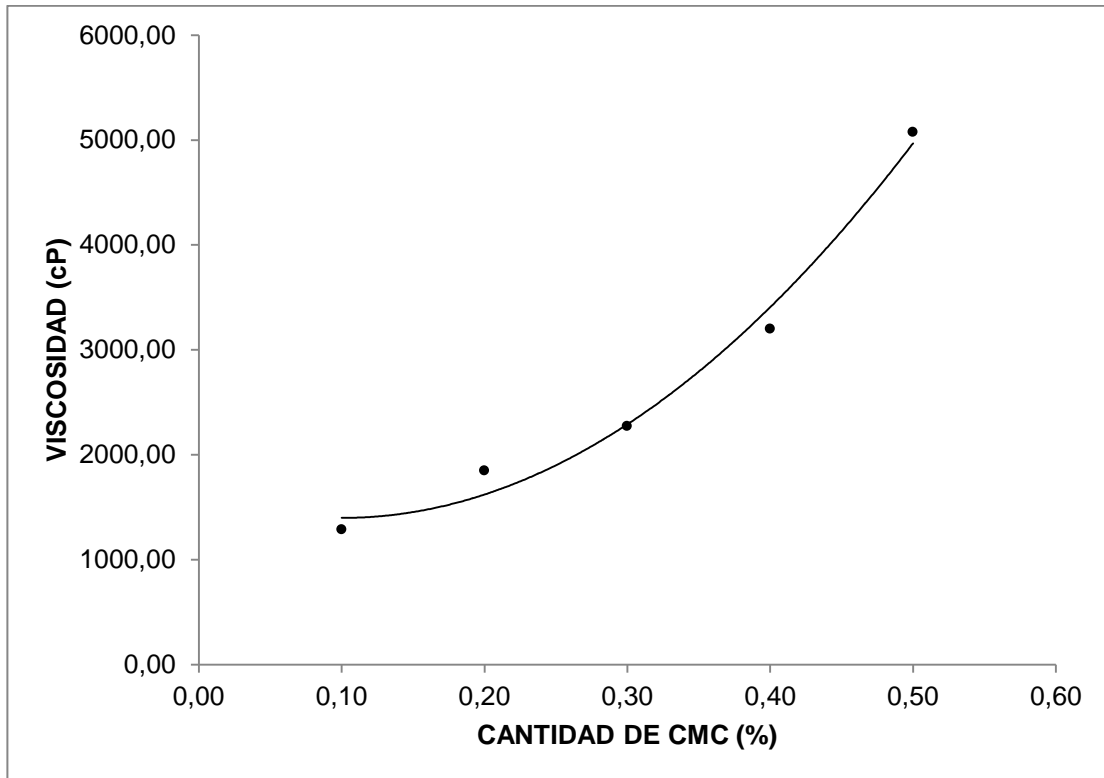
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Definición de variables figura 36**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo aguacate	Cantidad de CMC	$y = 12982x^2 - 856,79x + 1263$	$R^2 = 0,9912$

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de CMC**



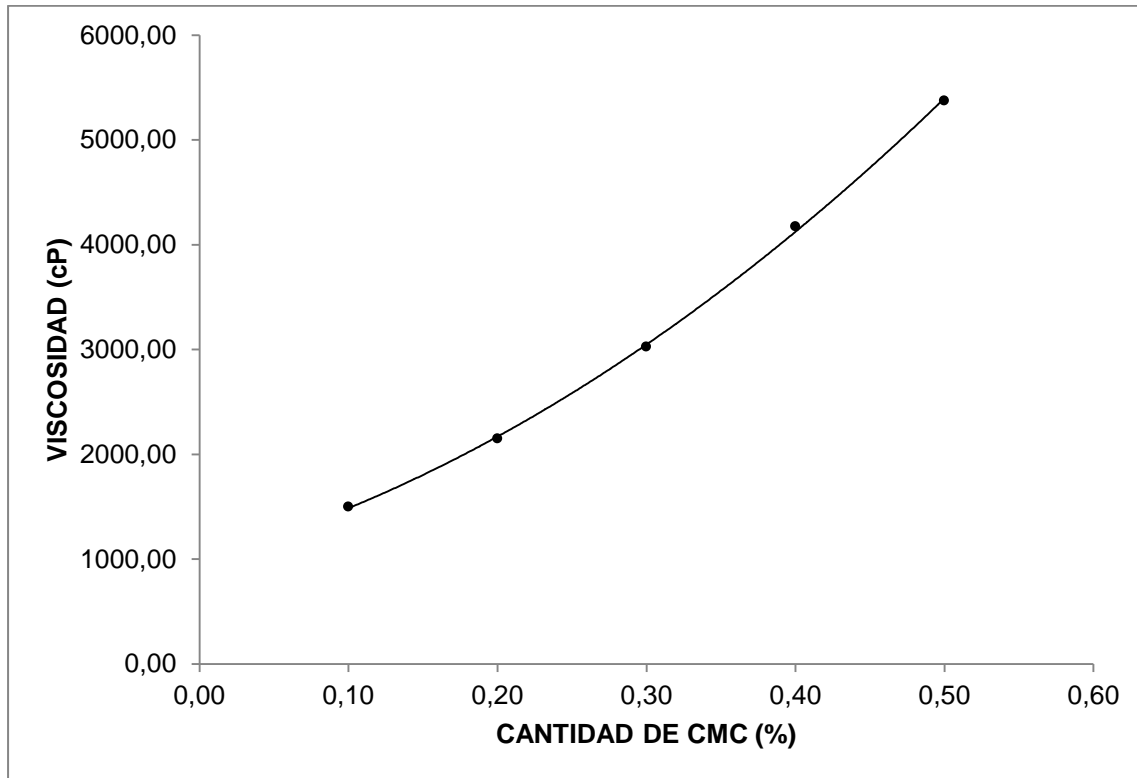
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Definición de variables figura 37**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo sábila	Cantidad de CMC	$y = 22321x^2 - 4467,9x + 1622,5$	$R^2 = 0,9865$

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de CMC**



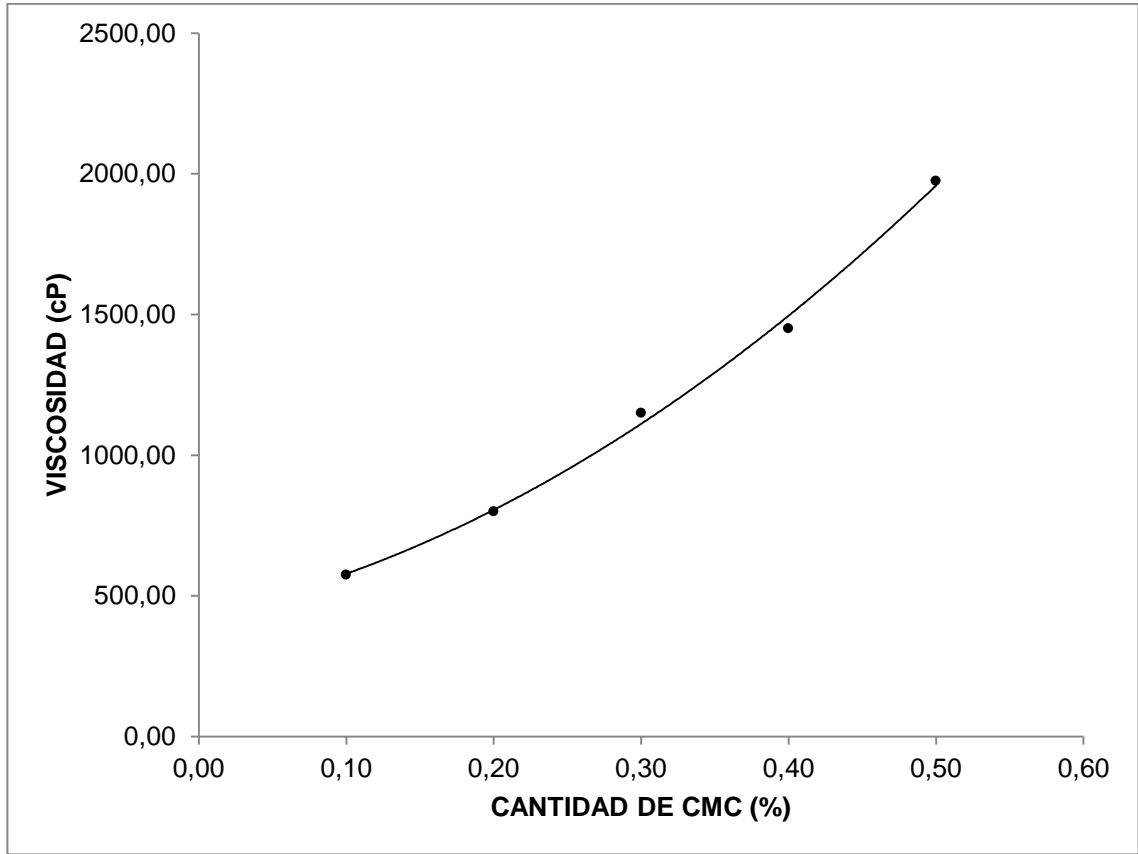
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Definición de variables figura 38**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo herbal	Cantidad de CMC	$y = 9821,4x^2 + 3882,1x + 1000$	$R^2 = 0,9996$

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de CMC**



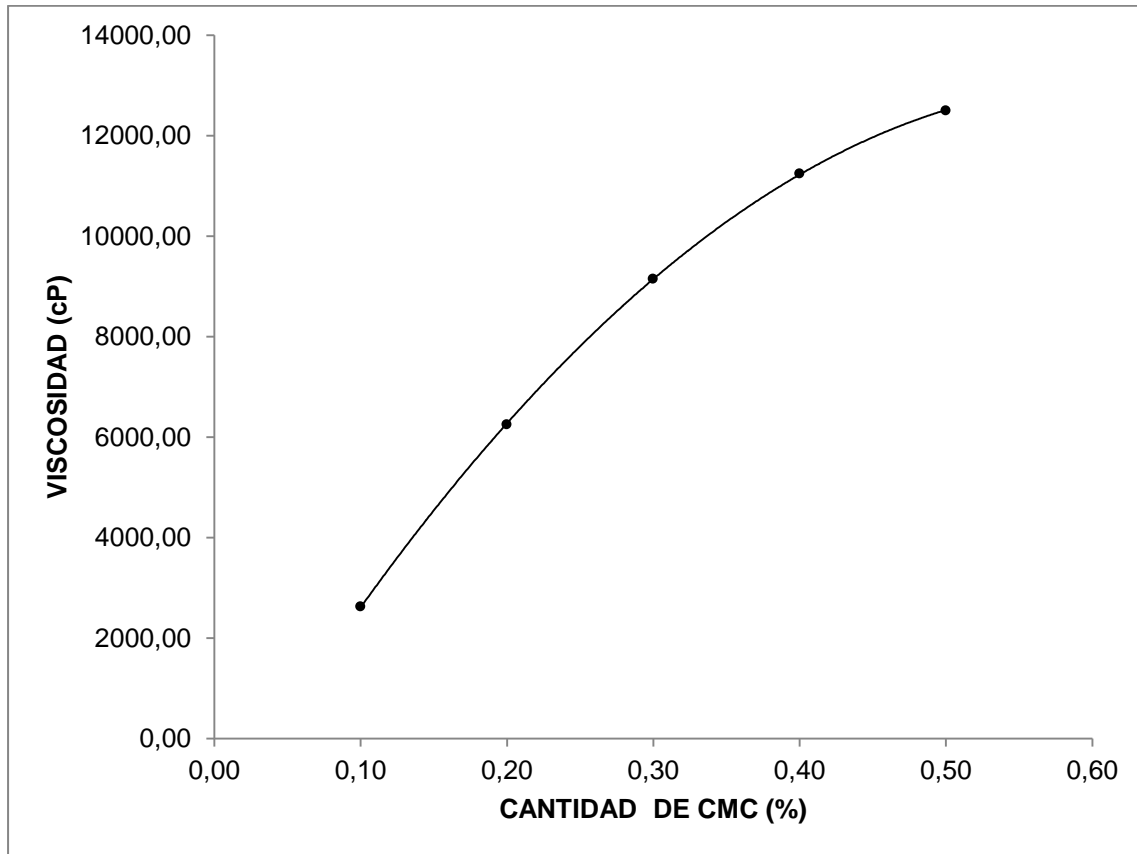
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Definición de variables figura 39**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzana	Cantidad de CMC	$y = 3928,6x^2 + 1092,9x + 430$	$R^2 = 0,9968$

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de CMC**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Definición de variables figura 40**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzanilla	Cantidad de CMC	$y = -39607x^2 + 48509x - 1842$	$R^2 = 1,000$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Cantidad de CMC para obtener viscosidad objetivo (8000 cP)**

Presentación	Ecuación de tendencia (Viscosidad: y=8000 cP)	Cantidad óptima de CMC (%)
Aguacate	$y = 12982x^2 - 856,79x + 1263$	0,7541
Sábila	$y = 22321x^2 - 4467,9x + 1622,5$	0,6438
Herbal	$y = 9821,4x^2 + 3882,1x + 1000$	0,6694
Manzana	$y = 3928,6x^2 + 1092,9x + 430$	1,2560
Manzanilla	$y = -39607x^2 + 48509x - 1842$	0,2566
PROMEDIO		0,7160

Fuente: elaboración propia, con información de tablas XXXVI-LX.

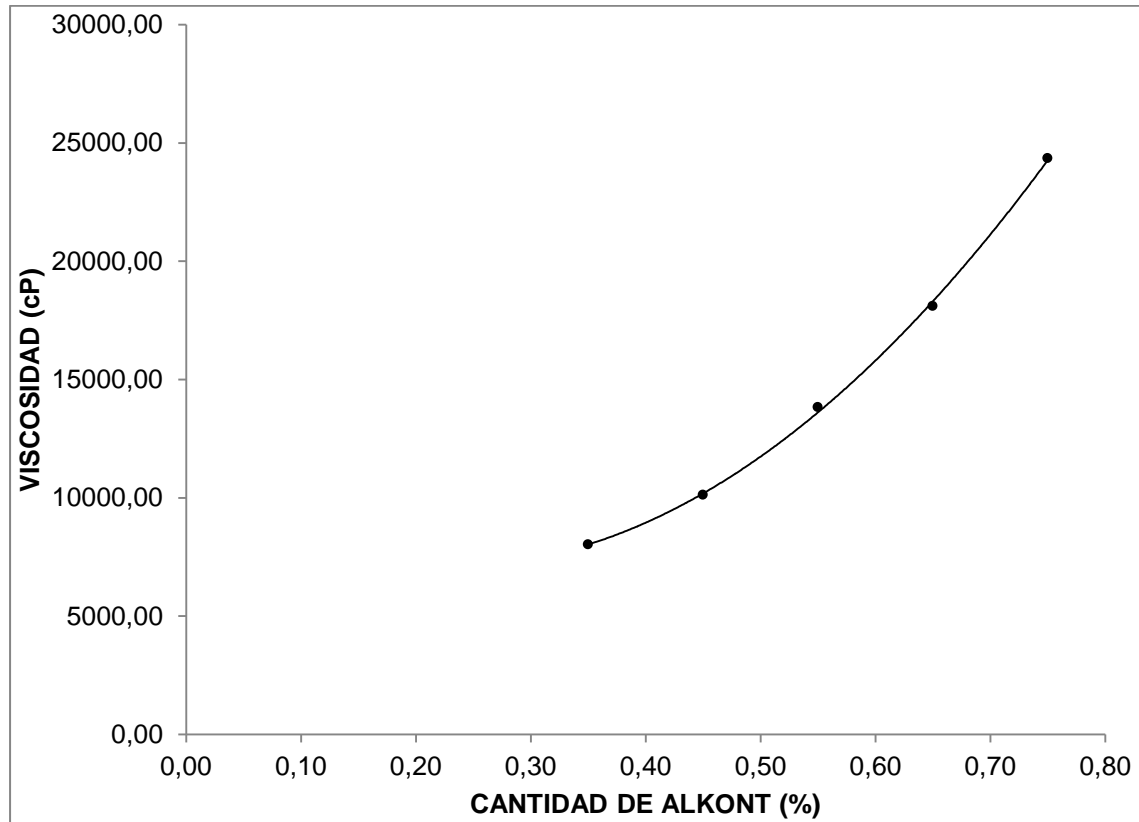
4.1.3. Viscosidad Alkont EL3645

A continuación se presenta los gráficos de tendencia de ambos casos de experimentación con Alkont EL 3645, como espesante junto con el electrolito cloruro de sodio.

4.1.3.1. Electrolito constante

Para la evaluación del comportamiento de la viscosidad de shampoo respecto a la cantidad de electrolito constante, se utilizó una cantidad de 1,00 %.

Figura 41. **Viscosidad shampoo aguacate vs cantidad de Alkont EL 3645**



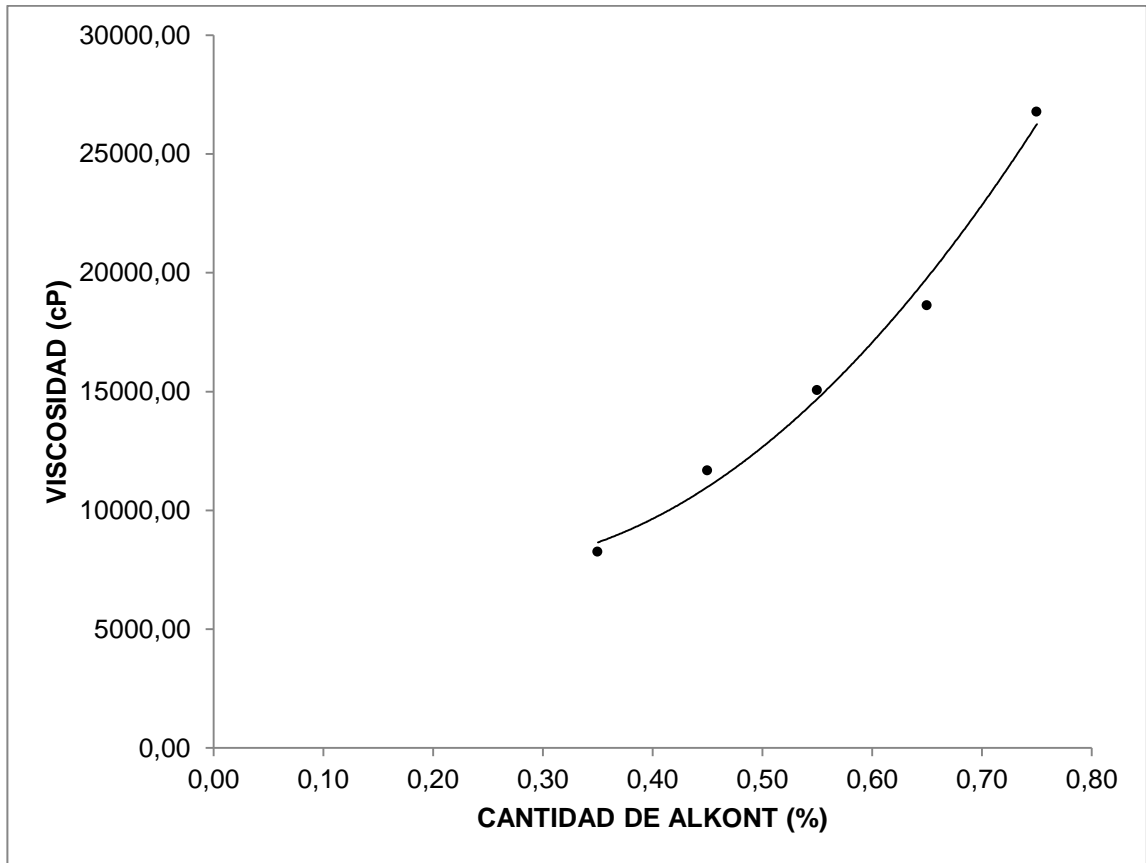
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Definición de variables figura 41**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo aguacate	Cantidad de Alkont EL 3645	$y = 63393x^2 - 29107x + 10450$	$R^2 = 0,9994$

Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Viscosidad shampoo sábila vs cantidad de Alkont EL 3645**



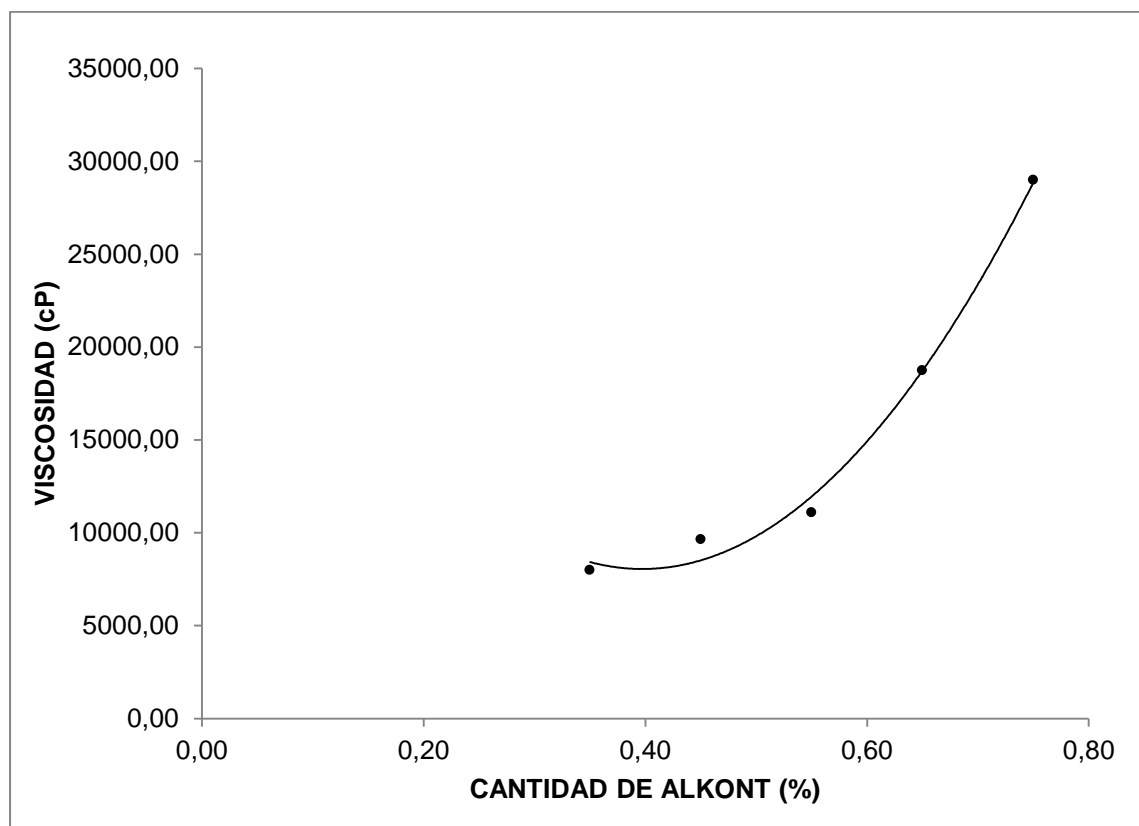
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Definición de variables figura 42**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coficiente de Correlación
Viscosidad shampoo sábila	Cantidad de Alkont EL 3645	$y = 68929x^2 - 31821x + 11347$	$R^2 = 0,9882$

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Viscosidad shampoo herbal vs cantidad de Alkont EL 3645**



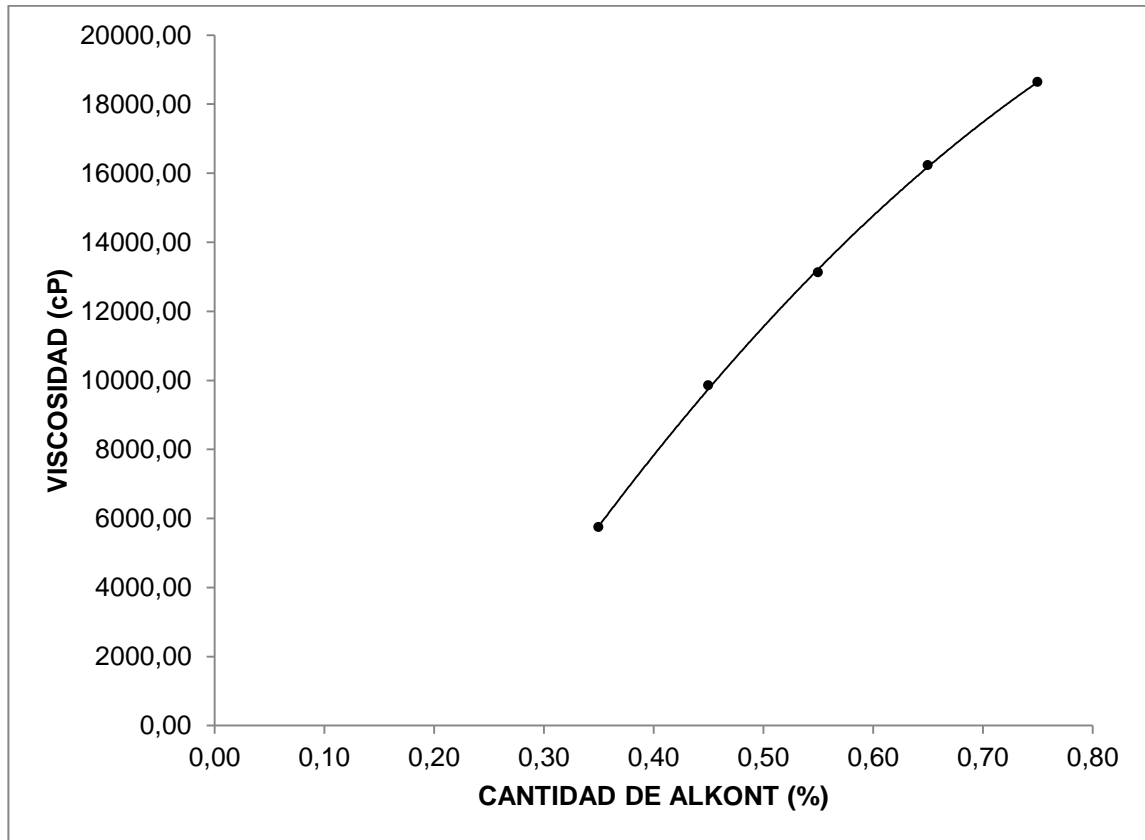
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Definición de variables figura 43**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo herbal	Cantidad de Alkont EL 3645	$y = 167143x^2 - 132757x + 34413$	$R^2 = 0,9927$

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Viscosidad shampoo manzana vs cantidad de Alkont EL 3645**



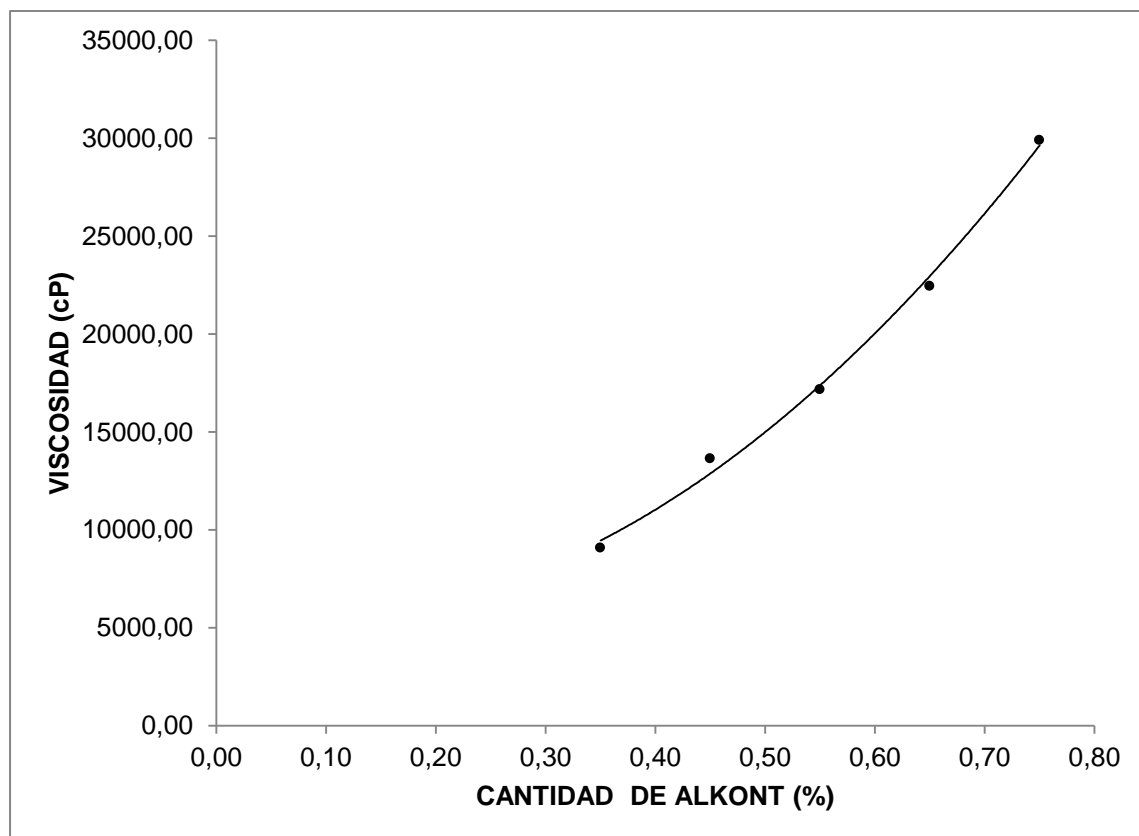
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Definición de variables figura 44**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzana	Cantidad de Alkont EL 3645	$y = -25321x^2 + 60009x - 12121$	$R^2 = 0,9998$

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Viscosidad shampoo manzanilla vs cantidad de Alkont EL 3645**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Definición de variables figura 45**

Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación de Tendencia	Coefficiente de Correlación
Viscosidad shampoo manzanilla	Cantidad de Alkont EL 3645	$y = 53929x^2 - 8921,4x + 5969,8$	$R^2 = 0,9957$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Cantidad de Alkont EL 3645 para obtener viscosidad objetivo (8000 cP)**

Presentación	Ecuación de tendencia (Viscosidad: y=8000 cP)	Cantidad óptima de Alkont EL 3645 (%)
Aguacate	$y = 63393x^2 - 29107x + 10450$	0,3481
Sábila	$y = 68929x^2 - 31821x + 11347$	0,2995
Herbal	$y = 167143x^2 - 132757x + 34413$	0,3971
Manzana	$y = -25321x^2 + 60009x - 12121$	0,4042
Manzanilla	$y = 53929x^2 - 8921,4x + 5969,8$	0,2936
PROMEDIO		0,3485

Fuente: elaboración propia, con información de tablas XLII-XLVI.

Tabla XLVIII. **Resumen cantidades óptimas promedio**

ANÁLISIS	CANTIDAD ÓPTIMA DE SUSTANCIA VARIABLE (%)
Electrolito variable goma Xantan constante	0,9634
Electrolito constante goma Xantan variable	0,6179
Electrolito variable CMC constante	1,6162
Electrolito constante CMC variable	0,7160
Electrolito constante Alkont EL 3645 variable	0,3485

Fuente: elaboración propia.

4.2. Rentabilidad en fórmula

La rentabilidad de la fórmula se evaluó mediante la reducción de materiales variables y la reducción del recurso tiempo, mediante la determinación del tiempo de proceso mejorado.

4.2.1. Reducción de materiales variables

Para la reducción de materiales variables, se tomó en cuenta el costo total de los materiales constantes y el costo del uso de cada espesante de acuerdo a las pruebas realizadas en laboratorio.

Tabla XLIX. Costos actuales de fórmula

REACTIVO	CANTIDAD REQUERIDA PARA 4000 kg (kg)	COSTO UNITARIO	VALOR
Agua destilada	3438,92	Q0,00	Q0,34
Lauril eter sulfato de sodio	360,00	Q16,52	Q5,947,20
Edta tetrasodico	2,00	Q29,46	Q58,92
COCAMIDE DEA (dietanolamida de ácido graso de coco)	100,00	Q25,94	Q2,594,00
Policuaternium -7	10,00	Q32,56	Q325,62
Fragancia	20,00	Q97,27	Q1,945,45
Metilcloroisotiazolinona/ metilisotiasolinona	2,80	Q99,61	Q278,93
Agua destilada	1,00	Q0,00	Q0,00

Continuación de la tabla XLIX.

Colorantes	0,02	Q463,80	Q9,05
	0,06	Q104,9715	Q6,6006
Ácido cítrico	5,20	Q11,0554	Q57,4881
Cloruro de sodio industrial	60,00	Q,5,7210	Q,343,2582
TOTAL REACTIVOS ACTUALES			Q11.566,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Costos totales de acuerdo a análisis de nuevas formas**

Análisis	Costos total materiales constantes (Q)	Cantidad cloruro de sodio		Costo cloruro sodio (Q)	Cantidad espesante		Costo espesante	Costo total fórmula
		kg	%		kg	%		
Electrolito variable Goma Xantan constante	11.394,55	38,50	0,9634	220,46	40,0	1,0000	2.004,00	13.619,00
Electrolito constante Goma Xantan variable	11.394,55	60,0	1,5000	343,25	24,7	0,6179	1.238,27	12.976,00
Electrolito variable CMC constante	11.394,55	65,0	1,6262	372,13	20,0	0,5000	1.084,00	12.850,00

Continuación de la tabla L.

Electrolito constante CMC variable	11.394,55	20,0	0,5000	114,41	28,6	0,7160	1.552,29	13.061,00
Electrolito constante ALKONT variable	11.394,55	40,0	1,0000	228,83	13,9	0,3485	458,93	12.082,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Comparación costo actual y costos de nuevas fórmulas**

ANÁLISIS	COSTO NUEVO (Q)	DIFERENCIA (Q)	% AUMENTO
Electrolito variable Goma Xantan constante	13.190,01	2.052,12	17,74%
Electrolito constante Goma Xantan variable	12.976,08	1.409,19	12,18%
Electrolito variable CMC constante	12.850,69	1.283,80	11,10%
Electrolito constante CMC variable	13.061,26	1.494,37	12,92%
Electrolito constante ALKONT variable	12.082,32	515,43	4,46%

Fuente: elaboración propia.

NOTA: este fue propuesto para un lote de 4 000 kg por ser el granel de mayor tamaño que puede ser fabricado.

Tabla LII. **Reducción de material variable: cloruro de sodio**

ANÁLISIS	Cantidad nueva fórmula de Cloruro de Sodio (%)	Cantidad actual de Cloruro de Sodio (%)	Diferencia	Porcentaje de reducción de material (%)
Electrolito variable Goma Xantan constante	0,9634	1,5000	0,5366	35,77
Electrolito constante Goma Xantan variable	1,5000	1,5000	0,0000	0,00
Electrolito variable CMC constante	1,6262	1,5000	-0,1262	-8,41
Electrolito constante CMC variable	0,5000	1,5000	1,0000	66,67
Electrolito constante alkont el 3645 variable	1,0000	1,5000	0,5000	33,33

Fuente: elaboración propia con información de tabla XLIX.

4.2.2. Reducción de tiempo de producción

La reducción del tiempo de proceso se evaluó respecto a las pruebas realizadas en laboratorio a nivel piloto, para cada uno de los espesantes. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla LIII. Comparación tiempo promedio por presentación, actual y de nuevas fórmulas

Actividad	TIEMPO (min)					
	Actual	Electrolito variable goma xantan constante	Electrolito constante goma xantan variable	Electrolito variable cmc constante	Electrolito constante cmc variable	Electrolito constante alkont variable
Agregar agua destilada	2	2	2	2	2	2
Medir pH del agua	1	0,5	1	1,5	1,25	1
Agregar Lauril sulfato de sodio y disolver en agua	3	2,5	3	3,5	2,5	2,5
Agitar los componentes hasta obtener mezcla homogénea	15	15	16	13	18	15
Agregar Agente Espesante	2	4	4	7	9	1,8
Agregar fragancia a la mezcla	5	3	4	5	4	3
Agitar los componentes hasta obtener mezcla homogénea	15	20	25	50	65	12
Tomar muestra de la marmita y llevar al laboratorio	1	1,5	1,7	2	1,2	1
Agregar colorante y agitar mezcla	10	12	15	40	50	8
Agregar ácido cítrico y cloruro de sodio	3	3	2	4	3,5	2,8
Agitar los componentes hasta obtener mezcla homogénea	15	10	12	25	20	8
Tomar muestra de la marmita y llevar al laboratorio	3	2	3,5	2,22	2,5	3,1
TIEMPO FINAL	75	75,5	89,2	155,22	178,9	60,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Comparación tiempo promedio por análisis, para cada espesante respecto al actual**

TIEMPO PROCESO ACTUAL (min)	ESPESANTE	TIEMPO DE PROCESO MEJORADO (min)	VARIACIÓN DE COMPARACIÓN DE TIEMPOS	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (%)
75	GOMA XANTAN	82,35	-7,35	-9,80
	CMC	167,09	-92,09	-122,78
	ALKONT EL 3645	60,20	14,80	19,73

Fuente: elaboración propia, con información tabla LII.

Tabla LV. **Estatus selección de espesantes**

Espesante	Estatus Compatibilidad en fórmula	Estatus Reducción recursos Materiales	Estatus Reducción recurso tiempo	Resultado
Goma Xantan	Rechazado	Aprobado	Rechazado	RECHAZADO
Carboximetil Celulosa	Rechazado	Rechazado	Rechazado	RECHAZADO
Alkont el 3645	Aprobado	Aprobado	Aprobado	APROBADO

Fuente: elaboración propia, con información de tabla LI y LIII.

4.3. Plan de análisis de los resultados

El plan de análisis de resultados, incluyó los números adimensionales para evaluar las condiciones de proceso, luego de la selección del espesante adecuado, que fue Alkont EL 3645. Estos números obtenidos a partir de los resultados en prueba piloto a nivel industrial.

4.3.1. Métodos y modelos de datos según variables

Para la determinación de los modelos de datos, se evaluó la condición ideal para obtención de viscosidad objetivo de 8000 cP y la obtenida durante la prueba piloto para Shampoo presentación Herbal 7,500 cP, excepto para la velocidad de descarga del impulsor debido a que éste no depende de la viscosidad.

4.3.1.1. Número de Reynolds

Se determinó el número de Reynolds, a partir de los resultados experimentales, y mediante el dato esperado con base en la viscosidad objetivo, la prueba se realizó con el shampoo sábila.

Tabla LVI. Comparación de número de Reynolds

Número de Reynolds esperado (8000 cP) (ad)	Número de Reynolds Experimental (7,500 cP) (ad)
150,21	160,22

Fuente: elaboración propia

4.3.1.2. Consumo de potencia

El consumo de potencia, se determinó a partir del dato esperado mediante el número de Reynolds de la viscosidad objetivo, así como para resultado experimental y la potencia actual de proceso.

Tabla LVII. **Comparación de consumo de potencia**

Potencia esperado (8000 cP) (J/s)	Potencia actual (J/s)	Potencia Real (7,500 cP) (J/s)
1514,11	1472,00	1470,85

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Velocidad de descarga del impulsor

La velocidad de descarga del impulsor, es solo una condición de referencia del proceso, ya que no depende de la viscosidad, sino tan solo de las dimensiones y condiciones del equipo a utilizar.

Tabla LVIII. **Velocidad de descarga del impulsor**

Velocidad de descarga del impulsor Ideal Q (m³/s)
3,12

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.4. Carga de velocidad

Se determinó la carga de velocidad, a partir de los resultados experimentales, y mediante el dato esperado con base en la viscosidad objetivo, la prueba se realizó con el shampoo sábila.

Tabla LIX. Comparación de carga de velocidad

Carga de velocidad esperado (8000 cP)	Carga de velocidad Real (7,500 cP)
0,04935 m	0,04804 m

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.5. Rendimiento energético

El rendimiento energético se determinó a partir de los datos de potencia, tomando como referencia la relación entre la potencia esperada y la potencia real.

Tabla LX. Comparación de rendimiento esperado y real obtenido

Rendimiento esperado (8000 cP)	Rendimiento real (7,500 cP)
97,22%	100,00%

Fuente: elaboración propia

4.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico incluye los resultados del análisis de bloques, mediante las varianzas experimentales para los tres espesantes evaluados, así como la significancia obtenida a partir de la prueba de Tukey.

4.4.1. Análisis de varianza (ANOVA)

A continuación se presenta la matriz de bloques, obtenida a partir los resultados de las pruebas a nivel piloto, para los tres espesantes para las presentaciones de shampoo, siendo la variable respuesta, la viscosidad.

Tabla LXI. **Matriz de bloques. Tratamientos: espesantes**

	Aguacate	Sábila	Herbal	Manazana	Manzanilla	
Ambiente Goma Xantan	7400	6500	7000	5600	10200	36700
Ambiente Carboximetil Celulosa	5578	5838	6763	3300	11498	32975
Ambiente Alkont EL 3645	6200	7650	6900	7650	9500	37900
	19178	19988	20663	16550	31198	107575

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Comparación estadística para hipótesis nula H_0 y alternativa H_a (nivel de confianza 95 %)**

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada	Conclusión
BLOQUES	42308650	4,00	-----	0,857	4,46	Se cumple H_a : No todos los espesantes tienen el mismo efecto en la viscosidad del Shampoo para todas sus presentaciones.
TRATAMIENTOS	2638083	2,00	1319041,67			
TOTAL	57261783	14,00	-----			
ERROR	12315050	8,00	1539381,25			

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Prueba de Tukey

A continuación se presenta la matriz de bloques, obtenida a partir los datos del análisis de varianza para determinar la significancia de los tres espesantes para las presentaciones de shampoo, siendo la variable respuesta, la viscosidad como resultado de las pruebas a nivel piloto, para los tres espesantes.

Tabla LXIII. **Matriz de diferencias método de Tukey**

	32975,00	36700,00	37900,00
37900	4925,00	1200,00	0,00
36700	3725,00	0,00	
32975	0,00		

Fuente: elaboración propia, con información de tabla LX.

Tabla LXIV. **Matriz al concluir con comparador (diferencia $>W$ "No son iguales)**

	32975,00	36700,00	37900,00
37900	NO SON IGUALES	SON IGUALES	0,00
36700	NO SON IGUALES	0,00	
32975	0,00		

Fuente: elaboración propia, con información de tabla LXII.

Tabla LXV. **Matriz de respuesta para selección de tratamientos**

RESPUESTA	TRATAMIENTOS		
	MEJOR	ACEPTABLE	PEOR
37900	Alkont EL 3645		
36700	--	Goma Xantan	
32975	--	--	CMC

Fuente: elaboración propia, con información de tabla LXIII.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación, se tuvo por objetivo aumentar la viscosidad de un shampoo, mediante reformulación, mejoras en el proceso, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos.

Es por ello que para llevar a cabo este objetivo, se desglosó la investigación en varias ramas, siendo estas: la evaluación del desempeño de los espesantes de prueba respecto a los ingredientes de la fórmula actual, la evaluación del desempeño de nueva fórmula respecto a criterios técnicos de los equipos y proceso, y por último la evaluación de la reducción de recursos materiales y tiempo de operación en fórmula.

Inicialmente se evaluó el comportamiento de cada uno de los tres espesantes respecto a su tendencia de viscosidad y funcionalidad para cinco presentaciones de shampoo diferentes: aguacate, sábila, herbal, manzana y manzanilla; teniendo como fin lograr una viscosidad entre los 7000 y 9000 centipoises, utilizando 8000 centipoises como viscosidad objetivo.

Para la obtención de cantidad óptima de electrolito cloruro de sodio o de espesante, como promedio de todas las presentaciones, se utilizó los modelos de tendencia de cada figura para poder alcanzar la viscosidad objetivo.

Se inició con las pruebas de espesante gomas naturales, para las cuales se utilizó la goma Xantan, en donde se llevó a cabo dos tipos de análisis de acuerdo a la cantidad de sólido a variar.

En el primer análisis se hizo variar la cantidad de electrolito cloruro de sodio en un rango de 0,50 % al 1,30 % y se mantuvo constante la cantidad de goma en 1,00 %. Para este análisis se observó de acuerdo a las figuras 21 a 25, que la viscosidad en todas las presentaciones de shampoo aumentó de acuerdo al rango en que se realizó la prueba. Para el caso de la presentación Manzanilla se observó que la viscosidad aumentó hasta alcanzar un punto máximo, luego del cual, pese a la adición de una cantidad mayor de electrolito, la viscosidad comenzó a descender.

Para este primer experimento, de acuerdo a la tabla XXIII, se determinó una cantidad promedio de electrolito de 0,9634 % para alcanzar la viscosidad objetivo.

En el segundo análisis para la evaluación de goma Xantan, se hizo variar la cantidad de esta en un rango de 0,20 % a 1,20 %, y se mantuvo constante el electrolito cloruro de sodio en 1,50 %. De acuerdo a las figuras 26 a 30, se observó que la viscosidad aumentó en forma proporcional a la cantidad de goma adicionada. En el caso de la presentación manzanilla, se observó un punto máximo al igual que en el primer análisis, sin embargo, para este caso, se alcanzó casi de inmediato. Para este segundo experimento, de acuerdo a la tabla XXIX, se determinó una cantidad promedio de espesante de 0,6179 % para alcanzar la viscosidad objetivo.

Como segunda opción de espesante, se utilizó la carboximetil celulosa (CMC) para los derivados de celulosa, en la cual, al igual que para el caso de gomas se realizó dos pruebas diferentes de acuerdo al sólido a variar. Estas se describen a continuación.

Para este caso se inició variando la cantidad de electrolito cloruro de sodio en un rango de 0,30 % a 1,50 %, con una cantidad constante de carboximetil celulosa 0,5 %. De acuerdo a las figuras 31 a 35, se observó un aumento de la viscosidad proporcional a la cantidad de electrolito adicionado. A diferencia de los casos con goma, la carboximetil celulosa, no tuvo la capacidad para alcanzar un punto máximo de viscosidad en ninguna de las presentaciones. Para este experimento, de acuerdo a información de tabla XXXV, se determinó en promedio una cantidad óptima de electrolito de 1,6162 %.

Para el segundo experimento con carboximetil celulosa, se varió esta en un rango de 0,10 % a 0,50 %, y se mantuvo constante el electrolito cloruro de sodio en 0,50 %. De acuerdo a las figuras 36 a 40, se observó un incremento de la viscosidad proporcional a la cantidad de carboximetil celulosa. En el caso de la presentación manzanilla se observó una viscosidad máxima. Para este experimento, de acuerdo a información de tabla XLI, se determinó en promedio una cantidad óptima de carboximetil celulosa de 0,7160 %.

Por último para evaluar la opción de mezcla de surfactantes, se utilizó una combinación de tenso-activos no iónicos llamada Alkont EL 3645, para el cual se estableció como criterio para su uso, la utilización de 1,00 % de electrolito cloruro de sodio, por lo que para este análisis sólo se varió la cantidad del espesante en un rango de 0,35 % a 0,75 %, y se mantuvo constante la cantidad de electrolito. De acuerdo a los gráficos 41 a 45, se observó que la viscosidad aumenta en proporción a la cantidad de Alkont, y se obtuvo en promedio una cantidad óptima de este de 0,3485 %, información indicada en tabla XLVII.

Para la evaluación de reducción de materiales, se seleccionó el espesante Alkont EL 3645, ya que de acuerdo a la información declarada en la tabla L, representó una reducción del 0,50 % del recurso material variable, cloruro de sodio, y de acuerdo a la información indicada en tabla LII, generó un porcentaje de aumento de 4,46 % a comparación del costo de fórmula actual.

Este resultado, según tabla LII, se debe a que el costo por kilogramo de carboximetil celulosa es 39,26 % más alto que el de Alkont, y el costo por kilogramo de goma Xantan es 34,29 % más alto que el de Alkont. Al mismo tiempo, de todos los espesantes analizados, Alkont utiliza el menor porcentaje para alcanzar la viscosidad objetivo, de acuerdo a información establecida en tabla L.

Se utilizó como referencia los costos finales de fórmula establecidos en tabla LI, debido a que entre las limitantes del proyecto, se estableció para la realización del mismo, que el escenario de costos de la nueva fórmula no debía sobrepasar al 5,00 % del costo actual, por lo cual, se demostró que se cumplió con dicho parámetro.

A su vez es importante dar relevancia a la disminución del electrolito cloruro de sodio, ya que la reducción de este material, no sólo conlleva a un ahorro en cuanto a materiales, sino también mejora la formulación por dar como resultado un shampoo que evite la resequedad del cuero cabelludo.

La reducción del recurso tiempo de producción, se evaluó de acuerdo a cada actividad realizada a lo largo de todo el proceso con información de tabla LIV, en donde se determinó como la actividad crítica, la miscibilidad del espesante en el resto de la fórmula, previo a la adición de electrolito y de ácido cítrico.

Para este análisis se observó que el espesante más rentable es Alkont EL 3645, con un tiempo de producción a nivel laboratorio de acuerdo la tabla LI, de 60,20 minutos a comparación del tiempo actual que es de 75,00 minutos. Esto se debe a que Alkont es un espesante líquido, lo que facilita su miscibilidad en la fórmula, a diferencia de la goma Xantan y la carboximetil celulosa que son espesantes sólidos. De acuerdo a tabla LIV, se logró el 19,73 % de reducción del recurso tiempo.

En el caso de carboximetil celulosa fue el espesante más difícil de trabajar debido a su tendencia de formar grumos, lo que afectó su grado de disolución en fórmula, aumentando el tiempo de producción.

Al igual que la carboximetil celulosa, la goma Xantan también formó grumos pero a diferencia de esta, no presentó mayor problema para su disolución, sin embargo, ésta materia prima afectó la apariencia del shampoo, que de acuerdo a la fórmula actual es traslucido, ya que la goma Xantan logró la viscosidad objetivo pero la apariencia obtenida con ésta era de un Shampoo opalescente.

La apariencia obtenida con Alkont EL 3645 y con la carboximetil celulosa fue traslucida, por lo que de acuerdo a tabla LV, estos si cumplieron con mantener la funcionalidad de la fórmula, mientras que la goma Xantan no cumplió con este parámetro.

Se evaluó el desempeño técnico de la fórmula, de acuerdo a los criterios de uso en los equipos, se determinó parámetros únicamente para la fórmula de Alkont EL 3645, debido a que fue seleccionado como la mejor de las opciones, y con el cual fue realizada la prueba piloto a nivel industrial.

Para cada parámetro se hizo la comparación de los resultados en prueba piloto y los resultados esperados de acuerdo a una viscosidad objetivo de 8000 centipoises y la viscosidad obtenida en prueba de 7,500 centipoises. La prueba fue realizada sólo con una de las presentaciones, tomando como prueba la presentación herbal.

Como primer parámetro, de acuerdo a la tabla LVI, se determinó un número de Reynolds de 160,22 para la prueba piloto, por lo que se clasificó el flujo del shampoo dentro del tanque agitado, como flujo laminar, tendencia que coincidió con el dato esperado que debió ser de 150,21.

A partir del número de Reynolds, y mediante los criterios del equipo como el diámetro del impulsor, y criterio de proceso como las revoluciones por minuto, se determinó de acuerdo a la tabla LVII, el consumo de potencia real de 1470,85 J/s, el cual se comparó con la potencia esperada de 1514,11 J/s y la potencia actual de 1472,00 J/s.

Con este dato se concluyó con base en la información de tabla LX, que la potencia real representó el mejor de los rendimientos energéticos con 100,80 %, ya que el rendimiento esperado era de 97,22 %. Este fenómeno se dio debido a que la potencia real es menor que la potencia esperada y la potencia actual.

Se determinó también la velocidad de descarga del impulsor con un valor de 3,12 m³/s, con base en el resultado de tabla LVIII, dato para el cual no hay diferencia entre lo esperado y lo realizado en prueba piloto ya que este parámetro es independiente de la viscosidad.

Como último parámetro, de acuerdo a datos de tabla LIX, se determinó la carga de velocidad real con valor de 0,04804 m, el cual es menor que la velocidad esperada de 0,04935 m, esta se determinó ya que mide la relación de fuerza máxima que puede ejercer este fluido cuando cambian su velocidad o dirección.

Finalmente mediante estos parámetros técnicos fue posible definir que los resultados fisicoquímicos obtenidos en prueba cumplen con base en las especificaciones de equipo establecidos de acuerdo al proceso, ya que se mantuvo el flujo laminar, se logró una reducción en el consumo de potencia y se obtuvo un rendimiento energético mayor al esperado.

Para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula H_0 , que establece que todos los espesantes proporcionaban el mismo efecto, se utilizó el análisis estadístico de ANOVA, el cual dio como resultado, con base en tabla LXII, el rechazo de la hipótesis nula, ya que no todos los espesantes tienen el mismo efecto en la viscosidad del Shampoo para todas sus presentaciones.

Al mismo tiempo se utilizó la prueba de Tukey para determinar cuál de los espesantes analizados era el mejor, tomando también la viscosidad como variable respuesta. Se determinó de acuerdo a tabla LXIII, como el mejor el Alkont EL 3645, en segundo lugar la goma Xantan y por último la carboximetil celulosa.

CONCLUSIONES

1. Es posible la reformulación de shampoo para el aumento de la viscosidad mediante la adición del espesante líquido Alkont EL 3645, manteniendo la funcionalidad, mejoras en el proceso y reducción de recursos.
2. Es posible el incremento de la viscosidad con los tres espesantes, pero sólo se mantuvo la funcionalidad con Alkont EL 3645 y con Carboximetil celulosa, ya que estos mantuvieron la apariencia traslucida mientras que la Goma Xantan dio una apariencia opalescente.
3. La reducción de materiales para la obtención de una fórmula funcional, sólo se logró con el espesante Alkont EL 3645, ya que representó una reducción del 0,50 % del cloruro de sodio; generó un porcentaje de aumento de 4,46 % a comparación del costo de fórmula actual, y mantuvo la apariencia traslucida del shampoo.
4. El único espesante que reduce el tiempo de operación fue el Alkont EL 3645, ya que logró la reducción de 75,00 minutos a 60,20 minutos a nivel de prueba piloto en laboratorio, haciendo un porcentaje de reducción del 19,73 %.
5. No todos los espesantes tienen el mismo efecto en la viscosidad del shampoo, ya que el ANOVA rechazó la hipótesis nula y mediante prueba de Tukey se definió que el mejor fue Alkont EL 3645 utilizando la viscosidad como variable respuesta para ambos.

RECOMENDACIONES

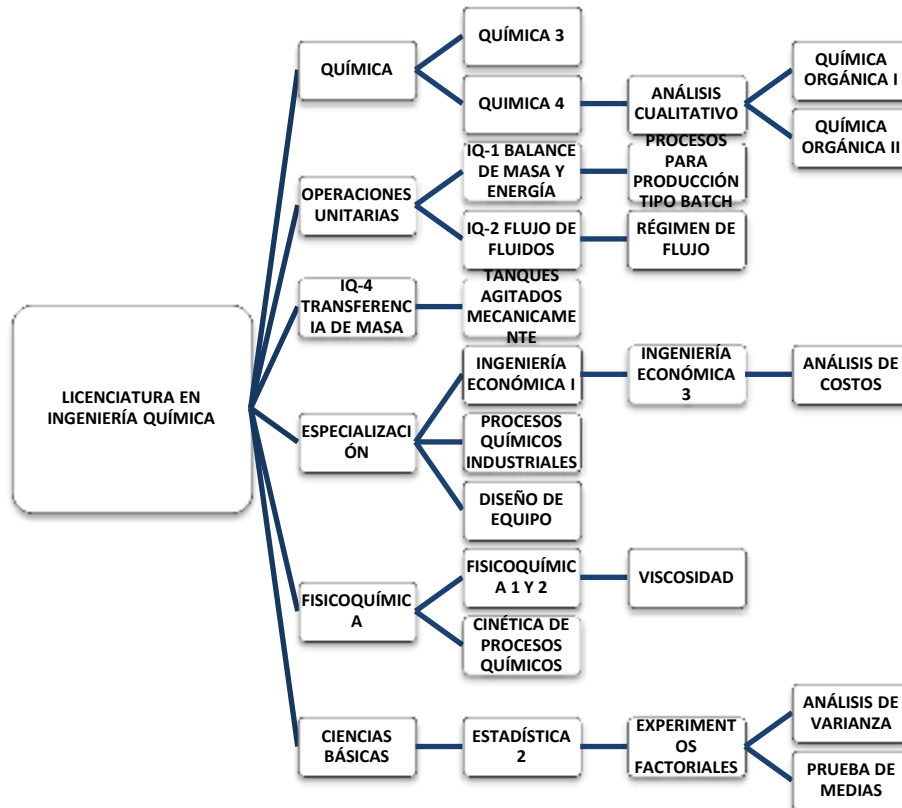
1. Al momento de realizar la mezcla de ingredientes de fórmula, añadir el Alkont EL 3645, antes del cloruro de sodio y ácido cítrico, para mejorar la homogenización del granel y evitar la formación de una capa de gel al fondo del tanque.
2. Añadir el Alkont EL 3645 de forma pausada, ya que por ser líquido es de fácil miscibilidad y su uso en exceso puede dar una apariencia traslucida pero con consistencia gelatinosa.
3. La reducción de materiales sólo es posible utilizando los parámetros de proceso establecidos, idealmente a una revolución dentro de un rango de 18 RPM a 24 RPM, para evitar la formación de espuma excesiva y por ende pérdidas de producto a granel.
4. Para asegurar la reducción de tiempo se necesita que al inicio del proceso se logre en un 100 % la disolución del Lauril éter sulfato de sodio, para evitar la formación de grumos en la mezcla a lo largo del proceso.
5. No se recomienda el uso de carboximetil celulosa debido a que su uso provoca la formación de grumos insolubles en la fórmula. En caso de que se deseara usar este material se debería utilizar una pre-dilución para mejorar la miscibilidad en el producto a granel sin incrementar los tiempos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALSAM, M. S. *Cosmetics Science and technology*. Vol. II. 2a ed. Estados Unidos: Wiley-Interscience.1992. p. 2128.
2. CRANE, División de ingeniería. *Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías*. México: McGraw-Hill, 1989. p. 667.
3. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México: Continental, 1998. p. 1007 ISBN: 968-26-1316-7.
4. McCABE, Warren L.; SMITH, Julian C.; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. Madrid: McGraw-Hill, 1991. p. 1112 ISBN: 84-481-1918-5.
5. PERRY, Robert H., *Manual del ingeniero químico*. Tom. V. 6a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2001. p. 408.
6. TREYBAL, Robert. *Operaciones de Transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1980. p. 862.
7. WALPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8a ed. México: Pearson Education, 2007. p. 809.

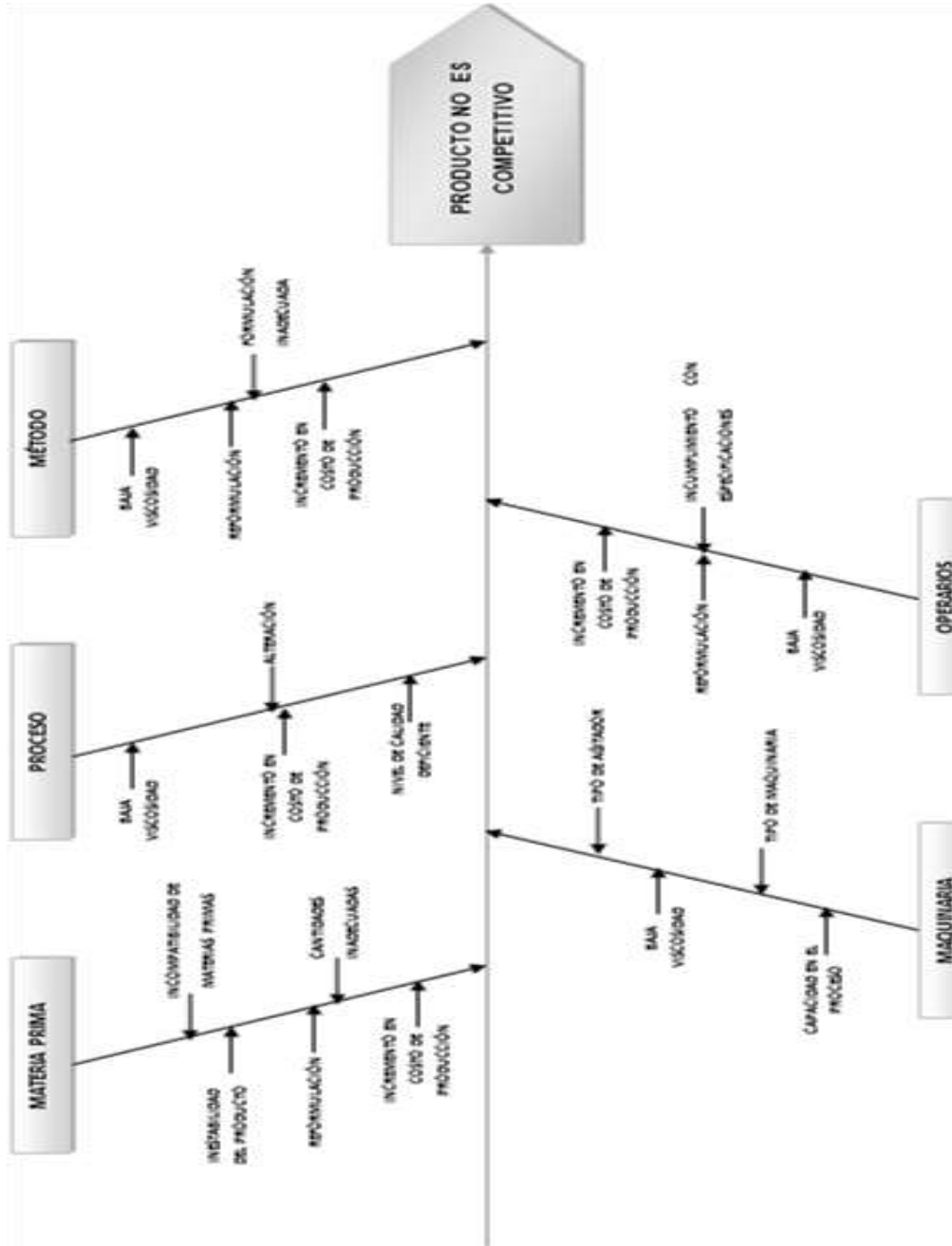
APÉNDICE

APÉNDICE 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

ANEXO 1.

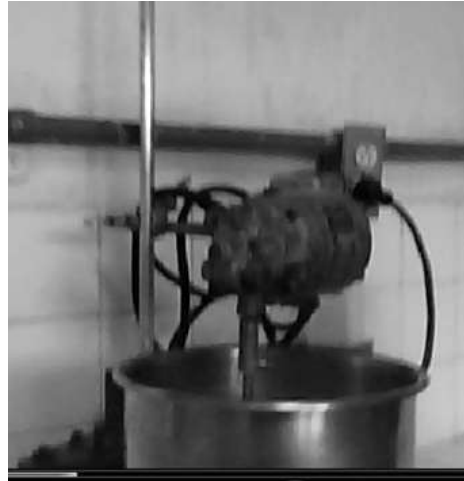
Fotografías de las cinco presentaciones trabajadas



Fuente: elaboración propia.

ANEXO 2.

Fotografías agitadores laboratorio:



Fuente: elaboración propia.

ANEXO 3.

Fotografía agitador a nivel planta



Fuente: elaboración propia.