



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

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE
EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (*Yucca
elephantipes*) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA**

Sergio Alfonso Patzan Chitay

Asesorado por el Ing. César Ariel Villela Rodas

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE
EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (*Yucca
elephantipes*) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ALFONSO PATZAN CHITAY
ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
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:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (*Yucca elephantipes*) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de junio de 2018.

Sergio Alfonso Patzan Chitay

Guatemala 03 de febrero de 2020


Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el, Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (*Yucca elephantipes*) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA"**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Sergio Alfonso Patzan Chitay, quien se identifica con el registro académico 2014-03530 y con el CUI 2263 70917 01 08.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,


César Ariel Villeta Rodas
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 1175

Ing. César Ariel Villeta Rodas
INGENIERO QUIMICO
Colegiado No. 1.175



Guatemala, 13 de marzo de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.013.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **026-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Sergio Alfonso Patzan Chitay**.
Identificado con número de carné: **2263709170108**.
Identificado con registro académico: **201403530**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (Yucca elephantipes) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

César Ariel Villela Rodas, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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.



C.c.: archivo

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

William Eduardo Fagiani Cruz
Profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

**INGENIERO QUÍMICO
WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ
COL. 1734**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica
EIQD-REG-SG-007

Guatemala, 31 de agosto de 2020.

Ref. EIQ.230.2020

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (*Yucca elephantipes*) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA** del(la) estudiante Sergio Alfonso Patzan Chitay, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Williams G. Álvarez Mejía, M.I.Q.
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939

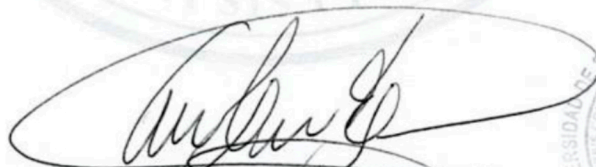


NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA

DTG. 202.2020.

La Decana 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: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SHAMPOO A BASE DE EXTRACTO CRUDO DE SAPONINAS, OBTENIDO A PARTIR DEL TALLO DE IZOTE (Yucca elephantipes) A NIVEL DE LABORATORIO, PROVENIENTE DE MIXCO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Alfonso Patzan Chitay**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por su infinita grandeza.

Mis padres

Por ser una guía y motivación para superarme cada día en todos los aspectos de mi vida, por su amor incondicional, paciencia, comprensión y apoyo.

Mis hermanos

Rosa Alva, Mario Roberto, Cristóbal Andrés, Sandra Piedad, Néstor Alejandro, Ana Mercedes Patzán. Por ser una importante influencia en mi vida.

Mis sobrinos

Sandy Mishel, Karen Anahí, Héctor Jacob Patzan, por su cariño incondicional

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por tenerme paciencia, por brindarme su ayuda y amor a lo largo de la carrera.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, y ser parte de mi vida profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme de sus conocimientos.
Mi familia	Por apoyarme incondicionalmente y permitirme alcanzar este logro.
Mi asesor	Por apoyarme y brindarme el tiempo necesario para el desarrollo del presente trabajo.
Mis amigos	Por ayudarme en el desarrollo de mi tesis, en el desarrollo de la carrera y mi vida personal

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE SÍMBOLOS	IIX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Izote (<i>Yucca elephantipes</i>).....	7
2.1.1. Características botánicas del izote (<i>Yucca elephantipes</i>).....	8
2.1.2. Usos del izote	9
2.1.3. Distribución geográfica del izote.....	10
2.1.4. Fruto del izote (flor de izote)	10
2.2. Saponinas	11
2.2.1. Características generales de las saponinas	12
2.2.2. Clasificación química de las saponinas	13
2.2.2.1. Saponinas triterpenoides	13
2.2.2.2. Saponinas esteroidales	14
2.2.3. Importancia de las saponinas.....	14
2.2.4. Fuentes comerciales de saponinas	15
2.2.5. Extracción.....	18

	2.2.5.1.	Métodos de extracción y purificación de saponinas	19
	2.2.6.	Métodos de análisis para la cuantificación de las saponinas mediante espectrofotometría	21
	2.2.6.1.	Índice de espuma	21
2.3.		Shampoo.....	22
	2.3.1.	Propiedades fisicoquímicas del shampoo	23
	2.3.1.1.	El efecto del potencial de hidrógeno en el shampoo.....	23
	2.3.1.2.	Viscosidad del shampoo.....	24
	2.3.1.3.	Capacidad espumante de un shampoo.....	24
	2.3.2.	Tensoactivos	25
	2.3.3.	Tensoactivos naturales	26
	2.3.3.1.	Ventajas de tensoactivos naturales.....	26
	2.3.3.2.	Desventajas de tensoactivos naturales.....	27
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
	3.1.	Variables	29
	3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	29
	3.3.	Recursos humanos	30
	3.4.	Recursos materiales	30
	3.4.1.	Equipo y cristalería.....	30
	3.4.2.	Reactivos y materia prima.....	30
	3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa.....	31
	3.5.1.	Extracción del crudo de saponinas	31
	3.5.2.	Prueba de identificación de saponinas (prueba de altura de espuma)	32

3.5.3.	Formulación del shampoo	32
3.5.4.	Procedimiento para la determinación de la eficiencia de lavado	34
3.5.5.	Prueba de altura y consistencia de espuma de shampoo.....	35
3.5.6.	Procedimiento para la determinación de la densidad del shampoo.....	35
3.5.7.	Procedimiento para determinación de la viscosidad del shampoo	36
3.6.	Análisis estadístico	37
3.6.1.	Número de repeticiones recomendadas.....	51
4.	RESULTADOS.....	53
4.1.	Concentración de saponinas obtenido y prueba de identificación.....	53
4.2.	pH de las formulaciones de shampoo	55
4.3.	Viscosidad de las formulaciones de shampoo.....	57
4.4.	Densidad de las formulaciones de shampoo.....	58
4.5.	Altura de espuma de las formulaciones de shampoo	59
4.6.	Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo	60
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	63
5.4.	Densidad de las formulaciones de shampoo.....	67
5.5.	Altura de espuma de las formulaciones de shampoo	68
5.6.	Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo	69

CONCLUSIONES.....71
RECOMENDACIONES.....73
BIBLIOGRAFÍA.....75
APÉNDICES.....81
ANEXOS.....97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	<i>Yucca elephantipes</i> (izote)	7
2.	Izote (<i>Yucca elephantipes</i>)	8
3.	Elaboración de textiles a partir de las hojas de la <i>yucca elephantipes</i>	9
4.	Flor de izote en estofado y en conserva.....	11
5.	Estructura de la saponina triterpenoide de <i>Quillaja saponaria</i>	12
6.	Fuentes comerciales de saponinas. A) <i>Yucca schidigera</i> , B) “Palo de jabón”, <i>Quillaja saponaria</i>	16
7.	Corteza de quillay y tanques evaporadores para la obtención del extracto acuoso de saponinas.....	17
8.	Ensayo de espuma en <i>Furcraea hexapetala</i>	22
9.	Shampoo a base de quinua	23
10.	Distribución de Fisher del pH al inicio en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	40
11.	Distribución de Fisher de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	43
12.	Distribución de Fisher de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	45
13.	Distribución de Fisher de la altura de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	47
14.	Distribución de Fisher de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	49

15.	Prueba de identificación de altura de espuma para saponinas en cada uno de los lotes obtenidos del tallo de <i>yucca elephantipes</i> en función del tiempo	54
16.	pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	55
17.	pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	56
18.	Viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	57
19.	Densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	58
20.	Análisis de la altura de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	60
21.	Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	61

TABLAS

I.	Variables.....	29
II.	Equipo y cristalería utilizado	30
III.	Porcentaje en masa de las formulaciones de shampoo	33
IV.	Concentración del extracto crudo de saponinas de cada uno de los lotes obtenidos del tallo de <i>yucca elephantipes</i>	38
V.	Análisis de la prueba de identificación de saponinas en cada uno de los lotes obtenidos del tallo de <i>yucca elephantipes</i>	38
VI.	Análisis del pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	39
VII.	Anova del pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	39

VIII.	Comparaciones en parejas de Tukey para el pH Inicial en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %	40
IX.	Análisis del pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	41
X.	Anova del pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	41
XI.	Análisis de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	42
XII.	Anova de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	42
XIII.	Comparaciones en parejas de Tukey para la viscosidad en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %	43
XIV.	Análisis de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	44
XV.	Anova de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	44
XVI.	Comparaciones en parejas de Tukey para la densidad en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %	45
XVII.	Análisis de la altura y consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	46
XVIII.	Anova de la altura y consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	46
XIX.	Comparaciones en parejas de Tukey para la altura de espuma en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %	47

XX.	Análisis de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	48
XXI.	Anova de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas	48
XXII.	Comparaciones en parejas de Tukey para la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %	49
XXIII.	Resumen de resultados de análisis Anova	50
XXIV.	Concentración de saponinas obtenido de la extracción de los lotes de <i>yucca elephatipes</i>	53
XXV.	Consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas.....	59
XXVI.	Color de cada una de las formulaciones.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
cP	Centipoise
R^2	Coefficiente de correlación
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
F	Fisher
°C	Grados centígrados
g	Gramo
\bar{x}	Media aritmética
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
T	Texapon
σ^2	Varianza
μ	Viscosidad dinámica

GLOSARIO

Cuantificar	Acto de convertir determinada información o datos en números o algún tipo de dato en forma de cantidad.
Emulsificador	Agente superficial activo que facilita la mezcla de dos o más sustancias líquidas que se separarían en sus partes componentes en condiciones normales.
Extracción	Técnica la cual consiste en separar de una mezcla de sustancias por disolución cada componente, sirviéndose de uno o más solventes, donde usualmente siempre se obtienen, por lo menos, dos componentes: el extracto y el residuo.
Fase	Cada una de las partes macroscópicas de una composición química y propiedades físicas homogéneas que forman un sistema.
Hidroalcohólico	Formado por una mezcla de agua y alcohol. Relativo o concerniente al alcohol y al agua. Se aplica en particular a los extractos o tinturas obtenidos de plantas, extrayendo primero con agua, dejando evaporar esta y extrayendo seguidamente con alcohol.

Lavado	Es una de las formas de conseguir la limpieza, usualmente con agua más algún tipo de jabón, detergente o agente limpiador.
Materia prima	Todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final.
Shampoo	Es un producto cosmético el cual está constituido por uno o varios agentes tensoactivos y coadyuvantes que permite eliminar residuos de secreciones sebáceas, sudoríparas y suciedad. Con el fin de cuidar y proteger el cabello.
Tensoactivo	(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

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de evaluar las propiedades fisicoquímicas de un shampoo formulado a base del extracto crudo de saponinas, obtenido mediante una extracción sólido-líquido del tallo de izote (*Yucca elephantipes*) a nivel laboratorio. Así, también cuantificar las saponinas presentes en el tallo de la planta.

Para lo cual, se utilizó el tallo de la *Yucca elephantipes* procedente del municipio de Mixco, departamento de Guatemala. El tallo obtenido se secó, pulverizó y tamizó con el fin de eliminar material orgánico indeseado y reducir el tiempo de extracción. Luego se sometió a un proceso de lixiviación, macerando en forma estática durante 72 horas, utilizando alcohol etílico al 70 % como solvente. El extracto hidroalcohólico producido se concentró en baño María a una temperatura no mayor de 40 °C, obteniendo una pasta color marrón, formada por el extracto crudo de saponinas. La cuantificación de saponinas se basa en la reacción de anisaldehído, ácido sulfúrico y acetato de etilo, con lo que se forma un cromóforo, con un pico de máxima absorbancia a una longitud de onda de 430 nm para las saponinas, con la cual se pudo estimar que como resultado se obtuvo una concentración de $3,3064 \pm 0,7405$ % de saponinas totales.

Posteriormente, se prepararon cinco formulaciones distintas del shampoo, variando la concentración de crudo de saponinas, desde un 10 % en masa del extracto para la primera formulación, hasta un 25 % en masa para la cuarta, y además una quinta formulación con un 25 % del extracto y un 2 % de texapon. Esto con la finalidad de evaluar el pH, densidad y viscosidad en las formulaciones al variar la concentración de extracto.

El aumento en la concentración de extracto de saponinas en las formulaciones presenta una reducción de su acidez, posiblemente debido a la mayor presencia de saponinas esteroidales las cuales poseen regiones polares que atraen iones hidronio de la mezcla. La viscosidad tiende a disminuir al aumentar la concentración de extracto en las formulaciones, lo cual posiblemente se debe a que, como surfactantes, las saponinas generan mayor cohesión entre las partículas de la mezcla dificultando su capacidad de fluir.

La densidad de las formulaciones realizadas de shampoo disminuye al aumentar la concentración de extracto de saponinas. Lo cual posiblemente se debe al ajuste en la acidez, el cual pudo provocar que las moléculas de saponinas se partieran formando estructuras de más pequeñas afectando la compactación de la mezcla al reducir su tamaño. La altura de espuma, aumentando a mayor cantidad y concentración de extracto, puede deberse probablemente a que las saponinas, al entrar en contacto con el agua, provocan la disminución de la tensión superficial, y al agitarse forman burbujas que colapsan al pasar el tiempo. La eficiencia de lavado aumenta a mayor concentración de extracto de saponinas, lo cual posiblemente se debe a que las saponinas poseen una propiedad tensoactiva logrando así disolver y remover la grasa.

El estudio se llevó a cabo a condiciones ambientales, en el laboratorio de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Definición

Se sabe que el izote es una fuente de saponinas, las cuales son tensoactivos importantes ayudando a emulsificar y disolver las grasas, por lo cual se busca elaborar y evaluar las propiedades fisicoquímicas de un shampoo a base de estas. Sin embargo, no existe suficiente información válida que confirme la obtención de un producto, así como la eficiencia de limpieza, disolviendo y removiendo las grasas, diferenciándose de otros tensoactivos sintéticos en la formulación de un shampoo para el cabello.

- Formulación

- Pregunta general

¿Cómo se verán afectadas las propiedades fisicoquímicas de un shampoo a base de extracto crudo de saponinas al variar la concentración de estas?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la concentración de saponinas presentes en el extracto crudo obtenido del tallo de izote?
- ¿Cómo se verán afectadas las propiedades fisicoquímicas de pH, viscosidad y densidad de un shampoo a base de extracto crudo de saponinas al variar la concentración de estas?

- ¿Cómo la concentración de extracto crudo de saponinas afectará la eficiencia de limpieza?

Delimitación

Para resolver el problema se estudiará un shampoo preparado con saponinas extraídas del tallo de izote recolectado en Mixco, Guatemala, a condiciones ambientales (aproximadamente 25 °C y 0,84 atm) y a una preparación estándar.

OBJETIVOS

General

Evaluar las propiedades fisicoquímicas del shampoo a base de extracto crudo de saponinas, obtenido del tallo de izote (*Yucca elephantipes*) mediante extracción sólido-líquido, al variar la concentración de extracto crudo en la formulación del shampoo a nivel de laboratorio. Para darle valor comercial al izote en la industria cosmética.

Específicos

1. Cuantificar la concentración de saponinas presentes en el extracto crudo obtenido del tallo de izote (*Yucca elephantipes*) mediante espectrofotometría.
2. Formular shampoo a base del extracto crudo de saponinas obtenido del tallo de izote (*Yucca elephantipes*) y evaluar la variación de las propiedades fisicoquímicas de pH, viscosidad y densidad de este al variar la concentración del extracto, mediante análisis de varianza y pruebas de Tukey.
3. Valorar la eficiencia de limpieza del shampoo a base de extracto de crudo de saponinas obtenido del tallo de la planta de izote, mediante pruebas de lavado en muestras de cabello.

HIPÓTESIS

Hipótesis científica

Las propiedades fisicoquímicas, así como la eficiencia de lavado del shampoo formulado a base de extracto crudo de saponinas, obtenido del tallo de Izote (*Yucca elephantipes*), se ve afectado significativamente por la concentración del extracto en la formulación del shampoo.

Hipótesis estadísticas

Hipótesis nulas:

- $(H_0)_1$: el pH no varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_2$: la viscosidad no varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_3$: la densidad no varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_4$: la altura de espuma no varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.

- $(H_0)_5$: la eficiencia de la limpieza y lavado del cabello no varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.

Hipótesis alternativas:

- $(H_0)_1$: el pH varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_2$: la viscosidad varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_3$: la densidad varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_4$: la altura de espuma varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.
- $(H_0)_5$: la eficiencia de la limpieza y lavado del cabello varía significativamente en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.

INTRODUCCIÓN

El propósito principal de este trabajo es la elaboración de shampoo a base de extracto crudo de saponinas, obtenido del tallo de la planta de izote (*Yucca elephantipes*) y así evaluar las propiedades fisicoquímicas de pH, viscosidad y densidad. Así también cuantificar la concentración de saponinas presentes en el extracto crudo obtenido y valorar la eficiencia de lavado del shampoo.

El presente informe está estructurado en cinco capítulos siendo estos los siguientes:

Como primer capítulo se tienen los antecedentes generales, en dicho capítulo se hace una breve recopilación de estudios realizados en torno al tema de investigación, como lo pueden ser artículos, otros estudios y tesis que se relacionan con el tema y ayudan a darle soporte.

En el siguiente capítulo, marco teórico, se describe lo relacionado con la planta de izote, desde sus características botánicas, su uso y la distribución geográfica en el país. Así también se describen las características químicas generales de las saponinas, su clasificación, su importancia, estas como fuentes comerciales y los diversos métodos de extracción y análisis para la identificación de estas. Por último, se describe el shampoo, las propiedades fisicoquímicas de pH, densidad, viscosidad y su capacidad espumante, así como la importancia de tensoactivos naturales para la elaboración de estos.

En el tercer capítulo, diseño metodológico, se delimita el campo de estudio, las variables a analizar, los recursos materiales y humanos necesarios para así

llevar a cabo el estudio. Además, en este capítulo se detallan todos los métodos utilizados para la realización de la parte experimental del estudio. Por último, se detalla el ordenamiento, tratamiento y análisis estadístico de los datos obtenidos del estudio.

En los capítulos cuatro y cinco, se presenta todo lo relacionado a los resultados obtenidos. En el capítulo cuatro se presentan tablas, gráficas, figuras y ecuaciones obtenidas de los resultados del experimento. En el capítulo cinco se realiza una interpretación de los resultados obtenidos, en la cual se discuten las tendencias, datos, rangos, errores e hipótesis. Así como posibles causas que pueden afectar a la obtención de resultados esperados.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala, las saponinas provenientes de plantas como el izote (*Yucca elephantipes*) han sido muy poco explotadas, por esta razón la utilización de estas en la industria de cosméticos es algo desconocida, a pesar de su accesibilidad.

El principal factor, ha sido el desconocimiento de las saponinas, así como las técnicas de extracción las cuales muestran ser un poco complejas y extensas. La diversidad de aplicaciones que estas sustancias tienen en la industria son muchas, las principales industrias que utilizan saponinas son: la industria farmacéutica, cosmética, agroindustrial entre otras. Entre los estudios realizados relacionados al tema de investigación son los siguientes.

En la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Américas (Ecuador). Se realizó el estudio titulado *Determinación de un método eficiente para la extracción de saponinas producidas durante el lavado de quinua (Chenopodium quinua) y su uso como tensoactivo en la elaboración de shampoo*. El objetivo principal del estudio tuvo como finalidad la optimización de un método de extracción de las saponinas en el lavado de la quinua y evaluar su capacidad tensoactiva en la elaboración de shampoo. Para la extracción de saponinas se utilizó el agua de lavado de quinua, sometiendo cada muestra del lavado a una agitación de 700 rpm, analizando los factores de tiempo y temperatura.

La cuantificación de saponinas extraídas a partir del lavado de la quinua fue realizada por el método espectrofotométrico, propuestos por Monje, Yarko y

Raffaillac. Para la elaboración del shampoo se desarrollaron dos fórmulas, en la primera formulación se empleó Texapon como tensoactivo, mientras que para la segunda se utilizó saponinas como sustituto de Texapon, esto con el fin de comparar la eficiencia de ambos surfactantes en la formulación. Para el análisis de resultados en las pruebas de shampoo se utilizó un estudio que clasifica la altura de espuma, así como su estabilidad en el lavado del cabello. Mostrando mejor desempeño la fórmula a base de Texapon.¹

En 2017 se realizó un estudio titulado “*Determinación de la rentabilidad del proceso de extracción de saponinas provenientes de Quillay mediante líquidos iónico*”. El principal objetivo del estudio es determinar un solvente más eficiente en la extracción de saponinas. Por lo cual, se estudian soluciones iónicas como las de ácidos cítricos y cloruro de colina. Para estudiar el proceso se determinó experimentalmente la concentración máxima de extracto por obtener por líquido iónico y posteriormente el coeficiente de reparto, que se obtiene de separar las saponinas del líquido iónico con otro disolvente en este caso Acetonitrilo. Se determinó que el extracto alcanza una concentración 3,5 veces mayor a la alcanzable con agua a las mismas condiciones, con respecto al coeficiente de reparto no se pudo determinar experimentalmente usando acetonitrilo.²

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se desarrolló el estudio a nivel de licenciatura, titulado. “*Reformulación de shampoo mediante la adición de agentes espesantes, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos*”.

¹ TRUJILLO, Román y VALENCIA, Jairo. *Determinación de un método eficiente para la extracción de saponinas producidas durante el lavado de quinua (Chenopodium quinua)*. p. 64-75.

² CASTRO, Martín y DEL VALLE, Omar. *Determinación de la rentabilidad del proceso de extracción de saponinas provenientes de Quillay mediante líquidos iónicos*. p. 44-45.

En la cual se analizó el aumento en la viscosidad en un shampoo mediante reformulaciones y mejoras en el proceso, con el fin de reducir la cantidad de recursos utilizados. Para lo cual se utilizaron 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 la cual se determinó, con base a los resultados experimentales que el Alkont EL 3645, es el mejor espesante utilizado. 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.³

La Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, publicó *Estudio comparativo de tres metodologías cuantitativas de extracción de saponinas de la melisa officinalis "Toronjil"*. Para el estudio se desarrollaron tres metodologías cuantitativas para la extracción de las saponinas a partir de un extracto hidroalcohólico de la planta y su posterior hidrólisis. La diferencia de los dos primeros métodos consistía en emplear un método con la muestra desengrasada con cloroformo y el otro sin desengrasar, y para el tercer método se aplicó el procedimiento según M.E. Wall. Posteriormente, se identificó la concentración de saponinas triterpenoides utilizando pruebas cualitativas como la prueba de espuma, Salvosky, reactivo de Liebermann-Bouchard y reacción con el ácido sulfúrico. Los resultados obtenidos del porcentaje de extracción de saponinas fueron 3,90 %, 2,40 % y 2,02 % respectivamente a las tres metodologías realizadas.⁴

En la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Se realizó el estudio de tesis a nivel de

³ MORALES, Karen. *Reformulación de shampoo mediante la adición de agentes espesantes, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos*. p. 22.

⁴ FLORES., Julio, HUAMÁN, Leonel y TOMAS, Eduardo. *Estudio comparativo de tres metodologías cuantitativas de extracción de saponinas de la melisa officinalis "Toronjil"*. p. 34.

doctorado *Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de Chenopodium quinua wild provenientes del noreste argentino*. Los objetivos del estudio fueron determinar las condiciones óptimas de extracción de las saponinas de los frutos de la *Chenopodium quinua wild*, por los métodos de extracción asistida con microondas y la extracción de esta sustancia a alta presión, para permitir una extracción eficiente en un tiempo breve comparado con los métodos tradicionales, como lo son el de extracción Soxhlet. Se realizó un análisis comparativo de los rendimientos de extracción antes mencionados con los métodos Soxhlet, mostrando como resultado que el mayor rendimiento extractivo y menor tiempo de extracción es el método con presiones altas (HPSE). Así también se compararon algunos métodos de purificación de saponinas. En forma experimental se realiza la purificación por extracción con solventes y recuperación de las saponinas sólidas con un evaporador rotatorio, se obtuvo una pureza del 96,3 %.⁵

El libro de resúmenes del V Congreso Mundial de Medicina Tradicional, publico el estudio titulado *Extracción y estudio fitoquímico de saponinas de Chenopodium "Quinoa"*. Realizado en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú). En donde el material biológico por analizar fue la cascarilla de los granos de *Chenopodium quinua wild*. Las saponinas se obtuvieron por medio de una extracción en agua (100 % V/V) con una purificación de 8,75 veces y con un rendimiento de 12,32 %, el producto obtenido reaccionó fuertemente en las pruebas de Liebermann-Buchard.

Lo que sugiere que el producto obtenido se encuentra bajo la forma de saponinas triterpenoides. Por lo cual, se determinó que la cascarilla de la

⁵ GIANNA, Vicente. *Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de Chenopodium quinua wild provenientes del noreste argentino*. p. 87.

quinua constituye una fuente económica y de viabilidad para la obtención con fines industriales y de investigación.⁶

El XVII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Químicos Cosméticos (COLAMIQC) llevado a cabo en Cusco, Perú presentó el estudio titulado *Extracción de saponinas de Chenopodium quinua para su utilización en la elaboración de productos cosméticos*. En el cual se detalla el proceso de extracción de saponinas a partir de la cascarilla de quinua, para lo cual se tomó una muestra de 30 g a la cual se le agregó 330 mL de agua destilada y se agitó durante 5 min. Se filtró el extracto por extrusión, seguido de una filtración con papel filtro. El extracto obtenido se concentró a baño María a 70 °C por 2 días. Las saponinas fueron identificadas por la reacción de Liebermann-Burchard. El contenido de saponinas se cuantificó por espectroscopia de absorción obteniendo un rendimiento de saponinas de 10 %.

Se elaboraron dos fórmulas de shampoo a base del extracto de saponinas obtenido, las cuales contenían el mismo porcentaje de extracto sólido de saponinas en la formulación, siendo la única diferencia en que a una de las muestras se le agregó un agente tensoactivo adicional (Texapon). Para evaluar la capacidad de lavado de los shampoos, se tomó una muestra de cabello, la cual se untó con manteca y se procedió al lavado con el shampoo por analizar, dejando secar la muestra de cabello. El porcentaje de grasa perdido luego de la prueba de lavado es la forma de evaluar los shampoos. Mostrando un porcentaje de lavado de 74,22 % en comparación con el 51,16 % obtenido por la formulación sin tensoactivo.⁷

⁶ SOLÍS, Estuardo., CHÁVEZ, Julián., CERNA Macario y MUÑOZ, Daniel. *Extracción y estudio fitoquímico de saponinas de Chenopodium "Quinua"*. p. 84.

⁷ TARANCO, Tomas., SOLIS, Estuardo., CHAVEZ, Julián y PEÑA, Carlos. *Extracción de saponinas de Chenopodium quinua para su utilización en la elaboración de productos cosméticos*. p. 64.

En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó el estudio *Cuantificación de saponinas esteroideas en yucca elephantipes (Flor de Izote)*. En donde se analizó la flor, tallo y hojas de la yucca, realizando diferentes ensayos, para la determinación de saponinas esteroideas, y así evaluar si dicha especie pudiese constituir fuente potencial de materia prima para la síntesis de hormonas sexuales, esteroides, vitamina D y diuréticos. Entre las pruebas realizadas se encuentran las siguientes: Test de espuma, hemólisis, cromatografía de capa fina entre otros. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la *yucca elephantipes* posee un porcentaje mayor de 0,1 % de saponinas esteroideas. La flor posee el mayor porcentaje 10,57 %, seguido por el tallo 10,28 % y las hojas 9,83 %.⁸

⁸ LURSEEN, Lilian. *Cuantificación de saponinas esteroideas en Yucca elephantipes (Flor de izote)*. p. 67.

2. MARCO TEÓRICO

Para una mejor comprensión del tema se mencionará la información más relevante de las saponinas y el shampoo, así como también la formulación y las propiedades fisicoquímicas por evaluar.

2.1. Izote (*Yucca elephantipes*)

Plantas usualmente arbóreas, con una corona delgada, y unas pocas ramas delgadas pequeñas, el tronco y partes inferiores de las ramas desnudas, la corteza bastante áspera; hojas como daga, rígidas y duras, de un metro de longitud o usualmente más cortas, con márgenes ásperos, con punta muy afilada; flores blancas o blanco cremoso, campanuladas. De aproximadamente 4 cm de largo, fruto carnoso, oblongo-ovoide, con caraza blanca o amarillenta y un corazón con consistencia de papel.

Figura 1. *Yucca elephantipes* (izote)



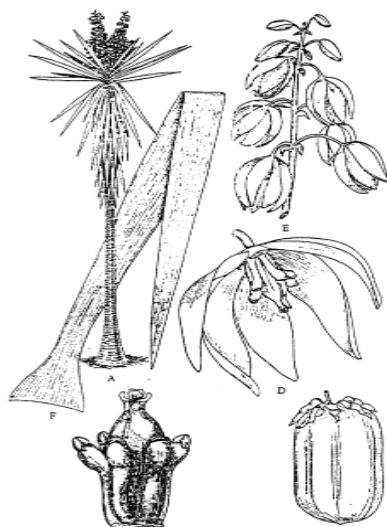
Fuente: Vivero . *Yucca Elephantipes*. <https://www.viverosvaleroehijos.com/language/es/yucca-elephantipes> Consulta 8 de abril de 2018

2.1.1. Características botánicas del izote (*Yucca elephantipes*)

Clasificación botánica:

- Reino: vegetal
- Subreino: Embriobionta
- División: Magnoliofita
- Clase: Liliósida
- Subclase: Liliade
- Orden: Liliales
- Familia: Liliaceae
- Género: yucca
- Especie: *Yucca elephantipes*
- Nombre común: izote

Figura 2. Izote (*Yucca elephantipes*)



Fuente: Árbol de izote, *yucca guatemalensis*.

<https://zoom50.wordpress.com/2010/05/03/arbol-de-izoteadam%E2%80%99s-needle-yucca-elephantipes/> consulta 8 de abril de 2018.

2.1.2. Usos del izote

El árbol es ornamental, y por dicha razón regularmente es plantada en casas, especialmente para construir cercados, así como para la delimitación de terrenos en la cual ha sido su principal utilización en la mayoría de los departamentos del país. En algunas regiones, esta es plantada como bosquecillos para prevenir la erosión del suelo. La mayoría de las plantas está quizás entre 3 a 4 metros de altura.

La mayoría de los hogares del interior del país ha utilizado este tronco fibroso como combustible, además de sus hojas las cuales son alimento para el ganado vacuno y porcino. Otro uso que se ha encontrado de las hojas es como materia prima para la elaboración de textiles, comunidades como Zumpahuacán (México), han explotado esta materia para la elaboración de diversidad de textiles.

Figura 3. **Elaboración de textiles a partir de las hojas de la *yucca elephantipes***



Fuente: Clarin. *Izote, historia de una fibra textil*, https://www.clarin.com/entremujeres-mexico/investigacion_mexicanas_0_NkK7jHmgZ.html, Consulta 8 de abril de 2018.

2.1.3. Distribución geográfica del izote

Regularmente se han visto arriba de los 1 700 msnm o posiblemente a un nivel mayor; Se puede encontrar en el país en los departamentos de Petén; Alta Verapaz; Jalapa; Escuintla; Huehuetenango; San Marcos; probablemente en la mayoría de los departamentos, ya que es una planta que soporta muy bien los climas secos, así como los húmedos, adaptándose a la mayoría de microclimas que se tienen en Guatemala.

Conocida en Costa Rica como “Itabo”, un nombre indio, pero casi en todas partes de América Central se conoce como “izote”, una palabra derivada del nahuatl que significa jabón. Su territorio abarca desde el norte de México en el desierto de Sonora, distribuida en cultivos en América Central, hacia el sur por lo menos en Costa Rica.

2.1.4. Fruto del izote (flor de izote)

Las suculentas flores son utilizadas como alimento. Estas tienen un leve sabor amargo pero un sabor agradable finalmente, y constituye un vegetal apetitoso. Usualmente son sumergidas en huevo y fritas, o mezcladas con trozos de carne, y algunas veces con otros vegetales para preparar ensalada.

Actualmente en algunos supermercados ya se puede encontrar la flor de izote en conserva. Cabe resaltar que la flor de izote fue declarada flor nacional de El Salvador en 1939.

Figura 4. Flor de izote en estofado y en conserva



Fuente: Árbol de izote, *yucca guatemalensis*.

<https://zoom50.wordpress.com/2010/05/03/arbore-de-izoteadam%E2%80%99s-needle-yucca-elephantipes/> consulta 8 de abril de 2018.

2.2. Saponinas

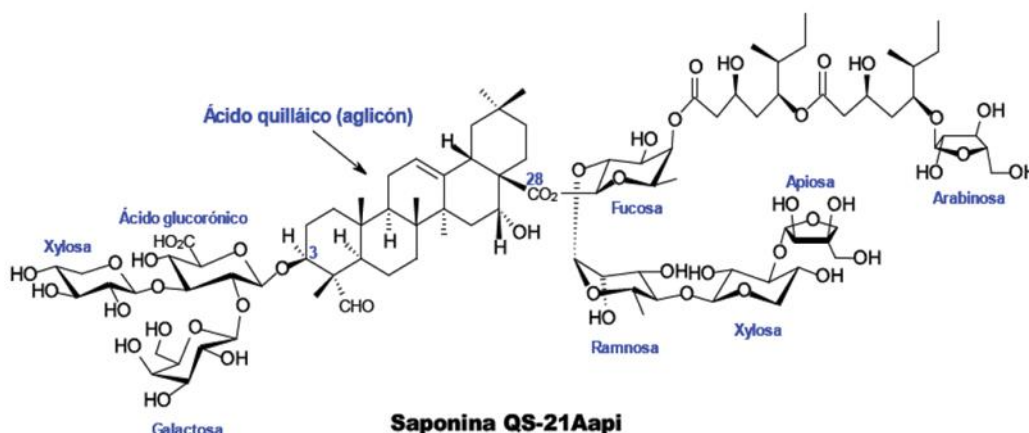
Las saponinas son un grupo de glucósidos (sustancias orgánicas donde la función carbohidrato está formada de una o más moléculas de monosacáridos, están combinados con más grupos no azucarados, son fácilmente hidrolizables por la acción de enzimas o ácidos) que se disuelven en agua y disminuyen la tensión superficial de esta. Por lo tanto, tiene la propiedad de producir espuma abundante, y relativamente estable. Al hidrolizar saponinas se obtienen carbohidratos y agliconas, llamada generalmente sapogenina, la cual puede tener una estructura esteroideal o de triterpeno.⁹

⁹ DOMÍNGUEZ, Ximena. *Métodos de investigación fitoquímica*. p. 221.

2.2.1. Características generales de las saponinas

Constituidas por grandes moléculas orgánicas las saponinas pueden ser de tipo, esteroidales o triterpénicas, así como también pueden estar unidas a una o más moléculas, por lo que contiene los elementos necesarios para disolver o emulsificar la grasa: Una parte lipofílica, que es el esteroide o el triterpeno, por medio del cual se unirá la grasa y una parte hidrofílica, que es el azúcar (pentosas, hexosas o ácidos urónicos) por medio del cual se unirá el agua.

Figura 5. Estructura de la saponina triterpenoide de *Quillaja saponaria*



Fuente: Kim, James. *Enciclopedia de tecnología química*. p. 345.

Los dos tipos de saponinas presentan ciertas propiedades distintivas que sirven de base para su identificación rápida: a) Sabor amargo, b) Producción de espuma al ser agitadas en soluciones acuosas, c) Producción de hemólisis de los glóbulos rojos, d) Toxicidades en animales de “sangre fría”, en especial los peces (sapotoxinas), a los cuales les provocan parálisis de las agallas. La mayoría de las saponinas son solubles en diferentes grados en soluciones de alcohol-agua,

propiedad que se emplea en diversas técnicas de extracción y purificación, f) Producción de reacción positiva en la prueba de Liebermann-Burchard. Por lo general, las saponinas esteroidales en esta prueba manifiestan colores varían desde el azul hasta el verde y las triterpénicas, rosado, rojo o violeta.¹⁰

2.2.2. Clasificación química de las saponinas

Las saponinas se subdividen en saponinas esteroidales y saponinas triterpénicas; a su vez, las saponinas esteroidales se subdividen principalmente en derivados del estirostano y derivados del furostano.

2.2.2.1. Saponinas triterpenoides

Las saponinas triperpenoides se encuentran rara vez en las plantas monocotiledóneas, pero son abundantes en muchas de las dicotiledóneas, especialmente en *Caryophyllaceae*, *Sapindaceae*, *Polygalaceae* y *Sapotaceae*.

Las saponinas triterpenoides corresponden a un largo grupo de compuestos que poseen un arreglo de cuatro o cinco anillos; o 30 carbonos con unos cuantos oxígenos unidos.¹¹ Los triterpenos son constituidos a partir del isopreno (C5) por medio de la vía del mevalonato citosolico para formar un compuesto de treinta carbonos. Todas las moléculas triterpénicas se derivan del dammarano y se subdividen en pentacíclicas y tetracíclicas. Las saponinas triterpénicas pentacíclicas son más frecuentes y pueden ser derivadas del oleano o del ursano. Las saponinas triterpénicas tetracíclicas conservan la estructura básica de dammarano, con 3 anillos de carbono y uno de 5.

¹⁰ DEWICK, Paul. Medical natural products a biosynthetic approach. p. 167-241.

¹¹ HERNÁNDEZ, Roberto. *Obtención de crudo de saponinas hipocolesteromizantes del Chenopodium quinua Wild.* p. 25-37.

2.2.2.2. Saponinas esteroidales

Las saponinas esteroidales están menos distribuidas en la naturaleza, en comparación con las saponinas triterpenoides. Se encuentran en muchas familias monocotiledóneas; especialmente en la dioscoreaceae. Se sintetiza también por la ruta del ácido mevolánico. Este tipo de saponinas se subdividen en dos grupos principales; los derivados del espirostanos y los derivados del furostanos.¹²

Los derivados del espirostanos son estructuras hexacíclicas de 27 carbonos. Su estructura deriva del ciclopentanoperhidrofenantreno con dos heterociclos de 5 y 6 miembros y una cadena lateral en la posición 17. Los derivados del furostanol poseen un ciclo menos que es espirostanos, pero también tienen un esqueleto de 27 carbonos. Es decir, aquellas saponinas en las cuales el anillo que se encuentra abierto es el F, con lo cual se consideran precursores biosintéticos de las saponinas derivadas del espirostanos.¹³

2.2.3. Importancia de las saponinas

Antes de que el hombre creara la industria del jabón, se usaban jabones naturales, conocidas por las antiguas culturas prehispánicas de América. Ejemplo de esto es el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) árbol utilizado en México como sustituto del jabón, los chilenos poseen el árbol de Quillay (*Quillaja saponaria*) y los países centro americanos poseen el árbol comúnmente llamado Jaboncillo (*Sapindus saponaria*) los cuales son ejemplo de cómo durante años han sido utilizadas las plantas en sus propiedades de hacer espuma como jabones y shampoos para el cuidado del cabello.

¹² HOSTETTMANN, Kurt y MARSTON, Arthur. *Chemistry and pharmacology of natural products*. p. 26.

¹³ YANG, Chen., ZHANG, Yu. Y JACOB Michel. *Antifungal activity of C27 steroidal saponins, Antimicrobial and chemotherapy*. p. 45.

Aun en la actualidad en muchas comunidades rurales de América emplean plantas para el lavado y cuidado tanto de la ropa como de limpieza personal. Las saponinas se encuentran altamente distribuidas en el reino vegetal donde se pueden encontrar en hojas, raíces, tallos y flores. Dentro de las plantas comestibles que contiene este tipo de sustancias, se encuentran las siguientes: soya, alfalfa, espinacas, flor de diversidad de yucas entre otras. Debido a que las saponinas solo son absorbidas en cantidades mínimas por el intestino, actúan especialmente en la luz del tracto gastrointestinal. Se les atribuye un efecto protector del cáncer de estómago e intestinos.

Las saponinas presentes en las legumbres actúan sobre determinados tipos de células haciendo que se produzcan anticuerpos. Las saponinas tienen la capacidad de captar y combinarse con el colesterol alimenticio dentro del organismo intestinal, e impedir llegar a la sangre. Además, se puede captar también ácidos biliares primarios y facilitar su eliminación del cuerpo.¹⁴ Las saponinas se producen industrialmente y poseen variedad de usos como; agentes emulsionantes de grasas y aceites, protector de sustancias coloidales, elaboración en pastas dentales, emulsificador en la industria fotográfica. Se agrega a las bebidas para la espuma y en extinguidores de incendios.¹⁵

2.2.4. Fuentes comerciales de saponinas

Diversidad de plantas desérticas poseen un alto contenido de saponinas. Las dos principales fuentes comerciales de saponinas son *Yucca schidigera* (figura 6a), que crece en el árido desierto mexicano, y *Quillaja saponaria* (figura 6b), un árbol que se encuentra en Chile, Perú y Bolivia.

¹⁴ PALENCIA, Miguel. *sustancias bioactivas en los alimentos*. p. 93.

¹⁵ TOCAL, Carlos y ROSENDE, Jimena. *Química y bioquímica de hierbas*. p. 87.

Figura 6. Fuentes comerciales de saponinas. A) *Yucca schidigera*, B) “Palo de jabón”, *Quillaja saponaria*



Fuente: Samariego, Juan Fernando. *Diseño y formulación de champú a base de extracto de alcohol de Urtica urens*, p. 85.

Las yucas en México se recolectan y se transportan a plantas procesadoras donde se macera el tronco y se estruja en una prensa produciendo jugo de yuca. Se concentra por evaporación el jugo y se obtiene el extracto de yuca.¹⁶ Según datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por cada tonelada de troncos de *Yucca schidigera* se obtienen entre 200 y 400 L de jugo que es fuente de saponinas.¹⁷

Para la obtención de saponinas a partir de *Quillaja saponaria*, se emplea la corteza seca en la cual se ha reportado alrededor de un 10 % de saponinas. La corteza se hierve en grandes tanques y el extracto resultante se concentra por evaporación. El extracto acuoso se seca hasta conseguir un polvo blanco amarillento, amorfo, que a dosis bajas irrita las mucosas y causa estornudos.

¹⁶ CHEEKE, Peter Robert. *Actual and potential applications of Yucca schidigera and Quillaja saponaria saponins in human and animal nutrition*. p. 1-10.

¹⁷ SANDOVAL, Giovanni. *Algunas consideraciones sobre Yucca schidigera y su aprovechamiento*. p. 390-393.

Figura 7. Corteza de quillay y tanques evaporadores para la obtención del extracto acuoso de saponinas



Fuente: URIBE., Luis Armando. Posibilidades de las saponinas de Quinua en la industria cosmética. p. 132.

Los extractos de yuca y quillaja se utilizan en bebidas ya que aportan una espuma estable (usualmente se utilizan concentraciones en bebidas de alrededor 10 ppm para así lograr una espuma notable).

Debido a las características surfactantes que poseen, son muy utilizadas en la industria minera para la separación de minerales; en la preparación de emulsiones para películas fotográficas y en cosméticos como labiales, shampoos y cremas faciales, donde sus propiedades antifúngicas y antibacterianas también son importantes. Las saponinas del palo de jabón, como se le conoce comúnmente a la quillaja en el sur de Chile y Argentina, también se han utilizado en la biorremediación de suelos con bifenilos policlorados.

2.2.5. Extracción

Técnica la cual consiste en separar de una mezcla de sustancias por disolución cada componente, sirviéndose de uno o más solventes, donde usualmente siempre se obtienen, por lo menos, dos componentes: el extracto y el residuo. Al empapar la materia orgánica con el disolvente de extracción se disuelven primero las sustancias a las que este puede llegar sin inconvenientes. Al triturar la materia orgánica se destruyen diferentes células en donde el grado de finura creciente beneficia la disolución.

El proceso de difusión celular ocurre simultáneamente el llamado “lavado celular” que consiste en que las sustancias comprendidas en la materia orgánica son lavadas y arrastradas de los fragmentos celulares por los disolventes.

Dependiendo del tipo de parte de la materia orgánica (raíz u hoja) y de su grado de pulverización así también será el tiempo necesario para el equilibrio de concentraciones. La extracción concluye cuando se produce un equilibrio en las concentraciones. Para cada extracción se necesita una materia prima y un líquido de extracción o disolvente que deben cumplir una serie de exigencias. La propiedad del extracto vegetal depende de la calidad del material de partida.

El contenido de sustancia activa de la materia orgánica viene determinado, habitualmente, por factores previos a la cosecha y que pueden tener su origen en el tiempo de la recolección, el terreno, el tipo de abono, tierra y factores climáticos, así como a los procesos de degradación que puedan ocurrir durante el secado y almacenamiento de la materia orgánica, es por ello necesaria la estabilización.

Junto a esto es necesario realizar la estandarización de la materia prima, entendiéndose por ello el ajuste a un determinado índice de actividad o a un contenido en sustancia activa prefijado. Dentro de las operaciones de extracción encontramos dos grupos: extracción líquido-líquido.

2.2.5.1. Métodos de extracción y purificación de saponinas

Las saponinas son compuestos polares, anfifílicos, de peso molecular relativamente elevado que aparecen como mezclas heterogéneas en el vegetal, lo que hace que su aislamiento y elucidación estructural sean en general muy complejos. Es por eso, que el estudio de la química y las propiedades biológicas de estos compuestos han tenido un mayor desarrollo recientemente, junto con la evolución de las técnicas cromatográficas y espectroscópicas.

Los métodos tradicionales de purificación de saponinas tales como cromatografía en columna y partición con solventes orgánicos, no son muy capaces de obtener saponinas puras. El aislamiento de saponinas requiere de una o más técnicas cromatográficas para separarlas de otros compuestos polares que puedan obtenerse en extractos acuosos o alcohólicos.¹⁸

En la literatura se encuentra una gran cantidad de trabajos en los que se reporta la extracción de saponinas. Para obtenerlas de las plantas, el material seco y molido se desengrasa previamente con un solvente polar (generalmente éter de petróleo o n-hexano). El material vegetal desengrasado se extrae con etanol, metanol, n-butanol, o mezclas de diferentes proporciones de estos alcoholes y agua.

¹⁸ MASTROGIOVANNI, Martin. *Extracción, purificación y caracterización primaria de saponinas de Quillaja brasiliensis*. p. 123-150.

El extracto acuoso (libre de alcohol) se liofiliza o se concentra en roto evaporador, y se hace pasar por resinas de intercambio iónico a fin de eliminar sustancias iónicas. Una vez obtenidas las saponinas crudas, se puede purificar por cromatografía en columna o líquida de alta resolución. En el caso de la cromatografía en columna, se puede utilizar silica gel y eluentes como mezclas de cloroformo-metanol-agua.¹⁹

La extracción de saponinas se puede llevar a cabo por métodos como; soxhlet, microondas y destilación. Para escoger el método se tiene en cuenta las siguientes variables; eficiencia de extracción, factores tecnológicos, ambientales y económicos. La extracción soxhlet es un método cíclico en el que se usa un equipo de tres piezas (balón, cámara extractora y condensador) que se utiliza para extraer compuestos contenidos en materiales sólidos. El compuesto se diluye en el solvente por la afinidad polar que hay entre ambos, produciéndose una solución del compuesto en el disolvente, el cual se concentrará a medida que el ciclo se repita.

El método de extracción asistido por ultrasonido (EAU) proporciona una alta eficiencia de contacto en la muestra entre la matriz y el disolvente. Un efecto de cavitación sónica se produce bajo la irradiación del ultrasonido donde se forman microburbujas cuando la presión negativa es suficientemente elevada. Una vez creadas, estas burbujas crecen y se comprimen cuando las presiones son negativas y positivas respectivamente, la constante expansión y compresión genera el colapso de las burbujas en donde se rompen las paredes celulares y facilitan la penetración de solventes en estas, se aumenta la temperatura disminuyendo la viscosidad y estos factores hacen que el fenómeno de transferencia de masa sea mejor.²⁰

¹⁹ MARTÍNEZ, Antonio. *Saponinas esteroideas*. p. 32.

²⁰ PÉREZ, Juan. *Evaluación de métodos de extracción de saponinas de los residuos del beneficio del fique*. p. 874-883 y 179-187.

2.2.6. Métodos de análisis para la cuantificación de las saponinas mediante espectrofotometría

El método espectrofotométrico descrito por Baccou, Lambert, es simple, rápido, sensible y específico para cuantificar saponinas esteroidales. Es más eficiente que otros métodos analíticos tales como espectroscopia en infrarrojo, gravimetría, cromatografía de gas líquido, colorimetría, cromatografía en capa fina densitométrica, cromatografía de columna seguida por espectrofotometría infrarroja. sobre todo, respecto de la posibilidad de determinar todas las saponinas esteroidales independientes de sus particularidades estructurales. La determinación se basa en reacciones de coloración con anisaldehído, ácido sulfúrico y acetado de etilo, con lo cual se forma un cromóforo con el mismo espectro de absorción y un único pico a 430 nm para las siguientes saponinas: Diosgenina, trigogenina, hecogenina, smilagenina, yonogenina, tokogenina y otras.²¹

2.2.6.1. Índice de espuma

Al agitar vigorosamente, durante 30 segundos, una solución acuosa con una muestra que contenga saponinas, se forma una espuma estable como la obtenida al agitar una solución con jabón. Después de la agitación, la mezcla se deja reposar por 15 minutos; al término de este periodo, la presencia de saponinas se evidencia por la espuma sobrenadante.

La porción de saponinas se mide de acuerdo con la altura de la espuma sobrenadante. Así, si la altura de la espuma es menor de 5 mm, se dice que la muestra no contiene saponinas (prueba negativa); si la altura de la espuma cae en el rango de 5 a 9 mm, entonces la muestra tiene un contenido bajo de

²¹ MEDINILLA, Beatriz. *Manual de laboratorio de farmacognosia*. p. 36-37.

saponinas. Cuando la espuma alcanza una altura de 10 a 14 mm, el contenido es moderado; y finalmente, si la altura es mayor de 15 mm, se dice que la muestra tiene una alta concentración de saponinas.²²

Figura 8. **Ensayo de espuma en *Furcraea hexapetala***



Fuente: URIBE., Luis Armando. Posibilidades de las saponinas de Quinoa en la industria cosmética. p. 132.

2.3. Shampoo

El shampoo es un producto cosmético que está constituido por uno o varios agentes tensoactivos y coadyuvantes que permite eliminar residuos de secreciones sebáceas, sudoríparas y suciedad. Con el fin de cuidar y proteger el cabello.

²² GALINDO, Federico. *Sustancias antinutricionales en las hojas de guamo, nacedero y matarraton*. p. 1-5.

Figura 9. **Shampoo a base de quinua**



Fuente: URIBE., Luis Armando. Posibilidades de las saponinas de Quinoa en la industria cosmética. p. 132.

2.3.1. Propiedades fisicoquímicas del shampoo

Para la elaboración de shampoo se debe controlar los siguientes parámetros: pH, viscosidad, capacidad espumante (cantidad de espuma) y estabilidad de espuma.²³

2.3.1.1. El efecto del potencial de hidrógeno en el shampoo

El pH de un shampoo puede ser alcalino, neutro o ácido. El pH del cuero cabelludo es aproximadamente de 4,3 lo cual lo hace un pH ácido. Por lo cual, los shampoos alcalinos causan que las imbricaciones de la cutícula se inflamen y se levanten, causando que se enrede el cabello más fácilmente, volviéndose opaco y poroso, reduciéndose la elasticidad de este. Los shampoos de pH ácidos estrechan las imbricaciones de la cutícula, reduciendo la porosidad del cabello.

²³ SAMARIEGO, Juan Fernando. *Diseño y formulación de un champú a base de extracto de alcohol de Urtica urens L. para su aplicación contra la caída del cabello.* p. 23.

Además, endurecen la cutícula lo cual da lustre natural al cabello, por lo que se recomienda usar shampoos con un pH ligeramente ácido. El pH de un shampoo se puede encontrar entre un rango de 3,5 a 7,5.

2.3.1.2. Viscosidad del shampoo

Actualmente la mayor parte de los shampoos que se comercializan, son fluidos no newtonianos, lo cual es provocado porque en la mayoría se agregan agentes espesantes con el fin de mejorar tanto la apariencia como la capacidad de limpieza. Estos agentes espesantes son los que brindan las propiedades de generar espuma en los champús, lo cual es relacionado con una mejor eficiencia en la remoción de grasas y aceites en el cuero cabelludo.

Por lo cual la viscosidad de los shampoos es una propiedad que se debe controlar al elaborarlos. Ya que si la viscosidad es muy baja hace que la interacción de este con el cuero cabelludo no sea efectiva, por lo cual se recomienda un rango de viscosidad mayor de 2 500 cP y menor que 13 000 cP.

2.3.1.3. Capacidad espumante de un shampoo

La capacidad de generar espuma en un shampoo proviene de las sustancia química con propiedades surfactantes (tensoactivo) que cuando se encuentra presente en pequeñas dosis en una disolución facilita la generación de espuma.

Tradicionalmente uno de los espumantes más utilizados en la fabricación de shampoo ha sido el lauril éter sulfato sódico, el cual provoca una espuma muy consistente y firme.

2.3.2. Tensoactivos

Llamados también surfactantes o detergentes sintéticos, son sustancias que se utilizan para cambiar la tensión superficial del agua y facilitar el lavado. Tiene como principal función la humectación de superficies, luego forman espuma originando una emulsión, con la cual se finaliza una limpieza, teniendo finalmente la formación de un líquido uniformemente dentro de otro. Los tensoactivos según sus propiedades son:

- Detergentes: cuando facilitan la eliminación de la suciedad y se dispersan en el agua; tienen como finalidad el lavado y la limpieza.
- Dispersantes: cuando aumentan la estabilidad de suspensión de pequeñas partículas en un líquido.
- Emulsificantes: cuando facilitan la formación de una emulsión, es decir dispersión bajo forma de finas gotas de un líquido en el otro (ej. aceite en el agua) y aumentando la estabilidad.
- Humectante: cuando facilita la dispersión de un líquido sobre una superficie sólida o aumenta la velocidad de absorción en cuerpos porosos: algodón, cuero, papel.
- Espumantes o anti-espumantes: cuando provocan o impiden la formación de espuma.
- Solubles: cuando aumentan la solubilidad aparente en el agua de cuerpos poco solubles.

2.3.3. Tensoactivos naturales

Obtenidos a partir de fuentes naturales por medio de extracciones, algunos de los cuales han sido muy bien admitidos en la industria cosmética natural y biológica.

- Coco glucósido: se obtiene a partir de materias primas renovables (aceite de coco y la fructuosa).
- Las saponinas, las cuales ya hemos podido mencionar e identificar. Entre las principales se encuentran el extracto de *quillaja saponaria* y la cascarilla de quinua.

2.3.3.1. Ventajas de tensoactivos naturales

- Origen vegetal apto para cosmética natural. Se obtiene a partir de materias primas renovables.
- Reducen el potencial de irritación de otros tensoactivos.
- Totalmente biodegradables.
- Las saponinas naturales, las cuales ya hemos podido mencionar e identificar.

2.3.3.2. Desventajas de tensoactivos naturales

- Algunos extractos de saponina, como la de *Quillaja saponaria*, es de costo elevado, lo que encarece el producto terminado. Además, su explotación es criticada por la deforestación que ocasiona.
- Los procesos de extracción pueden ser complejos y costosos.
- La explotación de algunas especies vegetales para la obtención de saponinas necesita ser de manera sostenible para asegurar su preservación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se presenta las variables, su escala y la unidad de medición.

Tabla I. Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Función	Escala	Unidades
Concentración de extracto	Proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución	Razón porcentual de la masa de crudo de saponinas y la masa total del shampoo.	Independiente	Absoluta	g crudo de saponinas/ g shampoo
Consistencia de espuma	Duración, estabilidad, solidez.	Referente al tamaño de burbujas, así como la estabilidad y densidad de estas.	Dependiente	Absoluta	Adimensional
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia.	Unidad de medición de la densidad de las formulaciones de shampoo.	Dependiente	Absoluta	g/mL
Eficiencia de limpieza	Capacidad de remover suciedad	Relación entre la masa de grasa restante después del lavado y la masa de grasa inicial en las muestras de cabello.	Dependiente	Absoluta	%
Viscosidad	Medida de resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.	Unidad de medición de la viscosidad de las formulaciones de shampoo.	Dependiente	Absoluta	cP
pH	Concentración de iones de hidrogeno presentes en determinadas disoluciones.	Medición del pH de cada una de las formulaciones	Dependiente	Logarítmica	Adimensional

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: producción
- Industria: cosmética
- Proceso: producción de shampoo

3.3. Recursos humanos

Investigador: Br. Sergio Alfonso Patzan Chitay
 Asesor: Ing. Químico César Ariel Villela Rodas

3.4. Recursos materiales

A continuación, se mencionará el equipo y cristalería utilizada para la investigación.

3.4.1. Equipo y cristalería

La cristalería utilizada es la siguiente:

Tabla II. **Equipo y cristalería utilizado**

Equipo	Cristalería
Balanza analítica	Beakers 50 mL
Medidor de pH	Beakers 250 mL
Viscosímetro de Brookfield	Beakers 500 mL
Plancha de calentamiento	Beakers 1 000 mL
Termómetro de digital.	Erlenmeyer 200 mL
Molinillo de café manual	Erlenmeyer 250 mL
Tamiz mesh 5	Picnómetro 10 mL

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Reactivos y materia prima

- Agua destilada
- Alcohol etílico al 95 %
- Tallo seco y molido de *Yucca elephantipes*
- Texapon
- Metil parabeno
- Propil parabeno
- Carbopol
- Propilenglicol
- Ácido cítrico
- Ácido bórico
- Cloruro de sodio
- Aroma floral

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

La investigación estará basada en un estudio correlacional en las técnicas cuantitativa y cualitativa, ya que el experimento va a estar influido por variables independientes y dependientes con valores numéricos. Sin embargo, también se necesitará la técnica cualitativa utilizada para determinar la consistencia tanto del shampoo como de la espuma que este produce, así también color del shampoo.

3.5.1. Extracción del crudo de saponinas

- Secar, pulverizar y tamizar el tallo de la *yucca elephantipes*.
- Una vez seco y tamizado la materia vegetal se macerará (maceración estática) en solución etanol-agua (7,3 v/v) durante 48 horas. (repetir 2 veces más esta operación).

- Los extractos hidroalcohólicos son Unidos y concentrados en una plancha de calentamiento hasta sequedad a una temperatura no mayor a 40 °C.

3.5.2. Prueba de identificación de saponinas (prueba de altura de espuma)

- Agregar en un tubo de ensayo 10 mL de agua destilada.
- Agregar 1,5 mL de la muestra del extracto crudo de saponinas dentro del tubo de ensayo.
- Agitar vigorosamente por 30 s el tubo de ensayo de ser necesario utilizar una varilla de agitación.
- Esperar un aproximado de 15 min y medir la altura de espuma sobrenadante con la utilización de una regla.
- Mediante un análisis visual anotar la consistencia de la espuma producida en la prueba.

3.5.3. Formulación del shampoo

- Pesar los reactivos de acuerdo con una base de 150 g de shampoo.
- En un *beaker* agregar una tercera parte del agua y el extracto de saponinas (además el Texapon para la formulación 5) y mezclar homogéneamente.
- En otro *beaker* agregar una tercera parte del agua con el cloruro de sodio, el ácido bórico y ácido cítrico y revolver bien hasta mezclar.

- En un tercer *beaker* mezclar el metil parabeno y el propil parabeno y revolver hasta lograr una mezcla homogénea con el agua restante.
- Agregar las últimas dos mezclas en la primera bajo agitación continua hasta que alcance el punto de espesor deseado. (Si al shampoo le falta viscosidad o espesor le agregamos otro poco de cloruro de sodio hasta el espesor deseado).
- Agregar aromatizante florar.
- Por último, tomar una muestra de shampoo para medir el pH, la viscosidad y se realizará la prueba de limpieza.
- Envasar cada una de las formulaciones.

Tabla III. **Porcentaje en masa de las formulaciones de shampoo**

Reactivo	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4	Fórmula 5
Ácido bórico	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %
Ácido cítrico	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %
Agua destilada	84,00 %	79,00 %	74,00 %	69,00 %	67,00 %
Carbopol	3,00 %	3,00 %	3,00 %	3,00 %	3,00 %
Cloruro de sodio	0,50 %	0,50 %	0,50 %	0,50 %	0,50 %
Crudo de saponinas	10,00 %	15,00 %	20,00 %	25,00 %	25,00 %
Metil parabeno	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %	0,30 %
Propil parabeno	0,60 %	0,60 %	0,60 %	0,60 %	0,60 %
Propilenglicol	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %
Texapon	----	----	----	----	2,00 %

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Procedimiento para la determinación de la eficiencia de lavado

- Tomar 10,0 g de cabello y tarar.
- Tarar alrededor de 0,5 g de grasa vegetal y untar en las muestras de cabello.
- Lavar con alrededor de 125 mL de agua y aproximadamente 10 mL de la formulación de shampoo por analizar.
- Terminar el lavado y colocar en un crisol la muestra de cabello.
- Secar en el horno alrededor de 35 °C hasta total sequedad.
- Tarar la muestra seca de cabello.
- Determinar el porcentaje de eficiencia de lavado, mediante el peso inicial del cabello con la grasa vegetal y el peso final del cabello seco.

$$\%Ef = \left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) * 100$$

Ejemplo: determine el porcentaje de eficiencia de lavado de si se agregó $m_o=561$ mg de grasa a una muestra de cabello y posterior al lavado de la muestra de cabello se determinó que aún se tenía $m_f=368$ mg de grasa.

$$\%Ef = \left(\frac{561 - 368}{561} \right) * 100 = 23,49 \%$$

3.5.5. Prueba de altura y consistencia de espuma de shampoo

- Agregar en un tubo de ensayo 10 mL de agua destilada.
- Agregar 2 mL de la muestra de shampoo por analizar dentro del tubo de ensayo.
- Agitar vigorosamente por 30 s el tubo de ensayo de ser necesario utilizar una varilla de agitación.
- Esperar un aproximado de 15 min y medir la altura de espuma sobrenadante con la utilización de una regla.
- Mediante un análisis visual anotar la consistencia de la espuma producida en la prueba.

3.5.6. Procedimiento para la determinación de la densidad del shampoo

- Tarar picnómetro anotar su peso
- Agregar 10 mL del shampoo por analizar
- Tarar picnómetro con la muestra de shampoo y anotar el peso
- Determinar la densidad del shampoo

3.5.7. Procedimiento para determinación de la viscosidad del shampoo

- Encender el viscosímetro. La pantalla indicará que se debe remover la aguja, en caso de que hubiera alguna montada, para realizar la calibración automática a cero. Presionar cualquier tecla y esperar a que termine la calibración automática.
- Asegurarse de que el viscosímetro tenga la guarda montada, y que esté en posición elevada.
- Colocar aproximadamente 500 mL de uno de los fluidos problema en un vaso de precipitado. Ubicar el vaso bajo el viscosímetro y bajarlo, asegurándose que la guarda entre de forma segura en el vaso.
- Seleccionar la aguja que se empleará para el fluido. Cuando no se sabe qué aguja es la adecuada, es necesario un procedimiento a prueba y error.
- Introducir cuidadosamente la aguja en el fluido. Con una mano, sujetar y levantar la punta del motor del viscosímetro (se eleva aproximadamente 1 mm) y con la otra mano enroscar la aguja. Nótese que las agujas tienen rosca izquierda. Una vez roscada la aguja, bajar cuidadosamente la punta del motor.
- Presionar el botón SELECT SPINDLE y emplear las flechas para seleccionar el número de aguja que se montó. Emplear las flechas y el botón SET SPEED para seleccionar la velocidad de rotación deseada.

- Presionar el botón MOTOR ON/OFF para que el motor funcione. La pantalla mostrará el porcentaje de torca del motor. Si está por debajo del 10 %, la medición no es confiable, por lo que se debe probar una velocidad mayor o una aguja de mayor diámetro.
- Registrar la viscosidad reportada por el viscosímetro, a diferentes velocidades de rotación (siempre que el porcentaje de torca del motor esté entre 10 % y 90 %).
- Una vez que se han registrado los datos para este fluido, apagar el motor usando el botón MOTOR ON/OFF. Empleando el mismo procedimiento a dos manos, levantar la punta del motor con una mano y desenroscar la aguja con la otra mano.
- Retirar la aguja del fluido y lavarla.
- Elevar el viscosímetro. Una vez que la guarda está fuera de la muestra, desmontarla y lavarla.

3.6. Análisis estadístico

A continuación, se presentan cálculos a partir de la información del laboratorio, tales como; concentración del extracto de saponinas, pH, viscosidad, densidad, altura de espuma y eficiencia de lavado de las distintas formulaciones de shampoo.

Tabla IV. **Concentración del extracto crudo de saponinas de cada uno de los lotes obtenidos del tallo de *yucca elephantipes***

Lote de muestra de extracto	Saponinas Totales [%]	\bar{x}	σ
A	3,4966	3,3064	0,7405
B	2,4893		
C	3,9332		

Fuente: Informe Cuantificación de saponinas esteroidales de tres muestras de saponinas de tallo de izote. Ver anexos.

Tabla V. **Análisis de la prueba de identificación de saponinas en cada uno de los lotes obtenidos del tallo de *yucca elephantipes***

Lote de muestra de extracto	Tiempo [min]	Altura de espuma [mm]	Consistencia de espuma	\bar{x}	σ	σ^2
A	00	51,00	Homogénea y estable	49,00	2,00	2,00
B		49,00				
C		47,00				
A	15	38,00	Homogénea y estable	39,00	1,00	1,00
B		39,00				
C		40,00				
A	25	37,00	Homogénea e inestable	37,00	1,00	1,00
B		38,00				
C		36,00				

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla I, apéndice 1.

Tabla VI. **Análisis del pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	pH Inicial	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	5,90	5,43	0,42	0,17
	II	5,30			
	III	5,10			
2	I	6,00	5,57	0,38	0,14
	II	5,40			
	III	5,30			
3	I	6,00	5,73	0,23	0,05
	II	5,60			
	III	5,60			
4	I	6,10	5,87	0,21	0,04
	II	5,80			
	III	5,70			
5	I	6,20	6,03	0,15	0,02
	II	6,00			
	III	5,90			

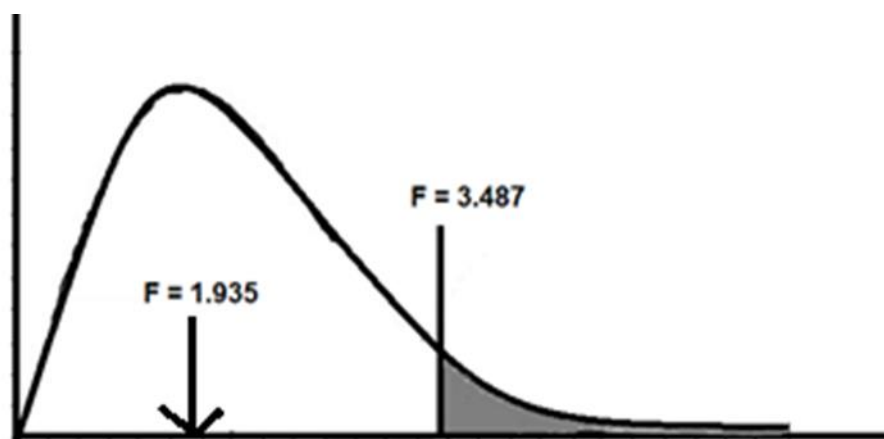
Fuente: elaboración propia, en base a la tabla II, apéndice 1.

Tabla VII. **Anova del pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,676	4	0,169	1,935	3,478
Error	0,873	10	0,087		
Total	1,549	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla II, apéndice 1.

Figura 10. **Distribución de Fisher del pH al inicio en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia, en base a la tabla II, apéndice 1.

Tabla VIII. **Comparaciones en parejas de Tukey para el pH Inicial en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %**

Factor	N	\bar{x}	Agrupación
25 %T	3	6,033	A
25 %	3	5,867	A
20 %	3	5,733	A
15 %	3	5,567	A
10 %	3	5,433	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración Propia, Minitab 18.

Tabla IX. **Análisis del pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Replica	pH Inicial	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	5,40	5,40	0,10	0,01
	II	5,30			
	III	5,50			
2	I	5,50	5,50	0,10	0,01
	II	5,60			
	III	5,40			
3	I	5,30	5,47	0,15	0,02
	II	5,50			
	III	5,60			
4	I	5,60	5,43	0,06	0,00
	II	5,50			
	III	5,50			
5	I	5,50	5,50	0,10	0,01
	II	5,40			
	III	5,60			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla II, apéndice 1.

Tabla X. **Anova del pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,031	4	0,0077	0,676	3,478
Error	0,113	10	0,0113		
Total	0,144	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla II, apéndice 1.

Tabla XI. **Análisis de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Rplica	Viscosidad [cP]	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	4 289,68	4 392,61	147,19	21 663,55
	II	4 326,96			
	III	4 561,20			
2	I	4 163,76	4 210,20	40,99	1 680,55
	II	4 225,48			
	III	4 241,36			
3	I	3 509,92	3 637,36	148,74	22 124,79
	II	3 601,36			
	III	3 800,80			
4	I	2 134,32	2 445,25	272,17	74 077,81
	II	2 561,12			
	III	2 640,32			
5	I	2 001,44	2 163,06	146,26	21 392,31
	II	2 201,41			
	III	2 286,32			

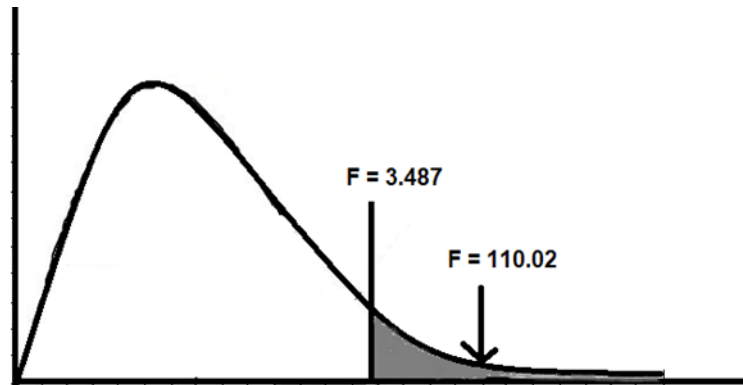
Fuente: elaboración propia, en base a la tabla IV, apéndice 1.

Tabla XII. **Anova de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	1 245 075,6	4	3 101 268,9	110,02	3,478
Error	281 878,0	10	28 187,8		
Total	12 686 953,6	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla IV, apéndice 1.

Figura 11. **Distribución de Fisher de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia, en base a la tabla IV, apéndice 1.

Tabla XIII. **Comparaciones en parejas de Tukey para la viscosidad en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %**

Factor	N	\bar{x}	Agrupación		
25 %T	3	2 445,0			C
25 %	3	2 445,0			C
20 %	3	3 637,4		B	
15 %	3	4 210,2	A		
10 %	3	4 392,6	A		

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia, Minitab 18.

Tabla XIV. **Análisis de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Densidad [g/mL]	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	1,09	1,09	0,01	0,00
	II	1,08			
	III	1,10			
2	I	1,08	1,08	0,00	0,00
	II	1,08			
	III	1,08			
3	I	1,07	1,07	0,00	0,00
	II	1,07			
	III	1,07			
4	I	1,06	1,06	0,01	0,00
	II	1,06			
	III	1,05			
5	I	1,04	1,04	0,01	0,00
	II	1,04			
	III	1,03			

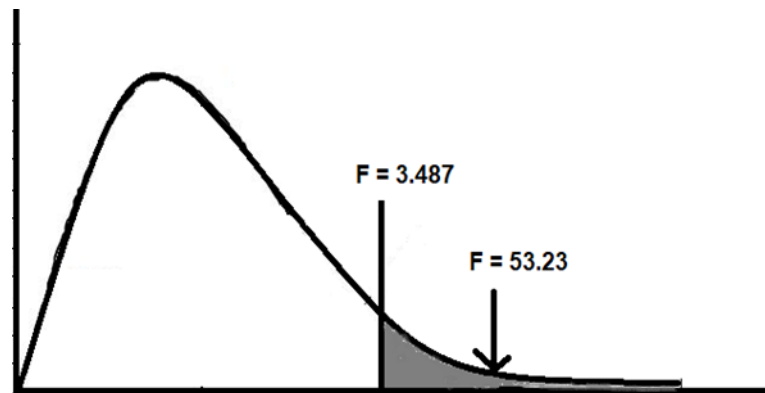
Fuente: elaboración propia, en base a la tabla V, apéndice 1.

Tabla XV. **Anova de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,00425134	4	0,00106284	53,23	3,4780
Error	0,00019966	10	1,9967e-5		
Total	0,00445101	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla V, apéndice 1.

Figura 12. **Distribución de Fisher de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia, en base a la tabla V, apéndice 1.

Tabla XVI. **Comparaciones en parejas de Tukey para la densidad en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %**

Factor	N	\bar{x}	Agrupación			
25T %	3	1,09053	A			
25 %	3	1,08097	A	B		
20 %	3	1,06801		B	C	
15 %	3	1,05778			C	
10 %	3	1,03936				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia, Minitab 18.

Tabla XVII. **Análisis de la altura y consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Altura de espuma [mm]	Consistencia de espuma	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	24,00	Homogénea y estable	22,00	2,00	4,00
	II	22,00				
	III	20,00				
2	I	28,00	Homogénea y estable	27,67	1,53	2,33
	II	29,00				
	III	26,00				
3	I	30,00	Inestable	30,33	0,58	0,33
	II	31,00				
	III	30,00				
4	I	34,00	Inestable	33,67	1,53	2,33
	II	35,00				
	III	32,00				
5	I	49,00	Homogénea y estable	48,00	1,00	1,00
	II	47,00				
	III	48,00				

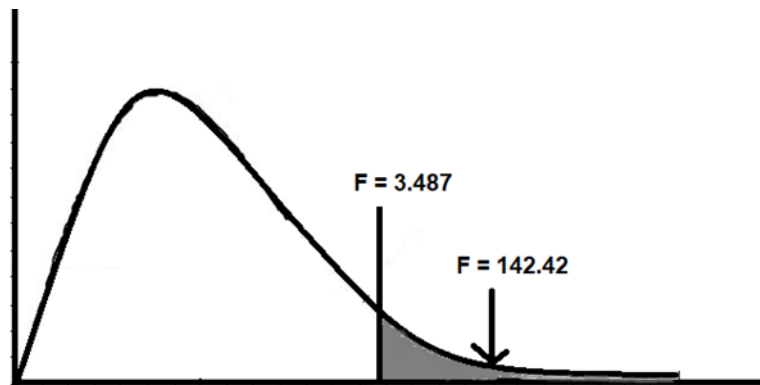
Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VI, apéndice 1.

Tabla XVIII. **Anova de la altura y consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	1139,33	4	284,83	142,42	3,478
Error	20,00	10	2,00		
Total	1159,33	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VI, apéndice 1.

Figura 13. **Distribución de Fisher de la altura de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VI, apéndice 1.

Tabla XIX. **Comparaciones en parejas de Tukey para la altura de espuma en las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %**

Factor	N	\bar{x}	Agrupación		
25 %T	3	48,00	A		
25 %	3	33,67		B	
20 %	3	30,33		B	C
15 %	3	27,67			C
10 %	3	22,00			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia, Minitab 18.

Tabla XX. **Análisis de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Eficiencia de lavado [%]	Color	\bar{x}	σ	σ^2
1	I	24,75	Marrón Claro	23,49	1,13	4,00
	II	23,15				
	III	22,57				
2	I	28,45	Marrón Claro	29,26	3,30	2,33
	II	26,45				
	III	32,89				
3	I	33,45	Marrón	32,84	2,96	0,33
	II	29,62				
	III	35,45				
4	I	38,71	Marrón oscuro	38,50	3,76	2,33
	II	34,64				
	III	42,15				
5	I	62,18	Marrón oscuro	63,41	1,09	1,00
	II	64,25				
	III	63,81				

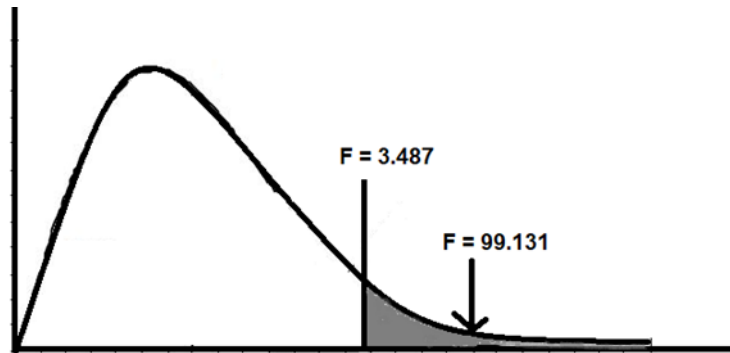
Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VII, apéndice 1.

Tabla XXI. **Anova de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	2875,049	4	718,762	99,131	3,478
Error	72,505	10	7,250		
Total	2947,555	14			

Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VII, apéndice 1.

Figura 14. **Distribución de Fisher de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia, en base a la tabla VII, apéndice 1

Tabla XXII. **Comparaciones en parejas de Tukey para la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas con una confianza de 95 %**

Factor	N	\bar{x}	Agrupación		
25 %T	3	63,41	A		
25 %	3	38,50		B	
20 %	3	32,84		B	C
15 %	3	29,26			C D
10 %	3	23,49			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia, Minitab 18.

Para realizar el análisis de varianza (Anova) se siguió una distribución de Fisher con un nivel de confianza del 95 %, para evaluar la aceptabilidad o rechazo de cada una de las hipótesis estadísticas planteadas se tomó en cuenta el siguiente criterio: Si la F es mayor a la F crítica se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, si la F es menor que la F crítica se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Lo cual se demuestra en las figuras de régimen crítico del análisis, donde se acepta la hipótesis nula cuando está en el rango de aceptabilidad, y se acepta la hipótesis alternativa cuando entra en el rango sombreado de gris.

Tabla XXIII. **Resumen de resultados de análisis Anova**

Análisis	F	F crítico	Cumplimiento de hipótesis	
			Nula	Alternativa
El pH inicial en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.	1,935	3,478	X	
La viscosidad en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.	110,02	3,478		X
La densidad en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.	53,23	3,478		X
La altura función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.	142,42	3,478		X
La eficiencia de la limpieza y lavado del cabello en función de la concentración de saponinas en la formulación del shampoo.	99,131	3,478		X

Fuente: elaboración propia, con base a las figuras 10 – 15.

3.6.1. Número de repeticiones recomendadas

El número de repeticiones para un experimento, con un nivel de confianza del 95 % $Z_{\alpha/2} = 1,96$ y asumiendo que los datos de comportan en forma normal se determina de la siguiente manera:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

Ejemplo: determine el número de repeticiones que se debe de medir la viscosidad del shampoo si se tiene una desviación estándar de $\sigma = 147,19$ cP, una media de $x = 4\,392,61$ y la medición de la primera réplica es de $4\,289,68$ cP (Datos obtenidos de la tabla No. VII)

$$n = \left(\frac{1,96 * 147,19}{4\,392,61 - 4\,289,68} \right)^2 = 5,88 = 6 \text{ repeticiones o réplicas}$$

4. RESULTADOS

4.1. Concentración de saponinas obtenido y prueba de identificación

A continuación, se presenta la concentración de saponinas promedio, obtenido en el extracto crudo del tallo de izote, mediante la extracción sólido-líquido, por medio de maceración estática utilizando alcohol como solvente extractivo.

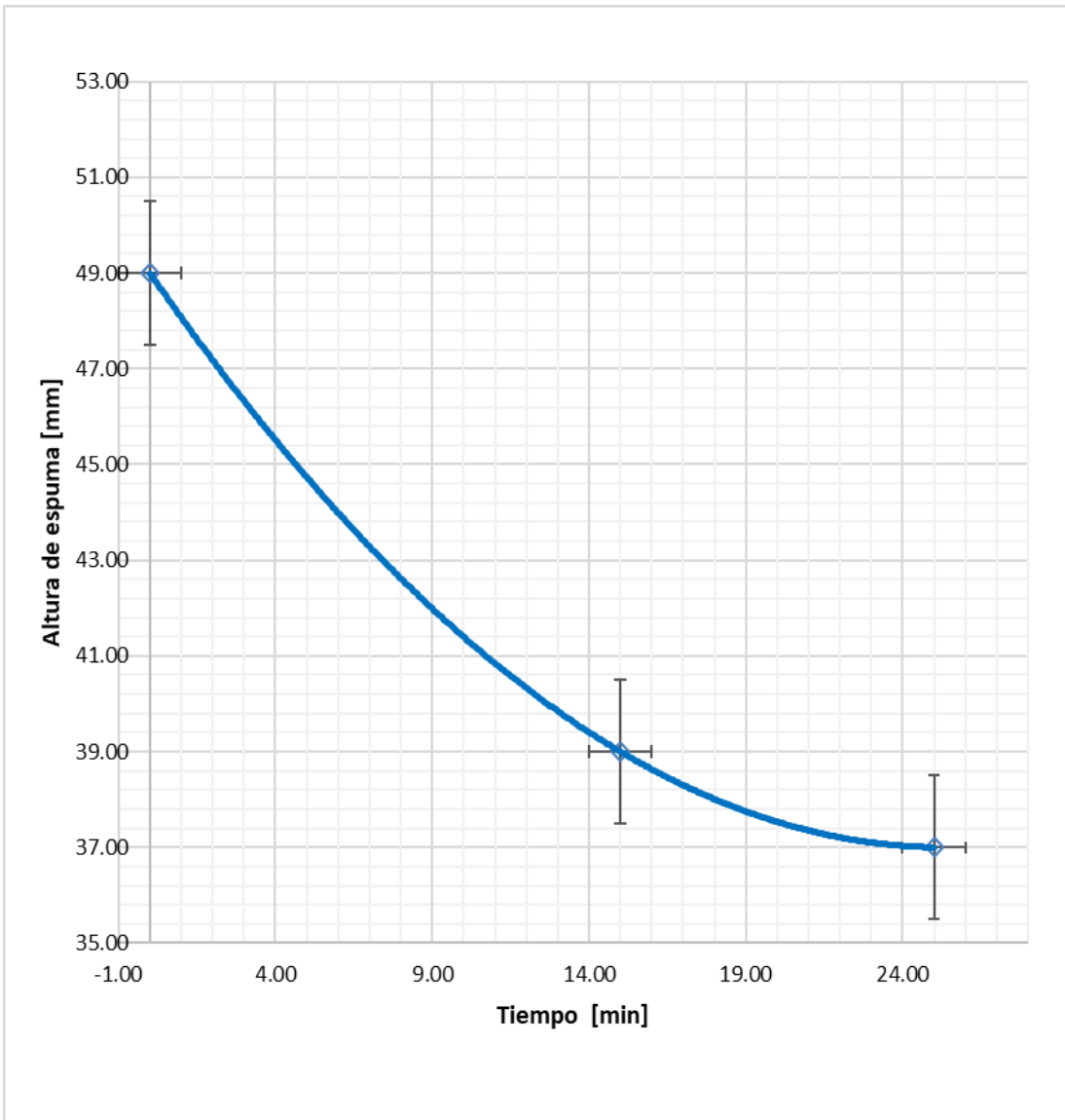
Tabla XXIV. **Concentración de saponinas obtenido de la extracción de los lotes de *yucca elephatipes***

Porcentaje de concentración de saponinas totales promedio	σ
3,3064 \pm 0,004	0,7405

Fuente: Informe de cuantificación de saponinas.

En la figura 16, se presentan los resultados de las pruebas de altura de espuma en función del tiempo, prueba cuantitativa para la identificación de saponinas.

Figura 15. Prueba de identificación de altura de espuma para saponinas en cada uno de los lotes obtenidos del tallo de *yucca elephantipes* en función del tiempo

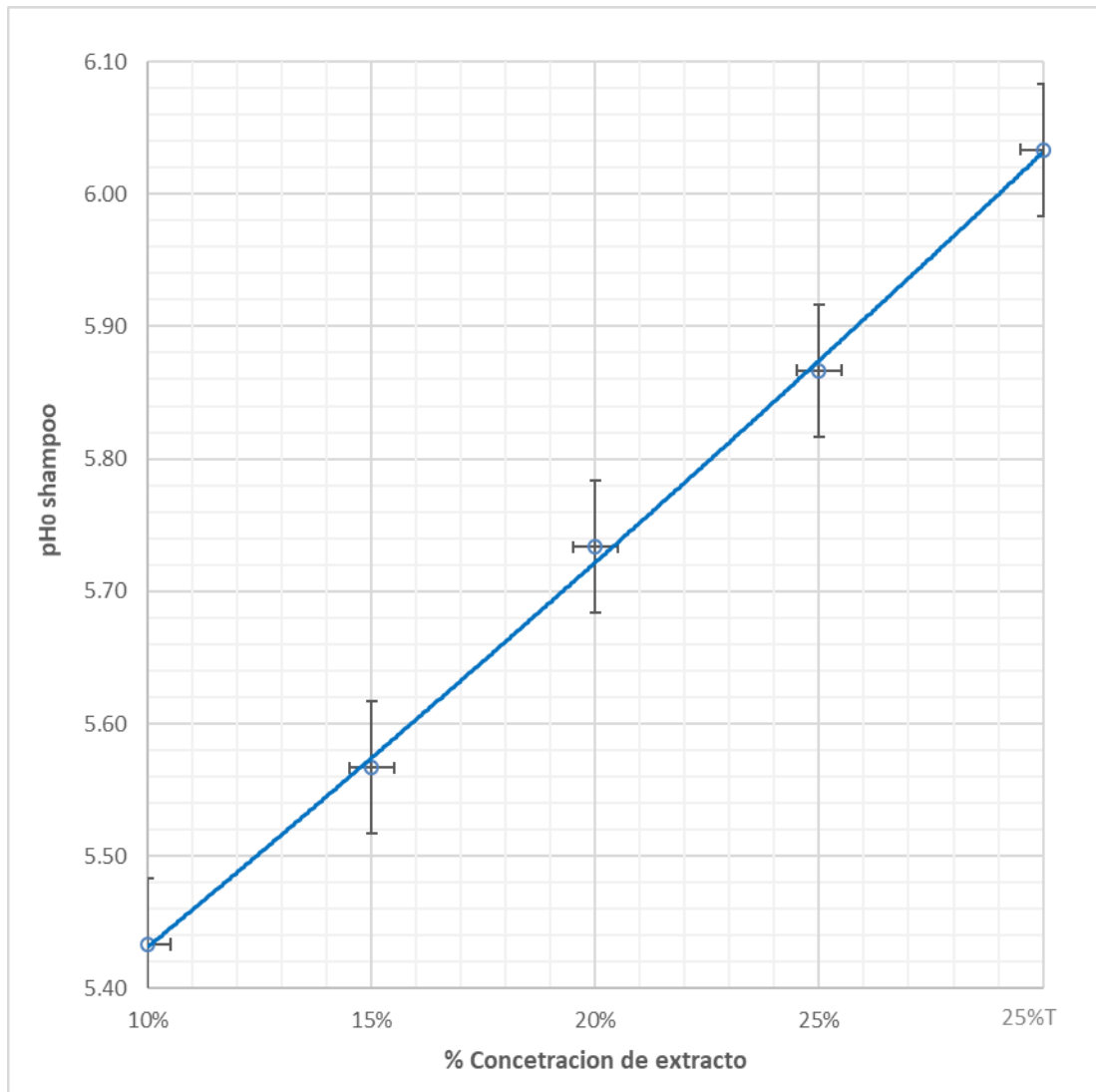


Fuente: elaboración propia.

4.2. pH de las formulaciones de shampoo

La figura 17, muestra el pH inicial de cada una de las formulaciones desde 10 % hasta 25 % de extracto de saponinas, indicando la letra "T" el texapon que fue agregado en la formulación número cinco.

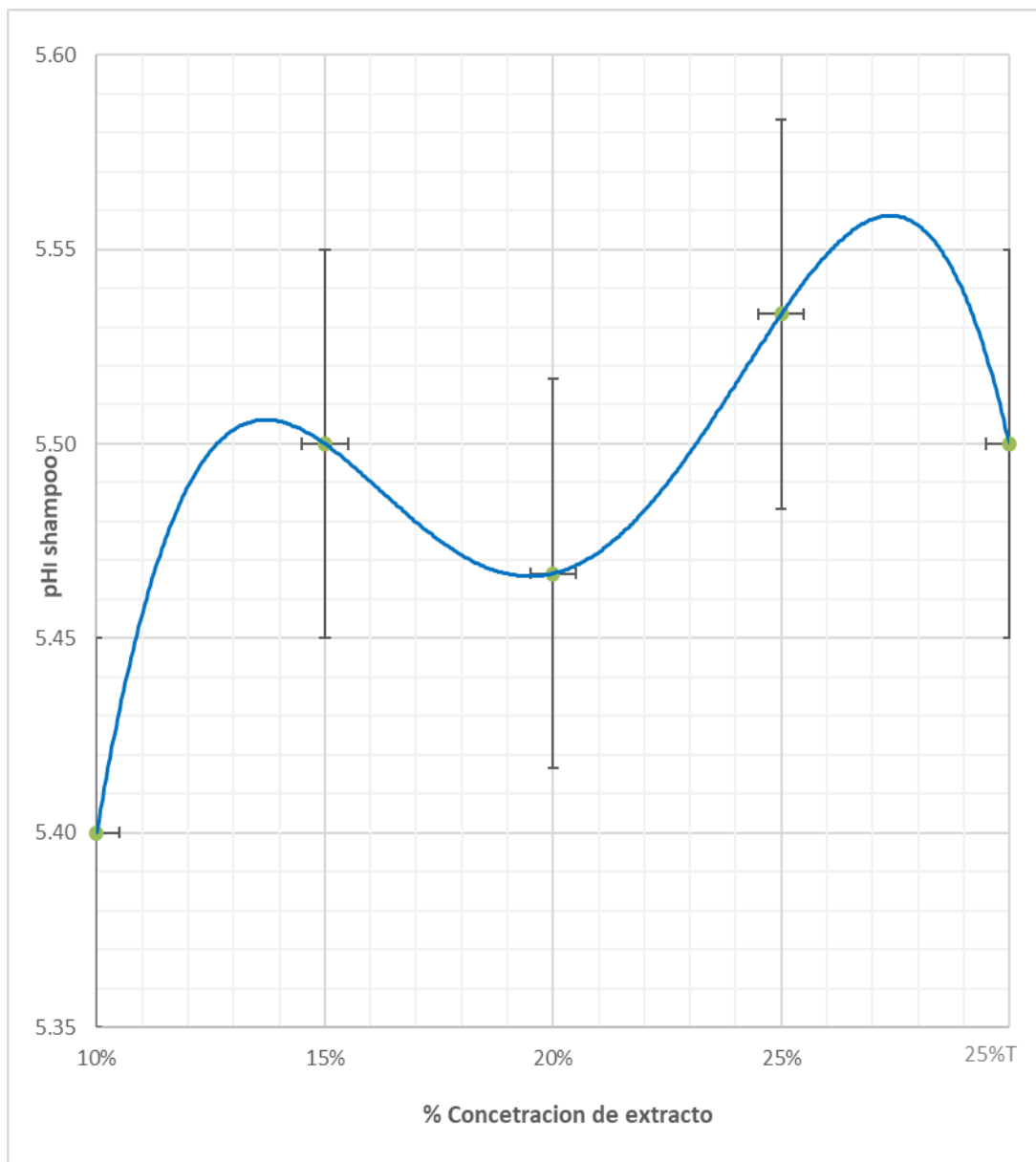
Figura 16. **pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 18, se exponen los resultados del ajuste final del pH en cada una de las distintas formulaciones del shampoo, las cuales se ajustaron a un valor cercano a 5,5 de pH.

Figura 17. **pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

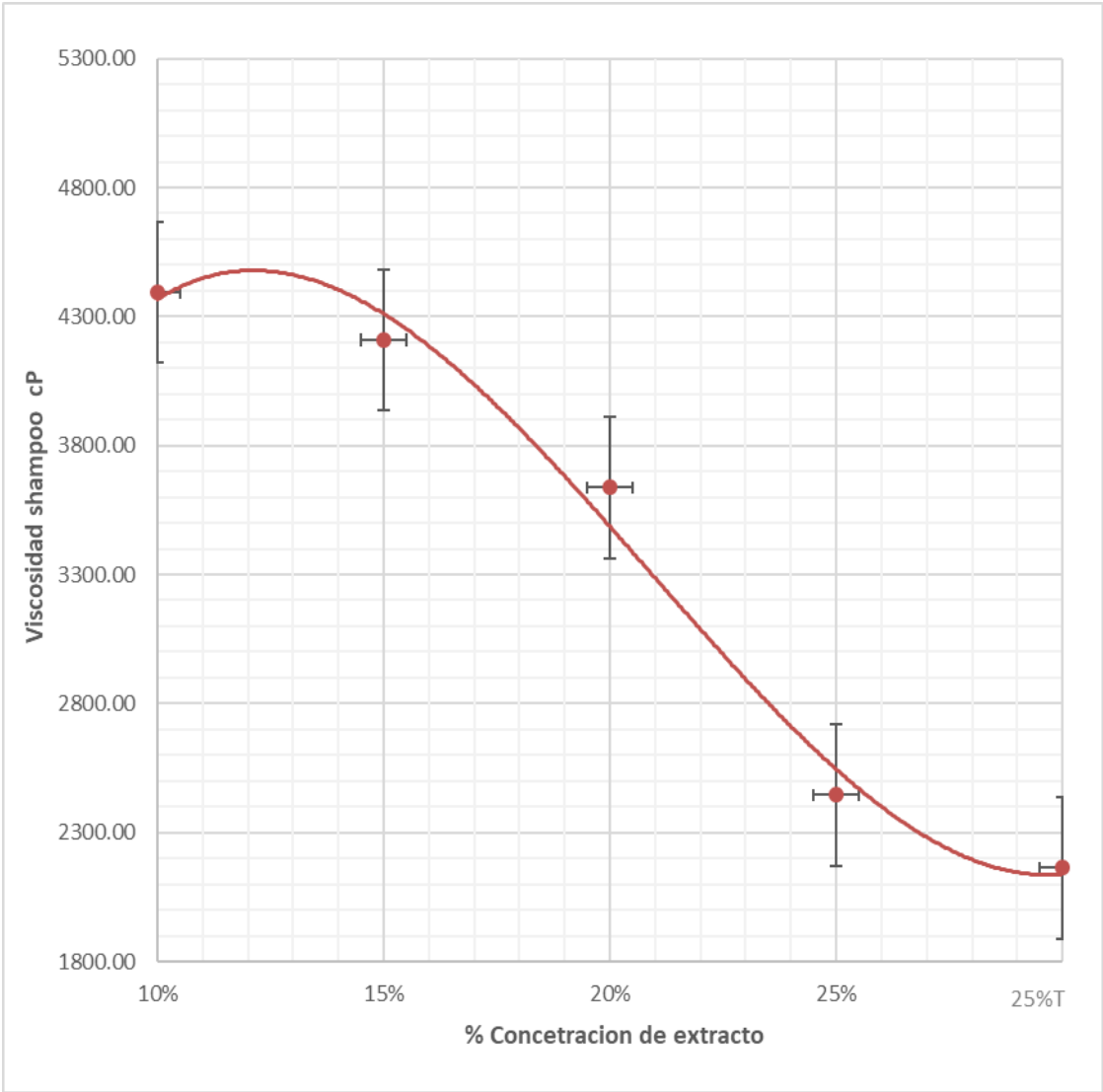


Fuente: elaboración propia.

4.3. Viscosidad de las formulaciones de shampoo

Ahora se presentan los resultados obtenidos de la viscosidad al variar la concentración del extracto en cada una de las formulaciones, desde 10 % hasta 25 % de extracto de saponinas.

Figura 18. **Viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

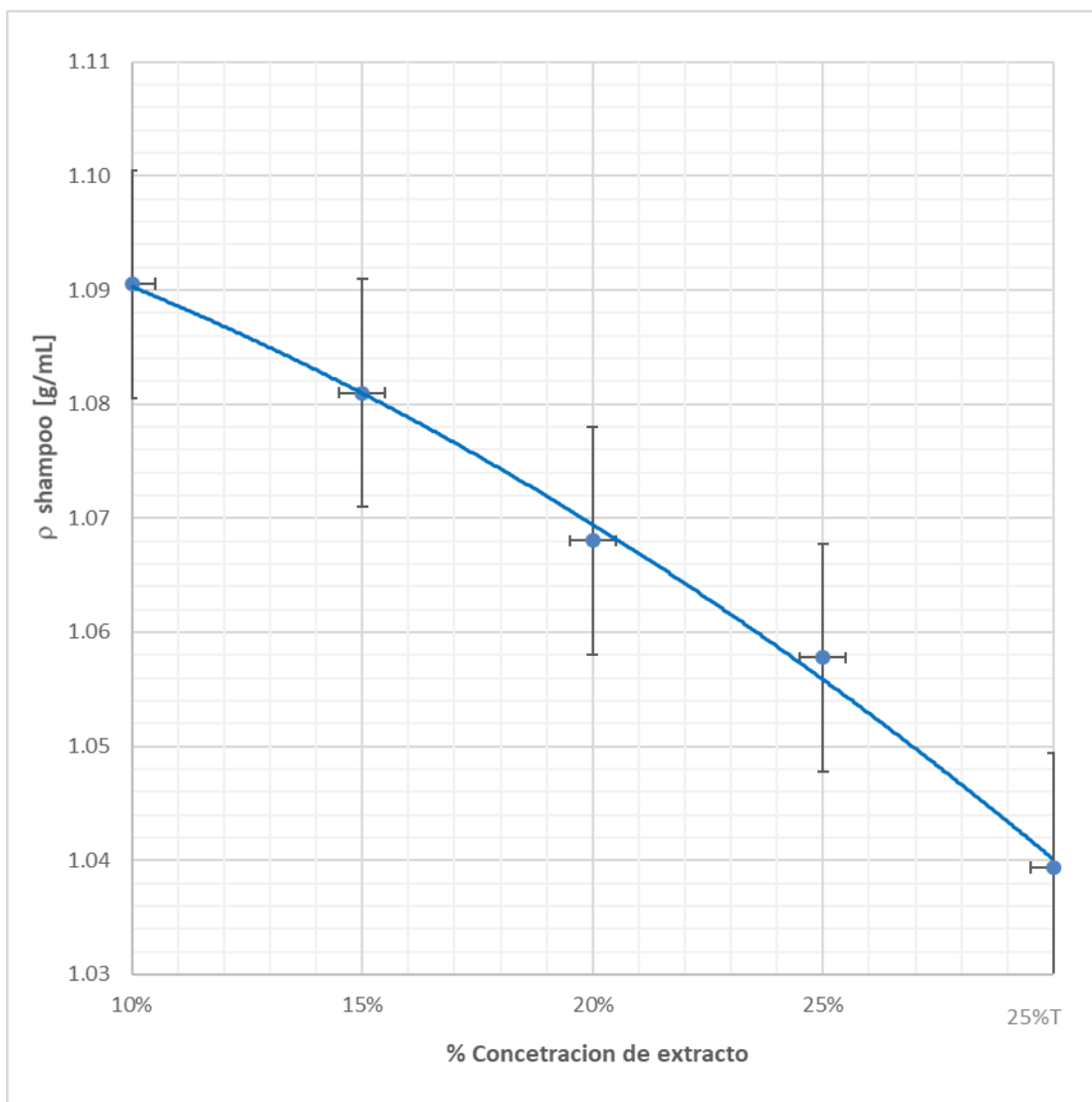


Fuente: elaboración propia.

4.4. Densidad de las formulaciones de shampoo

La figura 19, presentan los resultados de las densidades obtenidas, al evaluar la concentración de extracto crudo en las distintas formulaciones del shampoo.

Figura 19. **Densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Altura de espuma de las formulaciones de shampoo

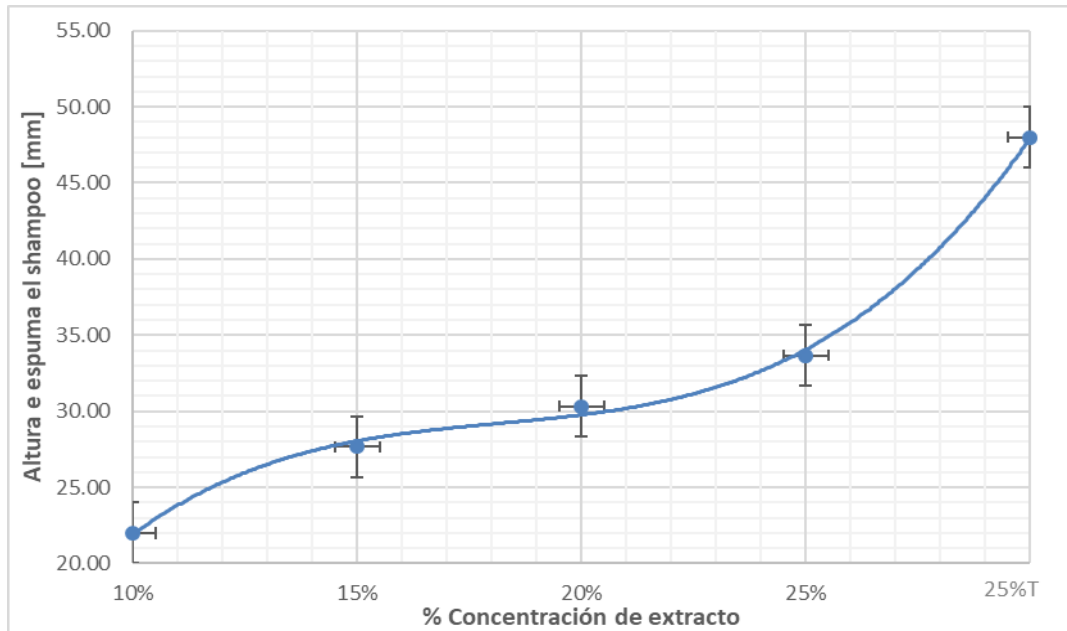
Se exponen los resultados obtenidos de la altura y consistencia obtenida en las formulaciones, al evaluar la concentración de extracto crudo.

Tabla XXV. **Consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Concentración de extracto	Consistencia de espuma
1	10 %	Homogénea y estable
2	15 %	Homogénea y estable
3	20 %	Inestable
4	25 %	Inestable
5	25 %T	Homogénea y estable

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Análisis de la altura de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia.

4.6. Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo

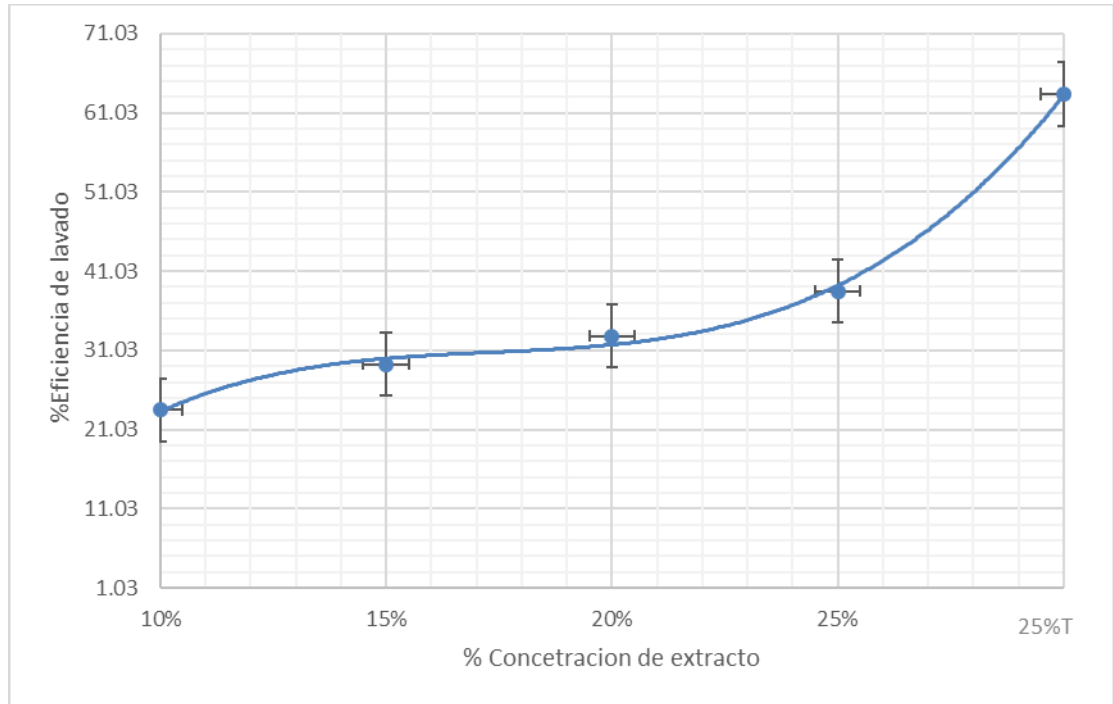
Se presentan los resultados de eficiencia de lavado obtenidos al evaluar la concentración de extracto crudo, en las formulaciones.

Tabla XXVI. **Color de cada una de las formulaciones**

Formulación	Concentración de extracto	Color
1	10 %	Marrón claro
2	15 %	Marrón claro
3	20 %	Marrón
4	25 %	Marrón oscuro
5	25 %T	Marrón oscuro

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Debido a que las saponinas son solubles en agua y capaces de establecer puentes de hidrógeno, presentando un carácter polar, se realizan las extracciones con etanol. Además, la extracción por medio acuoso es un procedimiento seguro y económico respecto de productos potencialmente tóxicos como metanol, butanol y otros solventes orgánicos. Aunque cabe resaltar que se obtienen menores rendimientos de extracción con etanol en comparación con otros solventes.

5.1. Concentración de saponinas obtenido y prueba de identificación

Mediante el análisis de cuantificación se estima que el extracto crudo presenta en promedio una concentración de $3,3064 \pm 0,004$ % de saponinas. Una concentración relativamente baja de acuerdo con la reportada por Lurssen, ya que, según este, el tallo presenta aproximadamente un 10,28 % de saponinas, esto al evaluarlo por el mismo método de cuantificación y extraído por medio de percolación utilizando como solvente el metanol.²⁴

En la tesis realizada por Santizo, se cuantificó gravimétricamente las saponinas en la hoja de izote obteniendo un 1,1556 % de saponinas esteroideas.²⁵

²⁴ LURSEEN, Lilian. *Cuantificación de saponinas esteroideas en Yucca elephantipes (Flor de izote)*. p. 67.

²⁵ SANTIZO, Diego. *Aislamiento y cuantificación gravimétrica de saponinas esteroideas contenidas en yucca elephantipes (izote)*. p. 23.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por ambos, aunque mucho más próximo a Santizo, algo que debe tomarse en cuenta es que los porcentajes de concentración de saponinas varían dependiendo la procedencia del izote, época de colecta y método de extracción. Las muestras del tallo fueron recolectadas durante la temporada de invierno, por lo cual posiblemente la cantidad de agua presente en el tallo fuera mayor diluyendo la concentración de saponinas, con ello se obtuvieron dichos resultados.

Una prueba para la identificación de saponinas es la de altura o índice de espuma, en la cual se toma una solución acuosa que contenga saponinas y se agita vigorosamente. Si la altura de espuma es mayor a 15 mm después de 15 minutos, la muestra tiene una alta concentración de saponinas.

En la figura 16 se observa que al inicio con tiempo 0 min la altura promedio es de 49 ± 2 mm y al final de 25 min la altura promedio es de 37 ± 1 mm, esto indica que la solución acuosa presenta una alta concentración de saponinas. Lo cual posiblemente se debe a que las saponinas al entrar en contacto con el agua tienden a disminuir la tensión superficial de esta, y al agitarse forman espuma, formada por burbujas que colapsan progresivamente con el tiempo.

5.2. pH de las formulaciones de shampoo

A mayor concentración de extracto las formulaciones presentan mayor acidez, la cual no es mayor a un pH de 6,10. El shampoo puede encontrarse en un rango de 3,5 a 7,5 de pH. Se ajustó el pH de cada una de las formulaciones a un valor próximo de 5,50 lo cual se realizó con una titulación, de ácido cítrico a una concentración de 0,01 Molar.²⁶

²⁶ SAMARIEGO, Juan. *Diseño y formulación de un champu a base de extracto de alcohol de Urtica urens L. para su aplicación contra la caída del cabello.* p. 34.

El aumento del pH, al aumentar la concentración de extracto en las formulaciones, se puede atribuir a la mayor presencia de saponinas esteroidales las cuales posiblemente poseen regiones polares que atraen iones hidronio de la mezcla.

Debe destacarse que las saponinas esteroidales son derivadas del espirostano y furostano que presentan un pH neutro y las saponinas triterpenoides son derivadas de agliconas como; ácido oleanólico, ácido fitolacagénico, ácido serjánico, ácido 3 β -Hidroxi-27-oxo-olean-12-en-28-oico, y ácido 3 β ,23 α ,30 β -Trihidroxi-olean-12-en-28-oico, presentando un pH ácido.²⁷

5.3. Viscosidad de las formulaciones de shampoo

Al aumentar la concentración de extracto crudo de saponinas la viscosidad del shampoo disminuye.

El rango de viscosidad recomendable se encuentra entre 2 500 cP y 13 000 cP para el shampoo, ya que si la viscosidad es muy baja hace que la interacción con el cuero cabelludo no sea efectiva, disminuyendo así la capacidad de limpieza del shampoo.²⁸ Como surfactante las saponinas generan mayor cohesión entre las partículas de la mezcla dificultando su capacidad de fluir.

Se busca que un shampoo tenga una viscosidad alta para así permanecer mayor tiempo en contacto con el cuero cabelludo, además un líquido viscoso es más difícil de remover lo que provoca que se tenga que masajear el cuero cabelludo, distribuyendo el shampoo en una mayor área, aumentando el tiempo de contacto con el cuero cabelludo.

²⁷ LURSEEN, Lilian. *Cuantificación de saponinas esteroidales en Yucca elephantipes (Flor de izote)*. p. 67.

²⁸ SANTIZO, Diego. *Aislamiento y cuantificación gravimétrica de saponinas esteroidales contenidas en yucca elephantipes (izote)*. p. 89.

De acuerdo con la figura 19 las formulaciones cuatro y cinco se encuentran fuera de dicho rango recomendable, esto ya que las saponinas son tensoactivas lo cual hace que la tensión superficial de las formulaciones disminuya al igual que la viscosidad. Según las pruebas de lavado las formulaciones cuatro y cinco presentan mayor eficiencia de limpieza, lo cual posiblemente causa que, por la baja viscosidad y alta concentración de saponinas, penetre de mejor manera en las muestras de cabello, removiendo y disolviendo la grasa, esto debido a la estructura de las saponinas las cuales poseen una parte hidrofílica y lipofílica, que ayuda a emulsificar la grasa en el agua y facilita su remoción en el cabello.

De acuerdo con el análisis de varianza realizado, existe diferencia significativa en la viscosidad al variar la concentración de extracto en la formulación. Además, mediante la prueba de Tukey, se infiere que no existe diferencia significativa entre las medias de las formulaciones uno y dos, así como cuatro y cinco.

Por lo cual se puede decir que para tener una alta viscosidad se recomienda utilizar un 25 % de extracto ya que se logra la misma viscosidad que al aplicar texapon. Lo cual se puede deber a que este no influye modificando la viscosidad del shampoo.

Para las demás formulaciones se atribuye a que el rango de 10 a 20 % a un 3,3064 % de concentración de saponinas puede haber sido un rango pequeño, para que no exista variación en la viscosidad.

5.4. Densidad de las formulaciones de shampoo

Se tiene un amplio rango de densidad cuando se habla de shampoo ya depende de muchos factores, un rango recomendado puede ser de 1 a 2 g/mL a 25 °C.²⁹

Al comparar las formulaciones realizadas de shampoo, se puede observar que, a mayor porcentaje de extracto disminuye la densidad. La formulación número uno presenta una densidad de $1,09 \pm 0,01$ g/mL y la formulación número cinco una densidad de $1,04 \pm 0,01$ g/mL, encontrándose dentro del rango recomendado, aunque muy cerca del límite inferior.

El comportamiento en el descenso de la densidad se puede deber posiblemente, al ajusté del pH de las muestras a un valor de 5,50. Ya que un pH ácido, hace que las moléculas de saponinas se partan formando saponinas de menor peso molecular. Caso similar con lo que sucede con el carbopol utilizado en la formulación, el cual no se gelifica bien a pH ácidos, haciendo que las cadenas poliméricas se partan en cadenas más cortas de menor peso molecular. Lo cual pudo haber causado el descenso en la densidad de las formulaciones.

La cantidad de extracto de saponinas influye significativamente en la densidad del shampoo. Y de acuerdo con la prueba de Tukey, no existe diferencia entre las medias de las formulaciones uno, dos, tres y cuatro. Siendo la única media diferente la de la formulación número cinco. Lo cual puede deberse a que fue la formulación que presentó un valor más alto de acidez en comparación con las demás, pudiendo provocar que se formara mayor cantidad de saponinas de

²⁹ MORALES, Karen. *Reformulación de shampoo mediante la adición de agentes espesantes, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos.* p. 67.

menor peso molecular, afectando la densidad ya que permite la compactación de la mezcla al reducir su tamaño.

5.5. Altura de espuma de las formulaciones de shampoo

La mayor altura de espuma obtenida la presenta la formulación cinco, con $48,00 \pm 1,00$ mm, lo cual se puede explicar ya que esta es la formulación a la cual se le agregó texapon, el cual es un tensoactivo comúnmente utilizado para la formulación de shampoo, lo cual posiblemente al entrar en contacto con el agua y el extracto de saponinas hiciera que se generara gran cantidad de espuma.

Como se puede observar, la altura de la formulación cinco, es mucho mayor a la formulación número cuatro por aproximadamente 15 mm de altura de espuma, ya que esta tuvo una altura promedio de $33,67 \pm 1,53$ mm. La altura de espuma más baja es la de la formulación uno con $22,00 \pm 2,00$ mm, esto por el bajo porcentaje de extracto en la formulación.

La consistencia de espuma para las formulaciones de shampoo uno, dos y cinco es homogénea ya que se podía observar que después de pasados los 15 min la espuma en dichas formulaciones presentaban burbujas de una forma compacta y estable. En comparación de las formulaciones dos y tres las cuales presentan burbujas de espuma inestable y un tamaño de burbujas de forma irregular y mucho menos compacta.

De acuerdo con el análisis de varianza, en el cual se infiere que la concentración de extracto influye significativamente en la altura de espuma de las distintas formulaciones. Además, según la prueba de Tukey realizada, las medias de la altura de espuma de las formulaciones dos, tres y cuatro son iguales. Siendo distintas las formulaciones uno y cinco, lo que se atribuye a una

baja concentración en la formulación uno en comparación con la dos, tres y cuatro. Para la formulación cinco se atribuye al texapon, esto ya que la formulación cuatro y cinco presentaban la misma concentración de extracto, pero presentan una diferencia de 15 mm entre estas aproximadamente.

5.6. Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo

La eficiencia de lavado de la formulación uno con 10 % de concentración de extracto es de $23,49 \pm 1,13$ % obteniendo un porcentaje relativamente bajo de capacidad de emulsificar la grasa, esto en comparación del $63,41 \pm 1,09$ % de eficiencia de lavado que se obtuvo en la formulación cinco la cual contenía texapon, que posee una capacidad de disolver y remover la grasa, de mejor manera que las saponinas por sí solas de acuerdo con lo observado.

El máximo porcentaje de eficiencia de limpieza obtenida a base únicamente de extracto de saponinas es de $38,50 \pm 3,76$ % obtenida en la formulación cuatro. El color de cada una de las formulaciones es marrón, variando únicamente en el tono ya que las formulaciones cuatro y cinco mostraron una tonalidad oscura en comparación con las primeras dos formulaciones, lo cual se debe al porcentaje de concentración de extracto crudo el cual presenta un color marrón rojizo, característico de la corteza del tallo de izote.

En el análisis de varianza realizado se determinó que la concentración de extracto influye significativamente en la eficiencia de lavado. Mediante la prueba de Tukey se infiere que no existe diferencia entre las medias de las formulaciones uno, dos, tres y cuatro, por lo cual se puede decir que dichas formulaciones presentan la misma eficiencia de lavado. Para la formulación cinco se puede atribuir posiblemente que por la baja viscosidad y alta concentración de

saponinas penetrara de mejor manera en las muestras de cabello, removiendo y disolviendo la grasa, presentando así mayor eficiencia de limpieza.

De acuerdo con la evaluación realizada en el presente, se determinó que el tallo de izote es una fuente de saponinas con la cual se puede elaborar shampoo logrando emulsificar hasta un 40 % de grasa aproximadamente, y si se mezcla con algún tensoactivo como el texapon hasta un 65 %, por lo cual se insta a seguir investigando, tanto en la planta como en los métodos de extracción, así como las diversas aplicaciones que se pueden obtener de las saponinas.

CONCLUSIONES

1. La concentración de saponinas presentes en el extracto crudo de saponinas obtenido del tallo de izote es de $3,3063 \pm 0,004$ %.
2. El aumento en la concentración de extracto de saponinas en las formulaciones presenta una reducción de su acidez, posiblemente debido a la mayor presencia de saponinas esteroidales las cuales poseen regiones polares que atraen iones hidronio de la mezcla.
3. La viscosidad tiende a disminuir al aumentar la concentración de extracto en las formulaciones, lo cual posiblemente se debe a que como surfactantes las saponinas generan mayor cohesión entre las partículas de la mezcla dificultando su capacidad de fluir.
4. La densidad de las formulaciones realizadas de shampoo disminuye al aumentar la concentración de extracto de saponinas. Lo cual posiblemente se debe al ajuste en la acidez, el cual pudo provocar que las moléculas de saponinas se partieran formando estructuras de más pequeñas afectando la compactación de la mezcla al reducir su tamaño.
5. La altura de espuma, aumentando a mayor cantidad concentración de extracto, lo cual puede deberse probablemente a que las saponinas al entrar en contacto con el agua provocan la disminución de la tensión superficial, y al agitarse forma burbujas que colapsan al pasar el tiempo.

6. La eficiencia de lavado aumenta a mayor concentración de extracto de saponinas, lo cual posiblemente se debe a que las saponinas poseen una propiedad tensoactiva logrando así disolver y remover la grasa.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la extracción de saponinas del tallo de izote con materia prima proveniente de otra región y recolectadas en otra época del año para cuantificar la variación en la cantidad de saponinas presentes en el tallo.
2. Evaluar la granulometría del tallo pulverizado para aumentar el rendimiento de extracción de saponinas.
3. Efectuar la extracción de saponinas provenientes del tallo de izote con diferentes solventes para evaluar el rendimiento extractivo. Optimizando así el tiempo de extracción y aprovechando de mejor manera la materia prima.
4. Evaluar la aplicación de saponinas en otros productos de diversas industrias como alimenticias, farmacéuticas y demás. Como lo pueden ser emulsificantes y esteroides de origen natural.

BIBLIOGRAFÍA

1. BACCOU, James., LAMBERT Frederick. *Spectrophotometric Method for the determination of Total Steroidal Sapogenin. Analyst.* Estados Unidos: 1997. 600 p.
2. BRUNETON, Juan. *Elementos de fitoquímica y de farmacognosia.* 2a ed. España: Editorial Acribia, 1994. 400 p.
3. CASTRO, Martín y DEL VALLE, Omar. *Determinación de la rentabilidad del proceso de extracción de saponinas provenientes de Quillay mediante líquidos iónico.* Perú: 2017.145 p.
4. CHEEKE, Peter Robert. *Actual and potential applications of Yucca schidigera and Quillaja saponaria saponins in human and animal nutrition. Journal of Animal Science.* Vol. 77. Suecia: 2000. 10 p.
5. DEWICK, Paul. *Medical natural products a biosynthetic approach.* 2a ed. John Wiley and sons. LTD. Reino Unido: 2002. 234 p.
6. DOMÍNGUEZ Ximena. *Métodos de Investigación Fitoquímica.* México: Limusa, 1979. 281 p.
7. DOMON, Bruno. y HOSTETTMAN, Kurt. *Saponins with molluscidal properties from Lonicera nigra L- Helv.* Italia:1963. 428 p.

8. FLORES, Julio; HUAMÁN, Leonel; TOMAS, Eduardo. *Estudio comparativo de tres metodologías cuantitativas de extracción de saponinas de la melisa officinalis "Toronjil"*. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Peru: 2013. 87 p.
9. GALINDO, Federico; ROSALES, Miguel; MURGUEITO, Esteban; LARRAHONDO, José. *Sustancias antinutricionales en las hojas de guamo, nacedero y matarraton*. Colombia:1989. 15 p.
10. GIANNA, Vicente. *Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de Chenopodium quinua wild provenientes del noreste argentino*. Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales en la Universidad Nacional de Córdoba. Argentina: 2013. 234 p.
11. HERNÁNDEZ, Roberto. *Obtención de crudo de saponinas hipocolesteromizantes del Chenopodium quinua Wild*, Instituto Superior de Medicina Militar "Doctor Luis Días Soto". Cuba: 1996. 256 p.
12. HOSTETTMANN, Kurt; MARSTON, Arthur. *Chemistry and pharmacology of natural products*. Journal of natural products. Estados Unidos: 1995. 26 p.
13. KAWASAKI, Tai; MIYAHARA, Kyu. *Thin layer chromatography of steroid saponins and their derivatives*. Belgica: 1963. 1550 p.
14. KENSIL, Charlotte; MARCIANI, Dante. *Saponin study of structure*. Estados Unidos:1991. 540 p.

15. KENSIL, Charlotte; TRUNCH, Antony. *Current vaccine adjuvants: an overview of a diverse class*. Frontiers in Bioscience Francia:2004. 298 p.
16. KIM, James; OTHMER Dew. *Enciclopedia de tecnología química*. 1a ed. en español. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana (UTEHA). Mexico:1969. Tomo 8 y 14.
17. LURSEEN Lilian María. *Cuantificación de saponinas esteroidales en Yucca elephantipes (Flor de izote)*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2001. 142 p.
18. MARTÍNEZ, Antonio. *Saponinas Esteroides*. Colombia:2001. 98 p.
19. MASTROGIOVANNI, Martin. *Extracción, purificación y caracterización primaria de saponinas de Quillaja brasiliensis*. Tesina de grado, Universidad de la República Montevideo. Uruguay: 2012. 128 p.
20. MEDINILLA, Beatriz. *Manual de laboratorio de farmacognosia*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1996. 37 p.
21. MORALES, Karen. *Reformulación de shampoo mediante la adición de agentes espesantes, manteniendo su funcionalidad y reducción de recursos*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014. 173 p.

22. PALENCIA, Miguel. *Sustancias bioactivas en los alimentos*. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero. México: 2003. 162 p.
23. PÉREZ, Juan. *Evaluación de Métodos de extracción de saponinas de los residuos del beneficio del fique*. Tesis de Grado de ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. Mexico: 2009. 765 p.
24. SANTIZO, Diego. *Aislamiento y cuantificación gravimétrica de saponinas esteroideas contenidas en yucca elephantipes (izote)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1989. 78 p.
25. SAMARIEGO, Juan Fernando. *Diseño y formulación de un champu a base de extracto de alcohol de Urtica urens L. para su aplicación contra la caída del cabello*. Lima, Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2015. 145 p.
26. SANDOVAL, Giovanni. *Algunas consideraciones sobre Yucca schidigera y su aprovechamiento*. Primera reunión nacional sobre ecología, manejo y domesticación de las plantas útiles del desierto. Publicación Especial No. 31. Argentina: 1981. 393 p.
27. SOLÍS, Estuardo., CHÁVEZ, Julián., CERNA Macario y MUÑOZ, Daniel. *Extracción y estudio fitoquímico de saponinas de Chenopodium "Quinoa"*. Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú: 2005. 165 p.

28. SPINGEL, Murray. *Teoría y problemas de probabilidad y estadística*. México: McGraw-Hill, 1961. 316 p.
29. TARANCO, Tomas; SOLIS, Estuardo; CHAVEZ, Julián y PEÑA, Carlos. *Extracción de saponinas de Chenopodium quinua para su utilización en la elaboración de productos cosméticos*. El XVII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Químicos llevado a cabo en Cusco, Perú: 2005. 184 p.
30. TOCAL, Carlos y ROSENDE, Jimena. *Química y bioquímica de hierbas*. Chile: Editorial Okenfull, 1986. 87 p.
31. TRUJILLO, Román y VALENCIA, Jairo. *Determinación de un método eficiente para la extracción de saponinas producidas durante el lavado de quinua (Chenopodium quinua)*. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Américas, Ecuador. 2017. 98 p.
32. URIBE, Luis Armando. *Posibilidades de las saponinas de Quinua en la industria cosmética*. Tesis Licenciatura. Facultad de Química UNAM, México: 1987. 143 p.
33. WANG, Ziu. *Surface properties of gleditsia saponin and synergism of its binary sistema*. Journal of Dispersion Science and Technology. Inglaterra: 2005. 347 p.
34. YANG, Chen., ZHANG, Yu. y JACOB Michel. *Antifugal activity of C27 steroidal saponins, Antimicrobial and chemotherapy*, Suecia; 2006. 232 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos originales

Tabla I. Prueba de identificación de saponinas en cada uno de los lotes obtenidos del tallo de *yucca elephantipes*

Lote de muestra de extracto	Tiempo [min]	Altura de espuma [mm]	Consistencia de espuma
A	00	51,00	Homogénea y estable
	15	49,00	Inestable
	25	47,00	Homogénea y estable
B	00	38,00	Homogénea y estable
	15	39,00	Homogénea y estable
	25	40,00	Homogénea y estable
C	00	37,00	Homogénea y estable
	15	38,00	Homogénea y estable
	25	36,00	Inestable

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Medición del pH inicial de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas

Formulación	Replica	pH Inicial
1	I	5,90
	II	5,30
	III	5,10

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1.

2	I	6,00
	II	5,40
	III	5,30
3	I	6,00
	II	5,60
	III	5,60
4	I	6,10
	II	5,80
	III	5,70
5	I	6,20
	II	6,00
	III	5,90

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Medición del pH final de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	pH final
1	I	5,40
	II	5,30
	III	5,50
2	I	5,50
	II	5,60
	III	5,40
3	I	5,30
	II	5,50
	III	5,60
4	I	5,60
	II	5,50
	III	5,50

Continuación apéndice 1.

5	I	5,50
	II	5,40
	III	5,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Medición de la viscosidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Viscosidad [cP]
1	I	4289,68
	II	4326,96
	III	4561,20
2	I	4163,76
	II	4225,48
	III	4241,36
3	I	3509,92
	II	3601,36
	III	3800,80
4	I	2134,32
	II	2561,12
	III	2640,32
5	I	2001,44
	II	2201,41
	III	2286,32

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Medición de la densidad de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Densidad [g/mL]
1	I	1,09
	II	1,08
	III	1,10

Continuación apéndice 1.

2	I	1,08
	II	1,08
	III	1,08
3	I	1,07
	II	1,07
	III	1,07
4	I	1,06
	II	1,06
	III	1,05
5	I	1,04
	II	1,04
	III	1,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Medición de la altura y consistencia de espuma de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Altura de espuma [mm]	Consistencia de espuma
1	I	24,00	Homogénea y estable
	II	22,00	Homogénea y estable
	III	20,00	inestable
2	I	28,00	Homogénea y estable
	II	29,00	Homogénea y estable
	III	26,00	Homogénea y estable
3	I	30,00	Homogénea y estable
	II	31,00	Inestable
	III	30,00	Homogénea y estable
4	I	34,00	Homogénea y estable
	II	35,00	Inestable
	III	32,00	Inestable

Continuación apéndice 1.

5	I	49,00	Homogénea y estable
	II	47,00	Homogénea y estable
	III	48,00	Homogénea y estable

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Medición de la eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo a base de crudo de saponinas**

Formulación	Réplica	Eficiencia de lavado [%]	Color	Olor
1	I	24,75	Marrón Claro	Floral
	II	23,15	Marrón Claro	Floral
	III	22,57	Marrón Claro	Floral
2	I	28,45	Marrón Claro	Floral
	II	26,45	Marrón Claro	Floral
	III	32,89	Marrón Claro	Floral
3	I	33,45	Marrón	Floral
	II	29,62	Marrón	Floral
	III	35,45	Marrón	Floral
4	I	38,71	Marrón oscuro	Floral
	II	34,64	Marrón oscuro	Floral
	III	42,15	Marrón oscuro	Floral
5	I	62,18	Marrón oscuro	Floral
	II	64,25	Marrón oscuro	Floral
	III	63,81	Marrón oscuro	Floral

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Determinación de densidad en las formulaciones de shampoo**

Se determinó el volumen del picnómetro, utilizado para determinar la densidad de las distintas formulaciones de shampoo, para lo cual se realizaron 10 repeticiones midiendo la masa y la temperatura del agua la cual fue de 25 °C, luego se tomó como referencia la densidad del agua a 25° con la cual se obtuvo un volumen promedio de 9,7720 mL.

Tabla VIII. **Volumen de picnómetro**

Repetición	Masa [g]	Densidad [g/mL]	Volumen [mL]
1	9,75	0,99713	9,77806304
2	9,75	0,99713	9,77806304
3	9,72	0,99713	9,74797669
4	9,73	0,99713	9,75800548
5	9,76	0,99713	9,78809182
6	9,74	0,99713	9,76803426
7	9,75	0,99713	9,77806304
8	9,75	0,99713	9,77806304
9	9,75	0,99713	9,77806304
10	9,74	0,99713	9,76803426
Promedio	9,74	0,99713	9,77204577

Fuente: elaboracion propia.

Apéndice 3. **Datos intermedios para la determinación de la eficiencia de lavado de las formulaciones de Shampoo**

Tabla IX. **Masa de las muestras de cabello**

Formulación	Réplica	Cabello [mg]	\bar{x}	σ
1	I	10 014	10 003	12,90
	II	9 989		
	III	10 007		
2	I	10 008	10 033	48,27
	II	10 003		
	III	10089		
3	I	10 075	10 024	46,61
	II	10 016		
	III	9 983		
4	I	10 080	10 010	64,49
	II	9 997		
	III	9 953		
5	I	9 998	10 009	10,02
	II	10 013		
	III	10 017		

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Masa de grasa agregada a cada muestra de cabello**

Formulación	Réplica	Grasa [mg]	\bar{x}	σ
1	I	768,00	561,33	179,02
	II	462,00		
	III	454,00		

Continuación apéndice 3.

2	I	440,00	536,33	95,03
	II	630,00		
	III	539,00		
3	I	697,00	584,33	116,14
	II	591,00		
	III	465,00		
4	I	1608,00	873,00	636,67
	II	519,00		
	III	492,00		
5	I	704,00	603,00	89,62
	II	533,00		
	III	572,00		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Masa de cabello y grasa en cada muestra**

Formulación	Réplica	Grasa y cabello [mg]	\bar{x}	σ
1	I	10 782	10 565	188,28
	II	10 451		
	III	10 461		
2	I	10 448	10 570	105,40
	II	10 633		
	III	10 628		
3	I	10 772	10 609	162,01
	II	10 607		
	III	10 448		
4	I	10 381	10 447	67,53
	II	10 516		
	III	10 445		
5	I	10 702	10 612	80,58
	II	10 546		
	III	10 589		

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 3.

A continuación, se presenta la masa después del lavado con cada una de las formulaciones de shampoo elaboradas y secadas en el horno durante dos horas y una temperatura no mayor a 39 °C.

Tabla XII. **Masa de cabello y grasa obtenido después del secado en horno en cada muestra**

Formulación	Concentración de extracto crudo de saponinas	Réplica	Secado [mg]	\bar{x}	σ
1	10 %	I	10 452	10 371	69,54
		II	10 327		
		III	10 335		
2	15 %	I	10 418	10 482	98,07
		II	10 434		
		III	10 595		
3	20 %	I	10 643	10 544	85,71
		II	10 487		
		III	10 502		
4	25 %	I	10 395	10 500	95,31
		II	10 523		
		III	10 582		
5	25T %	I	10 342	10 0750	30,12
		II	10 058		
		III	10 020		

Fuente: elaboración propia.

Mediante la diferencia entre la masa después del secado y suma entre la masa del cabello y de grasa se determinó la eficiencia de lavado de cada una de las formulaciones de shampoo, que se presentan en la sección de resultados.

Continuación apéndice 3.

Tabla XIII. **Tabla de aleatoriedad para la realización de las distintas formulaciones de shampoo**

1	2	3	4	5
F5R1	F3R1	F3R2	F4R2	F5R3
6	7	8	9	10
F5R2	F1R3	F2R2	F2R1	F4R3
11	12	13	14	15
F2R3	F3R3	F4R1	F4R2	F1R1

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el orden de elaboración de cada una de las formulaciones se realizó por medio de un ejercicio de aleatoriedad que consistió en hacer una “tómbola” con cada una de las formulaciones por elaborar esto con el fin de reducir errores en las formulaciones.

Apéndice 4. **Fotografías del desarrollo del trabajo**

Figura 1. **Molido de tallo seco de izote**



Fuente: elaboracion propia

Figura 2. **Lixiviación de tallo de izote**



Fuente: elaboracion propia

Continuación apéndice 4.

Figura 3. **Pruebas de identificación de saponinas, altura de espuma**



Fuente: elaboracion propia

Figura 4. **Formulación de shampoo**



Fuente: elaboracion propia

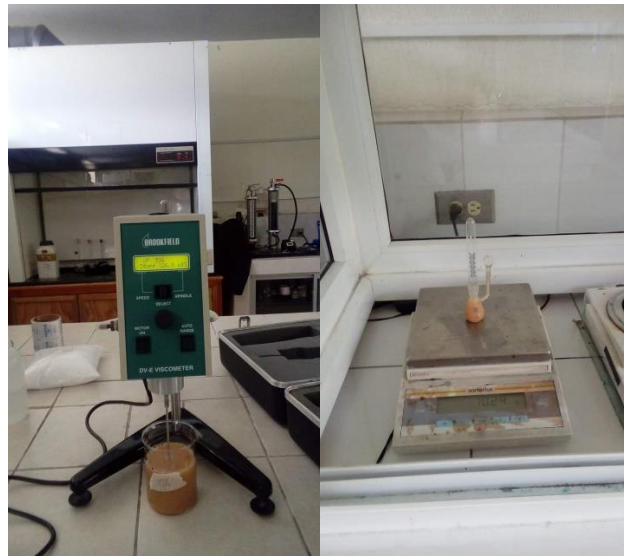
Continuación apéndice 4.

Figura 5. **Medición de pH y altura de espuma de las formulaciones de shampoo**



Fuente: elaboracion propia

Figura 6. **Medición de viscosidad y densidad**



Fuente: elaboracion propia

Continuación apéndice 4.

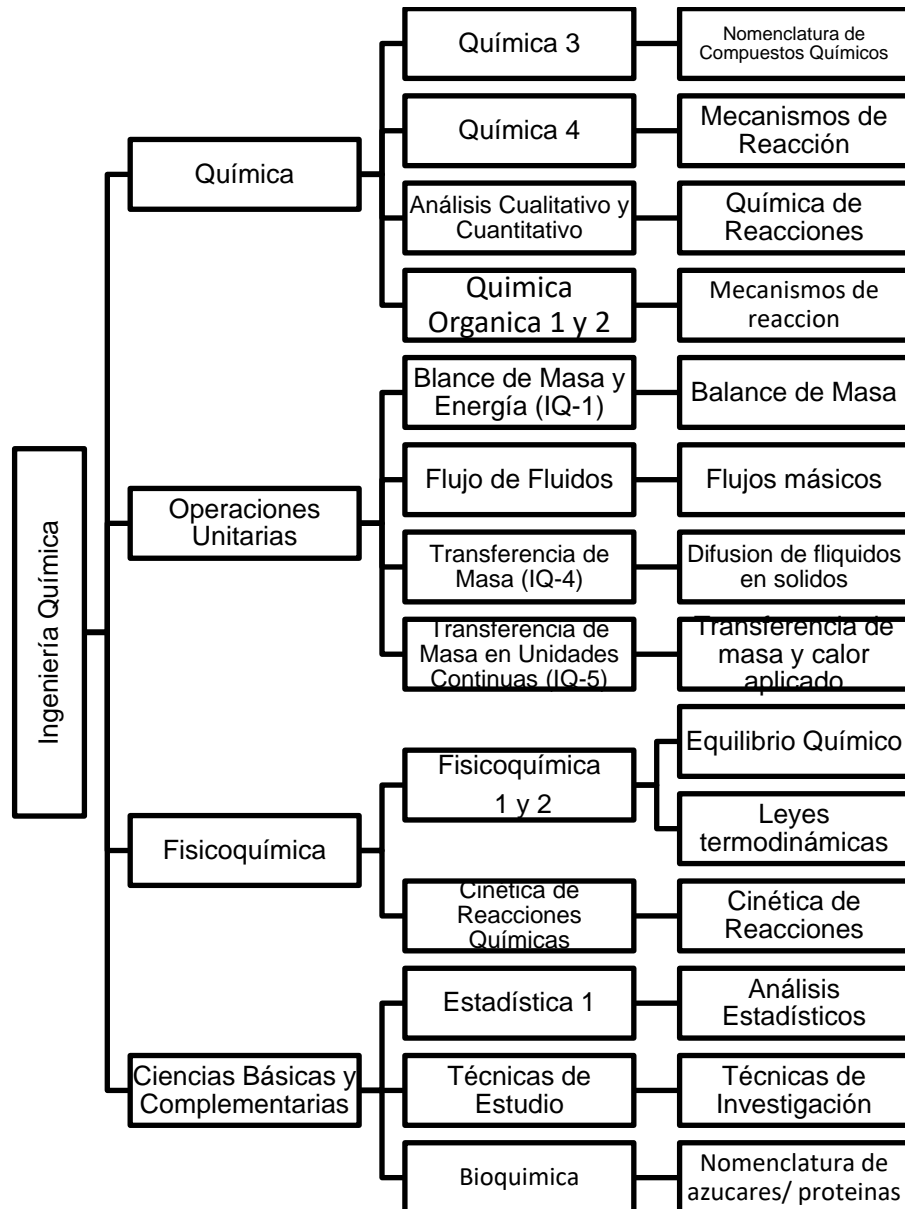
Figura 7. **Eficiencia de lavado de las formulaciones de shampoo**



Fuente: elaboracion propia

Apéndice 5. **Tabla de requisitos académicos**

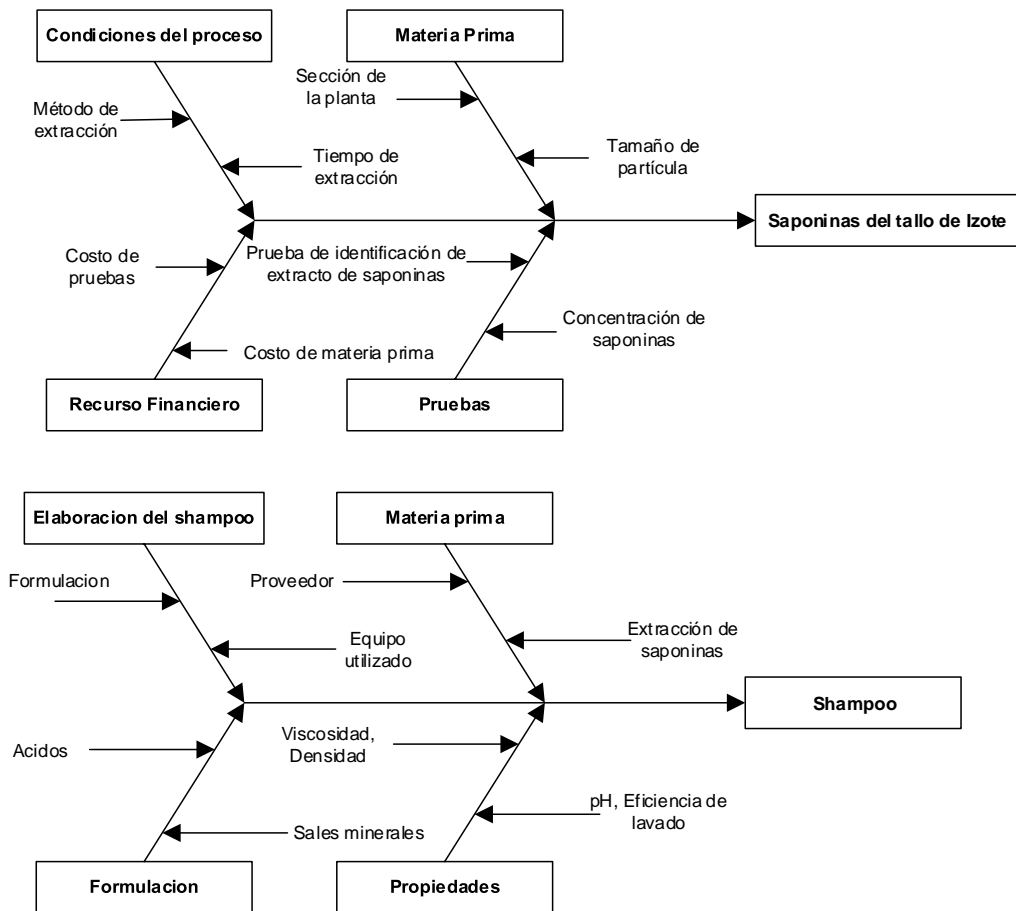
Figura 8. **Requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Diagrama de Ishikawa

Figura 9. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Figura 1. **Informe de resultados de cuantificación de saponinas de tres muestras de tallo de izote**

1/3



Informe No. 002-271118

INFORME DE RESULTADOS

Actividad solicitada: Cuantificación de saponinas esteroidales de tres muestras de saponinas de tallo de izote.

Solicitante: Sergio Patzan

Fecha de solicitud: Noviembre 2018

MÉTODOS

El método utilizado para la cuantificación de saponinas fue el descrito por Baccou, Lambert y Sauvaire (1977); que se basa en reacciones de coloración con anisaldehído, ácido sulfúrico y acetato de etilo, con lo cual se forma un cromóforo con el mismo espectro de absorción, y un único pico a 430 nm para todas las siguientes saponinas: diosgenina, trigogenina, hecogenina, smilagenina, yomogenina, tokorogenina, entre otras (Lurssen, 2001).

Para el análisis se tomó 2 mL de las muestras A y C y 1 mL de la muestra B y se añadió 25 mL de etanol al 95%. Se agitó y calentó en baño de maría a 60 grados centígrados por 20 minutos. Luego se transfirió una alícuota de 0.5 mL a un balón de 25 mL y posteriormente se tomó una alícuota de 4 mL a un beacker de 50 mL y se evaporó a sequedad en baño de maría. Al estar a temperatura ambiente se añadió: 2 mL de acetato de etilo, 1 mL de reactivo A (0.5 mL de anisaldehído + 99.5 mL de acetato de etilo) y 1 mL de reactivo B (ácido sulfúrico al 50% en acetato de etilo). Se agitó y calentó a 60 grados centígrados en baño de maría durante 20 minutos. Se dejó enfriar por 10 minutos y se leyó a 430 nm, utilizando una curva estándar de diosgenina, colesterol, estigmasterol y β -sitosterol. Como blanco se utilizó la mezcla de 2 mL de acetato de etilo, 1 mL del reactivo A y 1 mL del reactivo B.

RESULTADOS

En la tabla 1 se observan los resultados obtenidos en porcentaje de saponinas esteroidales.

Tabla 1. Concentración de saponinas en tallo de izote.

Muestra	Porcentaje de diosgenina	Porcentaje de colesterol	Porcentaje de estigmasterol	Porcentaje de β -sitosterol	Saponinas totales
A	0.0220 $\pm 0.002\%$	0.5981 \pm 0.03%	1.5874 \pm 0.07%	1.2891 \pm 0.06%	3.4966%
B	0.0158 \pm 0.002%	0.4127 \pm 0.01%	1.1425 \pm 0.03%	0.9183 \pm 0.03%	2.4893%
C	0.0247 \pm 0.004%	0.6784 \pm 0.06%	1.7803 \pm 0.15%	1.4498 \pm 0.12%	3.9332%

Fuente: Datos Experimentales. Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT-. Edificio T-10, Laboratorio 106, USAC.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la determinación de saponinas se realizó una curva de calibración de diosgenina, colesterol, estigmasterol y β -sitosterol, y se prosiguió a realizar la medición de las muestras. La muestra C fue la que presentó una mayor concentración de saponinas esteroidales totales (Tabla1), siguiéndole la muestra A y por último la muestra B.

Según la tesis realizada por Lurssen (2001), el tallo de izote presenta un 10.28% de saponinas esteroidales evaluado por el mismo método y extraído por medio de percolación utilizando como solvente metanol, este fue menor al contenido encontrado en las flores (10.57%) y mayor al encontrado en las hojas (9.83%); en la tesis realizada por Santizo (2013), se cuantificó gravimétricamente las saponinas en la hojas de izote obteniéndose un 1.1556% de saponinas esteroidales, menor al reportado por Lurssen, por lo que la concentración encontrada para las tres muestras es más cercano a lo reportado por Santizo. Debe tomarse en cuenta que los porcentajes varían dependiendo la procedencia del izote, época de colecta y método de extracción de saponinas.

CONCLUSIONES

La concentración de saponinas esteroidales totales fue mayor en la muestra C con un 3.9332%, siguiéndole la muestra A con un 3.4966% y por último la muestra B con un 2.4893%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Baccou, J., Lambert, F. & Sauvaire, J. (1977). Spectrophotometric method for the determination of total steroidal saponin. *Analyst*, 102.

Lurssen, L. (2001). *Cuantificación de saponinas esteroidales en Yucca elephantipes (flor de izote)*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Santizo, D. (2013). *Aislamiento y cuantificación gravimétrica de saponinas esteroidales contenidas en Yucca elephantipes (izote)*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.



Lorena Rochac
Analista



Licda. Nereida Marroquin
Supervisora analista

Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT)

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe de resultados sin previa autorización.

-----FIN-----

Fuente: Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

