

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**"CARACTERIZACIÓN TECNO-FUNCIONAL DE LA GOMA DE  
SAPOTE (*Capparis scabrida*)"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**CÉSAR JOSÉ ROJAS VARILLAS**

**LIMA – PERÚ**

**2023**

---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis**

**(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNALM)**

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	Tesis Caracterización Tecnofuncional goma de sapote- César Rojas Varillas 2022.docx (D147909626)
<b>Submitted</b>	10/28/2022 11:49:00 AM
<b>Submitted by</b>	Indira Milagros Betalleluz Pallardel
<b>Submitter email</b>	ibp@lamolina.edu.pe
<b>Similarity</b>	1%
<b>Analysis address</b>	ibp.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Seclen Falla Omar Eduardo &amp; Suysuy Chambergó Jose Hector.doc</b> Document Seclen Falla Omar Eduardo & Suysuy Chambergó Jose Hector.doc (D34073798)		<b>5</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad-Técnica-de-Cotopaxi.docx</b> Document Universidad-Técnica-de-Cotopaxi.docx (D16292180)		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>1A_Juscamaita _Quispe_ Julio _Cesar_ Titulo_ Profesional_2017.pdf</b> Document 1A_Juscamaita _Quispe_ Julio _Cesar_ Titulo_ Profesional_2017.pdf (D29980691)		<b>3</b>
<b>SA</b>	<b>NADAL_MARTINEZ_GD02070_20220628_1100_c007.pdf</b> Document NADAL_MARTINEZ_GD02070_20220628_1100_c007.pdf (D141516288)		<b>3</b>
<b>SA</b>	<b>submission.pdf</b> Document submission.pdf (D73718745)		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>tfg_flores_serrano.pdf</b> Document tfg_flores_serrano.pdf (D143575390)		<b>1</b>

## Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
 "CARACTERIZACIÓN TECNO-FUNCIONAL DE LA GOMA DE SAPOTE (Capparis scabrida) CON ÉNFASIS EN SUS PROPIEDADES EMULSIONANTES Y ESPUMANTES"  
 TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
 CÉSAR JOSÉ ROJAS VARILLAS  
 TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
 LIMA – PERÚ  
 20 22 La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis (Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNALM) DEDICATORIA  
 A mis padres y mi hermana por siempre Apoyarme en lo que me propongo, por su paciencia y comprensión, Por sus sonrisas y por su amor.  
 A mi familia que aprecio mucho y tengo presente, a mi abuelo José que en paz descanse y a mis amigos que me impulsan a ser mejor.  
 AGRADECIMIENTOS  
 A mi asesora la doctora Indira Betalleluz, a la que valoro mucho como profesional, maestra y persona, por su comprensión y perseverancia.  
 A la doctora Velezmoro por su apoyo y consejos, a la ingeniera Lena Téllez por su ayuda y a todas las personas que me apoyaron en los laboratorios de fisicoquímica, ingeniería de alimentos y, de investigación e instrumentación.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**"CARACTERIZACIÓN TECNO-FUNCIONAL DE LA GOMA DE  
SAPOTE (*Capparis scabrida*)"**

Presentado por:

**CÉSAR JOSÉ ROJAS VARILLAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

**Patricia Glorio Paulet, PhD.  
PRESIDENTE**

---

**Dra. Ana C. Aguilar Galvez  
MIEMBRO**

---

**Dr. Eduardo R. Morales Soriano  
MIEMBRO**

---

**Dra. Indira M. Betalleluz Pallardel  
ASESORA**

---

**Dra. Carmen E. Velezmoro Sánchez  
COASESORA**

Lima - Perú

2023

## **DEDICATORIA**

A mis padres y mi hermana por siempre  
Apoyarme en lo que me propongo,  
por su paciencia y comprensión,  
Por sus sonrisas y por su amor.

A mi familia que aprecio mucho y tengo presente,  
a mi abuelo José que en paz descansa y  
a mis amigos que me impulsan a ser mejor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesora la doctora Indira Betalleluz,  
a la que valoro mucho como profesional,  
maestra y persona, por su comprensión y perseverancia.

A la doctora Velezmoro por su apoyo y consejos,  
a la ingeniera Lena Téllez por su ayuda y a todas  
las personas que me apoyaron en los laboratorios de  
fisicoquímica, ingeniería de alimentos y,  
de investigación e instrumentación.

A la facultad de Industrias Alimentarias  
y la Universidad por formarme y darme  
unos años inolvidables en la institución,  
así como al proyecto VLIR-UOS UNALM por su apoyo.

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1.	ANTECEDENTES .....	3
2.2.	HIDROCOLOIDES .....	4
2.3.	GOMAS NATURALES .....	6
2.4.	PROPIEDADES REOLÓGICAS .....	10
2.5.	PROPIEDADES ESPUMANTES .....	11
2.5.1.	CAPACIDAD ESPUMANTE .....	11
2.5.2.	ESTABILIDAD ESPUMANTE .....	12
2.5.3.	HIDROCOLOIDES COMO AGENTES ESPUMANTES.....	12
2.6.	PROPIEDADES EMULSIONANTES .....	13
2.6.1.	CAPACIDAD EMULSIONANTE.....	13
2.6.2.	ESTABILIDAD EMULSIONANTE.....	14
2.6.3.	FENÓMENOS DE DESESTABILIZACIÓN DE LAS EMULSIONES .....	15
2.6.4.	HIDROCOLOIDES COMO AGENTES EMULSIONANTES .....	16
2.7.	OTRAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LAS GOMAS .....	17
2.7.1.	PROPIEDADES ESPESANTES .....	17
2.7.2.	PROPIEDADES GELIFICANTES .....	17
2.7.3.	PROPIEDADES ESTABILIZANTES .....	18
2.8.	GOMA DE SAPOTE.....	19
2.8.1.	AZÚCARES EN LA GOMA DE SAPOTE.....	21
2.8.2.	PROTEÍNAS EN LA GOMA DE SAPOTE .....	21
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>23</b>
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	23

3.2.	MATERIA PRIMA .....	23
3.3.	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	23
3.3.1.	EQUIPOS.....	23
3.3.2.	MATERIALES .....	24
3.3.3.	REACTIVOS .....	24
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	24
3.4.1.	PURIFICACIÓN DE LA GOMA .....	24
3.4.2.	ANÁLISIS PROXIMAL .....	25
3.4.3.	SOLUBILIDAD.....	25
3.4.4.	CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	25
3.4.5.	COMPORTAMIENTO DE FLUJO DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS DE GOMA .....	26
3.4.6.	VISCOSIDAD INTRÍNSECA .....	27
3.4.7.	CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN.....	27
3.4.8.	PROPIEDADES ESPUMANTES .....	28
3.4.9.	PROPIEDADES EMULSIONANTES.....	30
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	33
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	34
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
4.1.	ANÁLISIS PROXIMAL .....	36
4.2.	SOLUBILIDAD .....	38
4.3.	CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	39
4.4.	COMPORTAMIENTO DE FLUJO .....	42
4.5.	VISCOSIDAD INTRÍNSECA .....	44
4.6.	CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN.....	45
4.7.	PROPIEDADES ESPUMANTES .....	47

4.7.1. CAPACIDAD ESPUMANTE .....	47
4.7.2. ESTABILIDAD ESPUMANTE .....	49
4.7.3. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTAS TEMPERATURAS.....	51
4.7.4. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTOS VALORES DE PH .....	53
4.7.5. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE SODIO .....	55
4.8. PROPIEDADES EMULSIONANTES.....	57
4.8.1. ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE.....	57
4.8.2. ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE E ÍNDICE DE CREMA .....	60
4.8.3. OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS DE LAS EMULSIONES.....	63
4.8.4. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTAS TEMPERATURAS .....	64
4.8.5. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTOS VALORES DE PH .....	66
4.8.6. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE SODIO.....	69
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales aplicaciones de gomas de distintos orígenes.....	7
Tabla 2: Porcentajes de azúcares presentes en gomas de Sapote según su procedencia.....	20
Tabla 3: Análisis químico proximal de la goma de Sapote purificada.....	36
Tabla 4: Solubilidad (%) en función de la temperatura de goma Sapote y goma Arábiga.....	38
Tabla 5: Índice de consistencia (K) e índice de comportamiento de fluido (n) para gomas de Sapote y Arábiga a distintas concentraciones.....	44
Tabla 6: Viscosidad intrínseca para goma Arábiga y de Sapote según modelo de Huggins y Kramer.....	45
Tabla 7: Presencia de gelificación para gomas de Sapote, Arábiga, Guar y Xantan a distintas concentraciones.....	46
Tabla 8: Capacidad Espumante en porcentaje para goma de Sapote y Arábiga a distintas concentraciones.....	48
Tabla 9: Capacidad espumante en porcentaje de goma de Sapote al 1 por ciento distintas temperaturas.....	52
Tabla 10: Capacidad espumante en porcentaje para goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH.....	54
Tabla 11: Capacidad espumante en porcentaje para goma de Sapote al 1 (pH = 7) por ciento a distintas concentraciones de cloruro de sodio.....	56
Tabla 12: Turbidez en $\text{cm}^{-1}$ de las emulsiones formadas por goma de Sapote y goma Arábiga.....	58
Tabla 13: Índice de actividad emulsionante en $\text{m}^2/\text{g}$ para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábiga a distintas concentraciones.....	59
Tabla 14: Índice de estabilidad emulsionante para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábiga a distintas concentraciones luego de 7 días.....	60
Tabla 15: Índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábiga a distintas concentraciones luego de 7 días.....	61

Tabla 16: Índice de actividad emulsionante, estabilidad emulsionante e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento a distintas temperaturas.....	65
Tabla 17: Índice de actividad emulsionante, estabilidad emulsionante e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH.....	67
Tabla 18: Índice de actividad emulsionante, estabilidad emulsionante e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento (pH = 7) a distintas concentraciones de cloruro de calcio.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ilustración de glóbulos estabilizados (a) aumentando la viscosidad de la fase acuosa y (b) por adsorción en la interfaz aceite-agua.....	15
Figura 2: Diseño Experimental de la Metodología de Investigación .....	35
Figura 3: Espectro FTIR para a) goma Guar (amarillo), b) Sapote (azul), c) Xantan (morado) y d) Arábiga (rojo).....	40
Figura 4: Reograma de goma de Sapote para concentraciones de 5, 10, 15 y 20 por ciento...43	
Figura 5: Reograma de goma Arábiga para concentraciones de 5, 10, 15 y 20 por ciento....43	
Figura 6: Estabilidad Espumante de goma Sapote a concentraciones de 1, 3, 5, 7 y 10 por ciento a través del tiempo.....	50
Figura 7: Estabilidad Espumante de goma Arábiga a concentraciones de 1, 3, 5, 7 y 10 por ciento en el tiempo.....	51
Figura 8: Estabilidad Espumante de goma de Sapote al 1 por ciento a distintas temperaturas en el tiempo.....	53
Figura 9: Estabilidad espumante para goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH en el tiempo.....	55
Figura 10: Estabilidad espumante para goma de Sapote al 1 (pH = 7) por ciento a distintas concentraciones de cloruro de sodio en el tiempo.....	57
Figura 11: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma Arábiga en concentraciones de a) 1% b) 2.5% c) 5% y d) 10%.....	63
Figura 12: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote en concentraciones de a) 1% b) 2.5% c) 5% y d) 10%.....	64
Figura 13: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento de concentración sometidas a temperaturas de a) 30 °C b) 50°C c) 70°C y d) 90°C.....	66
Figura 14: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento de concentración a valores de pH de a) 3 b) 5 c) 7 y d) 9.....	68

Figura 15: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento (pH =7) con concentraciones de NaCl de a) 100 mM b) 300 mM y c) 500mM.....70

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: GRÁFICOS $\eta_{sp}/c$ vs C y $\ln(\eta_r)/c$ vs C PARA HALLAR LA VISCOSIDAD INTRÍNSECA PARA GOMA DE SAPOTE .....	84
ANEXO 2: GRÁFICOS $\eta_{sp}/c$ vs C y $\ln(\eta_r)/c$ vs C PARA HALLAR LA VISCOSIDAD INTRÍNSECA PARA GOMA ARÁBIGA .....	86
ANEXO 3: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 18 POR CIENTO.....	88
ANEXO 4: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA ARÁBIGA AL 18 POR CIENTO.....	89
ANEXO 5: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA XANTAN AL 1 POR CIENTO.....	90
ANEXO 6: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA GUAR AL 3 POR CIENTO .....	91
ANEXO 7: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 1 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS.....	92
ANEXO 8: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 2.5 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS.....	93
ANEXO 9: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 5 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS.....	94
ANEXO 10: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 10 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS.....	95
ANEXO 11: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA LA SOLUBILIDAD.....	96
ANEXO 12: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL VALOR DE n.....	97
ANEXO 13: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL VALOR DE K.....	98
ANEXO 14: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LAS GOMAS SAPOTE Y ARÁBIGA.....	99
ANEXO 15: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN TEMPERATURA.....	100
ANEXO 16: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN pH.....	101

ANEXO 17: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN CONCENTRACIÓN DE SALES.....	102
ANEXO 18: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE.....	103
ANEXO 19: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR TEMPERATURAS.....	104
ANEXO 20: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR pH.....	105
ANEXO 21: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR CONCENTRACIÓN DE SALES.....	106
ANEXO 22: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE.....	107
ANEXO 23: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR TEMPERATURA.....	108
ANEXO 24: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR pH.....	109
ANEXO 25: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR CONCENTRACIÓN DE SALES.....	110

## RESUMEN

*Capparis scabrida* Kunth (*Capparaceae*) es una especie perteneciente a la flora de los bosques secos del Norte del Perú, Centro y Sur del Ecuador, conocida con el nombre de Sapote y empleada principalmente como recurso forestal, que en la actualidad está considerada en peligro crítico de extinción. Algunos estudios señalan a la goma procedente de su corteza como una alternativa de uso industrial, no obstante, no hay un estudio a profundidad de su potencialidad y viabilidad de sus aplicaciones. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue caracterizar y evaluar las propiedades tecno-funcionales de la goma del árbol de Sapote (GS) y compararlas con la goma Arábica (GA), de amplio uso en la industria alimentaria. Para lo cual el mucílago fue purificado mediante: dilución, centrifugado-filtrado, secado y molienda. Se realizó una caracterización mediante un análisis proximal, prueba de solubilidad a 30, 60 y 90°C, caracterización mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), observación de su comportamiento reológico de flujo y prueba de viscosidad intrínseca; para luego evaluar sus propiedades tecno-funcionales como su capacidad gelificante, espumantes y emulsificantes. Los resultados obtenidos señalan que la GS presenta una solubilidad en agua a 30, 60 y 90°C de 86.1, 94.6, y 90.9 por ciento respectivamente sin diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en comparación con la GA, sin embargo, posee una mayor viscosidad intrínseca (0.0432 L/g) que la GA (0.0209 L/g). El modelo Ostwald-de-Waele fue utilizado para la caracterización reológica de la GS, presentando índices de consistencia superiores a GA, y un comportamiento pseudoplástico ( $n < 1$ ). La GS presentó mejor capacidad y estabilidad espumante que la GA en concentraciones hasta 10 por ciento, además de ser óptima a 70°C y pH 7, lo que aumentó con la concentración de sal. La GS también presentó mayor estabilidad de la emulsión que la GA en concentraciones de hasta 10 por ciento, con valores óptimos a pH 7 y 70°C, estabilidad no varió con la adición de sales. Su potencialidad entonces incluye el uso de la goma como agente espumante, emulsificante y estabilizador.

**Palabras clave:** goma Sapote, goma Arábica, propiedad tecno-funcional, emulsiones, espumas, estabilidad

## ***ABSTRACT***

*Capparis scabrida* Kunth (*Capparaceae*) is a species belonging to the flora of the dry forests of Northern Peru, and Central and Southern Ecuador, mainly used as a forest resource and which is currently considered to be in critical danger of extinction. It is necessary to study other possibilities of using this resource, to encourage its protection. Previous exploratory studies point to the gum from its bark as an alternative for industrial use, however there is no in-depth study of its potential that demonstrates the viability of its applications. Since gums have a huge industrial field of application and considerable volumes are imported in the country, it is interesting to find other sources that may be an alternative solution. Therefore, the objective of this research was to characterize and evaluate the techno-functional properties of the gum from the Sapote tree (GS) and compare them with gum Arabic (GA), widely used in the food industry. The exudate was purified by dilution, centrifugation-filtering, drying at 40 °C and milling to obtain the gum. The characterization included: compound analysis, solubility test at 30, 60 and 90 °C, FTIR characterization, rheological characterization, and intrinsic viscosity, while the techno-functional properties evaluated were gelling capacity, foaming capacity and stability and emulsifying properties. The results obtained indicate that the GS has a solubility in water at 30, 60 and 90 °C of 86.1, 94.6, and 90.9% respectively without significant difference ( $p < 0.05$ ) compared to the GA and has a higher viscosity intrinsic (0.0432 L/g) than GA (0.0209 L/g). The Ostwald-de-Waele model was used for the rheological characterization of GS, presenting consistency indices higher than GA, and a pseudoplastic behavior. The GS presented better foaming capacity and stability than the GA at concentrations of 1, 3, 5, 7 and 10%, in addition to being optimal at 70 °C and pH7, increasing with the salt concentration. The emulsifying activity and stability were evaluated by turbidity, and cream index presenting greater stability than the GA at concentrations of 1, 2.5, 5, 7.5 and 10%, having optimal values at pH7 and 70 °C, being stable at the addition of NaCl. Its potential relies on being a substitute of gum Arabic as a thickening agent, foaming agent, emulsifier, and stabilizer.

**Key words:** Sapote gum, Arabic gum, functional property, emulsion, foam, stability

## I. INTRODUCCIÓN

Las gomas solubles en agua son hidrocoloides que tienen muchas propiedades tecnológicas que las hacen útiles en la aplicación de alimentos. Son ampliamente utilizadas en productos alimenticios fabricados con el fin de impartir la calidad requerida en términos de estabilidad, textura y apariencia. Entre la amplia variedad de gomas, las gomas exudadas han sido utilizadas desde la antigüedad, siendo la goma Arábiga la más representativa. La alta solubilidad de esta goma en agua y su amplio uso como emulsificante han impulsado su valor, transformándose en una de las exportaciones agrícolas más importantes de su país de origen, Sudán.

En el Perú, el uso de hidrocoloides en la industria alimentaria depende, principalmente, de los insumos importados; sin embargo, en territorio nacional se presentan opciones oriundas como la goma de tara; con características espesantes y de un perfil distinto a la goma Arábiga, al ser la primera extraída de semillas (Estévez *et al.*, 2012); que ingresó al mercado internacional como producto alternativo a las gomas del medio oriente siendo Estados Unidos e Italia los principales importadores. A pesar de esto, solo el 3 por ciento de la producción de tara se dirige al mercado nacional (Silva, 2016).

Ante la apertura del mercado de gomas nacionales, se presenta la goma de Sapote (*Capparis scabrida*). Esta goma proviene del árbol del Sapote que posee una amplia distribución en el noroeste peruano donde forma parte de las grandes unidades de vegetación del Bosque Seco del Norte. Como parte de su proceso de cicatrización natural, el árbol produce un exudado vascular (goma) que es aprovechado como medicina, pegamento, entre otros usos por los pobladores de las regiones de Lambayeque, Piura y Tumbes principalmente; sin embargo, su comercialización es prácticamente nula (Herz y González, 2015).

Debido a la explotación indiscriminada de este árbol a causa de la industria maderera, esta especie se encuentra en vías de extinción, por lo cual se hace necesario estudiar otras alternativas de industrialización que no comprometan la integridad de estas especies y

propicien un mayor aprovechamiento y valorización de esta, con el fin de evitar su tala indiscriminada e incentivar su cultivo y explotación (Herz y González, 2015). Algunos estudios han sido realizados para entender la composición química de la goma, con el fin de predecir su funcionalidad como espesante, emulsionante o espumante, pero estas propiedades no han sido evaluadas directamente. Añadiendo además su nula comercialización, se tiene una materia prima potencial en una industria de alimentos que siempre demanda nuevas fuentes de hidrocoloides de plantas.

El presente proyecto tiene como finalidad la caracterización tecno-funcional de la goma exudada de Sapote, y la evaluación sus propiedades tecno-funcionales más resaltantes en diferentes condiciones de procesamiento (pH, sales, temperatura) comparándola con otras gomas comerciales que cumplen el mismo rol como la Arábica, Guar, entre otras, con el fin de evaluar su potencial y orientar su adecuada aplicación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

*Capparis scabrida* (*Capparaceae*) es una especie que se distribuye en el Norte del Perú y Sur del Ecuador entre los 0 y 2500 m de altitud. Ha sido conocida desde los antiguos peruanos, quienes la utilizaron en sus actividades diarias, principalmente la madera empleada para la confección de diversos objetos (ídolos y utensilios), como leña, y los frutos, en alimentación (Rodríguez *et al.*, 2007). El Sapote es una especie forestal de bosque seco que dentro de sus características se encuentra el resistir épocas de sequía. Es una especie que se adapta a los climas secos y se regenera en eventos climáticos como el Niño. A pesar de tener estas y otras propiedades, es una especie que se encuentra en peligro crítico, debido a una sobreexplotación, esencialmente por su excesivo uso maderero, como leña y materia prima en artesanía (Rivera, 2017).

No obstante, el Sapote no solo es considerado una especie maderera, también es considerado un producto forestal no maderable esto debido a que se hace uso de otras partes del árbol, como es el fruto, que es muy consumido por los pobladores desde noviembre o diciembre hasta marzo o abril, e incluso algunos animales lo consumen, como el zorro de Sechura y el oso andino (Rivera, 2017). Su exudado es utilizado como goma, con propiedades parecidas al de la goma Arábica, y es importante en estudios industriales y tecnológicos, considerada como una gran alternativa para disminuir su explotación maderera (Rivera, 2017).

Muchas investigaciones se han desarrollado previamente en gomas no convencionales para evaluar sus características industriales y fisicoquímicas. Entre estas podemos encontrar a la goma Brea, estudiada por Bertuzzi *et al.* (2012), que presentó características fisicoquímicas y características funcionales similares a las de la goma Arábica, una alta solubilidad y características de baja viscosidad en solución que la hacen adecuada para usar como estabilizador en preparaciones con alto contenido de sólidos insolubles y como estabilizador y emulsionante en emulsiones y espumas; Castro y Cristianini (2014) estudiaron la goma

del árbol de anacardo (*Anacardium occidentale*), demostrando que es un biopolímero anfifílico con buenas propiedades emulsionantes, capaz para adsorber la interfaz agua-aceite y permitir la formación estable de emulsiones; y así múltiples investigaciones fueron realizadas para lograr caracterizar tecno-funcionalmente a las gomas naturales.

De igual manera, Herz y González (2015), así como Moscol (2018) realizaron estudios fisicoquímicos de la goma de Sapote, rendimiento de su extracción, entre otras características; sin explorar en profundidad sobre sus propiedades tecno-funcionales en la industria de alimentos.

## **2.2. HIDROCOLOIDES**

Los hidrocoloides son grupos heterogéneos de polímeros de cadena larga (polisacáridos y proteínas) caracterizados por su propiedad de formar dispersiones viscosas y/o geles cuando son dispersados en agua. La presencia de un gran número de grupos hidroxilo (-OH) incrementa su afinidad para enlazarse a las moléculas de agua, haciéndolos compuestos hidrofílicos. Además, producen dispersiones que son intermedios entre una solución verdadera y una suspensión, exhibiendo propiedades coloidales. Considerando estas dos propiedades, son apropiadamente denominados coloides hidrofílicos o hidrocoloides (Saha y Bhattacharya, 2010).

La principal razón detrás del amplio uso de hidrocoloides en los alimentos es su habilidad para modificar la reología de una matriz alimenticia. Esto incluye dos propiedades básicas de un sistema alimenticio, siendo estos el comportamiento fluido (viscosidad) y su propiedad mecánica sólida (textura). La modificación de la textura y/o viscosidad en alimentos ayuda a modificar las propiedades sensoriales, y, por consiguiente, los hidrocoloides son utilizados como aditivos alimenticios para cumplir propósitos específicos. Es evidente que muchos de estos compuestos pertenecen a la categoría de aditivos permitidos en alimentos en distintos países del mundo. Varias formulaciones alimenticias como sopas, salsas, aderezos usan hidrocoloides como aditivos para obtener viscosidad y una sensación de boca deseada. También son usados en productos como helados, mermeladas, postres gelificados, pasteles y caramelos para crear una textura deseada. Considerando su rol en el ajuste de la viscosidad y textura de alimentos formulados, muchos estudios han sido realizados en varios sistemas

alimenticios empleando diferentes hidrocoloides individualmente o en combinación (Saha y Bhattacharya, 2010).

Los hidrocoloides tienen una amplia variedad de propiedades funcionales en los alimentos. Estas incluyen propiedades espesantes, gelificantes, emulsionantes, estabilizantes y de control de crecimiento de cristales de hielo y azúcar, sin embargo, las propiedades básicas por las cuales los hidrocoloides poseen un uso extensivo son las propiedades espesantes y gelificantes. La dispersión de un hidrocoloide en agua conlleva un efecto espesante. Esta propiedad es común en todos los hidrocoloides y es la razón principal de su uso masificado. El grado de espesamiento varía con el tipo y naturaleza de los hidrocoloides, con algunos otorgando bajas viscosidades a concentraciones bastante altas, pero la mayoría otorga altas viscosidades a concentraciones menores al 1 por ciento (Glicksman, 1982; citado por Saha y Bhattacharya, 2010).

Entre otras aplicaciones se encuentran: sustitutos de grasas en la carne y productos lácteos (Pinero *et al.*, 2008; citado por Li y Nie, 2016); agentes de revestimiento en confitería, frituras y panadería; agentes clarificantes en cerveza y vino; agentes de enturbiamiento en jugos; agentes floculantes en el vino; agentes encapsulantes para saborizantes o algunos aceites esenciales durante la atomización; inhibidores de cristalización en helados y jarabes de azúcar; estabilizadores de espuma en cerveza y coberturas batidas; agentes de suspensión en leche con chocolate; inhibidores de la retrogradación del almidón en panes y pastas; aglutinantes de agua en alimentos sin gluten (Mohammadi *et al.*, 2014; Ziobro *et al.*, 2013; citados por Li y Nie, 2016); inhibidores de sinéresis en quesos y alimentos congelados; y en la fabricación de bioplásticos para el envasado de alimentos (Gambús *et al.*, 2001; Babić *et al.*, 2006; Nussinovitch y Hirashima, 2013; citados por Li y Nie, 2016).

Mientras que todos los hidrocoloides imparten viscosidad a dispersiones acuosas, algunos biopolímeros también tienen otra propiedad importante de poder formar geles. La formación de gel es el fenómeno que implica la asociación o reticulación de las cadenas de polímero para formar una red tridimensional que atrapa o inmoviliza el agua dentro de la misma para formar una estructura rígida que es resistente al flujo. En otras palabras, se vuelve viscoelástica, exhibiendo ambas características de un líquido y un sólido. Las propiedades de textura (por ejemplo, elásticas o quebradizas, largas o esparcidas, masticables o cremosas)

de un gel varían ampliamente con el tipo de hidrocoloide usado. Las otras propiedades sensoriales tales como opacidad, textura y gusto también dependen del hidrocoloide empleado. Los hidrocoloides que se usan comúnmente como espesantes son almidón, goma Xantan, goma Guar, goma de algarrobo, goma karaya, goma tragacanto, goma Arábica y derivados de celulosa. Los hidrocoloides de tipo gelificante son alginato, pectina, carragenano, gelatina, gellan y agar (Saha y Bhattacharya, 2010).

Tradicionalmente, la mayoría de los hidrocoloides se clasifican como polisacáridos y se agrupan según su fuente. Según esto, la goma karaya, goma tragacanto, goma Ghatti, goma Arábica y otras gomas de Acacia pertenecen al grupo de gomas exudadas de árbol. Agar agar, alginato, carragenano, furcellaran, y fucoïdan se clasifican en el grupo de hidrocoloides provenientes de algas marinas. Otras sustancias similares a las gomas, como la pectina y el psyllium, provienen de otras fuentes vegetales, mientras que la gelatina y la quitina están incluidas en el grupo de hidrocoloides de origen animal. Sin embargo, no hay lugar para las gomas sintéticas, que requieren una nueva categoría. En consecuencia, se propuso la clasificación Glicksman compuesta de tres categorías: gomas naturales, gomas modificadas (semisintéticas) basadas en modificaciones químicas de las gomas naturales y gomas sintéticas fabricadas por síntesis química (Nussinovitch y Hirashima, 2014; citados por Li y Nie, 2016).

### **2.3. GOMAS NATURALES**

Las gomas pueden ser definidas en términos prácticos como moléculas de alto peso molecular con características hidrofílicas o hidrofóbicas que, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles al combinarse con el solvente apropiado. Sin embargo, es más común la utilización del término goma natural para referirse a polisacáridos o sus derivados, obtenidos de plantas o por procesamiento microbiológico, que, al dispersarse en el agua fría o caliente, producen soluciones o mezclas viscosas (Whistler y Daniel, 1985; Whistler, 1973; mencionados por Pasquel, 2001).

Clasificadas según su origen, comportamiento y estructura química, las gomas pueden ser obtenidas del endospermo de semillas de plantas (goma Guar), de exudados de plantas (tragacanto), arbustos o árboles (goma Arábica, goma Karaya, goma de Anacardo), extractos

de algas (agar), bacterias (goma Xantan), fuente animal (quitina) y otros. Debido a sus distintos orígenes y composición, las aplicaciones de las gomas son muy diversificadas y pueden estar presentes en diversas áreas de la industria alimentaria como fibras dietarias, modificadores de textura, agentes gelificantes, espesantes, estabilizadores, emulsionantes, revestimientos, películas y como encapsulantes. Además, ha habido una fuerte tendencia a reemplazar materiales sintéticos por gomas naturales debido a su no toxicidad, bajo costo, seguridad y disponibilidad (Da Silva *et al.*, 2020). En la Tabla 1, se presentan distintas especies de gomas y sus principales aplicaciones, organizadas por su origen.

Las gomas exudadas son producidas por muchos árboles y arbustos como mecanismo de defensa natural, particularmente en las regiones semiáridas. Cuando la corteza de la planta se lesiona, exuda una solución acuosa de goma para sellar la herida, previniendo la infección y la deshidratación de la planta. La solución se seca en contacto con el aire y la luz solar, para formar grumos duros y similares al vidrio que se pueden recoger fácilmente (Verbeken, Dierckx y Dewettinck, 2003). Entre este tipo de gomas se encuentra la goma de Sapote.

Generalmente, estas gomas están estructuralmente relacionadas con arabinogalactanos, galacturonanos, o glucuronomananos. Todos ellos contienen una alta proporción de residuos de ácido glucurónico o galacturónico (hasta un 40 por ciento) (Izydorczyk, Cui y Wang, 2005).

**Tabla 1: Principales aplicaciones de gomas de distintos orígenes**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Compuestos químicos principales</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Gomas provenientes de frutas</b>			
Mucílago de palma datilera	<i>Phoenix dactylifera</i>	Fructosa, sucrosa, manosa, glucosa, y maltosa	Acción anti-cancerígena
Mucílago “Erva Baleeira”	<i>Cordia obliqua</i>	Arabinosa, galactosa, y pyrralinosa	Expectorante, aglutinante, emulsionante
Yaca	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Galactomanano, almidón	Estabilizador de suspensiones, emulsionante, aglutinante, mucoadhesivo

<<Continuación>>

**Gomas provenientes de semillas**

Goma de tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Glucosa:xilosa:galactosa (3:2:1)	Formulación de píldoras, soporte biodegradable para la liberación controlada de fármacos (colon), bioadhesivo
Mucílago de fenogreco	<i>Trigonella foenum-graceum</i>	Galactomanano	Aporta propiedades sensoriales y de textura a sopas en polvo/encapsulante de antocianinas
Goma de algarrobo	<i>Ceretonia Siliqua</i>	D-galacto-D-manoglicano, celulosa, galactomanano	Super desintegrante en sistemas de liberación controlada de fármacos
Goma de tara	<i>Caesalpinia spinosa</i>	Manosa:Galactosa (3:1)	Empacado inteligente de alimentos
Goma de <i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Galactomanano	Formulación matriz de píldoras
Mucílago de <i>Cassia tora</i>	<i>Cassia tora</i>	Arabinosa y glucosa	Estabilizador de suspensiones, aglutinante
Goma de framboyán	<i>Delonix regia</i>	Manosa:Galactosa (3.65:1)	Fibra dietaria, viabilidad probiótica en bebidas lácteas
Goma Guar	<i>Ocimum americanum</i>	Xilosa, arabinosa, ramnosa, y ácidos galacturónicos	Películas nanocompuestas de goma Guar

**Gomas provenientes de exudados de árboles**

Goma de <i>Albizia stipulata</i> Boiv.	<i>Albizia stipulata</i> Boiv.	Arabinosa, galactosa, y ramnosa	Propiedades antioxidantes
Goma de almendro	<i>Prunus amygdalus</i>	Ácido aldobiónico, L-arabinosa, L-galactosa, y D-manosa	Emulsionante, estabilizador de suspensiones, aglutinante, espesante

**Gomas provenientes de exudados de árboles**

Goma de anacardo y de nuez de anacardo	<i>Anacardium occidentale</i>	Galactosa, arabinosa, ramnosa, glucosa, ácido glucurónico	Encapsulante de extractos de residuos de grasa de camarón, efecto antiinflamatorio
Goma de cerezo	<i>Prunus avium</i>	Arabinogalactano	Películas de recubrimiento
Goma de <i>Raphia hookeri</i>	<i>Raphia hookeri</i>	Manosa y galactosa	Agente anti-corrosión de aluminio en medios ácidos

<<Continuación>>

Goma tragacanto	<i>Astragalus gummifer</i>	D-ácido galacturónico, D-galactosa, L-fucosa (6-desoxi-L-galactosa), D-xilosa, L-arabinosa, and L-ramnosa	Catalizador en la producción de nanopartículas
Goma de kondagogu	<i>Cochlospermum gossypium</i>	Ramnogalacturonano	Producción de andamios biocompatibles y antimicrobianos para vendajes
<b>Gomas provenientes de hojas</b>			
Mucílago de <i>Cocculus hirsutus</i>	<i>Cocculus hirsutus</i>	Polisacáridos y materiales gelatinosos	Agente aglutinante, agente gelificante
Mucílago de Hibiscus	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	L-ramnosa, D-galactosa, D-ácido galacturónico, y D-ácido glucurónico	Liberación controlada de fármacos
<b>Gomas provenientes de microorganismos</b>			
Goma Curdlan	<i>Agrobacterium</i> spp.	Glucosa	Aditivo alimentario, espesante, agente gelificante
Goma Gellan	<i>Sphingomonas</i> spp.	Glucosa, ramnosa, y glucuronato	Estabilizante de emulsiones, hidrogel oftálmico
Ácido cólico	<i>Escherichia coli</i>	Fucosa, glucosa, glucuronato, y galactosa	Espesante
Goma Xanthan	<i>Xanthomonas</i> spp.	D-glucosa, D-manosa, y ácido glucurónico	Encapsulante de carotenoides para su uso en yogurt
Antígeno K30	<i>Escherichia coli</i>	Manosa, galactosa, y glucuronato	Espesante/liberación controlada de fármacos
<b>Gomas provenientes de tubérculos</b>			
Glucomanano Konjac	<i>Amorphophallus konjac</i>	D-Glucosa y D-manosa	Agente gelificante, liberación controlada de fármacos
Taro	<i>Colocasia esculenta</i>	Galactosa y arabinosa	Agente gelificante, mucoadhesivos

FUENTE: Da Silva *et al.* (2020)

## 2.4. PROPIEDADES REOLÓGICAS

La reología se define como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia, es decir, cómo ésta responde a una fuerza aplicada sobre ella. En la industria alimentaria, es una disciplina muy importante ya que éstos están constantemente sometidos a fuerzas durante su procesado (Rao, 2014).

Los alimentos fluidos son aquellos que no conservan su forma, pero toman la forma del recipiente que los contiene. Muchos alimentos fluidos y semisólidos presentan comportamientos desde Newtonianos hasta comportamientos dependientes del tiempo y viscoelásticos. Los alimentos fluidos que contienen cantidades pequeñas de compuestos disueltos de alto peso molecular (polímeros como los hidrocoloides) y/o sólidos en suspensión incrementan la viscosidad y alteran el comportamiento Newtoniano de un disolvente fluido como puede ser el agua a un comportamiento no newtoniano. Es difícil predecir el comportamiento de flujo de los alimentos debido a la complejidad de sus matrices por lo que es importante su estudio a través de modelos reológicos para su medición (Rao, 2014).

Los hidrocoloides son biopolímeros de alto peso molecular con estructura de polisacárido que interactúan fuertemente con el agua y actúan como un agente espesante; por lo tanto, son significativamente influyentes sobre las propiedades reológicas, como la viscosidad y la formación de gel, la retención de agua, la prevención de la recristalización del hielo y los atributos sensoriales. Las características reológicas de los hidrocoloides tienen un papel importante cuando se utilizan en formulaciones alimentarias por sus efectos sobre las propiedades texturales, entre éstas, el comportamiento del flujo de estos alimentos influye de manera significativa en cálculos de procesos, incluidos el tamaño de la bomba, extracción o la filtración (Karaman *et al.*, 2014).

La propiedad reológica básica que caracteriza y distingue a los diferentes fluidos es la viscosidad y también está relacionado con la sensación bucal. La viscosidad es, fundamentalmente, la medición de la resistencia al flujo y ésta se mide mediante viscosímetros cuyos parámetros son inherente a la marca de este, es decir no son universales. La viscosidad es determinada eficientemente mediante geometrías, en las cuales la velocidad

de cizalla puede ser calculada a través de data experimental, así como el esfuerzo de corte. De entre las distintas geometrías utilizadas, la geometría cono-placa es utilizada principalmente para obtener curvas de esfuerzo de corte vs velocidad de corte y de esfuerzo de corte vs tiempo a una velocidad de corte constante. Estas gráficas presentan un perfil que describe el comportamiento de flujo de un alimento o polímero en solución (Rao, 2014).

#### **2.4.1. Viscosidad intrínseca**

Muchos alimentos contienen polímeros de alto peso molecular que afectan su viscosidad. En soluciones diluidas, las grandes cadenas de estos polímeros se separan y la viscosidad intrínseca de estos polímeros depende únicamente de las dimensiones de la cadena polimérica. La viscosidad intrínseca indica el volumen hidrodinámico de una molécula de polímero a un esfuerzo de corte cero y, por tanto, es relacionada al tamaño molecular del mismo. Esta propiedad es importante entonces para predecir el impacto inherente de un polímero en matrices complejas. Para la determinación de la viscosidad intrínseca se utilizan las ecuaciones de Huggins y Kraemer, mayoritariamente, para gomas alimentarias (Rao, 2014).

### **2.5. PROPIEDADES ESPUMANTES**

#### **2.5.1. CAPACIDAD ESPUMANTE**

La espuma es un sistema de dispersión en el que la fase dispersa es gas, y el medio de dispersión es líquido o sólido. La espuma es una dispersión en la que la concentración de la fase dispersa es mayor, y consiste en celdas de gas poliédricas separadas por películas líquidas, es decir, burbujas. Como la diferencia de densidad entre la fase dispersa y el medio de dispersión es muy grande, las burbujas subirán a la superficie del líquido, formando los agregados de burbujas separadas por delgadas películas líquidas (Chang *et al.*, 2016). La capacidad de espuma de una proteína se refiere a la cantidad de área interfacial que puede crear la proteína (Chandra *et al.*, 2015)

## **2.5.2. ESTABILIDAD ESPUMANTE**

Debido a su alta área interfacial (y energía libre de superficie), todas las espumas son inestable en el sentido termodinámico. Hay dos mecanismos principales involucrados en esta inestabilidad (Chang *et al.*, 2016).

- La tendencia de las películas líquidas a drenarse y adelgazarse: incluye drenaje por gravedad y drenaje por tensión superficial
- La tendencia a la ruptura como resultado de la difusión de gases.

Mientras que dentro de los factores que contribuyen a la estabilidad, tenemos:

- La viscosidad de la película (como en el caso de las emulsiones) que a menudo tiene una influencia considerable en la estabilidad de la espuma. Si se agrega una pequeña sustancia orgánica polar al surfactante (agente espumante), la película mezclada con se formará una alta viscosidad, lo que dificultará el drenaje, fortaleciendo así la estabilidad de la espuma (Chang *et al.*, 2016).
- Si las moléculas de tensioactivos tienen cadenas ramificadas, comúnmente, su actividad superficial y su coeficiente de difusión serán mayores, lo que conducirá a una fuerte capacidad de formación de espuma (Chang *et al.*, 2016).
- Si se usa un agente tensioactivo iónico como agente espumante, la película líquida estará cargada; por lo tanto, la superposición de capas eléctricas cargadas de manera similar se opone al adelgazamiento de la película, fortaleciendo así la estabilidad de la espuma, mientras que los tensioactivos no iónicos no pueden estabilizar muy bien la espuma debido a la falta de factores eléctricos (Chang *et al.*, 2016).

## **2.5.3. HIDROCOLOIDES COMO AGENTES ESPUMANTES**

Los estabilizantes de espuma son ingredientes que contribuyen a la uniformidad o consistencia de un producto cuando es sometido a múltiples condiciones durante su producción, almacenamiento o uso. Los típicos estabilizantes de espuma son agentes espesantes, gelificantes como gomas, almidones, pectinas, y gelatinas. Estos agentes actúan incrementando la viscosidad de la fase continua o formando una red tridimensional que

retarda el movimiento de los componentes dispersos en la espuma. Otra manera de incrementar la viscosidad de la fase continua incluye la adición de gomas y otros agentes espesantes (Moradi y Khodaiyan, 2013).

La naturaleza del agente espumante es crucial para determinar la estabilidad. Debe adsorberse en la interfase, reducir la tensión superficial y formar una capa interfacial estable y viscoelástica que resista la rotura, evitando así la coalescencia de las gotas líquidas o la pérdida de burbujas de gas. Otros factores externos son también importantes en la estabilidad de la espuma. Es importante que la película líquida entre las burbujas de gas sea muy viscosa, de manera que se minimice el drenaje debido a la gravedad. Evaporación del líquido también debe ser prevenido durante condiciones normales de almacenamiento y manipulación (Moradi y Khodaiyan, 2013).

La viscosidad entonces juega un rol muy importante en las propiedades espumantes de la goma, puesto que reduce la incorporación de aire a la espuma por lo que se forman burbujas pequeñas, sin embargo, la formación de pequeñas burbujas conduce a un drenaje lento del líquido de la espuma (Mohammadian y Alavi, 2016).

## **2.6. PROPIEDADES EMULSIONANTES**

### **2.6.1. CAPACIDAD EMULSIONANTE**

Una emulsión es un sistema disperso en el que las fases incluyen líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles, como la leche y el látex de caucho. Si se prepara una emulsión homogeneizando dos componentes líquidos puros, la separación de fases generalmente será rápida, especialmente si la concentración de la fase dispersa es muy alta. Para preparar emulsiones razonablemente estables, debe estar presente un tercer componente, un agente emulsionante (o emulsionante), como un surfactante o un polvo sólido (Chang, 2016).

La actividad emulsionante está relacionada con la capacidad de las moléculas de superficie activa para cubrir la interfaz aceite-agua creada por la homogeneización mecánica, reduciendo así la tensión interfacial. En consecuencia, cuanto más activo es el agente emulsionante, más se reduce la tensión interfacial (Phillips y Williams, 2009).

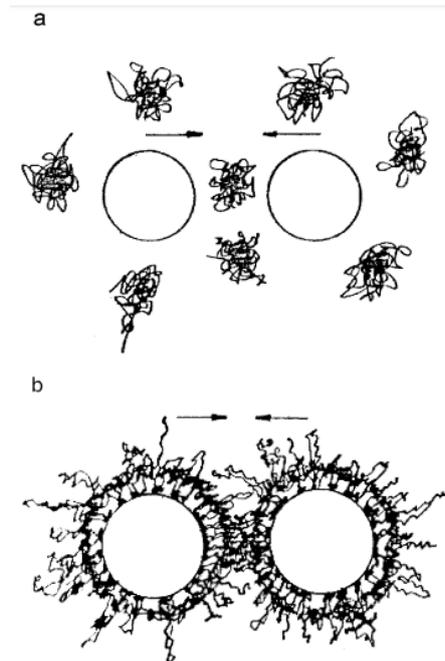
Usualmente son las proteínas las que actúan como emulsionantes al formar una película o piel alrededor de las gotas de aceite dispersas en un medio acuoso, evitando así cambios estructurales como la fusión, la formación de cremas, la floculación o la sedimentación (Farooq y Boye, 2011). Por lo tanto, las propiedades emulsionantes de las proteínas se ven afectadas por la relación de hidrofobicidad/hidrofilicidad de las proteínas y por las restricciones estructurales que determinan la facilidad con que las proteínas pueden desplegarse para formar una película o piel alrededor de las gotas de aceite dispersas. La actividad emulsionante corresponde a la cantidad de aceite adsorbido por unidad de proteína (Farooq y Boye, 2011).

### **2.6.2. ESTABILIDAD EMULSIONANTE**

Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables y se separan rápidamente en capas de aceite y agua. Esto se debe a las diferentes densidades entre las fases oleosa y acuosa y al contacto desfavorable entre las moléculas de aceite y agua. La estabilidad de una emulsión se puede definir como su capacidad para mantener sus propiedades; esa es la capacidad de las fases de la emulsión para permanecer mezcladas (Maphosa y Jideani, 2018).

La estabilidad de la emulsión es un concepto cinético. Una buena estabilidad implica que no hay un cambio perceptible en la distribución del tamaño o la disposición espacial de las gotas en la escala temporal experimental. Dependiendo del contexto, la escala de tiempo de observación puede ser de unos pocos segundos a unos pocos años (10<sup>8</sup> s), lo que implica que la estabilidad también es un concepto relativo. La pérdida de estabilidad puede implicar una serie de procesos que tienen lugar de forma simultánea o consecutiva según las circunstancias (Dickinson, 1994).

La estabilidad de una emulsión puede producirse de múltiples maneras, principalmente por: el aumento de la viscosidad de la fase acuosa que evitará la floculación de las gotas de aceite, acción que es atribuida a los polisacáridos; y por la adsorción del agente emulsionante en la interfaz aceite-agua, evitando la coalescencia, atribuido a las proteínas (Garti y Lesser, 2001). Ambas formas de estabilización se pueden observar en la Figura 1.



**Figura 1: Ilustración de glóbulos estabilizados (a) aumentando la viscosidad de la fase acuosa y (b) por adsorción en la interfaz aceite-agua.**

FUENTE: Garti y Lesser (2001)

### 2.6.3. FENÓMENOS DE DESESTABILIZACIÓN DE LAS EMULSIONES

Varios fenómenos como la floculación, coalescencia, sedimentación, maduración de Ostwald, y cremación son responsables de la desestabilización de las emulsiones.

- La floculación es el proceso donde las gotas en una emulsión se atraen entre sí y forman flóculos sin la ruptura de la capa estabilizadora en la interfaz. La floculación de las gotas se produce debido a la fuerza gravitacional, la centrifugación, fuerzas brownianas, así como cuando la energía repulsiva es menor que la energía de van der Waals. Este fenómeno no es deseable, ya que promueve la formación de cremas y reduce el enturbiamiento debido a los tamaños de partícula más grandes, así como también promueve la coalescencia debido a que las gotas se unen más (Maphosa y Jideani, 2018).
- La cremación y la sedimentación se producen como consecuencia de la separación gravitacional. Esto ocurre cuando las gotas de la emulsión se fusionan formando gotas más grandes o cuando las gotas se elevan a la superficie de la emulsión debido a la flotabilidad. Este fenómeno generalmente resulta en una emulsión separada con

una capa de crema rica en gotas de aceite y una capa acuosa. La cremación suele ser un precursor de la coalescencia y es seguida por la separación de fases y puede describirse usando el índice de cremación (Maphosa y Jideani, 2018).

- La coalescencia es el proceso donde las gotas entran en contacto y se fusionan, creando gotas más grandes. Con el tiempo, esto aumenta el tamaño promedio de gota y, en consecuencia, reduce la estabilidad de la emulsión (Maphosa y Jideani, 2018).
- La maduración de Ostwald es un fenómeno en el que las gotas más grandes se expanden a expensas de las más pequeñas y se ve afectada en gran medida por la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua (Maphosa y Jideani, 2018).

#### **2.6.4. HIDROCOLOIDES COMO AGENTES EMULSIONANTES**

La funcionalidad de los hidrocoloides como emulsificantes y/o estabilizantes de emulsiones se correlaciona con fenómenos como: el retraso de la precipitación de las partículas sólidas dispersas, reducción de las velocidades de formación de crema de gotas de aceite y espumas, prevención de la agregación de partículas dispersas, prevención de la sinéresis de sistemas gelificados que contienen aceites y retraso de la coalescencia de gotitas de aceite. Se cree que las gomas se adsorben (sobre superficies sólidas o líquidas) muy lentamente, débilmente y con una carga superficial muy limitada (Milani y Maleki, 2012).

Los emulsionantes pueden ayudar a mejorar la estabilidad a largo plazo de los alimentos reduciendo su tensión interfacial de aceite-agua y formando una película protectora alrededor de las gotas de grasa de los alimentos para evitar que se agreguen. La estabilización se logra aumentando la viscosidad de la fase continua, así como las interacciones de impedimento estérico y electrostáticas, creando fuerzas de repulsión que evitan la floculación (Abdolmaleki *et al.*, 2016).

Se ha afirmado que los hidrocoloides no son emulsionantes, sino más bien estabilizadores, y que un emulsionante es un único producto químico o mezcla de componentes que tiene la capacidad de promover la formación de emulsión y la estabilidad a corto plazo por acción interfacial. Un estabilizador es un componente químico único o una mezcla de componentes, que puede ofrecer la estabilidad a largo plazo de una emulsión, posiblemente por un mecanismo que implica adsorción, pero no necesariamente. Las proteínas vendrían a ser los

verdaderos emulsionantes, atribuyendo, entonces, la actividad emulsionante a fracción proteica de las gomas (Garti y Lesser, 2001).

La goma Arábica es probablemente el hidrocoloide más estudiado que demostró actividad superficial significativa. La goma Arábica es la una de las pocas gomas que se adsorbe en las interfaces aceite-agua e imparte estabilización estérica (Milani y Maleki, 2012). Es sabido que otras gomas tales como galactomananos, Xantan, pectina, etc. reducen las tensiones superficiales e interfaciales, se adsorben sobre superficies sólidas y mejoran la estabilidad de las emulsiones de aceite en agua. La celulosa microcristalina (CMC) es un ejemplo de hidrocoloide sin solubilidad en agua que se adsorbe mecánicamente en la interfase (Milani y Maleki, 2012).

## **2.7. OTRAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LAS GOMAS**

### **2.7.1. PROPIEDADES ESPESANTES**

Los hidrocoloides se utilizan frecuentemente en varios alimentos como espesantes. El proceso de espesamiento implica el enmarañamiento no específico de cadenas poliméricas desordenadas. Es esencialmente una interacción polímero-disolvente (Philips *et al.*, 1986, citado por Saha y Bhattacharya, 2010). El espesamiento ocurre por encima de una concentración crítica conocida como concentración de solapamiento ( $C^*$ ). A valores menores a esta concentración, las dispersiones poliméricas presentan un comportamiento newtoniano, pero muestran un comportamiento no newtoniano por encima de esta concentración (Philips y Williams 2000). Los hidrocoloides que se han usado como espesantes en diversos sistemas alimenticios incluyen almidón, almidón modificado, goma Xantan, galactomananos como la goma Guar y goma de Algarrobo, goma Arábica, goma Karaya, goma tragacanto y carboximetilcelulosa (CMC). El efecto espesante producido por los hidrocoloides depende del tipo de hidrocoloide utilizado, su concentración, el sistema alimenticio en el que se utiliza y también el pH y la temperatura (Saha y Bhattacharya, 2010).

### **2.7.2. PROPIEDADES GELIFICANTES**

Los geles también pueden definirse como una forma de materia intermedia entre sólido y líquido y mostrar rigidez mecánica. Consisten en moléculas de polímero reticuladas para

formar una red molecular enmarañada e interconectada sumergida en un medio líquido, que en el sistema alimentario es agua. Los tecnólogos de alimentos usan la palabra "gel" para alimentos de alta humedad que más o menos conservan su forma cuando se liberan de su envase. Sin embargo, la definición más comúnmente usada de gel es una reológica, obtenida a partir de viscosimetría dinámica. Según esta definición, un gel es un sistema viscoelástico con un "módulo de almacenamiento" (G') mayor que el 'módulo de pérdida' (G'') (de Vries 2004, citado por Saha y Bhattacharya, 2010). Los hidrocoloides forman geles mediante la asociación física de sus cadenas poliméricas mediante enlaces de hidrógeno, asociación hidrofóbica y reticulación mediada por cationes, difiriendo de los geles poliméricos sintéticos, que normalmente consisten en cadenas poliméricas reticuladas covalentemente. Por lo tanto, los geles de hidrocoloides se denominan a menudo "geles físicos" (Philips y Williams, 2000; citados por Saha y Bhattacharya, 2010).

A pesar de que todos los hidrocoloides espesan dispersiones acuosas, comparativamente, sólo unas pocas gomas forman geles. Además, los geles así formados varían ampliamente en carácter de gel y textura. Por lo tanto, el conocimiento de las condiciones requeridas para la gelificación de una dispersión hidrocoloidal particular, las características del gel producido y la textura que confiere son aspectos muy importantes para diseñar una formulación alimentaria específica. Las gomas importantes que encuentran aplicación en alimentos como agentes gelificantes incluyen alginato, pectina, carragenano, gellan, gelatina, agar, almidón modificado, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa (Saha y Bhattacharya, 2010).

En cuanto a la goma Guar Butt *et al.* (2007), citado por Mudgil, Barak y Singh (2014), menciona que muestra efectos de disminución de colesterol y glucosa debido a sus propiedades formadoras de gel. También ayuda en la pérdida de peso y la prevención de la obesidad. Debido a la capacidad de formación de gel de la fibra soluble de la goma Guar, se consigue una mayor saciedad debido al lento vaciado gástrico. La dieta suplementada con goma Guar disminuyó el apetito, el hambre y el deseo de comer.

### **2.7.3. PROPIEDADES ESTABILIZANTES**

Puesto que las gomas tienen funciones estabilizantes en muchos alimentos, es importante

hacer notar que en el sentido más amplio del término, un estabilizante alimenticio es cualquier material que al ser adicionado a un alimento aumenta su tiempo de almacenamiento; aunque existe una definición menos amplia que define un estabilizante como un material que reduce la tasa en la cual suceden algunos cambios dentro de un producto alimenticio durante su almacenamiento, transporte y manipuleo; esto es, los estabilizantes retardan o evitan cualquiera de los siguientes procesos (Walker, 1984; citado por Pasquel, 2001):

- Cristalización, usualmente del agua o del azúcar.
- Sedimentación gravitacional de partículas en suspensión.
- Encuentro entre partículas, gotitas o burbujas en un medio fluido.
- Floculación, coagulación o coalescencia de fracciones dispersas.
- Desagregación de agregados.
- Descremado.
- Pérdida de pequeñas moléculas o iones debido a cambios en el potencial químico del ion o molécula disuelta, o debido a la formación de una película impermeable.
- Sinéresis en geles. Aunque la sinéresis usualmente sucede como resultado de la presencia de gomas, en algunos casos donde una goma es adicionada para formar un gel (esto es una función no estabilizante), una u otra goma pueden ser adicionadas para prevenir la sinéresis, convirtiéndose, por tanto, en un estabilizante.

## **2.8. GOMA DE SAPOTE**

El árbol de Sapote (*Capparis scabrida*) es una de las especies de la familia de las *Capparaceae* de mayor adaptabilidad a ecosistemas desérticos, pertenece a la flora de los bosques secos del Norte del Perú, y Centro y Sur del Ecuador, entre los 0-2,500 m de altitud. Ha sido conocida desde tiempos prehispánicos y empleada principalmente como recurso foresta (Rodríguez et al., 2007).

A pesar de esto, la especie posee un escaso valor económico maderable; sin embargo, su exudado vascular (goma) ha sido aprovechado tradicionalmente por las comunidades campesinas de las zonas áridas como medicina, curación de artículos de cerámica, pegamento casero, entre otros (Herz y González, 2015).

Según algunos estudios realizados y en base a su caracterización fisicoquímica, existen indicios de que la goma de Sapote (*Capparis scabrida*) produce una goma de óptima calidad, cuyas propiedades emulsionantes y estabilizantes preparadas, así como sus características edulcorantes y emolientes, le dan muchas aplicaciones, desde la estabilización de emulsiones, hasta la preparación de tabletas y píldoras. No existe registro de comercialización de esta goma en el ámbito nacional o regional, pero se sabe que es bastante utilizada por los pobladores de la zona para distintos fines, en especial para la cura de enfermedades humanas y animales (Herz y González, 2015).

En la Tabla 2 se presentan las fracciones de carbohidratos que constituyen la goma de Sapote.

**Tabla 2: Porcentajes de azúcares presentes en gomas de Sapote de según su procedencia**

COMPUESTOS	BOSQUE DE PÓMAC	OLMOS
	BLOQUE 1	BLOQUE 2
Galactosa	61.6 %	65.3 %
Arabinosa	19.9 %	15.7 %
Ramnosa	2.06 %	2.1 %
Carbohidratos totales	83.52 %	83.17 %

FUENTE: Herz y González (2015)

Estos mismos compuestos de la goma de Sapote, son los mismos que caracterizan a la goma Arábica la cual es la más utilizada en la industria de alimentos especialmente, así como en otras industrias. El valor de carbohidratos totales es bastante similar al de la goma Arábica, así como al de otras gomas utilizadas en el mercado (Herz y González, 2015).

Con respecto a su viscosidad, Herz y González (2015) reportan que para soluciones de goma de Sapote con agua al 15 por ciento, la viscosidad varía de 160 a 165 cp. Al comparar estos resultados con valores de otras gomas, se encuentran diferencias marcadas. En el caso de la goma de tara, evaluada al 1 por ciento de concentración, la viscosidad varía entre 2000 a 5000 cp. Por otro lado, al comparar con la goma Arábica, esta posee una viscosidad entre 150 a 230 cp, pero en soluciones de 30 a 50 por ciento; la goma de Sapote alcanza estos valores del rango de viscosidad, entre 15 a 17 por ciento de concentración. En apariencia,

existiría una ventaja comparativa de la goma de Sapote (*Capparis scabrida*) frente a la goma Arábica, ya que para lograr espesar algún compuesto se requiere menos cantidad de goma de Sapote a lo que se requeriría con goma Arábica, con las consiguientes ventajas de abaratar los costos de producción.

Por último, la goma de Sapote presenta baja solubilidad en etanol, así como una rotación óptica que la clasifica como dextrógira con un ángulo de rotación de  $+1^\circ$ , lo cual indicaría que su composición es rica en compuestos oxigenados como aldehídos, cetonas o alcoholes, además, de constatar su riqueza en carbohidratos (Herz y González, 2015).

### **2.8.1. AZÚCARES EN LA GOMA DE SAPOTE**

Los compuestos identificados que caracterizan a los polisacáridos de la goma de Sapote (galactosa, arabinosa y ramnosa), son los mismos que caracterizan a la goma Arábica la cual es la más utilizada en la industria de alimentos especialmente, así como en otras industrias. El valor de carbohidratos totales es bastante similar al de la goma Arábica, así como al de otras gomas utilizadas en el mercado (Anderson, 1993; citado por Herz, 2007).

El bajo peso molecular y la ramificación de estos polímeros son la causa por la cual la goma presenta alta solubilidad en agua y baja viscosidad en comparación con otras gomas. Las gomas exudadas en general, están relacionadas estructuralmente al ácido galacturónico o glucurónico, así como a arabinogalactanos, glucuronomananos y galacturonanos (Izydorczyk et al., 2005).

Estos compuestos son los que contribuyen a sus propiedades emulsionantes, así como espesantes, sin embargo, dependerá de su asociación con la parte proteica de la goma (Grein, 2013).

### **2.8.2. PROTEÍNAS EN LA GOMA DE SAPOTE**

A pesar de no conocerse una estructura definida de las proteínas que componen la goma de Sapote, se sabe que en promedio su contenido es de 9,26 por ciento. Este porcentaje es mayor al de las gomas de Tara y goma Guar, pero está dentro del rango de porcentajes de proteínas

encontradas para la goma Arábica y goma tragacanto, de las cuales se sabe que incluso pueden alcanzar valores de hasta 15 por ciento de proteínas. El porcentaje de proteínas es importante en la industria porque favorece en las propiedades emulsionantes de la goma (Herz, 2007).

En el caso de la goma Arábica, es el componente proteico, asociado con las subunidades de los polisacáridos que constituyen la goma, el responsable de su actividad espumante, proteica y superficial. Gracias a su actividad surfactante es capaz de estabilizar las emulsiones de aceite en agua (Izydorczyk et al., 2005).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Agraria La Molina, en el laboratorio asignado al grupo de investigación en Biopolímeros y sus aplicaciones, y los laboratorios de Análisis de Físicoquímico de Alimentos, de Investigación e Instrumentación y la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.

#### **3.2. MATERIA PRIMA**

La materia prima goma Sapote molida, tamizada (N° de malla 60) fue proporcionada por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Agraria La Molina, obtenida de las provincias de Ferreñafe y Lambayeque de la región Lambayeque. Las muestras de goma Arábica, Guar y Xantan fueron adquiridas de la empresa FRUTAROM S.A.

#### **3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.3.1. EQUIPOS**

- Balanza Analítica, OHAUS SIM (Suiza)
- Balanza Infrarroja, PCE Instruments (Alemania)
- Centrífuga, HETTICH ROTOFIX 32 (Alemania)
- Centrífuga con refrigerante, HETTICH ROTOFIX 3C (Alemania)
- Agitador Magnético, HEIDOLPH MR Heo-Tec (Alemania)
- Microscopio Compuesto, LEICA DM750 (Alemania)
- Potenciómetro, HANNA HR 221 (USA)
- Espectrofotómetro, KONICA MINOLTA CM-5 (Japón)
- Refrigeradora-Congeladora, GENERAL ELECTRIC (USA)
- Secador de Armario

- Vórtex, VELP Modelo Wizard (Italia)
- Licuadora, OSTER (USA)
- Baño de Agua con agitación, GLF 1083 (Países Bajos)
- Reómetro Híbrido, TA Instruments DHR3 Discovery (USA)
- Espectrofotómetro Infrarrojo, ThermoFisher Scientific Nicolet is10 (USA)
- Homogeneizador de Dispersión, IKA ULTRA-TURRAX T18 (Alemania)
- Viscosímetro Capilar, Cannone-Fenske N° 50 (USA)

### **3.3.2. MATERIALES**

- Fiolas de 1000 mL
- Pipetas
- Probetas
- Beackers
- Baguetas
- Tubos de Ensayo
- Espátulas y cucharas metálicas
- Desecadores
- Láminas cobre y porta objetos

### **3.3.3. REACTIVOS**

- Cloruro de Sodio p.a. (Merck Millipore, Alemania)
- Ácido clorhídrico p.a. (J.T.Baker, USA)
- Hidróxido de Sodio p.a. (Spectrum, USA)
- Azida de Sodio p.a. (Merck Millipore, Alemania)

## **3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **3.4.1. PURIFICACIÓN DE LA GOMA**

Se siguió la metodología descrita por Castro y Cristianini (2014) con algunas modificaciones. Una muestra de goma Sapote de doscientos gramos se diluyó en 1600g de

agua destilada, a temperatura ambiente (alrededor de 23°C) durante 24 h. La solución se filtró para retener residuos y se centrifugó a 3829 g durante 10 minutos a 10°C. El sobrenadante se separó y el precipitado se lavó con agua destilada y se centrifugó de nuevo. El nuevo sobrenadante se añadió al sobrenadante anterior y el nuevo precipitado se descartó.

Posteriormente, el sobrenadante se dispuso en bandejas, y se secó en un secador armario de aire forzado a 50°C por 3 horas hasta una humedad final de menos de 15 por ciento. Finalmente, se trituró la muestra para obtener la goma de Sapote purificada en polvo.

### **3.4.2. ANÁLISIS PROXIMAL**

Se determinó el contenido de grasa, proteína bruta, ceniza, fibra, humedad de la goma de Sapote purificada siguiendo metodologías de la AOAC 991.36, 928.08, 920.153, 985.29 y 950.46 (1995) respectivamente y el contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia.

### **3.4.3. SOLUBILIDAD**

Se utilizó la metodología descrita por Castro *et al.* (2015) Se solubilizó la muestra de goma de Sapote purificada en tubos con agua destilada para formar una dispersión de 40 mL y una concentración de goma Sapote purificada de 10 g/L, y se agitó por 1 minuto en un vortex. Se llevaron las soluciones a baño maría a 30°C, 60 °C y 90°C por 30 minutos con agitación. Las soluciones fueron luego centrifugadas a 570 g por 15 minutos. Alícuotas de 10 mL del sobrenadante se secaron en una estufa a 120°C hasta peso constante. La solubilidad fue entonces calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra}} \times 400$$

### **3.4.4. CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

Se determinaron de manera cualitativa los grupos funcionales presentes en la goma de Sapote mediante un Espectrofotómetro Infrarrojo ThermoFisher Scientific Nicolet is10 con

Transformada de Fourier, así como otras muestras de gomas comerciales (Guar, Xantan, y Arábiga). Los espectros fueron adquiridos a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y escaneados 2 veces con una resolución espectral de  $2\text{ cm}^{-1}$  por muestra analizada. El rango de la región de análisis fue de  $650\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$ , que abarca el espectro del infrarrojo medio. Para esto se realizó un secado previo de todas las muestras a analizar a  $60^\circ\text{C}$  hasta un valor de humedad constante, para evitar cualquier interferencia en el análisis, luego se procedió a colocar la muestra en el espejo de diamante del espectrofotómetro para su lectura.

### **3.4.5. COMPORTAMIENTO DE FLUJO DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS DE GOMA**

Se siguió la metodología de Castro *et al.*, (2015). Se prepararon soluciones de 1, 5, 10, 15 y 20 por ciento de goma de Sapote y una solución de 10 por ciento de goma Arábiga en agua destilada manteniéndose a  $60^\circ\text{C}$  por 2 horas en un baño maría con agitación para asegurar la máxima solubilidad, las soluciones se llevaron luego a hidratar por la noche a  $6^\circ\text{C}$ .

Antes de los análisis, las soluciones se llevaron a  $25^\circ\text{C}$ , agitando por 5 segundos para la homogeneización de la muestra. El equipo empleado fue un reómetro híbrido TA Instruments DHR3 Discovery con una geometría de cono-placa ( $2^\circ$ , 6 cm de diámetro). Se llevaron alícuotas de las soluciones de manera que cubra la geometría en su totalidad.

La temperatura se mantuvo a  $25^\circ\text{C}$  mediante un sistema Peltier. En primer lugar, se realizó un procedimiento de pre-cizallamiento para asegurar la condición de cizallamiento en estado estacionario y el equilibrio térmico ( $300\text{ s}^{-1}$  durante 2 min). A continuación, se llevó a cabo el procedimiento utilizando un protocolo lineal decreciente ( $300 - 0.1\text{ s}^{-1}$ ) para garantizar condiciones de cizallamiento en estado estacionario y se midió el esfuerzo cortante correspondiente, así como la viscosidad aparente. Las curvas de flujo se realizaron para caracterizar el comportamiento reológico del flujo de la goma. Los datos experimentales fueron ajustados al modelo Ostwald-de-Waele (ley de la potencia) y se evaluaron los parámetros del modelo reológico en función de la concentración de goma.

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $K$  es el índice de consistencia ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ),  $\gamma$  es la tasa de cizallamiento y  $n$  es el índice de comportamiento de flujo (cuando  $n$  se aproxima al valor de 1, indica que el fluido asemeja un comportamiento newtoniano;  $n=1$  para fluidos newtonianos,  $n<1$  para fluidos pseudoplásticos, y  $n>1$  para fluidos dilatantes). Los parámetros de este modelo fueron hallados mediante regresión no lineal.

### 3.4.6. VISCOSIDAD INTRÍNSECA

La viscosidad intrínseca es una medida del volumen hidrodinámico que ocupan las macromoléculas en solución y por tanto un reflejo de su tamaño. Se prepararon soluciones de goma a diferentes concentraciones (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 por ciento p/v) en NaCl 0.1 M con el fin de hallar la viscosidad intrínseca. La viscosidad aparente se midió a 25 °C usando un viscosímetro capilar Cannon-Fenske número 50 (Cannon Instrument, State College, PA, EE. UU.). Se midió el tiempo de caída en el viscosímetro en segundos para luego multiplicarse por el factor del viscosímetro (0.004) para hallar la viscosidad aparente para las soluciones y el disolvente puro en centistokes. La viscosidad intrínseca se obtuvo por la aplicación de las ecuaciones de Huggins y Kraemer:

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k_1 [\eta]^2 c$$

$$\frac{\text{Ln}(\eta_r)}{c} = [\eta] + k_2 [\eta]^2 c$$

Donde  $\eta_{sp}$  es la viscosidad específica ( $(\eta - \eta_s)/\eta_s$ ),  $\eta_r$  es la viscosidad relativa ( $\eta/\eta_s$ ),  $\eta$  y  $\eta_s$  son las viscosidades de la solución y del disolvente respectivamente,  $c$  es la concentración de la goma en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y  $[\eta]$  es la viscosidad intrínseca de diferentes concentraciones de polielectrolitos a una fuerza iónica bastante alta (NaCl 0.1 M). Se graficaron entonces, las rectas  $\eta_{sp}/c$  vs.  $c$  y  $\text{Ln}(\eta_r)/c$  vs.  $C$  (Anexos 1 y 2). La viscosidad intrínseca  $[\eta]$  fue la media de las intersecciones entre estas curvas y el eje de ordenadas (Vasile *et al.*, 2016).

### 3.4.7. CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN

La capacidad de gelificación se determinó de acuerdo con el método descrito por Enyinnaya *et al.*, (2013). Se prepararon soluciones de 5, 10 y 18 g de muestra/100 mL en agua destilada.

Se transfirieron 10 mL de cada dispersión a tubos de ensayo. Los tubos se calentaron en un baño de agua hirviendo durante 1 h, seguido de enfriamiento rápido en un baño de agua a temperatura ambiente (25°C). Los tubos se enfriaron posteriormente a 4 ° C durante 2 h. Los resultados se reportaron en términos de la menor concentración de muestra requerida para que el gel permanezca estable al invertirse el tubo después de 30 minutos a temperatura ambiente.

Los resultados se compararon con los obtenidos con la muestra de goma Xantan, Arábica y Guar, a las mismas concentraciones que la goma Sapote (Anexos 3 al 6).

### **3.4.8. PROPIEDADES ESPUMANTES**

#### **a. Formación de espuma**

Se prepararon soluciones de 50 mL con 1, 3, 5, 7 y 10 por ciento de goma de Sapote con agitación magnética a 200 rpm durante 30 minutos a temperatura ambiente y se dejó hidratar por la noche a 4°C. Las espumas se produjeron utilizando un homogeneizador Ultra-Turrax T25 durante 2 minutos a 13000 rpm (Dawa *et al.*, 2014).

Se procedió a medir la capacidad y estabilidad espumante. Los resultados de los análisis de las propiedades espumantes se compararon con los obtenidos con soluciones de goma Arábica a las mismas concentraciones que es la goma que muestran mayor overrun y estabilidad, según Mohammadian & Alavi (2016).

#### **b. Capacidad y estabilidad espumante**

La capacidad espumante (CE) y la estabilidad de espuma (EE) se determinó de acuerdo con el método descrito por Jahanbin *et al.* (2012). La espuma formada por el homogeneizador se transfirió inmediatamente a una probeta de 100 mL y se midió el volumen de espuma. Los cambios de volumen de espuma se registraron a intervalos de 1, 10, 30, 60, 90 y 120 minutos. CE y EE se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

$$CE = \frac{\text{Volumen después del batido(mL)} - \text{Volumen antes del batido(mL)}}{\text{Volumen antes del batido(mL)}} \times 100$$

$$EE = \frac{\text{Volumen de espuma en un tiempo t (mL)}}{\text{Volumen inicial de espuma (mL)}} \times 100$$

**c. Influencia de la temperatura en las propiedades espumantes de las soluciones de goma**

Se solubilizaron 0.5 g de goma de Sapote en 50 mL de agua destilada en un baño de agua precalentado durante 30 minutos a temperaturas de 30, 50, 70 y 90°C con agitación a 200 rpm, y se dejó hidratar a 4°C por la noche (Niu *et al.*, 2015).

Se dejó luego a temperatura ambiente previo a la formación de espuma y se determinaron la CE y la EE. Se seleccionaron los valores de temperatura, por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria.

**d. Influencia del pH en las propiedades espumantes de las soluciones de goma**

Para evaluar la estabilidad de la espuma al pH, 0.5 g de muestra se solubilizó en 50 mL de agua destilada con agitación a 200 rpm por 30 minutos, luego se dejó hidratar a 4°C por la noche. Se llevaron las soluciones a temperatura ambiente y se ajustó el pH a 3, 5, 7 y 9 con NaOH 0,1 M y HCl previo a la formación de espuma (Dawa *et al.*, 2014). Luego se procedió a determinar la CE y la EE. Se seleccionaron los valores de pH, por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria.

**e. Influencia de la fuerza iónica en las propiedades espumantes de las soluciones de goma**

Para evaluar la estabilidad de la espuma a la sal, 0.5 g de goma de Sapote se solubilizó en 50 mL de agua destilada con agitación a 200 rpm por 30 minutos, luego se dejó hidratar a 4°C por la noche. Se llevaron las soluciones a temperatura ambiente y se añadió NaCl hasta concentraciones de 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM y 500 mM (ajustado a pH 7,0 con

NaOH 0,1 M y HCl 0,1 M) previo a la formación de espuma (Niu *et al.*, 2015). Luego se procedió a determinar la CE y la EE. Se seleccionaron los valores de concentración de NaCl por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria al ser el rango más utilizado por los autores en investigaciones similares.

### **3.4.9. PROPIEDADES EMULSIONANTES**

#### **a. Preparación de la emulsión**

Se prepararon soluciones acuosas de la goma de Sapote purificada a diferentes concentraciones para obtener emulsiones finales de 1, 2.5, 5 y 10 por ciento p/v de goma y azida de sodio al 0.02 por ciento p/v. Las gomas se solubilizaron en agua destilada y se agitaron por 30 minutos en un agitador magnético, luego se dejaron reposando durante la noche para completar la hidratación de los biopolímeros a 4°C. El aceite de maíz comercial de la marca Florida se dispersó en las soluciones acuosas de goma para obtener emulsiones de una fracción de volumen al 20 por ciento de aceite. La pre-emulsión se preparó durante 2 min a 10000 rpm con el homogeneizador Ultra-Turrax (13 mm de diámetro de rotor) y la emulsión final se llevó a cabo a 20000 rpm durante 3 min (Vasile *et al.*, 2016; y Bai *et al.*, 2017).

Los resultados de actividad, estabilidad emulsionante e índice de crema se compararon con los obtenidos con la muestra de goma Arábica, a las mismas concentraciones puesto que imparte “una buena estabilidad en la interfase agua-aceite” (Milani y Maleki, 2012).

#### **b. Actividad y estabilidad emulsionante**

Para el análisis de la actividad y estabilidad emulsionante se utilizó el método desarrollado por Castro y Cristianini (2014). Para determinar la turbidez de las emulsiones, se tomaron alícuotas de 0.1 mL de emulsión preparada en 99.9 mL de agua destilada con el pH ajustado según el pH de la emulsión. Las emulsiones diluidas se transfirieron a cubetas de vidrio de 1 cm de longitud óptica para medir la absorbancia a 500 nm. Agua destilada con pH ajustado de acuerdo con el pH de la emulsión se utilizó como blanco. La turbidez de una muestra se

definió de acuerdo con la siguiente ecuación (Pearce y Kinsella, 1978; citados por Castro y Cristianini, 2014):

$$\text{Turbidez (cm}^{-1}\text{)} = \frac{2.303 \times \text{Absorbancia} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Longitud óptica(cm)}}$$

A partir de la turbidez fue calculado el índice de actividad emulsionante.

$$IAE \left(\frac{m^2}{g}\right) = \frac{2 \times T}{c \times (1 - \varphi) \times 10000}$$

Donde T es la turbidez, c es la concentración del agente emulsionante (g/mL) y  $\varphi$  es la fracción de volumen de aceite usado en la emulsión.

La estabilidad se determinó midiendo la turbidez luego de un período de 7 días, y se presentará como índice de estabilidad (IE).

$$IE = T_t/T_0$$

Donde  $T_t$  es la turbidez en el tiempo t y  $T_0$  es la turbidez en el tiempo 0. La turbidez sirvió como referencia para comparar los tamaños de gota de las emulsiones producidas.

### c. Índice de crema

Se transfirieron alícuotas de las emulsiones formadas (10 mL) a tubos graduados de 10 mL. Después, los tubos se almacenaron durante 7 días a 25°C, donde se midió el volumen de emulsión (VE) y el volumen de crema (VC), que corresponde a la fase acuosa de la emulsión (Anexos 7 al 10). La extensión de la formación de crema se caracterizó por el índice de crema (IC). Las emulsiones con mayor estabilidad mostraron el IC más baja.

$$IC = VC/VE$$

Ambos valores son indicadores de estabilidad y actividad emulsionante, estando relacionados con los tamaños de gota de la emulsión (Castro y Cristianini, 2014).

**d. Observación microscópica de la emulsión**

Las imágenes microscópicas de las emulsiones se estudiaron utilizando un microscopio LEICA equipado con una cámara. Se colocaron 50  $\mu$ L de emulsión recién preparada en el portaobjetos del microscopio. Se colocó una lámina cubreobjetos sobre la muestra, asegurándose de que no haya burbujas o espacios de aire entre la muestra y el cubreobjetos; las muestras se examinaron con un objetivo de 40X tomando capturas diferentes donde se pudo apreciar el tamaño de las gotas y su distribución. Esta observación se realizó recién formada la emulsión (Ercelebi e Ibanoglu, 2009a).

**e. Estabilidad de las emulsiones a distintas temperaturas**

Para evaluar el efecto de la temperatura sobre las propiedades emulsionantes de la goma de Sapote, se formaron las pre-emulsiones con concentración de goma al 1 por ciento. Éstas se sometieron a temperaturas de 30, 50, 70, y 90 °C por 30 minutos en un baño maría. Luego se enfriaron en un baño de hielo hasta temperatura ambiente para luego formar las emulsiones finales (Niu *et al.*, 2015). Luego se procedió a determinar el índice de actividad y estabilidad emulsionante, así como el índice de crema. Se seleccionaron los valores de temperatura, por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria.

**f. Estabilidad de las emulsiones a distintos valores de pH**

Para evaluar la estabilidad al pH, se prepararon muestras de emulsión de goma de Sapote al 1 por ciento, y utilizando una solución de HCl (0,1 o 1 N) o NaOH (0,1 o 1 N), el pH se ajustó al valor final preferido (3, 5, 7 y 9) (Dawa *et al.*, 2014). Luego se procedió a determinar el índice de actividad y estabilidad emulsionante, así como el índice de crema. Se seleccionaron los valores de pH, por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria.

### **g. Estabilidad de las emulsiones a diferentes concentraciones de NaCl**

Para evaluar el efecto de la concentración de sal sobre las propiedades emulsionantes de la goma de Sapote, se prepararon emulsiones como se indica en el punto anterior a la concentración de 1 por ciento de goma y a diferentes concentraciones de NaCl (100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM y 500 mM). Luego se procedió a determinar el índice de actividad y estabilidad emulsionante, así como el índice de crema. Se seleccionaron los valores de concentración de NaCl por considerarse los más relevantes para la industria alimentaria al ser el rango más utilizado por los autores en investigaciones similares.

### **3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), en donde sólo los tratamientos pueden afectar los cambios en la variable respuesta. Luego de la purificación de la goma de Sapote, se le realizó una caracterización con respecto a sus propiedades tecno-funcionales. La Figura 2 representa gráficamente el diseño experimental realizado.

- Solubilidad: Se determinaron ambas propiedades a temperaturas de 30, 60 y 90°C siendo el porcentaje de solubilidad la variable respuesta. Se compararon los resultados obtenidos de la goma Sapote con la goma Arábica a la misma concentración.
- Caracterización mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier: Se determinó la presencia de grupos funcionales en las gomas de sapote, Guar, Xantan y Arábica.
- Reología de flujo: Se graficaron los reogramas de las dispersiones de goma al 1, 5, 10, 15 y 20 por ciento, con los índices de consistencia y de comportamiento de flujo de la ley de la potencia como variables respuesta. Se compararon los resultados obtenidos de la goma Sapote con la goma Arábica al 5, 10, 15 y 20 por ciento.
- Viscosidad intrínseca: Se determinó la viscosidad intrínseca, que es la relación de la viscosidad específica con la concentración a una concentración cero, como variable respuesta a 25°C. Se compararon los resultados obtenidos de la goma Sapote con la goma Arábica.

- Capacidad de gelificación: Se determinó la menor concentración de goma en una dispersión capaz de formar gel o ausencia de formación de gel como variable respuesta a concentraciones de 1, 3, 5, 10 y 18 por ciento. Se compararon los resultados obtenidos de la goma Sapote con la goma Arábica, Guar y Xantan a las mismas concentraciones
- Propiedades espumantes: Se hallaron la actividad y estabilidad de la espuma como variables respuesta, evaluando la influencia de la concentración de goma (1, 3, 5, 7 y 10 por ciento), esto se comparó a los resultados mostrados por la goma Arábica a la misma concentración; y la influencia de la temperatura (30, 50, 70 y 90°C), pH (3, 5, 7 y 9) y concentración de cloruro de sodio (100, 200, 300, 400 y 500 mM), manteniendo constante la concentración de goma (1 por ciento), sobre estas variables.
- Propiedades emulsionantes: Tanto el índice de crema como la actividad y estabilidad emulsionante por turbidez, así como la observación microscópica de las emulsiones sirvieron como variables respuesta. Se evaluó el efecto de la proporción goma: aceite (1:20, 1:10, 1:4 y 1:2) sobre estas variables y se comparó a los resultados mostrados por la goma Arábica a las mismas concentraciones. Posteriormente se seleccionó la proporción 1:20 para evaluar el efecto de diferentes temperaturas (30, 50, 70 y 90°C), pH (3, 5, 7 y 9) y concentración de cloruro de sodio (100, 300 y 500 mM).

### **3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion XV. Se realizaron tres repeticiones de todas las determinaciones y los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza, simple o multifactorial según sea necesario (Anexos 11 al 25), para probar si las medias de los tratamientos son iguales o al menos una es diferente, previa confirmación de que los supuestos se cumplieran para una prueba paramétrica. La significación de las diferencias entre las medias fue determinada por la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<b>Gomas</b>	<b>Purificación</b>	<b>Caracterización y comparación</b>	<b>Prop. Espumantes</b>	<b>Prop. Emulsionantes</b>
<b>Sapote</b>				
<b>GA</b>				
<b>GX</b>				
<b>GG</b>				
<b>Controles</b>	Análisis proximal	Cap. Gelificación FTIR Solubilidad (30,60,90°C) Viscosidad intrínseca Comp. De flujo Prop. Espumantes (1, 3, 5, 7, 10%) Prop. Emulsionantes (1, 2.5, 5, 7.5, 10%)	-Temperatura (30,50,70,90°C) -pH (3,5,7,9) -Conc. NaCl (100,200,400,500 mM)	-Temperatura (30,50,70,90°C) -pH (3,5,7,9) -Conc. NaCl (100,300,500 mM)

**Figura 2: Diseño Experimental de la Metodología de Investigación**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS PROXIMAL

En la Tabla 3 se presenta la composición química de la goma de Sapote. Una humedad de 12.31 por ciento fue encontrada, correspondiendo a valores encontrados por Siccha y Lock (1994) de humedad de 12.89, 13.76, 13.44, 10 y 12 por ciento para las gomas de Charán, Tara, Uña de gato, Guar y Algarrobo, respectivamente. Además, Herz & González (2015) reportan porcentajes de contenido de humedad de entre 10.9 y 12.6 por ciento para gomas de Sapote de distintos sub-bloques de terreno de la región Lambayeque, dando a entender también la variabilidad dependiendo de la zona de procedencia del árbol.

**Tabla 3: Análisis químico proximal de la goma de Sapote purificada**

<b>Componentes químicos</b>	<b>Base húmeda (%)</b>	<b>Base seca (%)</b>
<b>Humedad</b>	12.31 ± 0.33	-
<b>Ceniza</b>	3.49 ± 0.02	3.98 ± 0.02
<b>Proteína</b>	15.03 ± 0.33	17.14 ± 0.33
<b>Grasa</b>	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01
<b>Fibra</b>	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.02
<b>Carbohidratos</b>	68.97 ± 0.70	78.65 ± 0.70

El contenido proteico de la goma de Sapote corresponde a un 17.14 por ciento, siendo superior a los valores reportados por los autores e incluso por muestras comerciales de goma Xantan (2.12 por ciento) y goma de Algarrobo (7.4 por ciento), reportados por Razavi (2019). Herz (2007) reporta un contenido proteico de goma de Sapote de 9.3 por ciento, mientras que Daoub *et al.* (2018) reporta contenidos proteicos de distintos tipos de *Acacia*, entre las cuales se encuentra la *Acacia senegal* (goma Arábigo), *Acacia seyal*, *Acacia Stephen*, Phillips y Williams (2006) mencionan gomas de las especies *Acacia torulosa* y *Acacia murrayana* con un contenido proteico de hasta 45 por ciento, superiores al reportado

por la goma de Sapote, mientras que Galla & Dubasi (2010) reportaron que la goma extraída de la semilla Karaya tiene un contenido proteico de 20.47 por ciento.

Se puede apreciar que existen diferencias en el contenido proteico entre distintas especies del mismo género. El contenido proteico determina las propiedades tecno-funcionales de la goma, impartiendo actividad superficial en el hidrocoloide, siendo aplicable para la formación de emulsiones, espumas y función estabilizante. Moscol (2018) reporta un contenido de proteínas de 8.45 por ciento en base seca para goma de Sapote *Capparis scabrida* proveniente del área de conservación regional Angostura Faical en Tumbes, siendo este un valor superior a los encontrados en la literatura para goma Arábiga. Es importante mencionar también que distintos métodos de purificación y fraccionamiento utilizando disolventes como etanol a altas temperaturas, isopropanol; o por cromatografía pueden disminuir el contenido proteico de la goma final como se reportó en el experimento realizado por Sharma et al. (2020), principalmente por eliminación de ciertas enzimas presentes en la goma.

El contenido de cenizas fue de 3.98 por ciento. Razavi (2019) menciona un contenido de minerales para goma Arábiga, Xantan y de Algarrobo de 1.2, 1.5 y 1.5 por ciento, respectivamente. Daoub et al. (2018) reporta contenidos de ceniza de 3.4, 2.5, 3.13 y 2.05 por ciento para las gomas de Acacia Senegal (goma Arábiga), Acacia seyal, Acacia mellifera y Acacia tortilis respectivamente. Esto indica que el contenido de cenizas varía incluso entre gomas de la misma especie. Herz (2007) menciona que los valores de cenizas demuestran la presencia de una cantidad de sales o minerales y en las gomas dependen, en apariencia, de la especie y de condiciones externas, principalmente características edáficas, es decir, características del suelo.

El contenido de carbohidratos fue de 78.65 por ciento en base seca. Herz & González (2015) reportan valores más altos de porcentaje de carbohidratos entre 83.17 a 83.52 por ciento para goma de Sapote de las provincias de Batán Grande y Olmos en Lambayeque. Abdolkhalegh et al. (2018) mencionan gomas exudadas con contenido de carbohidratos similares a los encontrados en goma de Sapote de 71.51, 73.72 y 66.89 por ciento para *Prunus Cerasus*, *Prunus cerasoides* y *Prunus armeniaca*. Atgie (2018) menciona que la goma Arábiga está aproximadamente compuesta por 39 a 42 por ciento de unidades de galactosa, 24 a 27 por

ciento unidades de arabinosa, 12 a 16 por ciento de unidades de ramnosa, 15 a 16 de unidades de ácido glucurónico, como principales carbohidratos en su composición, y que estos valores difieren debido a la edad del árbol de extracción, así como, de las características del suelo y de la localización del mismo, por lo que podrían ser las razones atribuibles para la diferencia encontrada.

## 4.2. SOLUBILIDAD

En la Tabla 4 se presenta la solubilidad en agua a diferentes temperaturas para la muestra de goma Sapote y la muestra de goma Arábica. Se puede observar que ambas gomas tienen una alta solubilidad en agua, sin diferencias significativas entre ambas.

**Tabla 4: Solubilidad (%) en función de la temperatura de goma Sapote y goma Arábica**

Temperatura (°C)	Goma de Sapote	Goma Arábica
30	86.09 ± 1.86 <sup>a</sup>	87.78 ± 2.15 <sup>ab</sup>
60	94.57 ± 1.01 <sup>c</sup>	95.76 ± 2.98 <sup>c</sup>
90	90.93 ± 3.05 <sup>b</sup>	90.52 ± 1.32 <sup>b</sup>

Distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Herz & González (2015) reportan distintos porcentajes de solubilidad en agua fría para la goma de Sapote según la localidad donde fue extraída, variando entre valores de 91.01 hasta 97.59 por ciento. Estos valores difieren del reportado posiblemente debido a ciertas diferencias en cuanto a la zona de extracción de la muestra, grado de pureza, o estado del árbol de extracción. Sin embargo, son valores similares a los obtenidos en la goma Arábica comercial.

La solubilidad de ambas gomas a 60°C fue la mayor reportada y en ambos casos, se exhibió una solubilidad reducida a 90°C. Castro et al. (2015) reportan las solubilidades de la goma Arábica a 30 °C, 60 °C y 90 °C, siendo éstas de 85, 92 y 83 por ciento, respectivamente, siguiendo un patrón similar al de la muestra observada. La alta solubilidad en el calentamiento se puede explicar por la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las largas

cadena de los polisacáridos, exponiendo los grupos hidroxilos al agua como también reportan Castro et al. (2015)

Sciarini et al. (2009), citados por Castro et al. (2015), mencionan que la goma Xantan tiene una solubilidad de 60 por ciento a 30°C y que, a 60°C, ésta aumenta en un 33.3 por ciento. Sin embargo, añade que a 90°C existe una reducción de un 12.5 por ciento en solubilidad, esto es atribuido a la gelificación de parte de la goma. Esto también puede atribuirse a las gomas Arábica y de Sapote, que a pesar de no ser buenos agentes gelificantes, presentan cierto grado de aglutinamiento y gelificación al estar en contacto con agua.

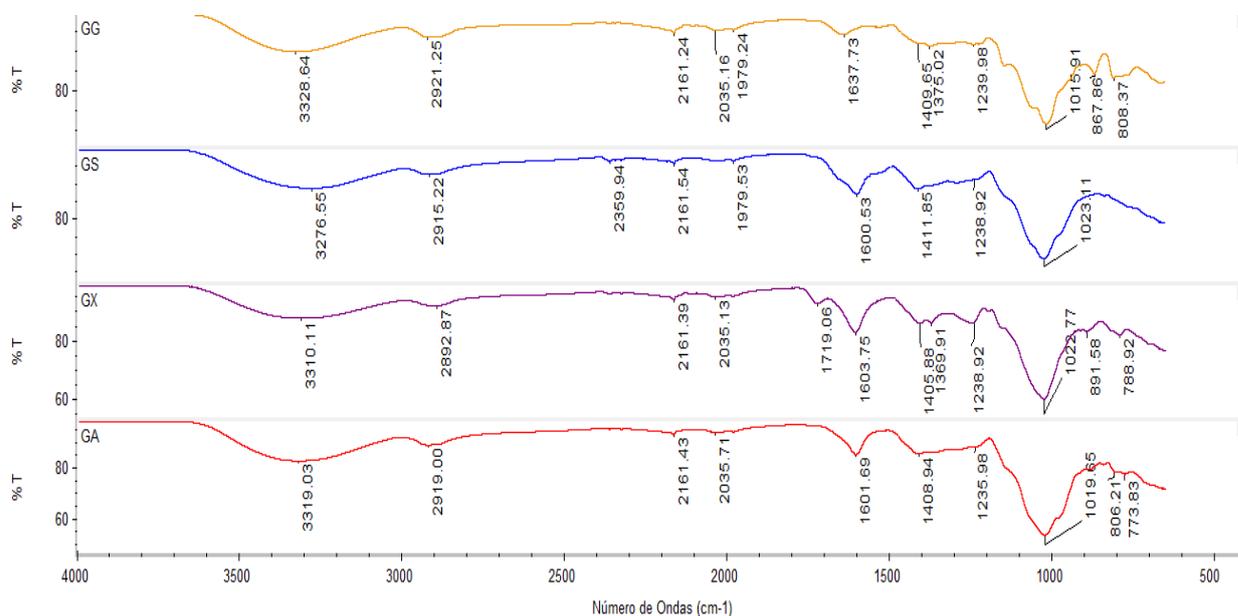
Atgie (2018) menciona que la solubilidad de la goma Arábica es afectada en buena parte por su contenido de polisacáridos y polipéptidos, así como la relación que tienen entre ellos. La buena afinidad al agua de ambas gomas se atribuye tanto a los azúcares como las proteínas que las conforman. Además, Bashir et al. (2018) afirma que la cantidad de porción insoluble en una goma exudada es usualmente utilizada como un indicador de la calidad de la misma; de acuerdo a esto la goma de Sapote podría tener una calidad similar a la de la muestra de goma Arábica.

#### **4.3. CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

En la Figura 3 se observan las transmitancias en el espectro infrarrojo con rango de 650 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  para las gomas Guar, Sapote, Xantan y Arábica. Como se puede apreciar, todas las gomas presentan picos en rangos de longitud de onda parecidos, por tanto, se puede deducir en principio que contienen los mismos o parecidos grupos funcionales.

El pico en el rango de longitudes de onda entre 3276 y 3328 corresponde a la presencia de grupos hidroxilo (O-H), cuyas frecuencias oscilan entre 3200 y 3570  $\text{cm}^{-1}$ , y los cuales pueden encontrarse dentro de una misma molécula (enlace de hidrógeno intramoleculares) o entre moléculas vecinas (enlace de hidrógeno intermoleculares) (Coates, 2006). Estos enlaces pueden indicar tanto la presencia de agua, como alcoholes, ácidos carboxílicos o fenoles. Daub *et al.* (2018) menciona que la banda de absorción característica en la región de 3400-

3500  $\text{cm}^{-1}$  para el grupo amino puede ser enmascarada por la banda de absorción del grupo O-H, por lo que podría tenerse en cuenta, también, la presencia de este grupo funcional.



**Figura 3: Espectro FTIR para a) goma Guar (amarillo), b) Sapote (azul), c) Xantán (morado) y d) Arábica (rojo)**

Coates (2006) indica que los picos en el rango de longitudes de onda entre 2700 y 3200  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a enlaces entre carbonos e hidrógenos (C-H), y si estos se presentan en rangos menores a 3000  $\text{cm}^{-1}$  corresponde probablemente a componentes alifáticos largos. Debido al rango en el que se presentaron los picos en las gomas (entre 2892 y 2921  $\text{cm}^{-1}$ ) estos componentes corresponderían a grupos alcanos y alquilos saturados, esto es confirmado por Coates (2006) que además menciona que el rango específico de 2915-2935  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la presencia de grupos metilenos, esto fue exclusivo de las gomas de Sapote, Guar y Arábica. El rango 2880-2900 corresponden a grupos metinos encontrados en la goma Xantán. Una intensidad mayor en el pico 2359  $\text{cm}^{-1}$  es atribuida a la presencia de  $\text{CO}_2$  en la medición (Hosakun, 2017).

Coates (2006) afirma que el rango de 2100-2260  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la presencia de alquinos, esto es referenciado por Bilal *et al.* (2015) que reporta la presencia de estos compuestos en goma Arábica, además de reportar una disminución en la frecuencia de estos compuestos de 2164  $\text{cm}^{-1}$  a 2095  $\text{cm}^{-1}$  debido a una purificación por filtración al vacío. Nandiyanto *et al.* (2019) nombra al espectro de 2000-2500  $\text{cm}^{-1}$  como la región del triple enlace, incluyendo

en esta zona los picos a  $2035\text{ cm}^{-1}$  en las gomas Guar, Xantan y Arábiga, de muy baja intensidad.

Nandiyanto *et al.* (2019) denomina a la región entre longitudes de onda entre  $1500$  y  $2000\text{ cm}^{-1}$  como la región de enlaces doble. Menciona que la región superior a los  $1775\text{ cm}^{-1}$  puede corresponder a grupos carbonilos activos como anhídridos o ácidos halogenados, estos pueden haberse presentado tanto en goma Guar como en la goma Sapote. Con respecto a los picos en el rango de los entre  $1600$ - $1650$ , Nandiyanto *et al.* (2019) reporta presencia de enlaces dobles, así como de compuestos aromáticos. Daoub *et al.* (2018) menciona que en gomas del género Acacia alrededor de la longitud de onda  $1602\text{ cm}^{-1}$  se presenta un pico característico correspondiente a grupos alquenos; grupos amida (NH) y  $\text{NO}_2$ , ambas provenientes de galactoproteínas alifáticas y aromáticas; así como aminoácidos. Coates (2006), además, señala presencia de nitratos orgánicos en el rango de  $1620$  a  $1640\text{ cm}^{-1}$ , observado para la goma Guar.

Nandiyanto *et al.* (2019) denomina la región entre  $600$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$  como la región huella dactilar, ratificado por Kang *et al.* (2011). Esto se refiere a que la complejidad de los picos que aparecen en esta zona y su carácter único ayudan a identificar rápidamente y de forma clara un compuesto. La banda alrededor de los  $1410$  y  $1370\text{ cm}^{-1}$  puede indicar la presencia de ácidos glucurónicos que tienen vibraciones específicas, como la banda en  $1411$  y  $1363\text{ cm}^{-1}$  debido al estiramiento simétrico del enlace  $\text{C}=\text{O}$  y la flexión de  $-\text{OH}$ , respectivamente, según Daoub *et al.* (2018). Ambos picos están presentes solo en goma Arábiga y goma Xantan.

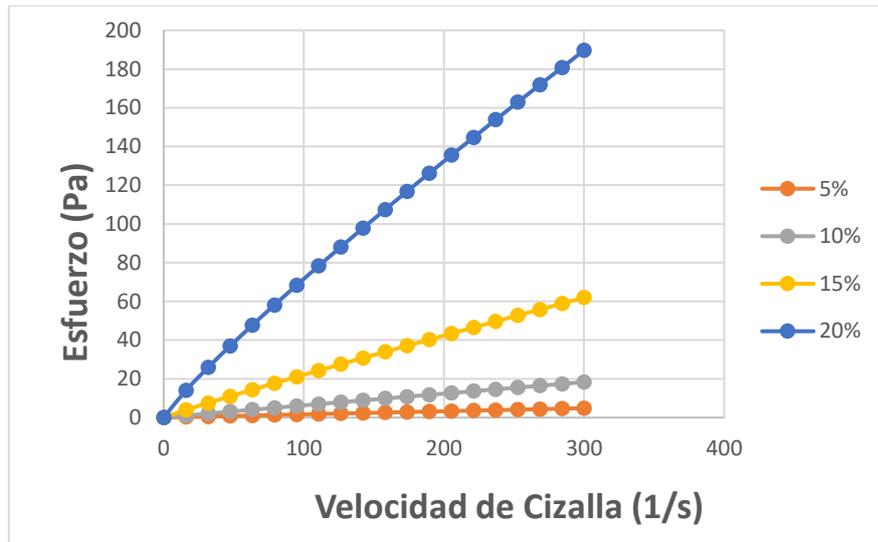
Podemos observar similitudes en todas las gomas en el pico cercano a  $1020\text{ cm}^{-1}$  pero también diferencias notables en los picos en el rango de  $800$  a  $900\text{ cm}^{-1}$  que pueden indicar una diferente composición de monosacáridos (Bhushette & Annapure, 2017). Con respecto a esto, Herz & González (2015) determinaron que la goma Sapote tiene los mismos azúcares que la goma Arábiga, siendo estos, la galactosa, arabinosa y ramnosa, principalmente; sin embargo, la goma Arábiga presenta, además, ácido glucurónico, así como una mayor proporción de ramnosa y arabinosa con respecto a la galactosa.

#### 4.4. COMPORTAMIENTO DE FLUJO

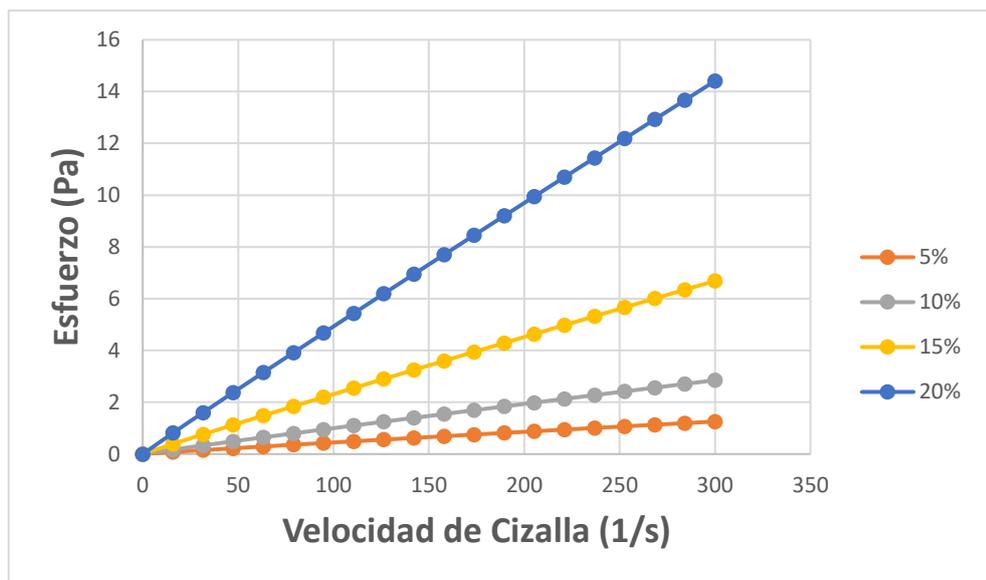
En las Figuras 4 y 5 se observan los reogramas obtenidos para las soluciones de goma de Sapote y goma Arábica, preparados en el rango de concentraciones de 5 a 20 por ciento. Las curvas obtenidas de ambas gomas mostraron que la goma de Sapote da como resultado una solución más consistente, con una viscosidad aparente más alta. Un aumento en la viscosidad con el aumento de la concentración puede deberse al aumento en el número de moléculas que contribuyen a las fuerzas de atracción intermoleculares (Bhushette & Annapure, 2017).

Así mismo en la Tabla 5 se muestran los valores de Índice de Consistencia (K) y comportamiento de fluido ( $n$ ) calculados por ajuste de los datos recolectados usando el modelo reológico de Ostwald o ley de la potencia. Los índices de consistencia (K) aumentan con la concentración de la goma, como es típico de los hidrocoloides, resaltando un incremento considerable en la goma de Sapote de 15 a 20 por ciento de concentración. En general, muestra una mayor consistencia que la goma Arábica comercial. Gómez *et al.* (2008) reporta valores de K de 0.009 y 0.017 Pa.s<sup>n</sup> para soluciones de goma Arábica al 10 y 15 por ciento de concentración, siendo menores a los encontrados en la muestra, lo cual se puede atribuir a un origen o método de purificación distintos.

El índice de comportamiento de fluido ( $n$ ) en ambos casos asume valores cercanos a 1, lo cual indicaría un comportamiento parecido al de un fluido newtoniano, sin embargo, se puede observar una tendencia opuesta en ambas muestras. En la goma de Sapote, el valor de  $n$  va disminuyendo en concordancia con la concentración de goma; mientras que, en el caso de la goma Arábica,  $n$  va aumentando a medida que aumenta su concentración, asemejando un comportamiento newtoniano. Esto indica que la goma de Sapote presenta un adelgazamiento por cizalladura, es decir que bajo esfuerzo constante la viscosidad va disminuyendo, correspondiendo a un comportamiento pseudoplástico (Castro *et al.*, 2015). Los índices de comportamiento de fluido reportados por Gómez *et al.* (2008) son de 0.956 y 0.967 para soluciones de goma Arábica al 10 y 15 por ciento, respectivamente, a 20°C, siendo estos valores similares a los reportados en esta investigación a las mismas concentraciones.



**Figura 4: Reograma de goma de Sapote para concentraciones de 5, 10, 15 y 20 por ciento**



**Figura 5: Reograma de goma Arábica para concentraciones de 5, 10, 15 y 20 por ciento**

Con respecto a la goma Arábica y la tendencia de su índice de comportamiento de flujo con respecto a la concentración, Gómez *et al.* (2008) menciona una particularidad, la existencia de un valor mínimo de este parámetro, antes de la cual el índice se reduce cuando aumenta la concentración de goma, como sucede con la goma Sapote. Sin embargo, luego tras llegar al valor mínimo de  $n$ , que corresponde a una concentración del 4 por ciento para goma Arábica, el índice incrementa hasta valores cercanos al 1 a concentraciones más elevadas

(comportamiento newtoniano). Esto quiere decir que los valores encontrados en esta investigación corresponden a la fase luego de esta concentración crítica, por lo que  $n$  incrementa con la concentración, sin embargo, esta particularidad no se identifica en la goma de Sapote.

**Tabla 5: Índice de consistencia (K) e índice de comportamiento de fluido (n) para gomas de Sapote y Arábica a distintas concentraciones**

Muestra	K(Pa.s <sup>n</sup> )	n
GS 5 %	0.018 ± 0.001 <sup>bc</sup>	0.983 ± 0.004 <sup>d</sup>
GS 10%	0.073 ± 0.000 <sup>e</sup>	0.969 ± 0.001 <sup>cd</sup>
GS 15%	0.293 ± 0.004 <sup>f</sup>	0.939 ± 0.002 <sup>b</sup>
GS 20%	1.207 ± 0.01 <sup>g</sup>	0.887 ± 0.002 <sup>a</sup>
GA 5%	0.006 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.938 ± 0.02 <sup>b</sup>
GA 10%	0.012 ± 0.000 <sup>ab</sup>	0.953 ± 0.01 <sup>bc</sup>
GA 15%	0.027 ± 0.002 <sup>c</sup>	0.966 ± 0.01 <sup>cd</sup>
GA 20%	0.055 ± 0.001 <sup>d</sup>	0.976 ± 0.002 <sup>d</sup>

Distintas letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

La importancia de estos parámetros reside en la diferencia de comportamientos que se observa entre ambas gomas, tanto la consistencia como la naturaleza pseudoplástica de la goma de Sapote, que afecta sus propiedades tecno-funcionales como su viscosidad, y por ende su estabilidad espumante y emulsionante. Además, estos parámetros son importantes ya que influyen en la sensación en boca, propiedades organolépticas y aceptabilidad (Bhushette y Annapure, 2017).

#### 4.5. VISCOSIDAD INTRÍNSECA

En la Tabla 6 se pueden apreciar los valores de viscosidad intrínseca de la muestra de goma de Sapote y goma Arábica, notándose un valor significativamente mayor en el primero. Gómez *et al.* (2008), así como Masuelli (2013) reportan valores de 18 mL/g y 19.31 mL/g para goma Arábica con las ecuaciones de Huggins y Kramer. Koocheki *et al.* (2022) indica que debido a que las cadenas de biopolímeros tienden a separarse en solución, la viscosidad intrínseca es proporcional al tamaño molecular y la conformación macromolecular de estos

hidrocoloides en un solvente dado. Por tanto, se puede deducir que la goma de Sapote tiene un tamaño molecular significativamente superior al de la goma Arábica.

**Tabla 6: Viscosidad intrínseca para goma Arábica y de Sapote según modelo de Huggins y Kramer**

	Goma Arábica	Goma de Sapote
<b>Viscosidad Intrínseca (ml/g)</b>	$20.98 \pm 0.21^a$	$43.18 \pm 1.45^b$

Distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Entre otros casos de gomas exudadas, se tiene a la goma exudada de la especie *Cercidium praecox* reportando un valor de viscosidad intrínseca de entre 51.9 a 52.91 mL/g a 25°C según distintos métodos utilizados, siendo el mayor valor el encontrado por el método Huggins y el menor, por el método Kraemer, no existiendo una gran diferencia entre ambos métodos y los demás utilizados por Masuelli *et al.* (2018) Se puede apreciar, entonces, que no hay grandes diferencias si se utilizaran los métodos para la determinación de la viscosidad intrínseca de forma individual.

Otro factor que puede explicar los valores presentados es la purificación de las muestras. Amarioarei *et al.* (2012) afirma que el proceso de purificación de la goma exudada del árbol de cerezo, que se realiza diluyéndola en agua y luego filtrándola, influye en la alta proporción natural de cadenas laterales de azúcar neutra y, por lo tanto, da como resultado una estructura altamente ramificada y la formación de agregados (similar a la goma Arábica y relacionado con otras gomas exudadas) esto afecto a la masa molecular y, por tanto, la viscosidad intrínseca. El proceso por el cual fue sometido el exudado de árbol de Sapote de dilución, filtración, centrifugación y secado pudo entonces ser un factor que afectó el resultado final; por tanto, cualquier cambio en el proceso de purificación puede ser determinante, en cuanto afecta su disposición molecular.

#### **4.6. CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN**

Como se puede observar en la Tabla 7 tanto la goma Arábica como la goma Sapote no presentaron gelificación como se puede observar también en los Anexos 3 y 4, incluso a concentraciones altas como de 18 por ciento, la diferencia de las muestras de goma Guar y

Xantan. Como se puede observar en los Anexos 5 y 6. Estas últimas tiene una procedencia distinta, al no ser gomas exudadas como las dos primeras. La falta de capacidad de formación de gel para las gomas Sapote y Arábiga puede deberse a la naturaleza inherente de las mismas a diferencia de las otras dos gomas. La formación de gel implica la asociación de segmentos poliméricos dispersados aleatoriamente de tal manera que forme una red tridimensional que contenga disolvente en los intersticios denominadas “zonas de unión”, por tanto, la incapacidad de formar estas redes se debe a la falta de congregación de los polímeros que conforman la goma de Sapote (Saha y Bhattacharya, 2010).

**Tabla 7: Presencia de gelificación para gomas de Sapote, Arábiga, Guar y Xantan a distintas concentraciones**

<b>Concentración (%)</b>	<b>Goma Sapote</b>	<b>Goma Arábiga</b>	<b>Goma Guar</b>	<b>Goma Xantan</b>
<b>1</b>	-	-	-	+
<b>3</b>	-	-	+	+
<b>5</b>	-	-	+	+
<b>10</b>	-	-	+	+
<b>18</b>	-	-	+	+

+ Indica la presencia de gelificación en la muestra

Sathe y Salunkhe (1981), citados por Enyinnaya *et al.* (2013), informaron que la gelificación no es sólo una función de la cantidad de proteína presente en un compuesto, sino del tipo de proteína, así como sus componentes no proteicos. Esto puede explicar que el mayor contenido proteico de la goma de Sapote no afecta a esta propiedad tecno-funcional, además que es la interacción entre los componentes que conforman al hidrocoloide lo que tiene un papel importante en la gelificación (Enyinnaya *et al.*,2013).

Barak *et al.* (2020) indica que, en algunos casos, como en la goma Ghatti la presencia de iones de calcio, así como los enlaces intermoleculares de su estructura son los responsables de su capacidad gelificante, siendo la presencia de ciertos iones importante en la formación del gel. Los autores además atribuyen la formación de gel en la goma Tragacanto a su fracción insoluble denominada basorina, un constituyente péctico con grupos metil en su estructura. Siguiendo estos ejemplos, la ausencia de gelificación en la goma de Sapote podría

explicarse por la ausencia de iones calcio en su estructura o de una fracción insoluble que se hincha al contacto con el agua. Es por esto por lo que se amerita un análisis estructural a fondo para descartar estas conjeturas.

## **4.7. PROPIEDADES ESPUMANTES**

### **4.7.1. CAPACIDAD ESPUMANTE**

La formación y estabilización de espumas es crítica en muchas aplicaciones alimentarias, como toppings batidos, productos de panadería y postres congelados. La estructura y la presencia de proteínas y carbohidratos dentro de la estructura de la goma ayudan a mejorar las propiedades espumantes dentro de una matriz alimenticia, además que factores como la temperatura, pH y fuerzas iónicas afectarán su desempeño (Xie y Hettiarachchy, 1998).

Se puede observar la superior capacidad espumante que presenta la goma Sapote a todas concentraciones en comparación a la goma Arábica en la Tabla 8, además se observa un patrón en la goma Arábica en la que la capacidad espumante aumenta con la concentración; sin embargo, en la goma de Sapote se observa un pico de 52.74 por ciento a 3 por ciento de concentración, después del cual disminuye hasta que vuelve a aumentar en la solución de concentración al 10 por ciento, pero este aumento es no significativo estadísticamente. Chaudhari y Annapure (2021) reportan valores de capacidad espumante de goma Arábica al 5 por ciento, de 10.41 por ciento con el mismo método utilizado en el ensayo realizado, lo cual es un valor similar al obtenido, siendo, igualmente, menor al presentado por la goma de Sapote.

Agboola *et al.* (2007), citado por Mahfoudhi *et al.*, (2012) mencionan que la capacidad espumante está relacionada con el contenido de proteínas de la goma, su peso molecular y naturaleza, así como a la presencia de otros compuestos en la composición del biopolímero. Mahfoudhi *et al.* (2012) reporta que la goma del árbol de almendra *Prunus dulcis* tiene muy baja capacidad espumante y que incluso desaparece al cabo de 2 minutos, esto se debe a que las proteínas presentes en esa goma no fueron capaces de desplegarse en la interfaz cuando se incorporó aire en la fase acuosa. La capacidad espumante se ve afectada entonces por la tasa de difusión de proteínas de la goma a la interfaz aire-agua, por tanto, se puede deducir

que la goma Sapote tiene una tasa de difusión mayor a la goma Arábica, posiblemente debido a la distribución molecular y cantidad de proteínas presente, en contraste a la mayor viscosidad de la fase acuosa que produce.

**Tabla 8: Capacidad Espumante en porcentaje para goma de Sapote y Arábica a distintas concentraciones**

Concentración (%)	Goma Sapote (%)	Goma Arábica (%)
1	48.65 ± 0.57 <sup>f</sup>	4.67 ± 1.16 <sup>a</sup>
3	52.74 ± 1.61 <sup>f</sup>	9.33 ± 1.16 <sup>ab</sup>
5	42.42 ± 1.26 <sup>e</sup>	12.67 ± 1.16 <sup>b</sup>
7	38.62 ± 3.13 <sup>e</sup>	18.12 ± 2.01 <sup>c</sup>
10	43.63 ± 2.68 <sup>e</sup>	24.67 ± 1.16 <sup>d</sup>

Distintas letras en columnas y filas indican diferencias significativas (p<0.05)

Jahanbin *et al.* (2012) reporta que la capacidad de espuma (CE) de la solución de la goma de raíz de *Acanthophyllum bracteatum* al 1 por ciento fue del 44 por ciento, menor al de la goma de Sapote al 1 por ciento. También, a modo de dato referencial, Sciarini *et al.* (2009), citado por Jahanbin *et al.* (2012), reporta que la CE de soluciones de goma Guar y Xantan al 1 por ciento fueron 27 por ciento y 14 por ciento, respectivamente, cuando se probaron usando un método similar. Por tanto, se puede concluir que la goma de Sapote tiene una alta capacidad de formación de espuma en comparación a otras gomas comerciales.

En cuanto a aspectos que reducen la capacidad espumante en un hidocoloide, Mahfoudhi *et al.* (2012) menciona que, debido a la cantidad significativa de carbohidratos de una goma, la migración de la proteína en la interfaz aire-agua es impedido. Los carbohidratos se caracterizan, de hecho, por su capacidad de retención de agua y sus propiedades gelificantes, por lo tanto, pueden evitar la formación de espuma. Sciarini *et al.* (2009), afirma que la relación entre la viscosidad aparente y la capacidad de formación de espuma es inversa ya que minimiza la expansión de la espuma haciéndola más compacta, pudiendo explicar la reducción de la capacidad espumante a concentraciones más altas de goma de Sapote, a pesar del contenido más alto de proteínas.

Un comportamiento similar al exhibido por la goma de Sapote fue encontrado en la goma Brea. Bertuzzi *et al.* (2012) reporta una disminución en la capacidad de formación de espuma a partir de una concentración del 5 por ciento, esto lo atribuye a haber excedido la

concentración micelar crítica, a partir de la cual se forman micelas que ya no reducen la tensión superficial, y, por tanto, no ayudan a la formación de espuma. En el caso de la goma de Sapote, la reducción se suscitó de la solución de concentración al 3 por ciento a la de 5 por ciento.

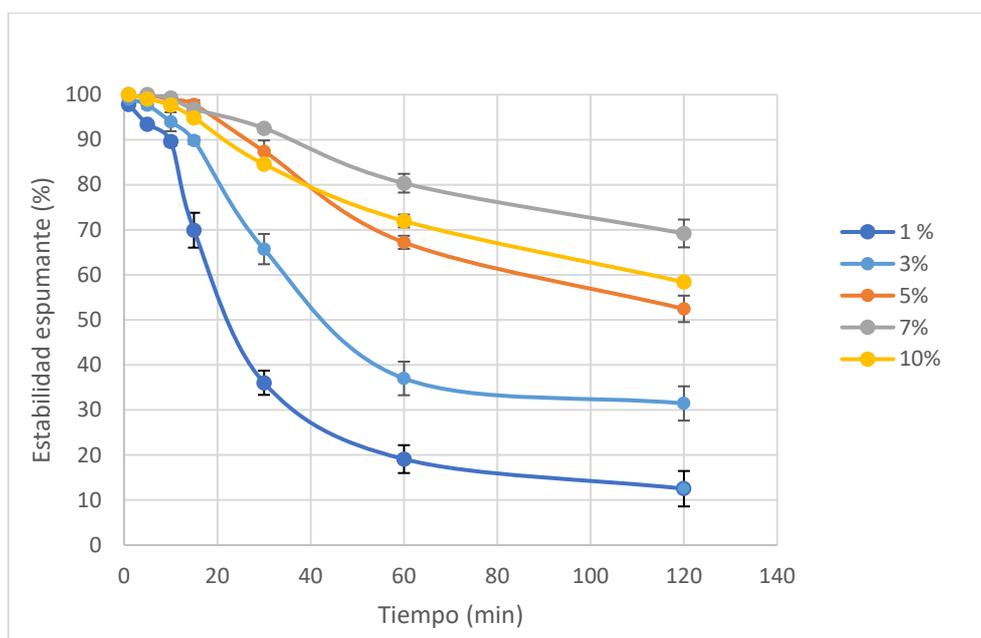
#### **4.7.2. ESTABILIDAD ESPUMANTE**

En las Figuras 6 y 7 se puede observar la estabilidad espumante de las gomas de Sapote y Arábica, respectivamente, Podemos observar que las espumas formadas por la goma de Sapote en todas las concentraciones tienen mayor estabilidad en el tiempo en comparación a la goma Arábica que experimenta una caída en su estabilidad drástica en los primeros 15 minutos, incluso a llegar a desaparecer a los 30 minutos para la solución de goma Arábica al 1 por ciento de concentración, mientras que esto no llega a suceder a lo largo de 120 minutos para la goma de Sapote al 1 por ciento.

Rezaei *et al.* (2016) afirma que la estabilidad de la espuma de las gomas depende de diferentes factores como el contenido de proteínas, el peso molecular, la estructura de las gomas y la presencia de otros compuestos en las gomas; la mayor concentración proteica de la goma de Sapote da como resultado una mayor actividad superficial, que produce un mayor poder espumante y estabilizador, por lo tanto, juega un rol muy importante al comparar ambas gomas, y las concentraciones analizadas. Además, menciona que los polisacáridos, que aumentan la viscosidad de un sistema espumoso, conducen a la creación de una red que evita la coalescencia de las burbujas de aire, lo que conlleva a mejorar la estabilidad de una espuma con el tiempo.

Centrándose en las proteínas de la goma y su efecto en la estabilidad de las espumas, Xie y Hettiarachchy (1998) mencionan que diversos estudios indican que una alta solubilidad de las proteínas es un requisito previo para tener buenas propiedades espumantes. Sin embargo, Bertuzzi y Slavutsky (2019) afirman que las propiedades moleculares de las proteínas requeridas para una buena capacidad espumante y una buena estabilidad espumante son algo diferentes. La formación de espumas implica la difusión de proteínas solubles hacia la interfaz aire-agua de la espuma y un rápido cambio conformacional y reordenamiento en la interfaz, mientras que la estabilidad requiere la formación de una película gruesa, cohesiva

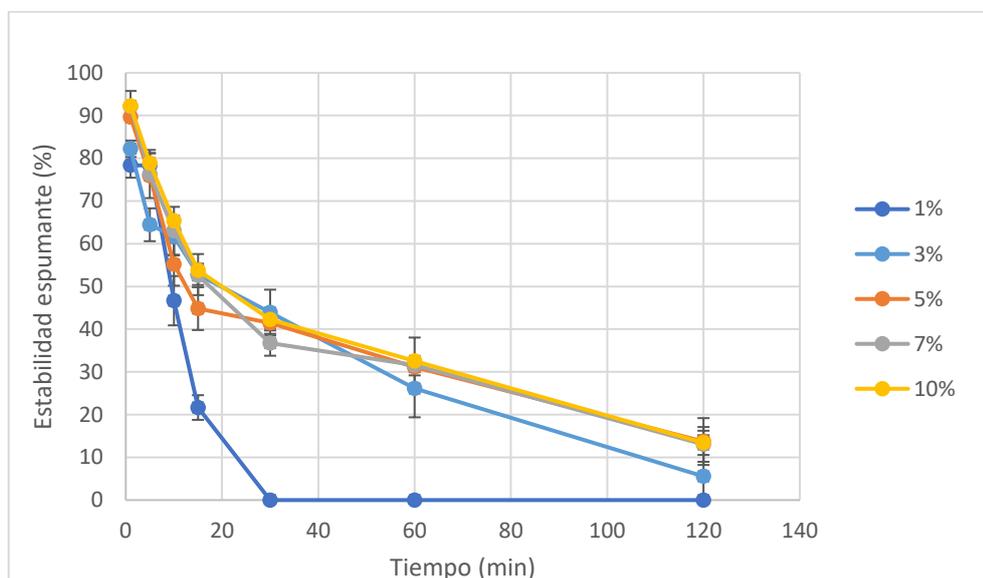
y viscoelástica alrededor de cada burbuja de gas. Con estos conceptos en cuenta, se determinó que la goma de Sapote presenta tanto buena capacidad como estabilidad, en contraposición de la goma Arábica, por lo que se puede deducir que las proteínas de la goma Sapote tienen una rápida difusión a la interfaz, así como la formación de una buena película de las burbujas.



**Figura 6: Estabilidad espumante de goma Sapote a concentraciones de 1, 3, 5, 7 y 10 por ciento a través del tiempo**

En cuanto a la comparación con otras gomas, Jahanbin *et al.* (2012) reporta que con la misma metodología y con una solución al 1 por ciento de goma de raíz de *Acanthophyllum bracteatum*, obtuvo una estabilidad espumosa de 73 por ciento luego de 120 minutos, observándose una gran diferencia en cuanto a la goma de Sapote que no llega a ese valor en ninguna de las concentraciones analizadas, lo más cercano es el valor de 69.18 por ciento al que se llega luego de 120 minutos a concentración del 7 por ciento. Además, Sciarini *et al.* (2009), reporta la estabilidad de las espumas formadas por soluciones de *Gleditsia triagacanthos* al 0.5 por ciento de concentración luego de 30 minutos, la cual varió desde 50 por ciento del volumen inicial a 92.5 por ciento, según el método de extracción de la goma. Valores tan altos a 30 minutos solo se observan en la goma de Sapote a concentraciones de 5, 7 y 10 por ciento, con valores de 87.4, 92.6 y 84.6 por ciento respectivamente. También reporta la estabilidad de la goma Xantan a la misma concentración, la cual es de 91.3 por

ciento. Estos datos superiores a menor concentración se atribuyen a una mayor viscosidad de las soluciones en comparación a las de goma de Sapote.



**Figura 7: Estabilidad espumante de goma Arábica a concentraciones de 1, 3, 5, 7 y 10 por ciento en el tiempo**

Por tanto, la goma de Sapote presenta una muy buena estabilidad espumante en comparación a otras gomas exudadas como la goma Arábica, sin embargo, palidece ante gomas de otro origen como son la *Gleditsia triagacanthos*, *Acanthophyllum bracteatum* y la Xantan.

#### **4.7.3. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTAS TEMPERATURAS**

En la Tabla 9 se puede observar la influencia de la temperatura en la capacidad espumante de la goma de Sapote a concentración del 1 por ciento, temperaturas a las que fueron sometidas previas a la formación de espuma. De esta manera podemos observar que la capacidad espumante incrementa a medida que va aumentando la temperatura, encontrándose un valor máximo de 51.33 por ciento a 70 °C, sin embargo, disminuiría a 49.33 por ciento a 90°C, aunque sea una disminución no significativa. Estos valores pueden relacionarse con los resultados de solubilidad obtenidos, en donde esta aumenta con la temperatura y disminuye a 90°C. Se atribuye este comportamiento entonces a la solubilidad de las proteínas, su desenvolvimiento y desnaturalización en las soluciones estudiadas.

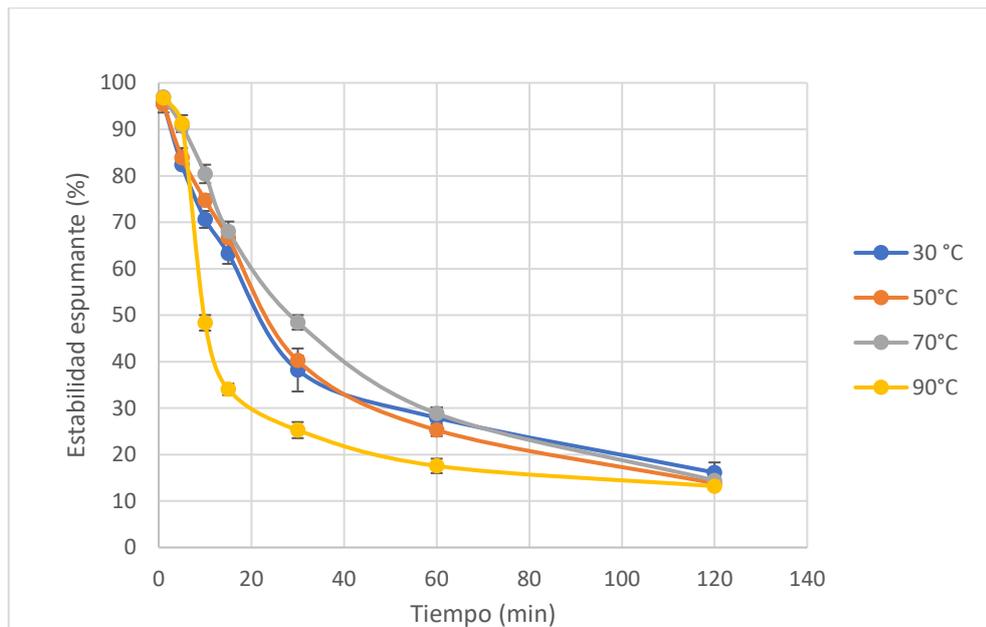
**Tabla 9: Capacidad espumante en porcentaje de goma de Sapote al 1 por ciento distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Capacidad espumante (%)
30	38.37 ± 1.47 <sup>a</sup>
50	45.35 ± 1.49 <sup>b</sup>
70	51.33 ± 1.16 <sup>c</sup>
90	49.33 ± 1.16 <sup>c</sup>

Distintas letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Con relación al efecto que tiene el calentamiento en la viscosidad de las soluciones de goma de Sapote y, por ende, en sus propiedades espumantes, Yagoub y Nur (2013) indican que el tratamiento térmico en la goma Guar trae como resultado dos situaciones que parecen afectar la viscosidad de polímero: el aumento de la viscosidad debido a un aumento de solubilización y la pérdida de viscosidad debido a la disminución del peso molecular causado por degradación térmica. Ambos fenómenos explican porque a temperaturas superiores a 70 °C no se encontró un aumento de la capacidad espumante, ya que como se discutió anteriormente, la viscosidad impide la expansión de la espuma.

En la Figura 8 se puede observar la influencia de la temperatura en la estabilidad espumante de las soluciones de goma de Sapote al 1 por ciento a través del tiempo, donde se destaca el mínimo valor de estabilidad en la solución sometida a 90 °C. Esto corresponde con lo mencionado por Milani *et al.* (2012) y Abbastabar *et al.* (2015), citados por Hosseini *et al.* (2017), que indican que el aumento de la temperatura proporciona la energía necesaria para la movilidad molecular de la goma. Por lo tanto, la resistencia del fluido al flujo disminuye, lo que conduce a la disminución de la viscosidad durante el calentamiento. Al disminuir la viscosidad, como se discutió anteriormente, disminuye la estabilidad. De acuerdo con Hosseini *et al.* (2017), esta mayor movilidad con el incremento de la temperatura se relaciona con el concepto de energía de activación y el peso molecular de la goma. Ambos factores determinan que tan susceptible térmicamente es un polisacárido, y, por tanto, con su tasa de degradación térmica. Abbes *et al.* (2015) mencionan que la temperatura degrada los polisacáridos de alto peso molecular, a otros de menor peso molecular o monosacáridos, teniendo un impacto negativo en el coeficiente de consistencia de una solución. Como referencia, se determinó que la goma de Sapote tenía un mayor peso molecular que la goma Arábica a partir de su viscosidad intrínseca.



**Figura 8: Estabilidad espumante de goma de Sapote al 1 por ciento a distintas temperaturas en el tiempo**

Además, Delahaije *et al.* (2019) indican que se espera una dependencia proporcional entre la temperatura y la adsorción proteica en el interfaz aire-agua de las burbujas formadas en la espuma, lo cual beneficia tanto a la capacidad como a la estabilidad espumante; sin embargo, esto no ocurrió en su observación de espumas formadas a partir de ovoalbúminas, no habiendo cambio alguna de sus propiedades con respecto a la temperatura, atribuyendo esto al método analítico utilizado o al método de formación de espuma.

Como dato adicional, la energía de activación de la goma Arábica oscila entre 122 y 155 kJ/mol según lo recopilado por Jamaludin *et al.* (2017), por tanto, es más susceptible a su degradación por calor que la goma Xantan de 179 kJ/mol o a la goma tragacanto de 258 kJ/mol, según Zohuriaan *et al.* (2004), citados por Jamaludin *et al.* (2017). La goma de Sapote entonces tiene un espectro amplio en el cual clasificarse según su susceptibilidad a la temperatura, siendo la goma Arábica, a la cual más se asimila estructuralmente.

#### **4.7.4. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTOS VALORES DE PH**

Se evaluó el efecto de los niveles de pH de las soluciones en las propiedades espumantes de la goma de Sapote a concentración del 1 por ciento, a temperatura de 25°C. Como se observa

en la Tabla 10 y la Figura 9, la capacidad y la estabilidad espumante de las soluciones muestran ser dependientes del pH, presentando una mayor CE a pH 9, mientras que no se registraron diferencias significativas a niveles de pH de 3, 5 y 7. Sciarini *et al.* (2009), explica este comportamiento de incremento de la capacidad espumante a mayor pH, atribuyéndolo a una naturaleza aniónica, por tanto, a medida que aumenta el pH, la concentración de grupos OH aumenta, aumentando la repulsión entre las moléculas y la fase continua. En consecuencia, las moléculas de goma tienden a moverse a la interfase, estabilizando la espuma. También lo atribuyen a la asociación de los hidrocoloides y las proteínas, siendo los grupos funcionales de las proteínas los responsables de la dependencia del pH. Una desnaturalización proteica causada por el pH puede exponer los grupos hidrofóbicos de la proteína en la goma, reduciendo su solubilidad y por ende afectar su capacidad espumante al no asociarse con los polisacáridos presentes en la goma.

**Tabla 10: Capacidad espumante en porcentaje para goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH**

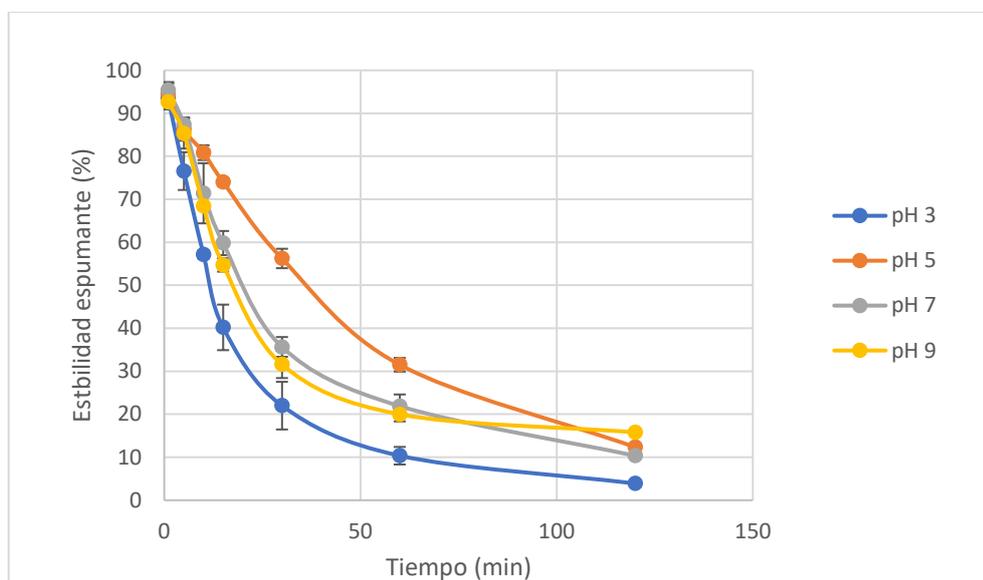
pH	Capacidad espumante (%)
3	39.33 ± 1.16 <sup>a</sup>
5	40.14 ± 1.18 <sup>a</sup>
7	41.67 ± 1.11 <sup>a</sup>
9	48.35 ± 1.50 <sup>b</sup>

Distintas letras indican diferencias significativas (p<0.05)

Hosseini *et al.* (2017) reporta que, en soluciones de goma de almendro amargo al 3 por ciento, los resultados mostraron que el cambio de pH tiene un efecto significativo en los parámetros reológicos a los valores de pH estudiados (2, 4, 7 y 10). La viscosidad alcanzó un valor máximo a pH 7 y disminuyó a valores de pH más bajos y más altos, siendo el valor más bajo registrado el valor a pH 2. Debido a que la viscosidad está directamente relacionada a la estabilidad espumante, corresponde que la estabilidad espumante más baja se registra al valor más bajo de pH estudiado para la goma de Sapote (pH 3), mientras que aumenta a niveles de pH 5, 7 y 9.

Xie y Hettiarachchy (1998) mencionan que las propiedades espumantes de las proteínas pueden verse afectadas significativamente por los cambios de pH debido al cambio de la carga neta de las mismas. Las proteínas generalmente producen mejores espumas a niveles de pH donde las moléculas son flexibles y menos compactas. Las espumas producidas en

condiciones donde la proteína es más compacta, rígida y difícil de desnaturalizar tienen una capacidad y estabilidad espumante más baja. Sin embargo, reportan que no hubo diferencias significativas de capacidad y estabilidad espumante a pH de 4.5, 7.0 o 9.0 ( $P > 0.05$ ) para soluciones de aislado de proteína de soja (0.1 por ciento) con goma Xantan (0.2 por ciento).



**Figura 9: Estabilidad espumante para goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH en el tiempo**

#### **4.7.5. CAPACIDAD Y ESTABILIDAD ESPUMANTE A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE SODIO**

Se evaluó la influencia de las concentraciones de NaCl en propiedades espumantes de la goma de Sapote al 1 por ciento. En la Tabla 11, se observa una tendencia directamente proporcional entre la concentración de sal y la capacidad espumante. Según Hosseini *et al.* (2017), las gomas alimenticias se presentan principalmente como polielectrolitos y reaccionan con las sales contenidas en los alimentos, lo cual causa cambios en los caracteres reológicos y propiedades biológicas de las gomas. Los mismos autores determinaron que a mayor concentración de NaCl y CaCl<sub>2</sub> en soluciones de goma de almendro amargo, menor era la viscosidad aparente de las mismas, y por tanto explicaría una mayor capacidad espumante a la máxima concentración de NaCl analizada, debido a que se ejerce menos resistencia a la formación de espuma. Esto es corroborado por Whistler (1993) que menciona que gomas exudadas como la goma karaya también ven disminuida su viscosidad al añadirse sales de calcio, sodio, cloruros y sulfatos de aluminio.

**Tabla 11: Capacidad espumante en porcentaje para goma de Sapote al 1 (pH = 7) por ciento a distintas concentraciones de cloruro de sodio**

Concentración NaCl (mM)	Capacidad espumante (%)
100	41.97 ± 2.70 <sup>a</sup>
200	52.67 ± 1.16 <sup>b</sup>
300	57.53 ± 1.50 <sup>c</sup>
400	60.94 ± 0.91 <sup>cd</sup>
500	62.41 ± 1.06 <sup>d</sup>

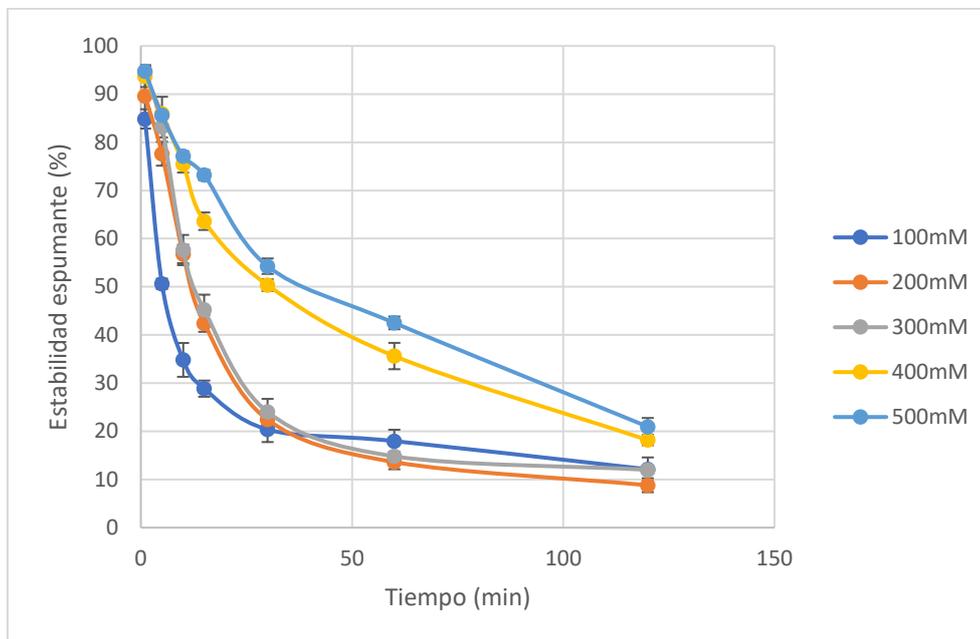
Distintas letras indican diferencias significativas (p<0.05)

Con respecto a esto, Ndiritu *et al.* (2019) mencionan que el efecto de NaCl en la capacidad espumante de espumas proteicas es dependiente de su concentración, ya que tiende a aumentar a bajas concentraciones de sal debido a una mejorada solubilidad proteica y luego disminuye al aumentar la concentración de sal debido a que se forma una mayor fuerza iónica lo cual facilita las interacciones hidrofóbicas entre las proteínas que reducen la elasticidad de sus moléculas. En el caso de estos autores para espumas producidas por proteínas extraídas de grillos, se presentaron los máximos valores de capacidad espumante a una concentración de NaCl de 4 y 8 por ciento presentando disminuciones a 6 y 12 por ciento.

Razi *et al.* (2019) afirma que la adición de sales afecta la habilidad de adsorción de las proteínas en la interfaz aire-agua. El cloruro de sodio puede tener efecto en moléculas proteicas cargadas y disminuir la repulsión electrostática entre proteínas adsorbidas y no adsorbidas formando películas más gruesas. Los autores atribuyen el incremento de la capacidad espumante de la albúmina de huevo a esta mejora de adsorción y a la solubilidad proteica mejorada por la presencia de sales. La formación de películas más gruesas en el interfaz agua-aire también podría justificar un aumento en la estabilidad espumante en el tiempo. Esto correspondería con los resultados obtenidos en la Figura 10, donde se presenta el efecto de la concentración de NaCl en la estabilidad espumante de la goma de Sapote, en la que la mayor estabilidad se encontró en las soluciones a 500Mm de NaCl.

Ercelebi e Ibanoglu (2009b) menciona que la presencia de sal afecta la solubilidad de las proteínas, el cual es un factor que afecta la durabilidad de una espuma, observando que a bajas concentraciones de sal; hasta 50 Mm para goma Guar y pectina en conjunción con proteína de soya, y hasta 30mM en conjunción con clara de huevo; aumenta la estabilidad espumante, mientras que, a concentraciones más altas, disminuye. Por otra parte, Dawa *et*

al. (2014) no encontró diferencias significativas en la estabilidad para soluciones de aislado proteico de calabaza con goma Arábica a distintas concentraciones de NaCl (0.2-1 M). Por lo que se puede decir que esta influencia de sales depende de la naturaleza de la proteína.



**Figura 10: Estabilidad espumante para goma de Sapote al 1 (pH = 7) por ciento a distintas concentraciones de cloruro de sodio en el tiempo**

Por último, Razi *et al.* (2019), a pesar de no haber encontrado una influencia significativa de las sales en la estabilidad espumante de la albúmina de huevo, menciona que la interacción entre proteínas y polisacáridos aumenta la estabilidad de las espumas. Dickinson y Walstra (1993) indican que esto se explica debido a la formación de complejos covalentes que evitan la coalescencia de burbujas.

#### 4.8. PROPIEDADES EMULSIONANTES

##### 4.8.1. ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE

Se compararon los resultados de la goma de Sapote a la de goma Arábica (Tabla 12), puesto que esta última imparte una buena estabilidad en la interfase agua-aceite en las emulsiones que forma, por ende, brinda muy buena estabilidad emulsionante (Milani y Maleki, 2012).

**Tabla 12: Turbidez en  $\text{cm}^{-1}$  de las emulsiones formadas por goma de Sapote y goma Arábica**

Concentración (%)	Goma Sapote ( $\text{cm}^{-1}$ )	Goma Arábica ( $\text{cm}^{-1}$ )
1	$856.72 \pm 6.91^c$	$673.24 \pm 26.89^a$
2.5	$920.43 \pm 23.18^d$	$803.75 \pm 28.86^b$
5	$1126.93 \pm 39.24^f$	$869.77 \pm 18.47^c$
7.5	$1300.43 \pm 14.98^g$	$1001.81 \pm 31.66^e$
10	$1501.56 \pm 21.11^h$	$1305.03 \pm 19.59^g$

Distintas letras indican en las columnas y filas diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Se observa una mayor turbidez a medida que incrementa la concentración de goma Sapote y Arábica, observándose diferencias significativas entre los valores para mismas concentraciones de ambas gomas, esto está correlacionado con un mayor contenido proteico, y a un menor tamaño de partícula en las emulsiones (Castro y Cristianini, 2014). Linke y Drusch (2016) demostraron que existe una relación exponencial entre la disminución del tamaño de partícula con el aumento de la turbidez, utilizando goma Arábica como agente emulsionante. Sin embargo, también mencionan que existe una influencia inherente del agente emulsificante en la turbidez de las emulsiones, y que depende de su conformación estructural.

Conforme a este concepto, Ma *et al.* (2015) mencionan que la goma Arábica está conformada en 10 por ciento de su totalidad de un complejo proteico-arabinogalactanos en un modelo de “flor de zarzo”, en el cual, bloques de carbohidratos (arabinogalactanos) están unidos a una cadena polipeptídica, y pequeñas cadenas proteicas están también unidas en intervalos. La disponibilidad de esta cadena polipeptídica determina su capacidad emulsionante, y al tener la goma de Sapote un mayor contenido proteico y una similar composición de carbohidratos, haría falta determinar su conformación estructural para predecir completamente su potencial emulsionante.

En la Tabla 13 se observan los valores de índice de actividad emulsionante para ambas gomas a distintas concentraciones, donde se observa una disminución en su valor a medida que incrementa la concentración de goma. Aryee *et al.* (2018) indican que el índice de actividad emulsionante es una medición de la cantidad de aceite que puede emulsionar una proteína, siendo este expresado en área de interfase aceite-agua en  $\text{m}^2$  estabilizado por gramo de proteína. Sin embargo, este índice puede verse afectado negativamente por la concentración

de emulsionante debido a la migración de proteínas de una manera dependiente de la difusión, que se vería evitada por una alta energía de activación a altas concentraciones.

**Tabla 13: Índice de actividad emulsionante en m<sup>2</sup>/g para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábica a distintas concentraciones**

Concentración (%)	Goma Sapote (m <sup>2</sup> /g)	Goma Arábica (m <sup>2</sup> /g)
1	21.42 ± 0.17 <sup>g</sup>	16.83 ± 0.67 <sup>f</sup>
2.5	9.2 ± 0.23 <sup>e</sup>	8.04 ± 0.29 <sup>d</sup>
5	5.63 ± 0.2 <sup>c</sup>	4.34 ± 0.09 <sup>b</sup>
7.5	4.33 ± 0.05 <sup>b</sup>	3.34 ± 0.11 <sup>a</sup>
10	3.75 ± 0.05 <sup>ab</sup>	3.26 ± 0.05 <sup>a</sup>

Distintas letras en las columnas y filas indican diferencias significativas (p<0.05)

Aquí también entra el concepto de concentración crítica micelar, tras la cual ya no disminuye la tensión superficial, debido a que llega a un punto en el que una partícula ya no puede absorber más partículas del polímero en la interfase (Hay *et al.*,2017). Tomando en cuenta que la tensión superficial no disminuye y que existe una relación inversa entre la cantidad de emulsionante, que va en incremento, y el índice de actividad emulsionante (IAE), se podría explicar este comportamiento. Sin embargo, algo importante a resaltar son las diferencias significativas entre las gomas a la misma concentración excepto a 10 por ciento. Hay *et al.* (2017) encontró que los polisacáridos de uva congelada tuvieron un IAE 35 por ciento superior a la goma Arábica a la misma concentración (0.1 por ciento). En este caso la goma de Sapote es 27 por ciento mayor al 1 por ciento, 14 por ciento a 2.5 por ciento, y disminuyendo en proporción hasta no haber diferencia significativa a 10 por ciento de concentración. Por tanto, la goma de Sapote se consideraría un mejor emulsionante en comparación a la goma Arábica. Hay *et al.* (2017) advierte que un alto contenido de proteína no es necesariamente un indicador de las características emulsionantes de un polisacárido y se han observado gomas de bajo contenido proteico que poseen excelentes características emulsionantes como goma de Acacia senegal y de fibra de maíz.

La razón detrás de la mayor estabilidad encontrada puede correlacionarse con la estructura de la goma de Sapote, y además de las interacciones electrostáticas entre las partículas de emulsión que produce (Buffo *et al.*, 2001).

#### 4.8.2. ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE E ÍNDICE DE CREMA

En la Tabla 14 se exponen los resultados de la estabilidad de las emulsiones tras 7 días, formadas por la goma Arábica y la goma Sapote, según su concentración. Se puede observar que la estabilidad incrementa con la concentración de goma en ambos casos, lo cual podría guardar relación con el incremento de la viscosidad de la fase continua, que contribuye a la estabilidad cinética de la emulsión (Mahfoudhi *et al.*, 2012). Abdolkhalegh *et al.* (2018) encontraron de igual manera una relación positiva entre la concentración de goma y la estabilidad de la emulsión para goma Persian (*Amygdalus scoparia*), al igual que para goma Arábica hasta concentración de 5 por ciento después de la cual fue constante. Lo atribuyen al contenido de polisacáridos, ya que contribuyen a una emulsión a través de sus propiedades de retención de agua y espesantes. Las partículas de aceite que son menos densas que la fase continua, sufrirán una separación gravitacional y ascenderán, a través de la columna de emulsión; la viscosidad representa una resistencia a este ascenso, disminuyendo la velocidad de este movimiento.

**Tabla 14: Índice de estabilidad emulsionante para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábica a distintas concentraciones luego de 7 días**

Concentración (%)	Goma Sapote	Goma Arábica
1	0.593 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.484 ± 0.02 <sup>a</sup>
2.5	0.688 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.447 ± 0.01 <sup>a</sup>
5	0.828 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.612 ± 0.02 <sup>b</sup>
7.5	0.893 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.714 ± 0.02 <sup>c</sup>
10	0.979 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.946 ± 0.02 <sup>ef</sup>

Distintas letras en las columnas y filas indican diferencias significativas (p<0.05)

También existe la posibilidad de que la presencia de minerales afecte la estabilidad emulsionante, ya que Buffo *et al.* (2001) menciona que estos causan una compresión en la doble capa eléctrica que rodea la partícula de emulsión, disminuyendo la repulsión electrostática entre partículas y por ende contribuyendo a la coalescencia. Esto contribuiría negativamente a la estabilidad de las emulsiones de goma de Sapote, ya que contaba con un mayor contenido de cenizas (3.98 por ciento) en comparación a los encontrados para goma Arábica según la literatura. Sin embargo, esto no se refleja en los resultados encontrados por lo que su influencia no es determinante.

Otro factor que afecta la estabilidad de una emulsión es el peso molecular del polímero utilizado como emulsionante, en este caso, la goma de Sapote tiene mayor peso molecular que la goma Arábica. Hay *et al.* (2017) menciona que los polímeros forman capas gruesas que proporcionan estabilidad estérica, una fuerza de repulsión que evita la coalescencia de las gotas de aceite, que aumenta con polímeros de mayor peso molecular. De esta manera podemos explicar los mayores resultados de estabilidad para goma de Sapote hasta una concentración de 7.5 por ciento.

En la Tabla 15 se muestran los índices de crema de las gomas Arábica y de Sapote a distintas concentraciones, a modo de método de evaluación de la estabilidad de las emulsiones formadas por estos hidrocoloides. Para emulsiones no perturbadas, el índice de crema se determina midiendo la altura de la capa cremosa en relación con la altura de la emulsión (Yerramilli y Ghosh, 2017). La estabilidad de la crema refleja la separación de fases en condiciones normales a 25 ° C mediante la medición de la altura de la capa acuosa separada luego de 7 días. Se sabe que este valor está relacionado con la agregación de partículas en una emulsión (Vasile *et al.*, 2016).

Se puede observar que a medida que incrementa la concentración de las gomas, disminuye el índice de crema luego de 7 días, y, por ende, aumenta su estabilidad. Mahfoudhi *et al.* (2012) concluyó que para emulsiones formadas por goma exudada de árbol de almendra *Prunus dulcis* a 55°C, la concentración óptima fue de 8 por ciento, la cual fue la máxima analizada y llegó a un índice de crema del 5 por ciento luego de 14 días, ya que se establece un equilibrio entre la eficiencia del proceso de emulsificación, la tasa de formación de una película emulsionante en la interfaz aceite-agua y la tasa de coalescencia y separación.

**Tabla 15: Índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote y Arábica a distintas concentraciones luego de 7 días**

Concentración (%)	Goma Sapote	Goma Arábica
1	30 ± 0.00 <sup>f</sup>	32.38 ± 0.83 <sup>g</sup>
2.5	21.43 ± 0.00 <sup>d</sup>	29.05 ± 0.83 <sup>f</sup>
5	17.62 ± 0.83 <sup>c</sup>	26.19 ± 0.83 <sup>e</sup>
7.5	7.62 ± 0.83 <sup>b</sup>	16.67 ± 0.83 <sup>c</sup>
10	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	9.52 ± 0.83 <sup>b</sup>

Distintas letras en las columnas y filas indican diferencias significativas (p<0.05)

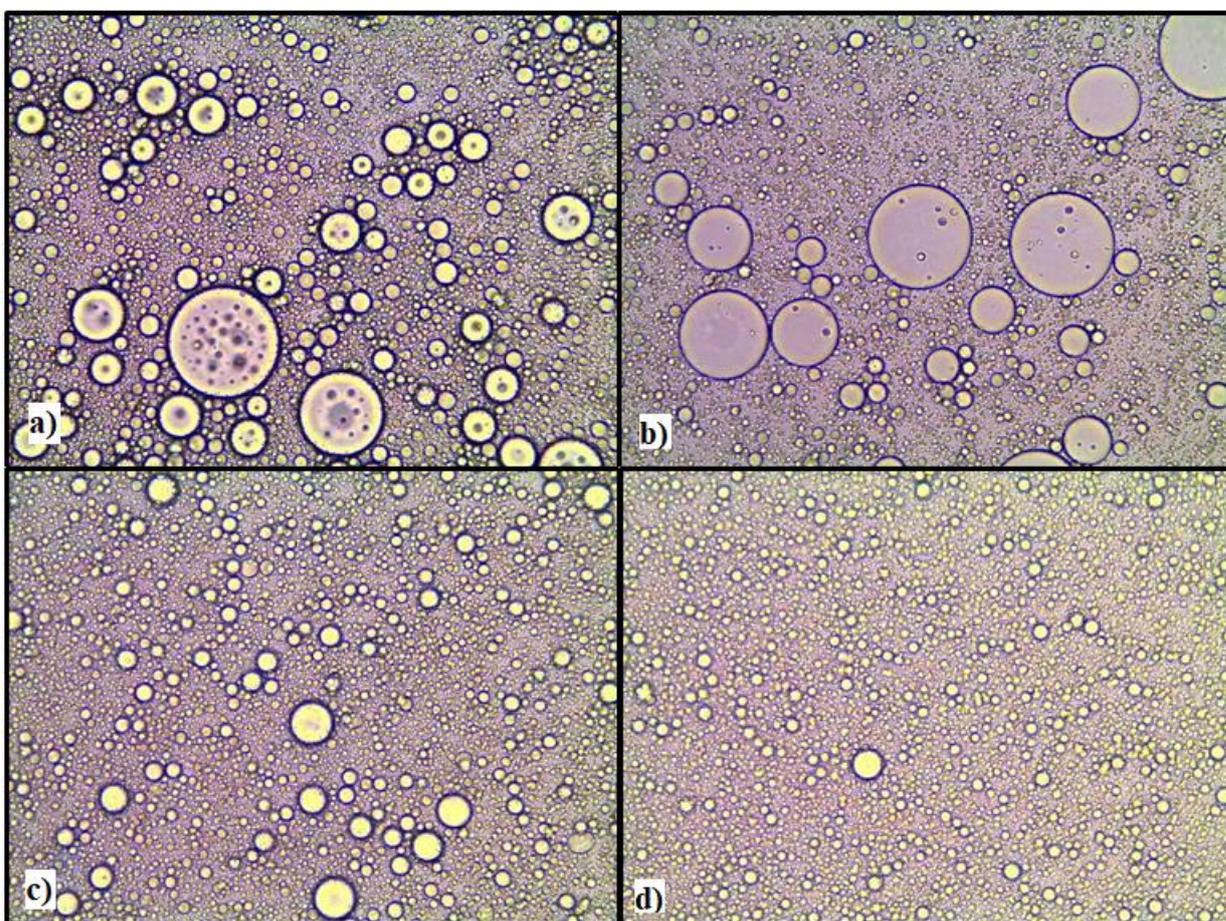
Sin embargo, Mahfoudhi *et al.* (2012) establece que, si la concentración de goma es excesivamente alta, la viscosidad de la fase continua aumentaría significativamente, y, en consecuencia, el diámetro medio de las gotas de aceite se haría más grande ya que aumentaría la cantidad de energía necesaria para la deformación durante la homogeneización, la cual vería disminuida su eficiencia. De igual manera, si la concentración de goma es baja la ratio de formación de películas alrededor de las partículas de emulsión es baja, sin poder evitar la coalescencia. Ni la goma de Sapote ni la Arábica llegan a este punto hasta concentraciones del 10 por ciento donde se haya el mejor resultado de índice de crema para ambas.

Podemos observar además que la goma de Sapote tiene una mayor estabilidad a la cremación a las mismas concentraciones que la goma Arábica. Respecto a esto, Vasile *et al.* (2016) menciona que la viscosidad de la fase acuosa contribuye a la estabilidad ya que reduce el movimiento de las burbujas de aceite y por tanto su floculación. Esto se demuestra con los resultados de viscosidad intrínseca y reología, donde se observó una viscosidad superior en la goma de Sapote. En resumen, la viscosidad afecta la agregación de moléculas de aceite hasta cierto límite, el cual no se encontró hasta 10 por ciento de concentración de goma, a partir del cual la viscosidad afectaría la eficiencia de la homogeneización y disminuiría la estabilidad de las emulsiones. Como referencia Vasile *et al.* (2016) reportó un índice de crema de 12 por ciento luego de 50 horas para goma Arábica al 2 por ciento a 25°C. Acedo-Carrillo *et al.* (2006) reportó alturas de la capa de suero de 22, 23 y 3 por ciento para D-limoneno, n-decano y aceite de naranja para una concentración de 15 por ciento de goma mezquite, por lo cual el tipo de aceite utilizado afecta también estos resultados.

A manera de resumen para ambos indicadores de estabilidad emulsionante, Ebrahimi *et al.* (2020) mencionan que el efecto de los polisacáridos en la estabilidad emulsionante depende de su habilidad de modificar la reología de la fase continua y su habilidad de adsorción en la interfase y su recubrimiento de los glóbulos de grasa; además, mencionan que la presencia de carbohidratos hidrofílicos y proteína hidrofóbicas en la estructura de los hidrocoloides (complejos proteína-polisacáridos) confieren un aspecto anfifílico permitiendo la adsorción en la interfase, la reducción de la tensión interfacial y por ende, incrementando la eficiencia de la homogeneización y la creación de glóbulos más pequeños, evitando la formación de crema y ayudando a la estabilidad.

### 4.8.3. OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS DE LAS EMULSIONES

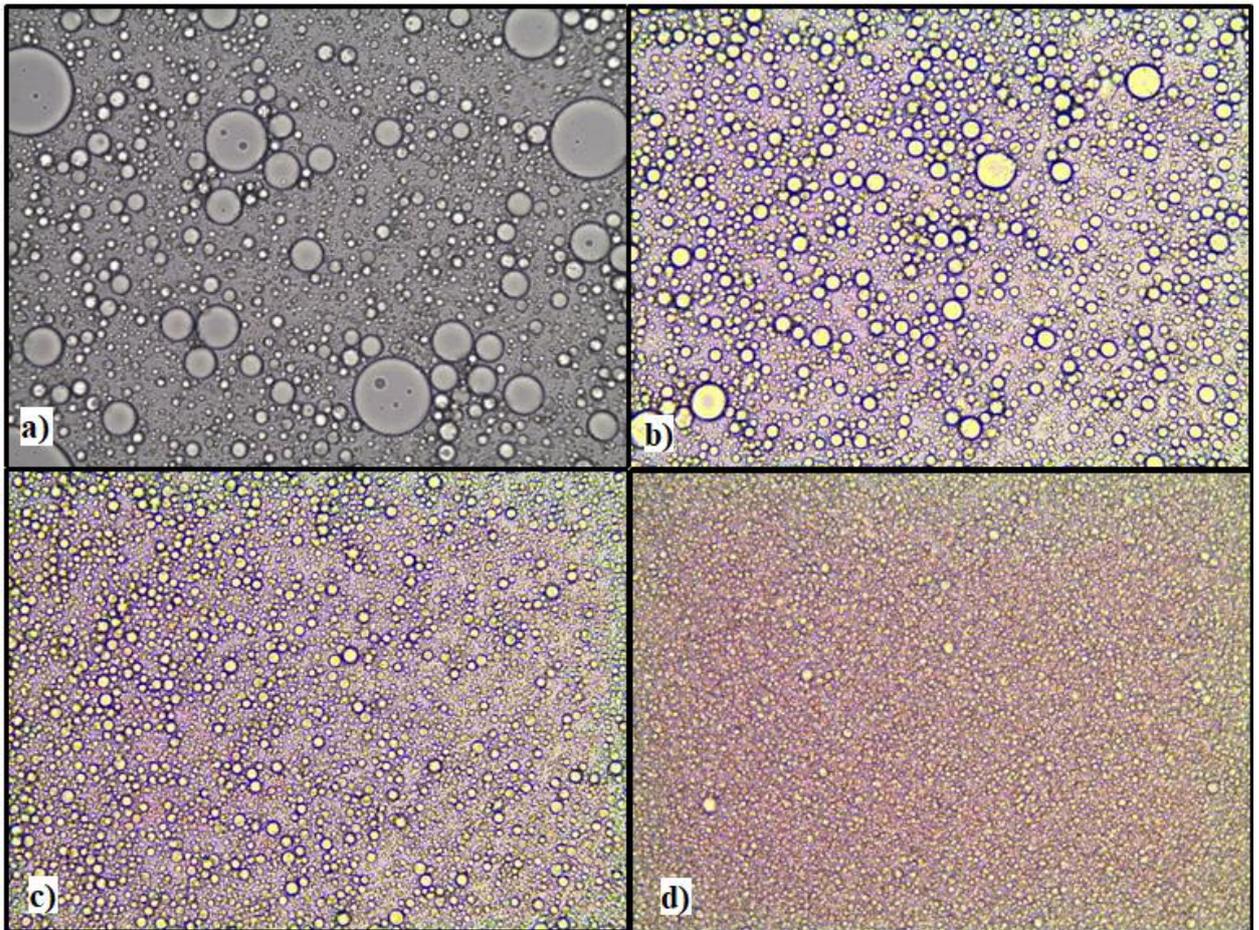
En la Figura 11 se pueden observar las observaciones microscópicas de las emulsiones formadas por goma Arábica a concentraciones del 1, 2.5, 5 y 10 por ciento, respectivamente. De igual manera se observa la microestructura de las emulsiones de goma de Sapote al 1, 2.5, 5 y 10 por ciento en la Figura 12. Una reducción del tamaño de las gotas puede notarse a medida va incrementando la concentración de ambas gomas. Al mismo tiempo, puede observarse que los tamaños de partícula en las emulsiones de goma de Sapote son menores a las de la goma Arábica a las mismas concentraciones, incluso a 10 por ciento.



**Figura 11: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma Arábica en concentraciones de a) 1% b) 2.5% c) 5% y d) 10%**

Según Goodarzi y Zendehboudi (2018), el tamaño de las gotas dispersas en las emulsiones es una característica vital, ya que puede modificar los comportamientos reológicos y la estabilidad de las emulsiones. El tamaño debe ser suficientemente pequeño como para que

las fuerzas de colisión térmica que actúan sobre las moléculas de fase continua produzcan el movimiento browniano, lo que impide la cremación. Adicionalmente, se pueden observar claramente ligeros signos de floculación, y formación de gotas de mayor tamaño a bajas concentraciones de goma lo que a largo plazo contribuiría a su desestabilización.



**Figura 12: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote en concentraciones de a) 1% b) 2.5% c) 5% y d) 10%**

#### **4.8.4. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTAS TEMPERATURAS**

En la Tabla 16 se observa la influencia de la temperatura en las propiedades emulsionantes de soluciones de goma de Sapote al 1 por ciento. En cuanto al índice de actividad emulsionante se puede notar un incremento significativo a medida que aumenta la temperatura hasta 70 °C, a la cual fue sometida antes de la formación de la emulsión. Esto podría explicarse por la baja viscosidad de la fase acuosa a temperaturas más altas como

reporta Gómez *et al.* (2008) para goma Arábica analizada hasta 50°C, esto incrementaría la eficiencia de la homogeneización.

Este comportamiento también se puede relacionar a la solubilidad proteica a altas temperaturas que, como ya vimos en goma de Sapote, disminuye a 90 °C. Kaushik *et al.* (2017) menciona que una mayor actividad emulsionante se relaciona con la interacción entre proteínas cargadas y grupos polisacáridos, por lo que a mayor proteína solubilizada mayor el efecto de estas interacciones. También contribuye la mayor cantidad de grupos hidrófobos, a mayor cantidad proteica, que adsorberán la fase aceitosa de la emulsión.

**Tabla 16: Índice de actividad emulsionante (IAE), estabilidad emulsionante (IE) e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	IAE (m <sup>2</sup> /g)	IE	Índice de Crema (%)
30	18.83 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.02 <sup>a</sup>	30.95 ± 1.65 <sup>b</sup>
50	20.72 ± 0.40 <sup>b</sup>	0.64 ± 0.03 <sup>b</sup>	24.05 ± 0.41 <sup>a</sup>
70	24.58 ± 0.32 <sup>c</sup>	0.79 ± 0.02 <sup>c</sup>	23.33 ± 0.83 <sup>a</sup>
90	24.63 ± 0.14 <sup>c</sup>	0.79 ± 0.01 <sup>c</sup>	21.90 ± 0.83 <sup>a</sup>

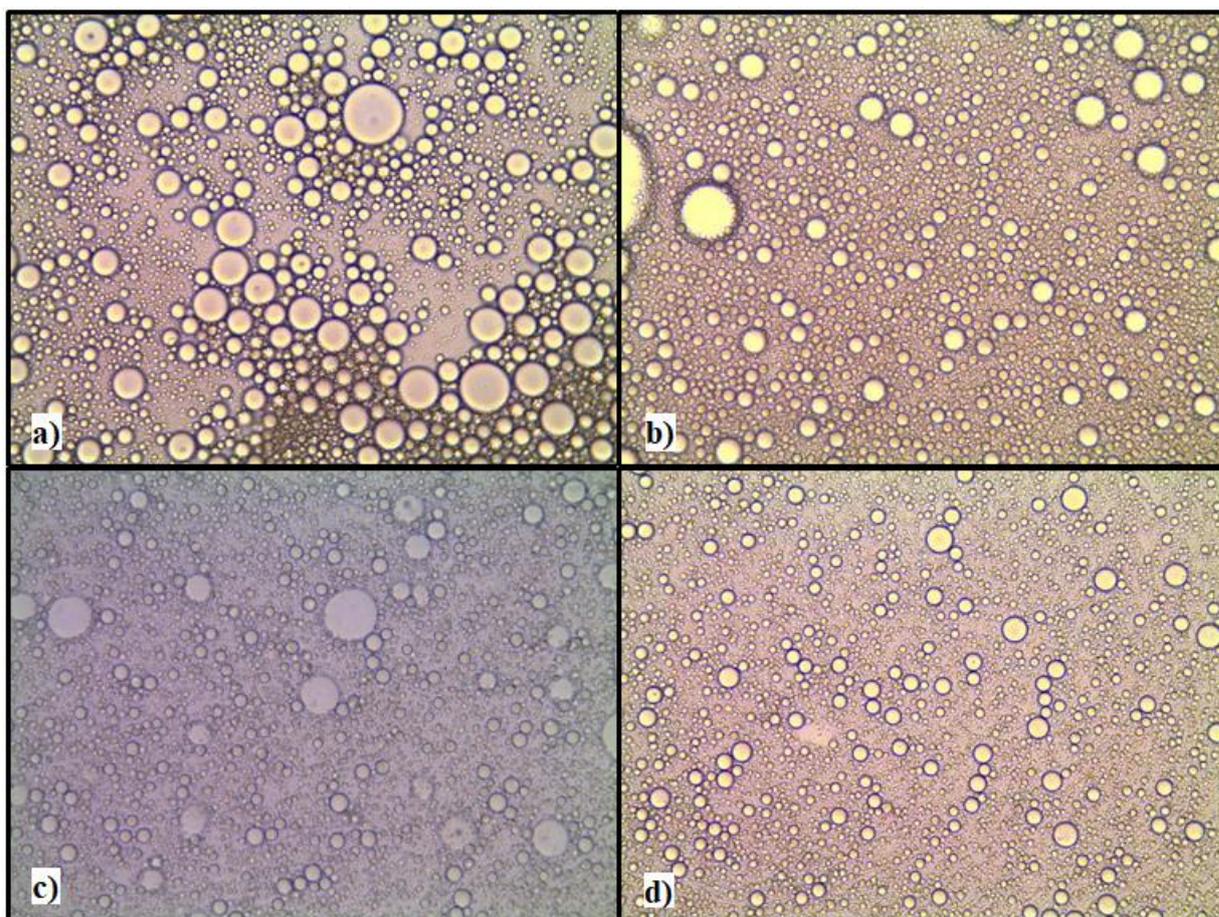
Distintas letras en las columnas indican diferencias significativas (p<0.05)

Kaushik *et al.* (2017) también reportan, para una temperatura de extracción de goma de linaza de 90 °C, una disminución considerable en su actividad emulsionante debido a una disminución de la solubilidad de la proteína por encima de su temperatura de desnaturalización, la cual es de 83°C. En el presente caso, a 90 °C no hay una reducción significativa por lo que se podría decir que no se llegó a la temperatura de desnaturalización.

Además, Buffo *et al.* (2001) menciona que factores del proceso como la pasteurización en bebidas emulsificadas con goma Arábica promueven su estabilidad, ya que mejoran la estabilidad la movilidad molecular, promoviendo eficaz despliegue de la proteína en la interfaz aceite-agua.

La Figura 13 expone las observaciones microscópicas de emulsiones de goma de Sapote al 1 por ciento de concentración sometidos a temperaturas de 30, 50, 70 y 90 °C previo a la formación de la emulsión. Se observa una notable disminución del tamaño de las gotas de

aceite a medida que aumenta la temperatura. Sin embargo, no hay una diferencia notable entre las emulsiones sometidas a temperaturas de 70 y 90°C, concordando con los resultados encontrados en actividad y estabilidad emulsionante. Por otra parte, se pueden observar glóbulos de considerable tamaño y congregación de estos a 30°C, lo que concuerda con que en este tratamiento el índice de cremación sea mayor.



**Figura 13: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento de concentración sometidas a temperaturas de a) 30 °C b) 50°C c) 70°C y d) 90°C**

#### **4.8.5. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTOS VALORES DE PH**

En la Tabla 17 se observa la influencia de distintos niveles de pH en las propiedades emulsionantes de soluciones de goma de Sapote al 1 por ciento. Podemos observar que la tendencia de la IAE es la de aumentar a medida que aumenta el valor del pH hasta 7 para luego permanecer constante. Por otro lado, en cuanto a la estabilidad emulsionante, esta

aumentó hasta un valor de pH de 7 para luego sufrir una disminución no significativa a pH 9. El índice de crema disminuye a pH 7, luego del cual no existe una reducción significativa.

Bai *et al.* (2017), mencionan que, a diferencia de las emulsiones formadas por proteínas, las emulsiones formadas por goma Arábica son menos sensibles a cambios significativos a distintos pH debido a la formación de una capa gruesa y de estabilidad estérica alrededor de las gotas de aceite. Sin embargo, Ma *et al.* (2015), reporta un incremento significativo del diámetro medio de los glóbulos de emulsión de goma Arábica (261.39  $\mu\text{m}$ ), lo que equivale a una disminución de las propiedades emulsionantes, a pH 2.8. Esto corresponde con que los menores valores encontrados para IAE, estabilidad e índice de crema sean a un nivel de pH de 3. De igual manera, Abdolkhalegh *et al.* (2018) reportan el mayor valor de diámetro medio de partículas de emulsión a un nivel de pH de 2 para goma Persian y goma Arábica.

**Tabla 17: Índice de actividad emulsionante (IAE), estabilidad emulsionante (IE) e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento a distintos valores de pH**

pH	IAE ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	IE	Índice de Crema (%)
3	18.39 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	0.544 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	34.28 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>
5	22.65 $\pm$ 0.79 <sup>b</sup>	0.748 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	30.95 $\pm$ 0.83 <sup>b</sup>
7	24.78 $\pm$ 0.79 <sup>c</sup>	0.803 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	23.81 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup>
9	24.75 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	0.792 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	23.33 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup>

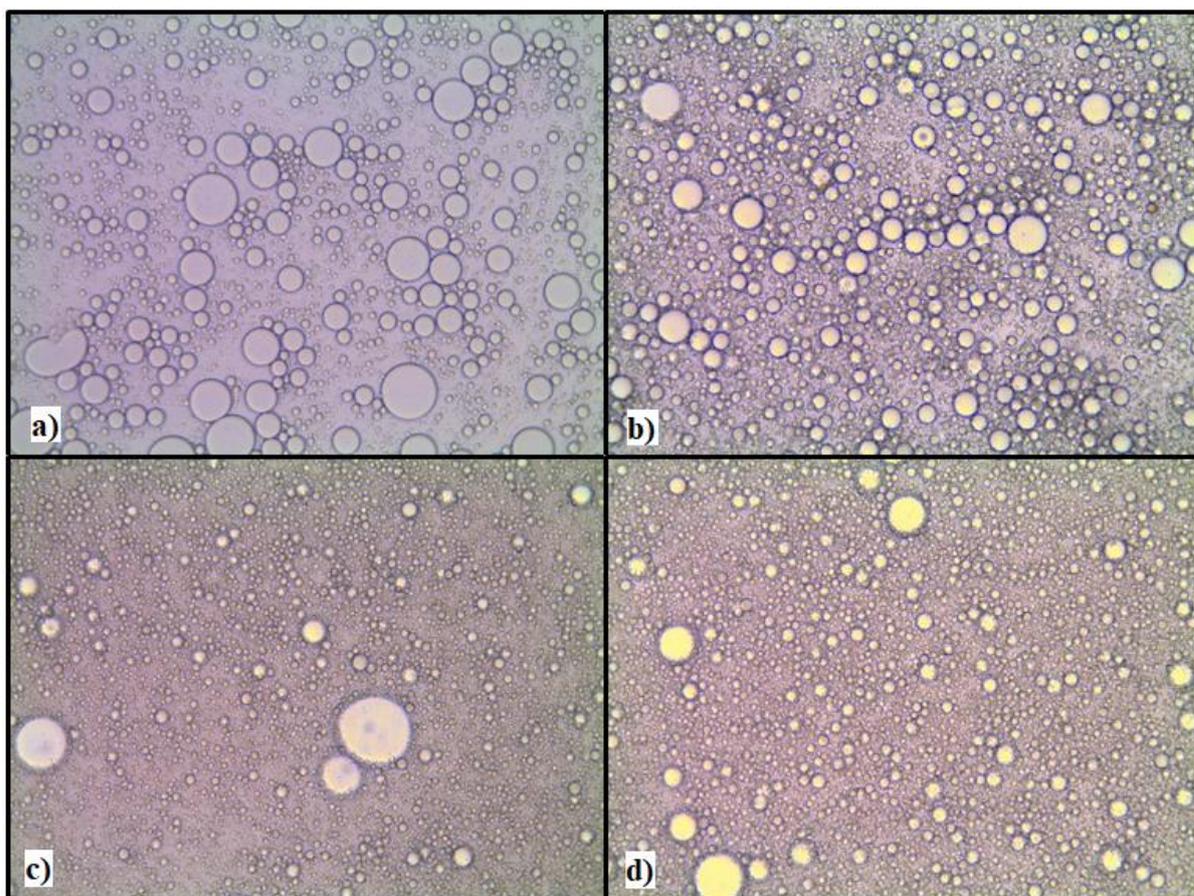
Distintas letras en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Además, Ma *et al.* (2015), reportan el menor diámetro medio de partícula (18.19  $\mu\text{m}$ ) al pH nativo de la goma Arábica (4.5) y un menor aumento al anterior reportado, aunque significativo, a pH 8 (44.06  $\mu\text{m}$ ). Los resultados de goma de Sapote si mostraron un aumento de la actividad y estabilidad emulsionante a pH 5, sin embargo, la estabilidad sigue aumentando a pH 7 para luego mantenerse constante. Esto último puede corresponder a un mayor contenido proteico de la goma de Sapote, por lo que se rige por como el pH afecta a las proteínas de su composición, específicamente en su solubilidad y su carga neta a valores de pH alejados del punto isoeléctrico según lo mencionado por Östbring *et al.* (2021).

Adicionalmente, Hernández *et al.* (2015) reporta que no hay cambios significativos en la viscosidad de la goma Arábica *Acacia Senegal* a distintos valores de pH del rango 2.5 a 7.5.

La viscosidad, entonces, podría no ser un factor determinante, en este experimento, en la estabilidad de las emulsiones de goma de Sapote.

La Figura 14 presenta la microestructura de las emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento de concentración y a niveles de pH de 3, 5, 7 y 9. Se observa una clara disminución en el tamaño de los glóbulos a medida que incrementa el pH hasta pH 7, donde se mostraron las mejores propiedades emulsionantes. Adicionalmente, un pequeño incremento del tamaño puede visualizarse a pH 9. Las imágenes corroboran, entonces, lo encontrado en los índices de actividad y estabilidad emulsionante. Signos de floculación claros pueden observarse a pH 3, el cual tuvo el peor índice de estabilidad entre los tratamientos.



**Figura 14: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento de concentración a valores de pH de a) 3 b) 5 c) 7 y d) 9**

#### 4.8.6. PROPIEDADES EMULSIONANTES A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE CLORURO DE SODIO

Se puede observar en la Tabla 18, que la IAE se mantiene constante ante el incremento de concentración de cloruro de sodio. De igual manera, la estabilidad emulsionante va aumentando con la concentración de sal, pero no existen diferencias significativas en este crecimiento. El índice de crema, sin embargo, si mostró una disminución significativa al aumentar la fuerza iónica. Abdolkhalegh *et al.* (2018) reporta que el tamaño medio de partícula de la emulsión formada por goma Arábica no fue afectado significativamente por la concentración de NaCl, mostrando un ligero aumento a 300 mM. Esto corresponde con los valores encontrados, sin embargo, el mayor valor encontrado fue a 500 mM.

**Tabla 18: Índice de actividad emulsionante (IAE), estabilidad emulsionante (IE) e índice de crema para emulsiones formadas por goma de Sapote al 1 por ciento (pH = 7) a distintas concentraciones de cloruro de calcio**

[NaCl] (mM)	IAE (m <sup>2</sup> /g)	IE	Índice de Crema (%)
0	24.78 ± 0.79 <sup>a</sup>	0.803 ± 0.01 <sup>a</sup>	23.810 ± 0.83 <sup>d</sup>
100	24.30 ± 0.95 <sup>a</sup>	0.805 ± 0.04 <sup>a</sup>	19.524 ± 0.83 <sup>c</sup>
300	24.63 ± 0.79 <sup>a</sup>	0.829 ± 0.02 <sup>a</sup>	16.191 ± 0.83 <sup>b</sup>
500	24.75 ± 0.57 <sup>a</sup>	0.844 ± 0.02 <sup>a</sup>	12.381 ± 0.83 <sup>a</sup>

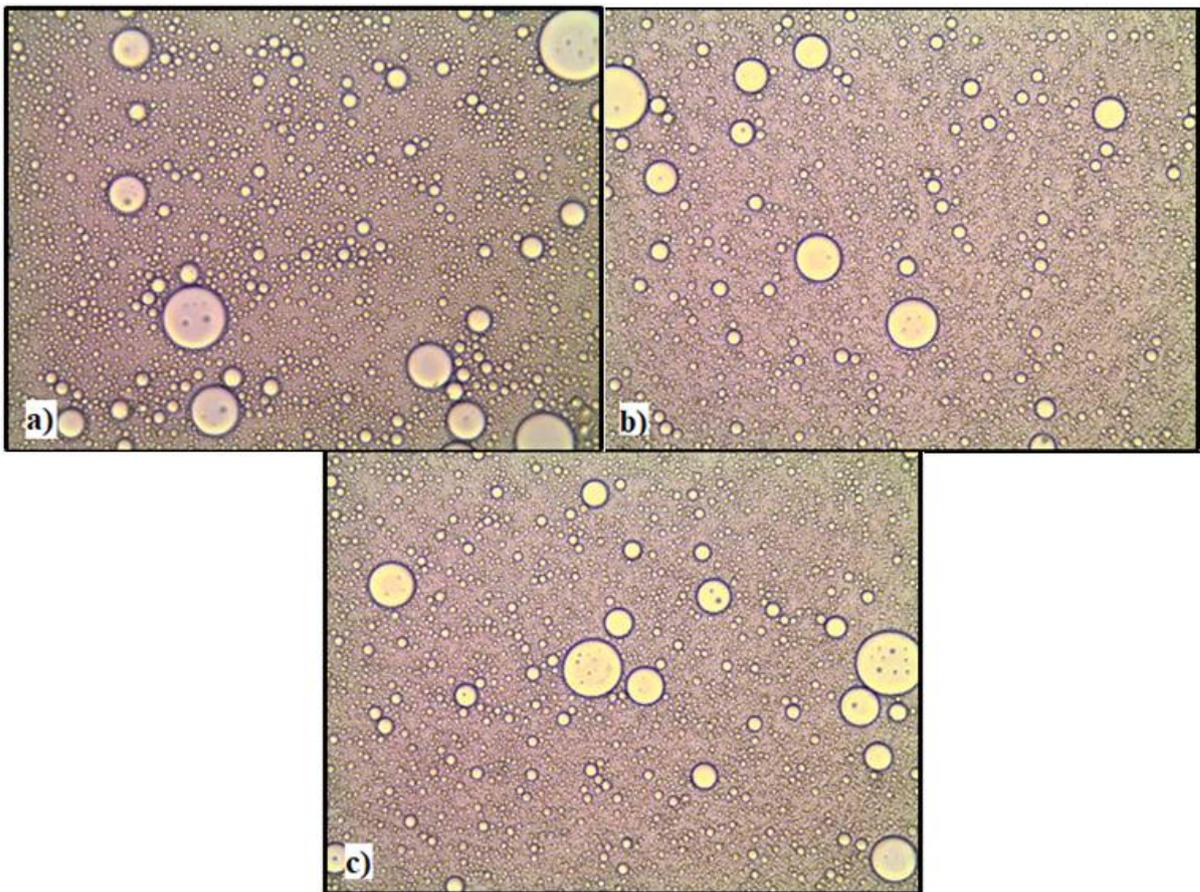
Distintas letras en las columnas indican diferencias significativas (p<0.05)

El aumento de la estabilidad emulsionante con la adición de sales se puede explicar con el incremento de la solubilidad proteica en la presencia de sales como mencionan Davaatseren y Hong (2014), al encontrarse la máxima solubilidad para proteínas miofibrilares de porcino a 600 mM de NaCl. Así mismo, Abdolmaleki *et al.* (2016), indica que las concentraciones de sal no juegan un papel significativo en la estabilidad de la emulsión y que el efecto del pH es mayor que el contenido de sal para emulsiones formadas con goma tragacanto.

La variación del índice de crema resalta, entre los demás indicadores de estabilidad al ser significativo. Sriprablom *et al.* (2018) explica que para emulsiones formadas por proteína de suero de leche y goma Xantan, la fuerza iónica incrementa la estabilidad a la cremación a pH superior al punto isoeléctrico. En el caso de la proteína de suero de leche y goma Xantan, el punto isoeléctrico se encontró a pH 4.7, y los mayores valores de índice de crema se encontraron a pH 7, pH en el que se encuentran todas las muestras evaluadas en este

experimento. La aparente estabilidad de la goma de Sapote a la salinidad sugirió que es un buen candidato para su uso en algunas industrias que involucran sal. Esta característica sería de gran interés en la producción de alimentos que producen una gran cantidad de alimentos salados (Abdolkhalegh *et al.*, 2018).

En la Figura 15 se observa la microestructura de las emulsiones de goma de Sapote al 1 por ciento de concentración, pH 7 y a distintas concentraciones de sal (100, 300 y 500 mM, respectivamente). Si bien los tamaños de partículas no son uniformes, no existen diferencias resaltantes a la vista entre los tratamientos a distintas concentraciones de sal, observándose glóbulos grandes de aceite, posible producto de la coalescencia de partículas y ligeros signos de floculación.



**Figura 15: Observación microscópica a 40x para emulsiones formadas con goma de Sapote al 1 por ciento (pH =7) con concentraciones de NaCl de a) 100 mM b) 300 mM y c) 500mM**

## V. CONCLUSIONES

1. La caracterización de la goma de Sapote determinó que es altamente soluble en agua con 94.57 por ciento en agua destilada a 60°C, similar a lo encontrado en la goma Arábica. La espectroscopia FTIR determinó que presenta los mismos grupos funcionales que la goma Arábica, Xantan y Guar, encontrándose algunas diferencias a frecuencias menores.
2. La goma de Sapote en solución demostró tener un comportamiento no newtoniano, pseudoplástico a concentraciones de 5, 10, 15 y 20 por ciento, y mostró mayor consistencia que la goma Arábica a las mismas concentraciones, lo que equivale a mejores propiedades espesantes, además, mostró una mayor viscosidad intrínseca que la goma Arábica.
3. En cuanto a sus propiedades tecno-funcionales, la goma de Sapote no mostró capacidad de gelificación; sin embargo, mostró tener mayor capacidad y estabilidad espumante que la goma Arábica, con mejores propiedades a 3 por ciento de concentración, 70°C, pH 9, la que aumentó con la adición de cloruro de sodio;
4. La actividad y estabilidad emulsionante en emulsiones formadas por goma de Sapote fueron superiores a las formadas por goma Arábica, sobre todo a menores concentraciones. Las emulsiones formadas por goma de Sapote demostraron ser relativamente estables a la adición de sal, y los mejores resultados se obtuvieron a pH 7 y a 70°C.
5. Por lo expuesto, la goma de Sapote se presenta como una alternativa muy atractiva para su uso como espesante, y principalmente como agente espumante, emulsificante y estabilizante, pudiendo llegar a reemplazar a la goma Arábica en la industria alimentaria peruana principalmente, y con potencial internacional.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Estudiar la goma de Sapote a nivel estructural, y como afecta su estructura en las propiedades tecno-funcionales que posee.
- Estudiar a más profundidad la composición de la goma de Sapote mediante la identificación de azúcares y minerales específicos que se presentan en la goma y como afectan a sus propiedades tecno-funcionales.
- Realizar estudios de potencial z y distribución del diámetro medio de las partículas para las emulsiones formadas por goma de Sapote, para conocer a profundidad como afectan los distintos factores que hacen variar su estabilidad.
- Utilizar la goma de Sapote en matrices alimenticias para evaluar su impacto tecno-funcional, así como evaluar si existen cambios sensoriales en su aplicación.
- Estudiar las propiedades biológicas de la goma de sapote, como su potencial antioxidante, su influencia en la absorción intestinal, su efecto en el metabolismo de lípidos, entre otros.
- Realizar un estudio financiero para evaluar la viabilidad de la comercialización de goma de Sapote en el Perú y en el extranjero.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbès, F; Masmoudi, M; Kchaou, W; Danthine, S; Blecker, C; Attia, H; Besbes, S. (2015). Effect of enzymatic treatment on rheological properties, glass temperature transition and microstructure of date syrup. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.027>
- Abdolmaleki, K; Mohammadifar, M; Mohammadi, R; Fadavi, G; Mollakhalili, N. (2016). The effect of pH and salt on the stability and physicochemical properties of oil-in-water emulsions prepared with gum tragacanth. *Carbohydrate polymers* 140 (2016), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.081>
- Abdolkhalegh, G; Masoud, S; Aghili, F. (2018). The emulsifying properties of Persian gum (*Amygdalus scoparia spach*) as compared with gum Arabic. *International Journal of Food Properties* 21(1), 416-436. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1454464>
- Acedo-Carrillo, J; Rosas, A; Herrera, R; Rinaudo, M; Goycoolea, F; Valdez, Miguel. (2006). Zeta potential and drop growth of oil in water emulsions stabilized with mesquite gum. *Carbohydrate Polymers* 65(3), 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.016>
- Amarioarei, G; Lungu, M; Ciovisa, S. (2012). Molar mass characteristics of cherry tree exudate gums of different seasons. *Cellulose Chemistry and Technology* 46(9-10), 583-588. Recuperado de: [https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT46,9-10\(2012\)/p.583-588.pdf](https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT46,9-10(2012)/p.583-588.pdf)
- AOAC. (1995). Official methods of analysis of AOAC international. 16° edición. Métodos 950.46, 928.08, 991.36, 920.153. Washington (D.C.), EE. UU.
- Aryee, A; Agyei, D; Udenigwe, C. (2018). Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. *Proteins in Food Processing* 2, 27–45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00003-6>
- Atgie, M. (2018). Composition and structure of gum Arabic in solution and at oil-water

interfaces. Tesis para optar por PhD de ingeniería de procesos ambientales. Université de Toulouse. Toulouse, Francia. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.033>

- Bai, L; Huan, S; Li, Z; Mc Clements, D. (2017). Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: gum arabic, beet pectin, and corn fiber gum. *Food Hydrocolloids* 66 (2017), 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.019>
- Bashir, M; Usmani, T; Haripriya, S; Ahmed, T. (2018). Biological and textural properties of underutilized exudate gums of Jammu and Kashmir, India. *International Journal of Biological Macromolecules* 109, 847–854. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.052>
- Barak, S; Mudgil, D; Taneja, S. (2020). Exudate Gums: Chemistry, Properties & Food Applications- A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100, 2828-2835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10302>
- Bertuzzi, M; Slavutsky, A; Armada, M. (2012). Physicochemical characterisation of the hydrocolloid from Brea tree (*Cercidiu praecox*). *International Journal of Food Science & Technology*, 47(4), 768–775. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02907.x>
- Bertuzzi, M; Slavutsky, A. (2019). Brea Tree (*Cercidium praecox*) Exudate Gum: Rheology and Functions. *Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and Functions*, 347-369. <https://doi.org/10.1002/9781119418511.ch14>
- Bhushette, P; Annapure, U. (2017). Comparative study of Acacia nilotica exudate gum and acacia gum. *International Journal of Biological Macromolecules* 102(2017), 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.178>
- Bilal, S; Mohammed-Dabo, I; Dewu, B; Momoh, O; Abubakar, S. (2015). Refining and characterisation of gum arabic using vacuum filtration method for application in oil and gas drilling fluid formulation. *Journal of Experimental Research* 3(2), 73-80. <https://doi.org/10.7187/gjat922015.05.02>
- Buffo, R; Reineccius, G; Oehlert, G. (2001). Factors affecting the emulsifying and rheological properties of gum acacia in beverage emulsions. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 53–66. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00050-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00050-3)

- Castro, B; Cristianini, M. (2014). Evaluation of cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.) emulsifying properties. *LWT - Food science and technology* 59(2), 1325-1331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.033>
- Castro, B; Duarte, P; Cristianini, M. (2015). A comparative study between technological properties of cashew tree gum and arabic gum. *Journal of polymers and the environment* 23(2015), 392-399. <https://doi.org/10.1007/s10924-014-0698-z>
- Chandra, S; Singh, S; Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology* 52(6), 3681–3688. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>
- Chang, Q. (2016). Emulsion, Foam, and Gel. *Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control*, 227–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809315-3.00006-2>
- Chaudhari, B; Annapure, U. (2021). Rheological, Physicochemical, and Spectroscopic characterizations of *Limonia acidissima* L. gum exudate with an application in extrusion processing. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 2 (2021), 100020. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100020>
- Coates, J. (2006). *Interpretation of Infrared Spectra: A Practical Approach*. John Wiley & Sons Ltd. Connecticut, EEUU. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5606>
- Daoub, R; Elmubarak, A; Misran, M; Hassan, E; Osman, M. (2018). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.002>
- Da Silva, D; Melo, G; Da Silva, R. (2020). Gum-Characteristics and Applications in the Food Industry. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95078>.
- Davaatseren, M; Hong, G. (2014). Effect of NaCl, gum arabic and microbial transglutaminase on the gel and emulsion characteristics of porcine myofibrillar Proteins. *Korean journal for food science of animal resources* 34(6), 808–814. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.6.808>
- Dawa, Q; Hua, Y; Madalisto, M; Masamba, K; Zhang, C. (2014). Effect of xanthan and arabic gums on foaming properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate. *Journal of food research* 3(1), 87-95. <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n1p87>
- Delahaije, R; Lech, F; Wierenga, P. (2019). Investigating the effect of temperature on the

- formation and stabilization of ovalbumin foam. *Food Hydrocolloids* 91 (2019), 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
- Dickinson, E; Walstra, P. (1993). *Food Colloids and Polymers: Stability and Mechanical Properties*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, Reino Unido. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
- Dickinson, E. (1994). Emulsion Stability. *Food Hydrocolloids*, 387–398. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2486-1\\_61](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2486-1_61)
- Ebrahimi, B; Homayouni, A; Ghanbarzadeh, B; Torbati, M; Falcone, P. (2020). The emulsifying and foaming properties of Amuniacum gum (*Dorema ammoniacum*) in comparison with gum Arabic. *Food Science & Nutrition* 8(7), 3716-3730. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1658>
- Enyinnaya, C; Chukwuma, C; Oneh, J. (2013). Chemical composition, functional and pasting properties of cassava starch and soy protein concentrate blends. *Journal of food science and technology* 50(6), 1179–1185. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0451-8>
- Ercelebi, A; Ibanoglu, E. (2009a). Characterization of phase separation behavior, emulsion stability, rheology, and microstructure of egg white–polysaccharide mixtures. *Journal of food science* 74(6), 506-512. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01252.x>
- Ercelebi, A; Ibanoglu, E. (2009b). Effects of ionic strength on the foaming properties of whey protein isolate and egg white in the presence of polysaccharides. *Journal of Food Processing and Preservation* 33(4), 513 – 526. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00302.x>
- Estévez, A; Escobar, B; Sepúlveda, M. (2012). Physical and rheological characterization of seeds of three legume trees. *Idesia (Chile)* 30(1), 83-91. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000100010>
- Farooq, Z; Boye, J. (2011). Novel food and industrial applications of pulse flours and fractions. *Pulse Foods*, 283–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382018-1.00011-3>
- Galla, N; Dubasi, G. (2010). Chemical and functional characterization of Gum karaya

- (*Sterculia urens* L.) seed meal. *Food Hydrocolloids* 24(5), 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.12.003>
- Garti, N; Leser, M. (2001). Emulsification properties of hydrocolloids. *Polymers for Advanced Technologies* 12(1-2), 123–135. [https://doi.org/10.1002/1099-1581\(200101/02\)12:1/2<123::AID-PAT105>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1099-1581(200101/02)12:1/2<123::AID-PAT105>3.0.CO;2-0)
- Gómez, D; Navaza, J; Quintáns, L. (2008). Intrinsic viscosity and flow behaviour of arabic gum aqueous solutions. *International Journal of Food Properties*, 11(4), 773-780. <https://doi.org/10.1080/10942910701596918>
- Goodarzi, F; Zendehboudi, S. (2018). A Comprehensive Review on Emulsions and Emulsion Stability in Chemical and Energy Industries. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 97(1), 281-309. <https://doi.org/10.1002/cjce.23336>
- Hay, W; Vaughn, S; Byars, J; Selling, G; Holthaus, D; Price, N. (2017). Physical, rheological, functional, and film properties of a novel emulsifier: Frost grape polysaccharide from *Vitis riparia Michx.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(39), 8754–8762.
- Hernández, R; Sotelo, E; Juárez, O. (2015). Viabilidad de la extracción de gomas de *Acacia cochliacantha* y *Acacia farnesiana* en el estado de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2 (Octubre 2015), 155-162. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263141553019>
- Herz, K. (2007). Análisis fisicoquímico de la goma exudada de la especie Sapote (*Capparis scabrida* H.B.K.), proveniente de los bosques secos de Lambayeque. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima, Perú.
- Herz, K; Gonzáles, H. (2015). Compendio de trabajos de investigación realizados en el subproyecto 1: goma de Sapote-caracterización de la goma de Sapote (*Capparis scabrida*) para usos comerciales. Programa cooperación VLIR/UOS-UNALM. Lima, Perú.
- Hosseini, E; Mozafari, H, Hojjatoleslami, M; Rousta, E. (2017). Influence of temperature, pH and salts on rheological properties of bitter almond gum. *Food Science and Technology* 37(3), 437-443. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.18116>
- Hosakun, Yanin. (2017). ATR-FTIR study of the interaction of CO<sub>2</sub> with bacterial cellulose-

based membranas. Tesis para optar al grado de Phd en ciencia y tecnología de maderas. Universidad de Sorbon. Sorbon, Hungría.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.05.029>

- Izydorczyk, M; Cui, S; Wang, Q. (2005). Polysaccharide gums: structures, functional properties, and applications. Taylor and Francis group. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/265671939\\_polysaccharide\\_gums\\_structures\\_functional\\_properties\\_and\\_applications#pf14](https://www.researchgate.net/publication/265671939_polysaccharide_gums_structures_functional_properties_and_applications#pf14).
- Jahanbin, K; Moini, S; Reza, A; Emam, Z; Masi, P. (2012). Isolation, purification and characterization of a new gum from *Acanthophyllum bracteatum* roots. Food hydrocolloids 27 (2012), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.09.007>
- Jamaludin, J; Adam, F; Abdul, R; Hassan, Z. (2017). Thermal studies on Arabic gum - carrageenan polysaccharides film. Chemical Engineering Research Bulletin 19, 80-86. <https://doi.org/10.3329/ceerb.v19i0.33800>
- Kang, J; Cui, S; Chen, J; Phillips, G; Wu, Y; Wang, Q. (2011). New studies on gum ghatti (*Anogeissus latifolia*) part I: Fractionation, chemical and physical characterization of the gum. Food Hydrocolloids, 25(8),1984–1990. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.011>
- Karaman, S; Kesler, Y; Goksel, M; Dogan, M; Kayacier, A. (2014). Rheological and some physicochemical properties of selected hydrocolloids and their interactions with Guar gum: Characterization using principal component analysis and viscous synergism index. International Journal of Food Properties 17 (8), 1655-1667. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.675612>
- Kaushik, P; Dowling, K; Adhikari, R; Barrow, C; Adhikari, B. (2017). Effect of extraction temperature on composition, structure, and functional properties of flaxseed gum. Food Chemistry 215, 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.137>
- Koocheki, A; Hesarinejad, M; Mozafari, M. (2022). *Lepidium perfoliatum* seed gum: investigation of monosaccharide composition, antioxidant activity and rheological behavior in presence of salts. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 9, 61. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00322-2>
- Li, J; Nie, S. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. Food hydrocolloids 53 (2016), 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>

- Linke, C; Drusch, S. (2016). Turbidity in oil-in-water-emulsions — Key factors and visual perception. *Food Research International* 89, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.019>
- Ma, F; Bell, A; Davis, F. (2015). Effects of high-hydrostatic pressure and pH treatments on the emulsification properties of gum arabic. *Food Chemistry* 184, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.075>
- Mahfoudhi, N; Chouaibi, M; Donsì, F; Ferrari, G; Hamdi, S. (2012). Chemical composition and functional properties of gum exudates from the trunk of the almond tree (*Prunus dulcis*). *Food Science and Technology International* 18(3), 241–250. <https://doi.org/10.1177/1082013211415173>
- Maphosa, Y; Jideani, V. (2018). Factors Affecting the Stability of Emulsions Stabilised by Biopolymers. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75308>
- Masuelli, M. (2013). Hydrodynamic Properties of Whole Arabic Gum. *American Journal of Food Science and Technology* 1(3), 60-66. <http://dx.doi.org/10.12691/ajfst-1-3-9>
- Masuelli, M; Slatvustky, A; Ochoa, A; Bertuzzi, M. (2018). Physicochemical Parameters for Brea Gum Exudate from *Cercidium praecox* Tree. *Colloids Interfaces* 2(4), 72-84. <https://doi.org/10.3390/colloids2040072>
- Milani, J; Maleki, G. (2012). Food industrial processes - methods and equipment: Hydrocolloids in food industry. Editado por Benjamín Valdez, Intech. <https://doi.org/10.5772/32358>
- Mohammadian, M; Alavi, F. 2016. The effects of iranian gum tragacanth on the foaming properties of egg white proteins in comparison with Guar and Xanthan gums. *Journal of food biosciences and technology* 6 (2), 59-68. Recuperado de: [https://jfbt.srbiau.ac.ir/article\\_8912\\_64432fd617743d89aa4b81a4ff6f0d79.pdf](https://jfbt.srbiau.ac.ir/article_8912_64432fd617743d89aa4b81a4ff6f0d79.pdf)
- Moradi, S; Khodaiyan, F. (2013). Foaming properties of plants gum. University of Tehran, Iran. SID: <https://sid.ir/paper/926397/en>
- Moscol, J. (2018). Caracterización física – química para determinación del rendimiento y calidad de la goma exudada de la especie forestal Sapote *Capparis scabrida* H.B.K. en el área de conservación regional Angostura Faical. Tesis para optar el título de Ingeniero forestal y del medio ambiente. Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes,

- Perú. Recuperado de:  
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/318/TESIS%20-%20MOSCOL%20ORTIZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mudgil, D; Barak, S; Singh, B. (2014). Guar gum: processing, properties, and food applications—a review. *Journal of food science and technology* 3(51), 409–418. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>
- Nandiyanto, A; Oktiani, R; Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science & Technology* 4(1), 97-118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ndiritu, A; Kinyuru, J; Gichuhi, P; & Kenji, G. (2019). Effects of NaCl and pH on the functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization* 13(2019), 1788-1796. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00097-5>
- Niu, F; Zhou, J; Niu, D; Wang, C; Liu, Y; Su, Y; Yang, Y. (2015). Synergistic effects of ovalbumin/gum arabic complexes on the stability of emulsions exposed to environmental stress. *Food hydrocolloids* 47(2015), 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.002>
- Östbring, K; Matos, M; Marefati, A; Ahlström, C; Gutiérrez, G. (2021). The Effect of pH and Storage Temperature on the Stability of Emulsions Stabilized by Rapeseed Proteins. *Foods* 10(7), 1657. <https://doi.org/10.3390/foods10071657>
- Pasquel, A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. *Revista amazónica de investigación alimentaria* 1(1), 1-8. Recuperado de: <https://enlinea.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/alimentarias/descargas/vol1/1.pdf>
- Pearce, K; Kinsella, J. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26(3), 716-723. <https://doi.org/10.1021/jf60217a041>
- Phillips, G; Williams, P. (2009). *Handbook of Hydrocolloids*. Woodhead Publishing. 2da Edición. Cambridge, Reino Unido. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>
- Rao, M. (2014). *Rheology of fluid, semisolid, and solid foods: principles and applications*.

3ra Edición. Springer. Nueva York, EEUU. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9230-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9230-6_1)

Razavi, S. (2019). *Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and Functions*. Jhon Wiley and Sons Ltd. Nueva Jersey, EEUU. <https://doi.org/10.1002/9781119418511.ch1>

Razi, S; Motamedzadegan, A; Shahidi, S; Rashidinejad, A. (2019). Physical and rheological properties of egg albumin foams are affected by ionic strength and basil seed gum supplementation. *International Journal of Chemical Engineering*. 2019(3),1-8. <https://doi.org/10.1155/2019/2502908>

Rezaei, A; Nasirpour, A; Tavanai, H. (2016). Fractionation and some physicochemical properties of almond gum (*Amygdalus communis* L.) exudates. *Food Hydrocolloids* 60, 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.027>

Rivera, B. (2017). Caracterización morfológica y molecular de la variabilidad genética del Sapote (*Capparis scabrida*) mediante AFLP de seis distritos de la región Lambayeque. Tesis para optar el título de Licenciado en biología. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Lamabayeque, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1724/BC-TES-TMP-577.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, E; Bussmann, R; Arroyo, S; López, S; Briceño, J. (2007). *Capparis scabrida* (*Capparaceae*) una especie del Perú y Ecuador que necesita planes de conservación urgente. *Arnaldoa* 14(2), 269-282. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/228108008>

Saha, D; Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of food science and technology* 6(47), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>

Sciarini, L; Maldonado, F; Ribotta, P; Pérez, G; León, A. (2009). Chemical composition and functional properties of Gleditsia triacanthos gum. *Food Hydrocolloids* 23(2), 306-313. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.02.011>

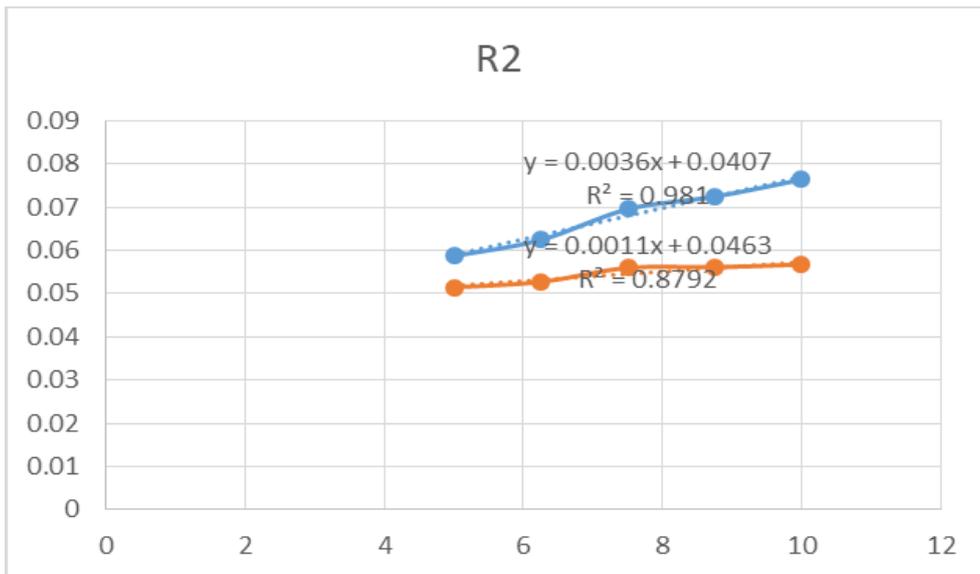
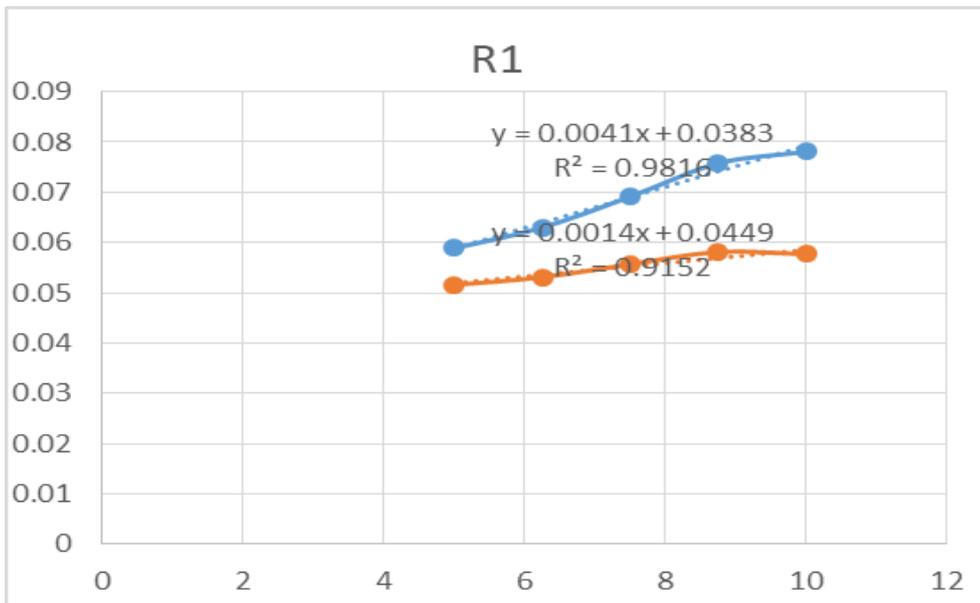
Sharma, A; Bhushette, P; Annapure, U. (2020). Purification and physicochemical characterization of *Prunus domestica* exudate gum polysaccharide. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 1 (2020), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100003>

- Siccha, A; Lock, O. (1994). Hidrocoloides de tres especies de Caesalpineae: Su análisis químico. *Revista de Química* 3(2), 153-161. Recuperado de: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5533>
- Silva, L. (2016). Estudio de prefactibilidad para una empresa dedicada a la exportación de polvo de tara, goma de tara y la producción de una gama de productos naturales medicinales derivados de la tara. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. Recuperado de: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6656/SILVA\\_LUIS\\_PREFACTIBILIDAD\\_EMPRESA\\_EXPORTACION\\_TARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6656/SILVA_LUIS_PREFACTIBILIDAD_EMPRESA_EXPORTACION_TARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sriprabhom, J; Luangpituksa, P; Wongkongkatep, J; Pongtharangkul, T; Suphantharika, M. (2018). Influence of pH and ionic strength on the physical and rheological properties and stability of whey protein stabilized o/w emulsions containing xanthan gum. *Journal of Food Engineering* 242, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.031>
- Stephen, A; Phillips, G; Williams, P. (2006). *Food Polysaccharides and Their Applications*. Taylor & Francis Group. 2da Edición. Florida, EE. UU. <https://doi.org/10.1201/9781420015164>
- Vasile, F; Martínez, M; Pizones, V; Judis, M; Mazzobre, M. (2016). Physicochemical, interfacial, and emulsifying properties of a nonconventional exudate gum (*Prosopis alba*) in comparison with gum arabic. *Food hydrocolloids* 56(2016), 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.016>
- Verbeke, D; Dierckx, S; Dewettinck, K. (2003). Exudate gums: occurrence, production, and applications. *Applied microbiology and biotechnology* 63(1), 10-21. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1354-z>
- Whistler, R. (1993). *Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives*. Academic Press Inc. 2da Edición. Nueva York, EE. UU. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092654-4.50001-2>
- Xie, Y; Hettiarachchy, N. (1998). Effect of xanthan gum on enhancing the foaming properties of soy protein isolate. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75(6), 729-732. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0214-5>

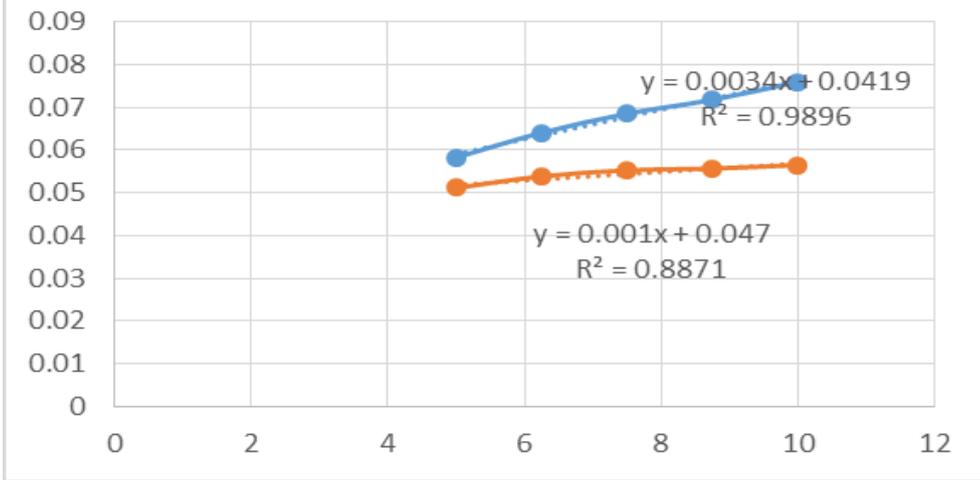
- Yagoub, N; Nur, A. (2013). The Influence of thermal treatment on physical properties of Guar gum. *International Journal of Innovations in Pharmaceutical Sciences*. 2(6), 26-31. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3018-5>
- Yerramilli, M; Ghosh, S. (2017). Long-term stability of sodium caseinate-stabilized nanoemulsions. *Journal of Food Science and Technology* 54(1), 82–92. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2438-y>

## VIII. ANEXOS

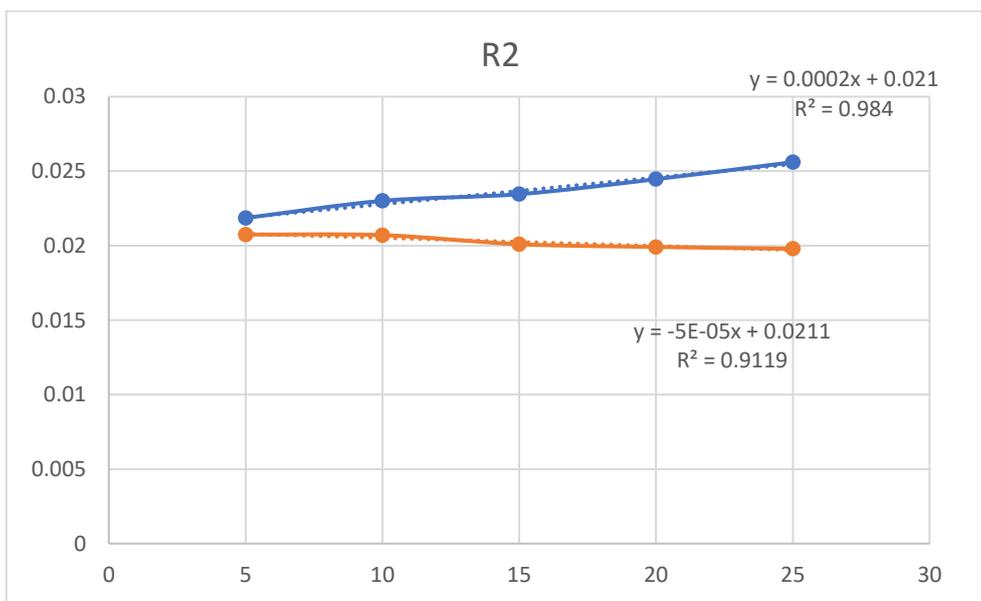
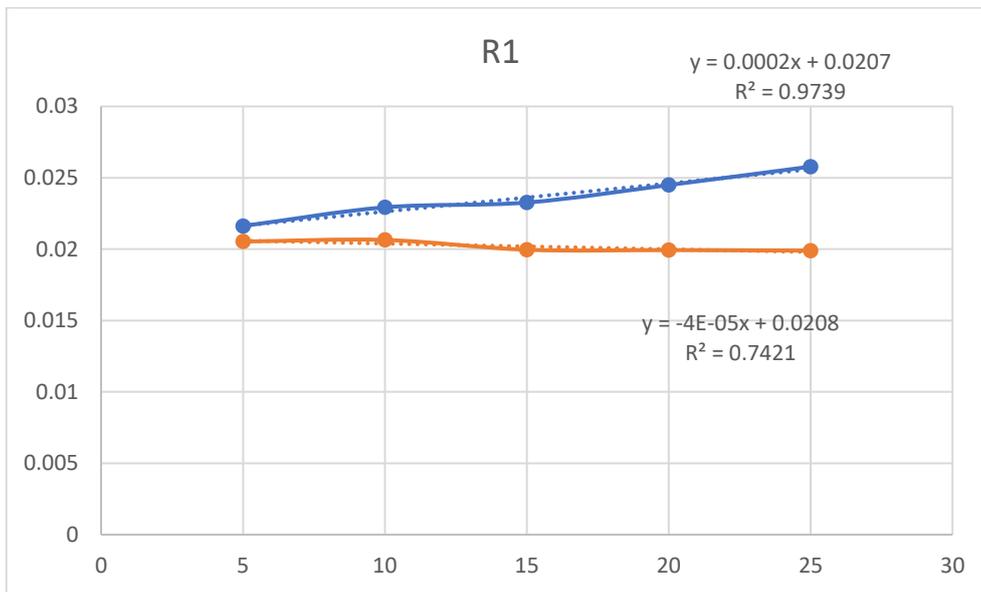
### ANEXO 1: GRÁFICOS $\eta_{sp}/c$ vs C y $\ln(\eta_r)/c$ vs C PARA HALLAR LA VISCOSIDAD INTRÍNSECA PARA GOMA DE SAPOTE

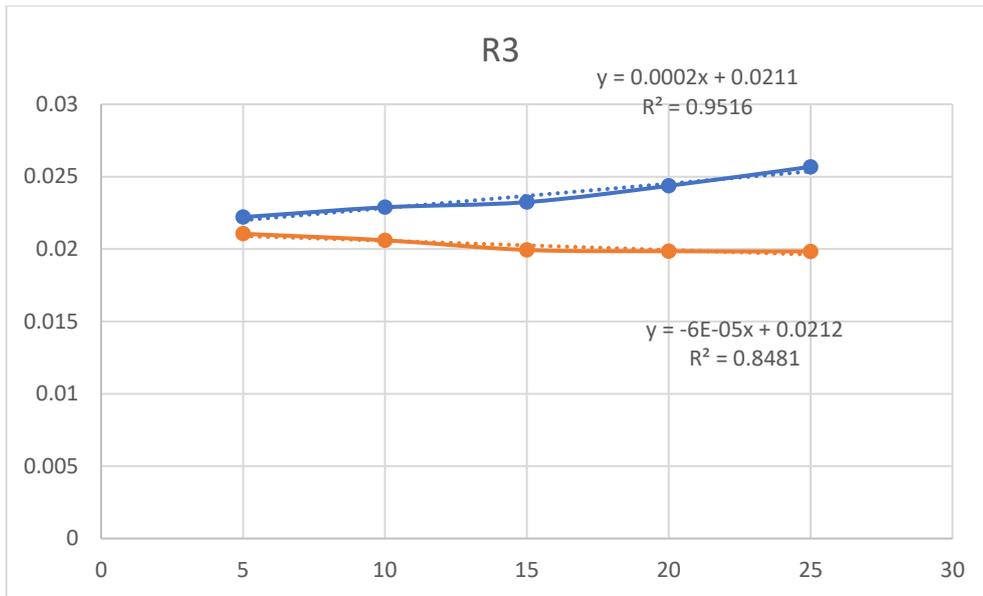


### R3

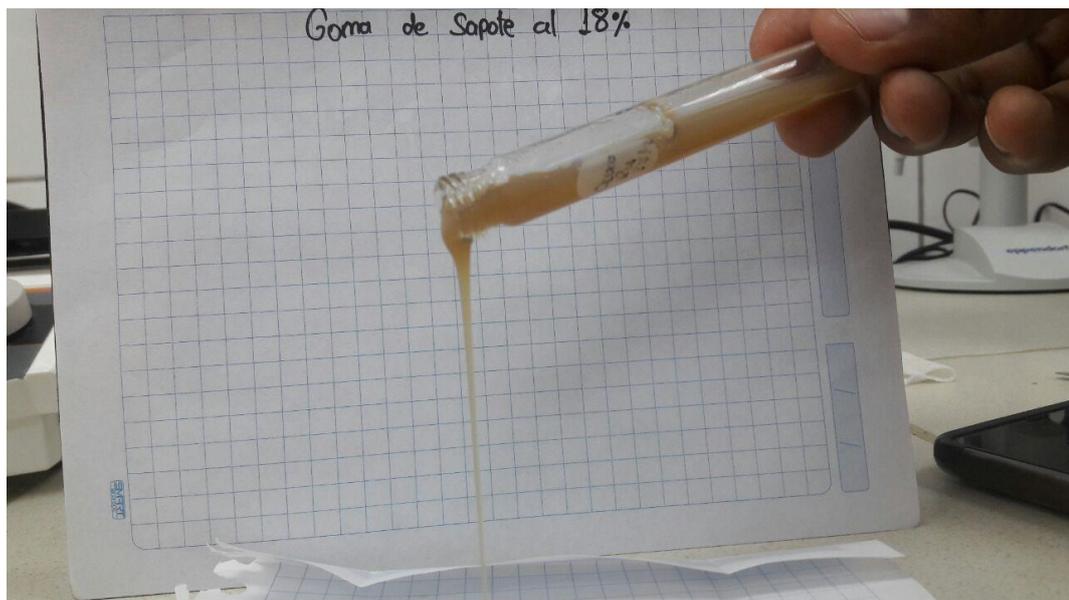
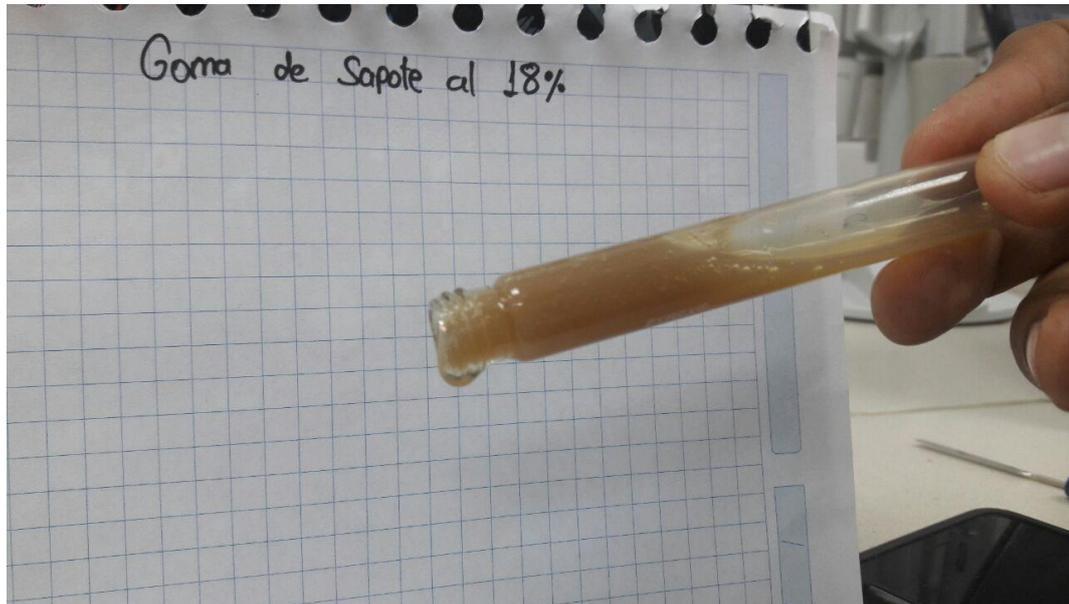


**ANEXO 2: GRÁFICOS  $\eta_{sp}/c$  vs C y  $\ln(\eta_r)/c$  vs C PARA HALLAR LA VISCOSIDAD INTRÍNSECA PARA GOMA ARÁBIGA**

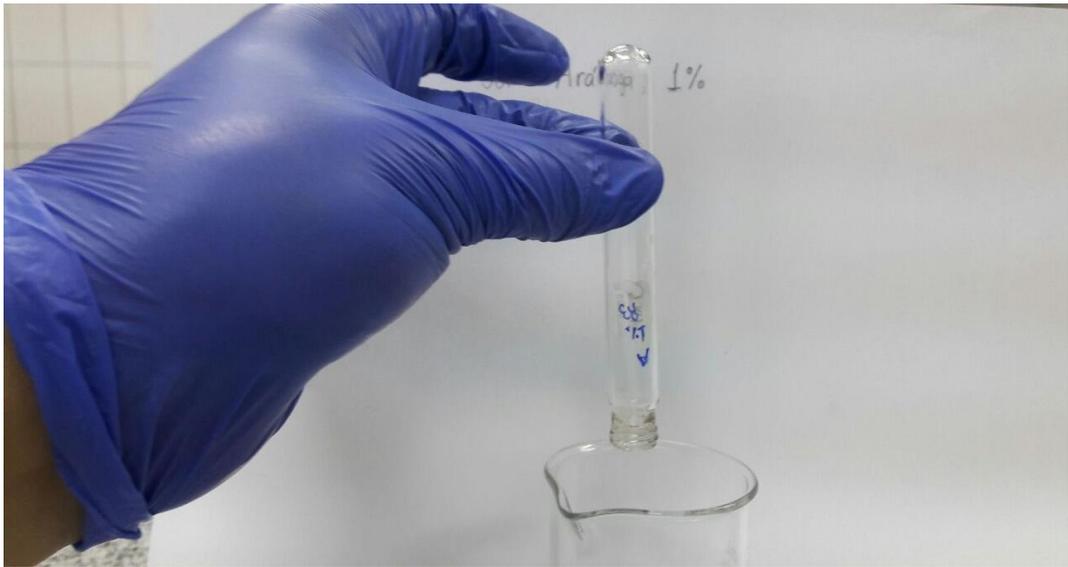




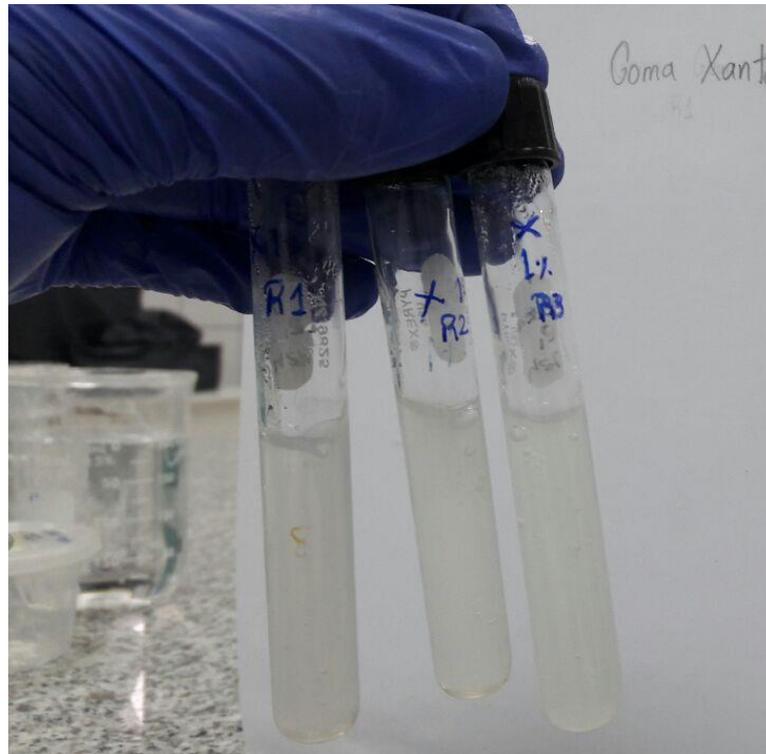
**ANEXO 3: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 18 POR CIENTO**



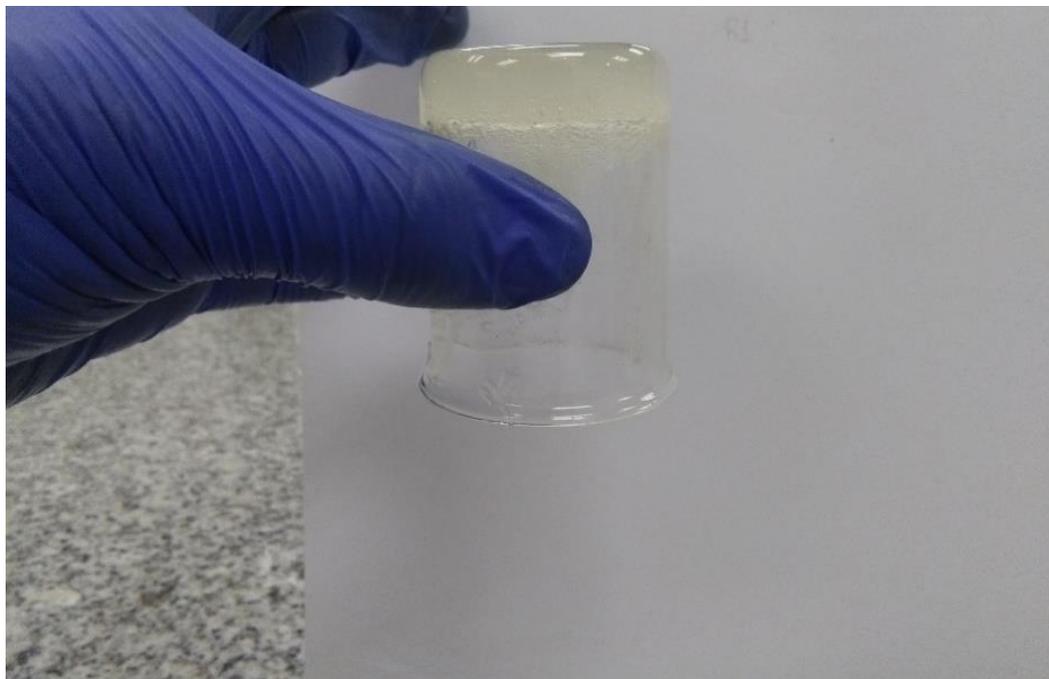
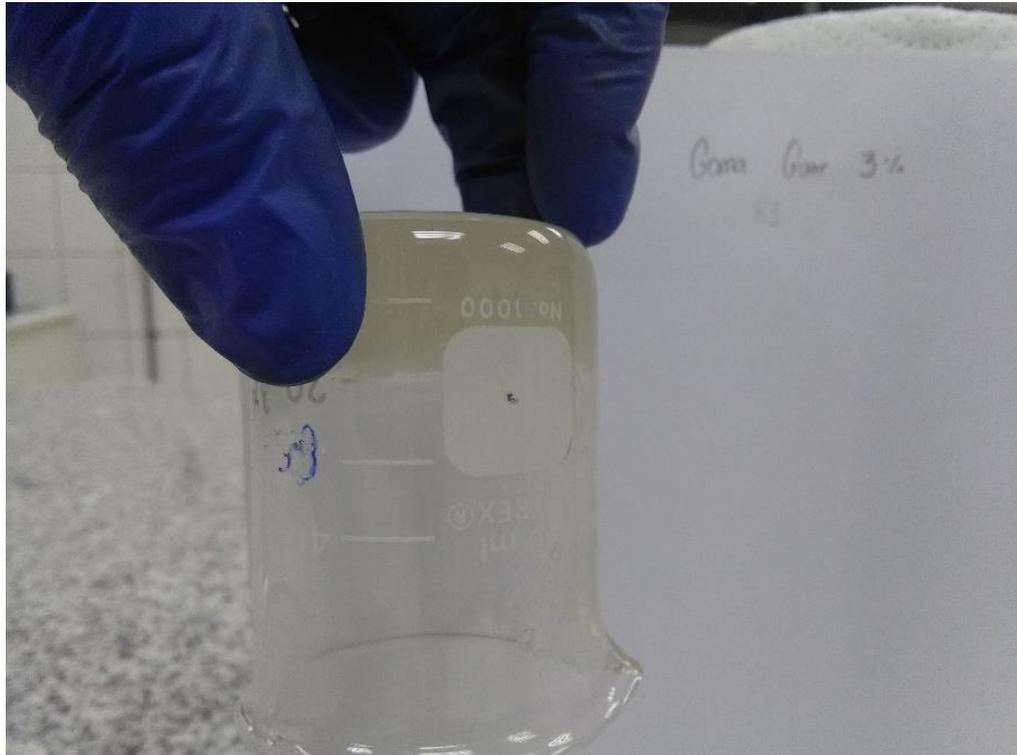
#### ANEXO 4: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA ARÁBIGA AL 18 POR CIENTO



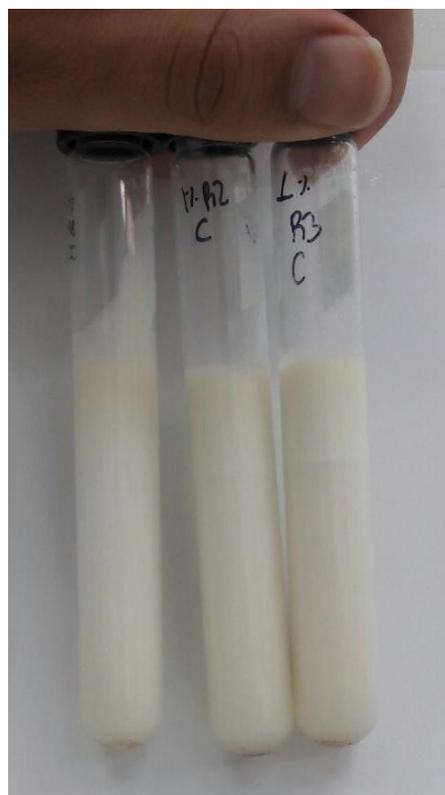
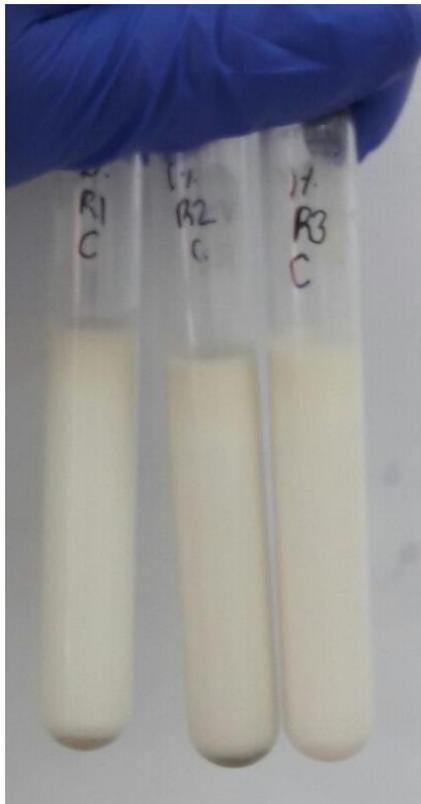
**ANEXO 5: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA XANTAN AL 1 POR CIENTO**



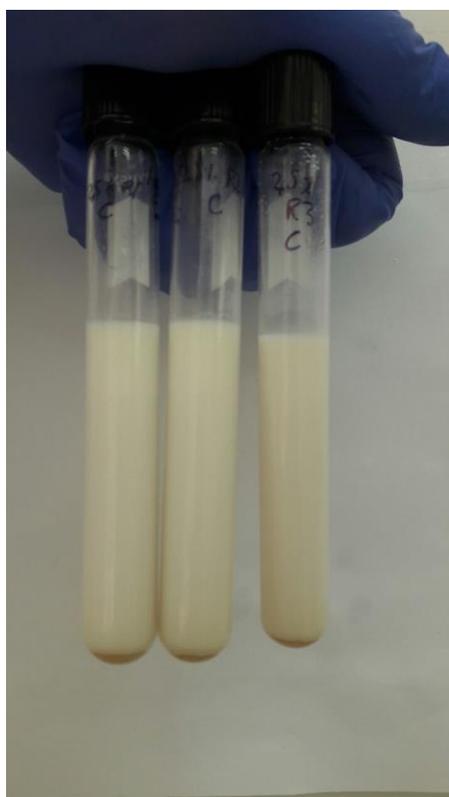
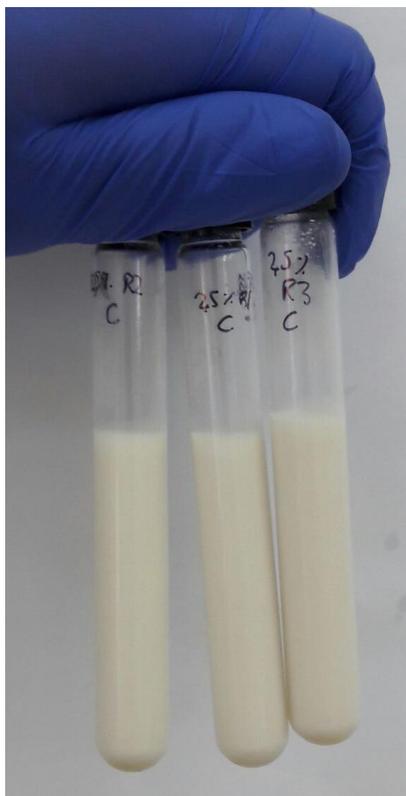
**ANEXO 6: PRUEBA DE GELIFICACIÓN DE GOMA GUAR AL 3 POR CIENTO**



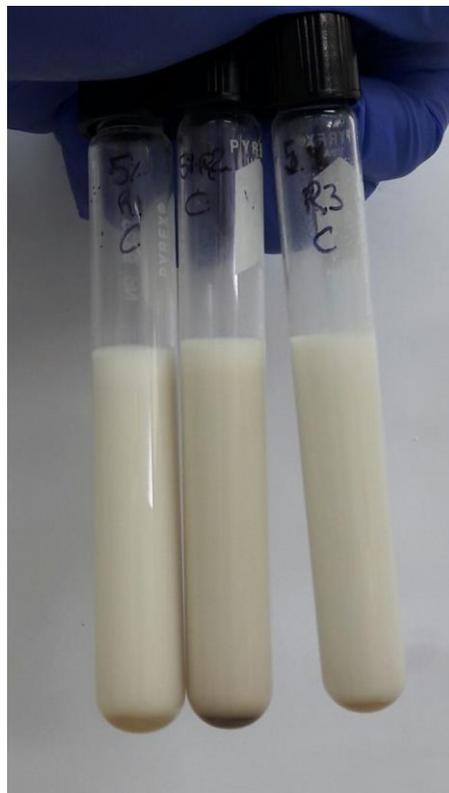
**ANEXO 7: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 1  
POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS**



**ANEXO 8: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 2.5 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS**



**ANEXO 9: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 5 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS**



**ANEXO 10: ÍNDICE DE CREMA DE EMULSIÓN DE GOMA DE SAPOTE AL 10 POR CIENTO A LOS 0 Y 7 DÍAS**



**ANEXO 11: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA LA SOLUBILIDAD**

**Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad por Temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
30	8	86.939	X
90	8	90.7217	X
60	8	95.1651	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
30 - 60	*	-8.22613	2.67036
30 - 90	*	-3.78275	2.67036
60 - 90	*	4.44339	2.67036

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 12: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR  
MÉTODO DE TUKEY PARA EL VALOR DE n**

**Pruebas de Múltiple Rangos para n por Concentración Goma**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
S20	3	0.886679	X
A5	3	0.937194	X
S15	3	0.938825	X
A10	3	0.952818	XX
A15	3	0.966398	XX
S10	3	0.969373	XX
A20	3	0.976341	X
S5	3	0.982966	X

**ANEXO 13: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR  
MÉTODO DE TUKEY PARA EL VALOR DE K**

**Pruebas de Múltiple Rangos para K por ConcentraciónGoma**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A5	3	0.00599488	X
A10	3	0.012443	XX
S5	3	0.0177989	XX
A15	3	0.0270087	X
A20	3	0.0549741	X
S10	3	0.0727045	X
S15	3	0.292711	X
S20	3	1.20659	X

**ANEXO 14: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LAS GOMAS SAPOTE Y ARÁBIGA**

**Pruebas de Múltiple Rangos para Cap Espumante por Interaccion**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Interaccion</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
GA1	3	4.66667	X
GA3	3	9.33333	X
GA5	3	12.6667	X
GA7	3	18.1224	X
GA10	3	24.6667	X
GS7	3	38.6196	X
GS5	3	42.4184	XX
GS10	3	43.6327	X
GS1	3	48.6531	X
GS3	3	52.7426	X

**ANEXO 15: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN TEMPERATURA**

**Pruebas de Múltiple Rangos para CEI por Temperatura**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Temperatura</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
30	3	38.3645	X
50	3	45.3456	X
90	3	49.3333	X
70	3	51.3333	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
30 - 50	*	-6.98109	3.46439
30 - 70	*	-12.9688	3.46439
30 - 90	*	-10.9688	3.46439
50 - 70	*	-5.98773	3.46439
50 - 90	*	-3.98773	3.46439
70 - 90		2.0	3.46439

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 16: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN pH**

**Pruebas de Múltiple Rangos para CE2 por pH**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	3	39.3333	X
5	3	40.1361	X
7	3	41.6667	X
9	3	48.3529	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
3 - 5		-0.802721	3.25687
3 - 7		-2.33333	3.25687
3 - 9	*	-9.01961	3.25687
5 - 7		-1.53061	3.25687
5 - 9	*	-8.21689	3.25687
7 - 9	*	-6.68627	3.25687

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 17: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA CAPACIDAD ESPUMANTE DE LA GOMA SAPOTE SEGÚN CONCENTRACIÓN DE SALES**

**Pruebas de Múltiple Rangos para CE3 por NaCl**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>NaCl</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
100	3	41.9651	X
200	3	52.6667	X
300	3	57.5255	X
400	3	60.9444	XX
500	3	62.4116	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
100 - 200	*	-10.7015	4.30722
100 - 300	*	-15.5604	4.30722
100 - 400	*	-18.9793	4.30722
100 - 500	*	-20.4465	4.30722
200 - 300	*	-4.85884	4.30722
200 - 400	*	-8.27778	4.30722
200 - 500	*	-9.74496	4.30722
300 - 400		-3.41893	4.30722
300 - 500	*	-4.88612	4.30722
400 - 500		-1.46719	4.30722

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 18: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE**

**Pruebas de Múltiple Rangos para EAll por Goma**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Goma</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A10	3	3.26258	X
A7.5	3	3.33935	X
S10	3	3.75389	XX
S7.5	3	4.33476	X
A5	3	4.34883	X
S5	3	5.63467	X
A2.5	3	8.03747	X
S2.5	3	9.20432	X
A1	3	16.8311	X
S1	3	21.4179	X

**ANEXO 19: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR TEMPERATURAS**

**Pruebas de Múltiple Rangos para EAI3 por T**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>T</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
30	3	18.827	X
50	3	20.727	X
70	3	24.5845	X
90	3	24.6229	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
30 - 50	*	-1.89998	0.772246
30 - 70	*	-5.7575	0.772246
30 - 90	*	-5.79588	0.772246
50 - 70	*	-3.85752	0.772246
50 - 90	*	-3.89591	0.772246
70 - 90		-0.0383833	0.772246

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 20: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR pH**

**Pruebas de Múltiple Rangos para EAI5 por PH**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>PH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	3	18.3856	X
5	3	22.6462	X
9	3	24.7572	X
7	3	24.7764	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
3 - 5	*	-4.26055	1.38743
3 - 7	*	-6.39082	1.38743
3 - 9	*	-6.37163	1.38743
5 - 7	*	-2.13027	1.38743
5 - 9	*	-2.11108	1.38743
7 - 9		0.0191917	1.38743

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 21: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ACTIVIDAD EMULSIONANTE POR CONCENTRACIÓN DE SALES**

**Pruebas de Múltiple Rangos para EAI4 por NaCl**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>NaCl</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
100	3	24.2967	X
300	3	24.6229	X
500	3	24.7572	X
0	3	24.7764	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
0 - 100		0.479792	2.05606
0 - 300		0.153533	2.05606
0 - 500		0.0191917	2.05606
100 - 300		-0.326258	2.05606
100 - 500		-0.4606	2.05606
300 - 500		-0.134342	2.05606

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 22: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE**

**Pruebas de Múltiple Rangos para IEI por Goma**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Goma</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A2.5	3	0.447045	X
A1	3	0.484478	X
S1	3	0.59219	X
A5	3	0.612379	X
S2.5	3	0.687709	X
A7.5	3	0.714458	X
S5	3	0.827913	X
S7.5	3	0.892671	X
A10	3	0.946364	XX
S10	3	0.978506	X

**ANEXO 23: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR TEMPERATURA**

**Pruebas de Múltiple Rangos para IE2 por T**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>T</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
30	3	0.514603	X
50	3	0.640443	X
90	3	0.784907	X
70	3	0.789079	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
30 - 50	*	-0.12584	0.0555272
30 - 70	*	-0.274476	0.0555272
30 - 90	*	-0.270304	0.0555272
50 - 70	*	-0.148636	0.0555272
50 - 90	*	-0.144464	0.0555272
70 - 90		0.00417164	0.0555272

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 24: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR pH**

**Pruebas de Múltiple Rangos para IE3 por pH**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	3	0.543848	X
5	3	0.748461	X
9	3	0.79229	X
7	3	0.803001	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
3 - 5	*	-0.204613	0.0423498
3 - 7	*	-0.259153	0.0423498
3 - 9	*	-0.248442	0.0423498
5 - 7	*	-0.0545394	0.0423498
5 - 9	*	-0.0438288	0.0423498
7 - 9		0.0107106	0.0423498

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 25: PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS DE LAS MEDIAS POR MÉTODO DE TUKEY PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD EMULSIONANTE POR CONCENTRACIÓN DE SALES**

**Pruebas de Múltiple Rangos para IE4 por NaCl**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>NaCl</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	3	0.803001	X
100	3	0.805764	X
300	3	0.828969	X
500	3	0.844355	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Limites</i>
0 - 100		-0.00276299	0.0679124
0 - 300		-0.0259685	0.0679124
0 - 500		-0.0413544	0.0679124
100 - 300		-0.0232055	0.0679124
100 - 500		-0.0385915	0.0679124
300 - 500		-0.0153859	0.0679124

\* indica una diferencia significativa.