



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA COMO
CARACTERÍSTICA DE CALIDAD DE
MALVAVISCOS ELABORADOS CON DIFERENTES
FORMULACIONES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

P R E S E N T A :

ADRIÁN AVILA TORRES



CD. MX.

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Q.F.B. MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RÍOS
VOCAL: M. EN C. FEDERICO NIETO PINEDA
SECRETARIO: DR. ROEB GARCÍA ARRAZOLA
1er. SUPLENTE: Q.A. ANA LAURA OCAMPO HURTADO
2° SUPLENTE: Q.A. CARLOS ALBERTO ALMANZA RODRÍGUEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO 313, DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA, CONJUNTO E, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: Q.F.B. MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RÍOS

SUPERVISOR TÉCNICO: I.A. MARIANA RAMÍREZ GILLY

SUSTENTANTE: ADRIÁN AVILA TORRES

CONTENIDO

Índice de Figuras

Resumen	1
Capítulo 1. Introducción	3
1.1 Hipótesis	4
1.2 Objetivos	4
General	4
Particulares	4
Capítulo 2. Marco Teórico	5
2.1 Ingredientes básicos del malvavisco	5
2.1.1 Azúcar refinada	5
2.1.2 Agua	5
2.1.3 Jarabes	6
2.1.3.1 Jarabe de glucosa	6
2.1.3.2 Miel	7
2.1.4 Hidrocoloides	8
2.1.4.1 Gelatina.....	8
2.1.4.2 Agar	9
2.1.5 Sal.....	10
2.2 Propiedades fisicoquímicas	10
2.2.1 Humedad	10
2.2.2 Actividad de agua (a_w).....	11
2.3 Propiedades mecánicas	11
2.3.1 Fuerza de corte	11
2.3.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA por sus siglas en inglés)	12
Capítulo 3. Materiales y métodos	15
3.1 Materiales	15

3.2 Métodos	16
3.2.0 Diagrama de metodología experimental	16
3.2.1 Elaboración de la fórmula base de malvavisco (FB)	17
3.2.2 Humedad	17
3.2.3 Actividad de agua (a_w)	17
3.2.4 Secado de malvaviscos	18
3.2.5 Fuerza de corte	18
3.2.6 Perfil de Textura (TPA)	19
3.2.7 Desarrollo de formulación gelatina-agar (FA)	19
3.2.8 Desarrollo de formulación glucosa-miel-gelatina (FGM)	19
3.2.9 Desarrollo de formulación glucosa-miel-gelatina-agar (FMA)	20
3.2.10 Estudio de propiedades mecánicas a distinta humedad	21
3.2.11 Análisis estadístico	21
Capítulo 4. Resultados y discusión	22
4.1 Propiedades fisicoquímicas	22
4.2 Secado de malvaviscos	23
4.3 Propiedades mecánicas a humedad inicial	24
4.3.1 Fuerza de corte de fórmulas de malvavisco para humedad inicial	24
4.3.2 Análisis de Perfil de textura (TPA) de fórmulas de malvavisco a humedad inicial	25
4.4 Propiedades mecánicas para distinta humedad	27
4.4.1 Fuerza de corte para fórmulas de malvavisco para distinta humedad ...	27
4.4.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA) para fórmulas de malvavisco a distinta humedad	30
Capítulo 5. Conclusiones	36
Capítulo 6. Referencias	38

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura química de la sacarosa. (Eggleston, et al., 2007)	5
Figura 2. Estructura química de la gelatina (Kumar, 2005).....	9
Figura 3. Componentes del agar (Varshosaz, et al., 2015).	10
Figura 4. Diagrama representativo de la prueba de fuerza de corte (Food Technology Corporation).....	12
Figura 5. Diagrama representativo de la prueba de TPA (Food Technology Corporation)	13
Figura 6. Gráfica General de Análisis de Perfil de Textura (TPA). (Hleap & Velasco, 2010)	14
Figura 7. Equipo utilizado para determinar a_w	18
Figura 8. Secado de malvaviscos ($T= 35 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$)	24
Figura 9. Fuerza de corte para formulaciones de malvavisco ($n = 5$).	25
Figura 10. Dureza de fórmulas de malvavisco ($n = 5$).	26
Figura 11. Masticabilidad de fórmulas de malvavisco ($n = 5$).	26
Figura 12. Gomosidad de fórmulas de malvavisco ($n = 5$).....	27
Figura 13. Fuerza de corte FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).....	28
Figura 14. Fuerza de corte FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).....	29
Figura 15. Fuerza de corte FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).....	29
Figura 16. Dureza FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).	31
Figura 17. Dureza FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).	31
Figura 18. Dureza FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).	32
Figura 19. Masticabilidad FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).	32
Figura 20. Masticabilidad FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ($n = 5$).....	33

Figura 21. Masticabilidad FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).....	33
Figura 22. Gomosidad FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).	34
Figura 23. Gomosidad FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).	34
Figura 24. Gomosidad FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).	35

Resumen

El malvavisco es un producto de confitería aireado con una estructura esponjosa característica que se logra cuando el aire y la humedad se incorporan a un jarabe. El aire se incorpora para aumentar el volumen del malvavisco y contribuir al desarrollo de la textura. Los ingredientes básicos en el malvavisco son sacarosa, jarabe de glucosa, agua, hidrocoloides, colorantes y saborizantes. Existe una gran variedad de hidrocoloides que pueden ser utilizados de forma individual o en combinaciones para la producción de malvaviscos como la albúmina de huevo, la gelatina, la pectina o el agar que permiten una estructura esponjosa estable (Buera, Welti-Chanes, Lillford & Corti, 2006).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la pérdida de humedad de malvavisco preparado con diferentes cantidades de glucosa, miel, gelatina y agar, sobre sus características mecánicas, examinadas mediante pruebas de fuerza de corte y análisis de perfil de textura para conocer su evolución con el tiempo y establecer la formulación que produce las propiedades más estables.

Se desarrollaron distintas formulaciones de malvavisco que incluyeron gelatina o agar, glucosa o miel para estudiar sus características fisicoquímicas y mecánicas. Se analizó el efecto de los hidrocoloides y jarabes sobre una fórmula base.

Además, se estudió la influencia de la humedad sobre la suavidad del malvavisco a través de la medición de la fuerza de corte y el análisis de perfil de textura (TPA por sus siglas en inglés). Para ello los malvaviscos se sometieron a una deshidratación acelerada a 35 °C durante 30 h.

Se comparó el comportamiento mecánico y fisicoquímico de las formulaciones elaboradas con la fórmula base, y se encontró que la suavidad de la fórmula elaborada con glucosa, miel y gelatina se mantuvo por más tiempo y conservó las propiedades fisicoquímicas de la fórmula base a humedad inicial.

Se concluye que las pruebas mecánicas son suficientemente sensibles para detectar estos cambios y por lo tanto pueden ser usadas como indicadores de calidad en este producto.

Abstract

Marshmallow is an aerated confectionery product with a characteristic foamy structure achieved when air and moisture are incorporated into a syrup. Air is included to increase the marshmallow volume and contribute to texture development. Marshmallow is basically made of sucrose, glucose syrup, water, hydrocolloids, colorants and flavorings. A wide variety of hydrocolloids can be used individually or in combinations to produce marshmallows, such as egg albumin, gelatin, pectin or agar that allow a stable foamy structure to be formed (Buera, Welti-Chanes, Lillford & Corti, 2006).

The objective of this work was to determine the effect of moisture loss of marshmallows prepared with distinct formulations including glucose, honey, gelatin and agar, on their mechanical characteristics, examined by shear force tests and texture profile analysis to know their evolution over time and establish the formula with the most stable properties.

Different marshmallow formulae prepared with gelatin or agar, glucose or honey were developed to study their physicochemical and mechanical characteristics. The effect of hydrocolloids and syrups on a base formula was analyzed. In addition, the influence of moisture on the softness of marshmallows was studied through the measurement of the shear force and texture profile analysis (TPA). Marshmallows were subjected to accelerated dehydration at 35 °C for 30 h.

The mechanical and physicochemical properties of the formulations designed with the base formula were compared to each other. The formula elaborated with glucose, honey and gelatin kept its softness for a longer time and conserved the physicochemical properties of the initial moisture base formula.

It is concluded that mechanical tests are sensitive enough to detect these changes and therefore can be used as quality indicators in this product.

Capítulo 1. Introducción

Los malvaviscos son uno de los primeros productos de confitería conocidos por la humanidad. Originalmente estaban elaborados con extractos de raíz de la planta de malvavisco *Althaea officinalis*, la cual crece en zonas pantanosas. El extracto es un líquido viscoso que forma una espuma ligera cuando se bate con huevos y azúcar (Lees & Jackson, 1973). Los antiguos egipcios combinaban este extracto con miel y su consumo era exclusivamente para los dioses y la realeza (Bellis, 2019).

La industria moderna del malvavisco comenzó en Francia alrededor de 1850. Este primer método de fabricación fue costoso y lento porque implicaba la fundición y el moldeo de cada malvavisco. Los fabricantes franceses utilizaron el extracto de la raíz de la planta de malvavisco como agente aglutinante para las claras de huevo, el jarabe de maíz y el agua. La mezcla esponjosa se calentaba y se vertía sobre almidón de maíz en pequeños moldes, formando los malvaviscos

En el año 1900, la producción masiva de malvaviscos se hizo posible con la invención del sistema de almidón mogul, el cuál es un método para moldear caramelos que permite utilizar materiales más fluidos que los procesos normales, utilizando almidón para moldear como un medio para formar impresiones de depósito (Reis, 2007). Además, la gelatina y otros estabilizadores comenzaron a reemplazar al extracto de la planta de malvavisco.

En 1955, Alex Doumak, de Doumak, Inc., patentó un nuevo método de fabricación llamado proceso de extrusión. Este invento cambió la historia de la producción de malvaviscos, reduciendo el tiempo de elaboración de malvavisco y es utilizado en la actualidad (Braden & Petruso, s.f.).

Actualmente, es posible encontrar diversas presentaciones de malvavisco, con cobertura o algún tipo de relleno, como base en otro tipo de golosinas, en galletas o en algunas bebidas. Sin embargo, ante la tendencia actual de sustituir compuestos de origen animal y reducir el uso de aditivos sobre los alimentos, algunas empresas han comenzado a elaborar malvaviscos con azúcar orgánico sin glucosa, colorantes, saborizantes y conservadores, además de reemplazar

la gelatina por hidrocoloides de origen vegetal como almidón de tapioca o carragenina (Thompson, 2018).

1.1 Hipótesis

La disminución de la humedad modifica la suavidad del malvavisco durante su almacenamiento, y produce cambios en sus propiedades mecánicas.

1.2 Objetivos

General

Determinar el efecto de la pérdida de humedad de distintas fórmulas de malvavisco elaboradas con glucosa, miel, gelatina y agar, sobre sus propiedades mecánicas, mediante pruebas de fuerza de corte y análisis de perfil de textura para determinar su evolución con el tiempo, y establecer estos parámetros como características de calidad de producto.

Particulares

- Determinar la actividad de agua, la humedad de la formulación base, las propiedades mecánicas de fuerza de corte y análisis de perfil de textura (TPA) para establecer los valores de referencia.
- Desarrollar fórmulas con miel y agar grado alimenticio de acuerdo con los valores de referencia de fuerza de corte y TPA para seleccionar la que no presente diferencia significativa con la fórmula base.
- Medir la humedad y la actividad de agua de las fórmulas elaboradas para determinar las condiciones iniciales del producto comparando con una fórmula base.
- Determinar las propiedades mecánicas de las diferentes fórmulas deshidratadas para identificar la variación de la dureza con la humedad.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Ingredientes básicos del malvavisco

2.1.1 Azúcar refinada

El azúcar refinada, también llamada sacarosa, es un disacárido compuesto por dos carbohidratos simples: la glucosa y la fructosa unidos por medio de un enlace glucosídico entre los respectivos carbonos 1 y 2 (Figura 1).

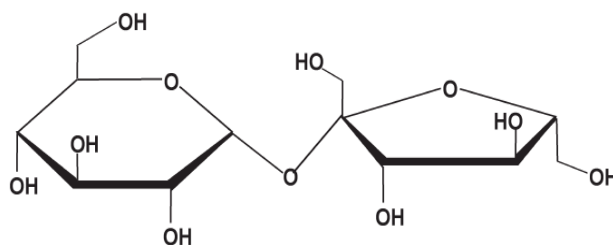


Figura 1. Estructura química de la sacarosa (Eggleston et al., 2007).

La sacarosa, además de ser un edulcorante libre de sabores secundarios o resabio, imparte ciertas propiedades nutricionales, fisicoquímicas y microbiológicas al malvavisco (Hernández, 1998).

2.1.2 Agua

El agua es uno de los componentes más importantes en la confitería. Los productos confiteros, generalmente están libres de mohos y crecimiento microbiano, pero medir y controlar la humedad del producto es fundamental para mantener el sabor y la textura correctos, y prevenir problemas de calidad durante el almacenamiento (Asia Pacific Food Industry, 2017).

El agua utilizada en productos de confitería debe ser potable y cumplir con los parámetros establecidos por la NOM-127-SSA1-1994. Durante la elaboración de malvavisco el agua se emplea con dos propósitos importantes: ayudar en la disolución de azúcares de la mezcla de sacarosa con glucosa y, para una hidratación previa de los hidrocoloides.

2.1.3 Jarabes

Existen diversos jarabes utilizados en la industria de confitería como la miel, azúcar invertido, jarabes de alta fructosa, jarabes de glucosa, entre otros, cuya concentración se mide por Equivalentes de Dextrosa (DE). Generalmente, se utiliza una combinación de algún jarabe con sacarosa para la elaboración de productos de confitería. Según la proporción que exista de estos dos ingredientes, se verá afectada la textura del producto final (Kleiner, 2016).

2.1.3.1 Jarabe de glucosa

Los edulcorantes de maíz se derivan de un proceso de conversión del almidón ya sea por hidrólisis ácida o alcalina. Generalmente se clasifican de acuerdo con su contenido de dextrosa equivalente DE; expresión del contenido de azúcares reductores calculados como dextrosa anhidra y expresada como porcentaje de la sustancia seca total.

El jarabe de maíz es una disolución acuosa concentrada y con un contenido muy bajo de mono, di, y oligosacáridos (Hernández, 1998). Se utiliza en la elaboración de muchos productos de confitería, ya que imparte viscosidad, dulzor, presión osmótica, higroscopicidad, control de cristalización de la sacarosa y otros azúcares, entre otras aplicaciones.

En la elaboración de malvavisco, el jarabe de maíz o glucosa imparte viscosidad y evita la cristalización de la sacarosa (Science, 2012).

Existen tres vías por las cuáles ocurre la prevención de la cristalización de la sacarosa al usar jarabe de glucosa. La primera, el alto contenido de azúcares del jarabe aumenta la viscosidad de la mezcla, lo cual previene que las moléculas de la sacarosa se unan y formen cristales. La segunda, la presencia de otros azúcares en el jarabe de glucosa, aumenta la solubilidad de la sacarosa, de este modo se reduce el riesgo de cristalización de este azúcar (Hull, 2010). La tercera, cuando se calienta el almidón, bajo condiciones ácidas, se rompe en sus componentes de glucosa. Estas moléculas de glucosa son más pequeñas que la sacarosa y pueden afectar la cristalización al interponerse entre las moléculas de sacarosa, lo que finalmente interfiere con la formación de cristales (Chi Pung, 2014).

2.1.3.2 Miel

Se entiende como miel a la sustancia dulce producida por las abejas a partir del néctar de las flores o de exudaciones de otras partes vivas de las plantas o presentes en ellas, que dichas abejas recogen, transforman y almacenan después en sus panales (NMX-F-036-981, 1981).

La miel se compone esencialmente de diferentes azúcares, predominantemente fructosa y glucosa además de otras sustancias como ácidos orgánicos, enzimas y partículas sólidas derivadas de la recolección (Cuadro 1). El color de la miel varía de casi incoloro a pardo oscuro.

Su consistencia puede ser fluida, viscosa, o total o parcialmente cristalizada. El sabor y el aroma varían, pero derivan de la planta de origen (Codex Stan 12-1981).

Cuadro 1. Composición química de la miel (Peng et al., 2016).

Componente	Elementos	Porcentaje
Agua		17.20
Azúcares	Levulosa (D-fructosa)	38.19
	Dextrosa (D-glucosa)	31.28
	Sucrosa (sacarosa)	1.31
	Maltosa y otros disacáridos reductores	7.31
		1.50
	Azúcares totales	79.59
Ácidos	Ácidos totales calculados como ácido glucónico	0.57
Aminoácidos	Ácido glutámico, alanina, arginina, glicina, leucina, isoleucina, ácido aspártico, valina, histidina y lisina	0.26
Cenizas	Minerales: potasio, sodio, magnesio, calcio, fósforo, hierro, manganeso, cobre, entre otros	0.17
Otros componentes	Pigmentos, sustancias aromáticas, alcoholes, entre otros	2.21

En la industria confitera moderna, la miel ha sido utilizada esencialmente con propósitos de sabor. A la vez, también se ha utilizado como agente humectante, así como un agente capaz de contribuir en una formulación para evitar la cristalización de azúcares y aumentar el contenido de sólidos solubles (Jha, 2003).

2.1.4 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son un amplio grupo de polímeros de cadenas largas que se caracterizan por su propiedad de formar dispersiones viscosas o geles cuando se mezclan con agua (EPSA, Aditivos Alimentarios, S.A., 2013).

Cada hidrocoloide imparte una textura diferente a los productos de confitería aireados. En Cuadro 2 se muestran algunos hidrocoloides utilizados en este tipo de productos y las características que imparten.

Cuadro 2. Características de textura que imparten algunos hidrocoloides. (Hartel, von Elbe & Hofberger, 2017).

Hidrocoloide	Nivel de uso (%)	Características de Textura
Gelatina	2.0 - 6.0	Elástica
Albúmina de huevo	1.0 - 1.5	Suave
Proteína de soya	1.0 - 1.5	Suave
Proteína de suero	1.0 - 1.5	Suave
Almidón gelatinizado	7.0 - 12.0	Firme, gomosa
Agar	1.5	Ligera, suave
Goma arábiga	20.0 - 30.0	Dura, gomosa
Alginatos	0.5 - 3.0	Dura

2.1.4.1 Gelatina

La grenetina o gelatina es el derivado de un hidrocoloide natural, se obtiene de los tejidos ricos en colágeno de origen animal, como piel, tendones y huesos mediante una hidrólisis controlada del colágeno que permite su extracción en agua caliente.

Está compuesta por proteína proveniente del colágeno en 84-90 %, 1-2 % de sales minerales y el porcentaje restante de agua (Hernández, 2012). La Figura 2 muestra la estructura de la gelatina.

Además, tiene múltiples funciones en la elaboración de alimentos y formulaciones, las cuales se pueden dividir en dos grupos: el primero asociado con la acción gelificante, por ejemplo, la fuerza de gel, la viscosidad, como espesante y texturizante, entre otros; y la segunda con la formación de emulsiones y su estabilización (Gareis & Schrieber, 2007).

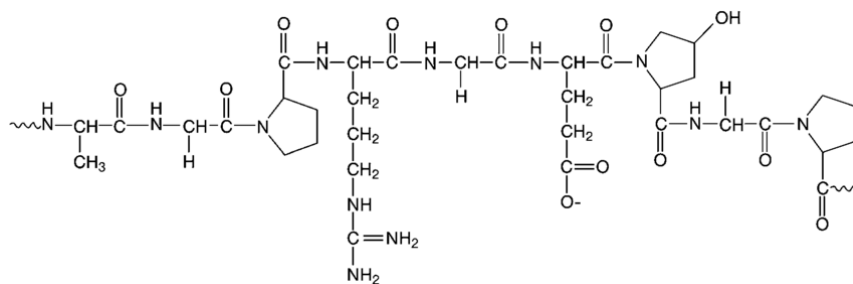


Figura 2. Estructura química de la gelatina (Kumar, 2005).

2.1.4.2 Agar

El agar es un polisacárido hidrofílico complejo extraído de algas rojas. Está constituido por 70 % de agarosa y 30 % de agarpectina (Figura 3). Tiene la capacidad de formar geles termorreversibles. Funde a temperaturas entre 71 y 100 °C y gelifica entre 30 y 40 °C dependiendo de la concentración que se utilice (Madhavan, 2015).

Es comúnmente utilizado en la comida asiática y como un sustituto vegano de la gelatina. Además, se emplea en la formación de geles, estabilizador, espesante de algunas bebidas, alimentos horneados, en productos de confitería, productos cárnicos y algunas salsas (Marcus, 2013).

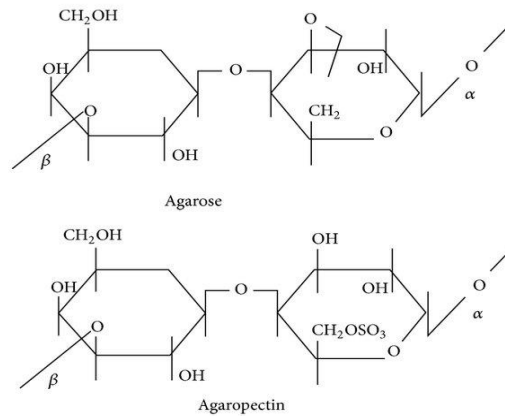


Figura 3. Componentes del agar (Varshosaz et al., 2015).

2.1.5 Sal

La sal, es el producto constituido básicamente por cloruro de sodio que proviene exclusivamente de fuentes naturales. Se presenta en forma de cristales incoloros, solubles en agua y de sabor salado franco.

Tiene diversas aplicaciones en la industria de alimentos como dar un sabor salado, regulador de la presión osmótica, como aditivo en la conservación de alimentos o potenciador de sabor.

2.2 Propiedades fisicoquímicas

2.2.1 Humedad

El método de secado al vacío se fundamenta en el principio fisicoquímico que relaciona la presión de vapor con la presión del sistema a una temperatura dada. Si se abate la presión del sistema, se abate la presión de vapor y necesariamente se reduce su punto de ebullición (Nollet, 1996).

El contenido de humedad en la industria de confitería es el parámetro más importante en la elaboración de dulces, ya que de ésta depende la forma de cristalización de los azúcares (González, 2008).

El agua es necesaria en la confitería para el procesamiento de materias primas a productos terminados. Esta afecta la textura del producto y es uno de los principales factores que afectan la vida de anaquel.

Una de las principales funciones del agua en la industria confitera, es disolver los ingredientes y favorecer el mezclado.

Los productos de confitería generalmente tienen un contenido bajo de humedad comparado con otro tipo de categorías alimenticias (Ergun, Lietha & Hartel, 2010).

2.2.2 Actividad de agua (a_w)

En la industria de alimentos, la actividad de agua (a_w) es definida como la cantidad de agua libre en un alimento. Físicoquímicamente, se define como la relación de la presión de vapor ejercida por el agua en el alimento (p) y la presión del agua pura (p_0) a una misma temperatura y presión ambiente (Estrada, 2019).

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

Es una propiedad intrínseca basada en el número y tamaño de moléculas disueltas en agua, principalmente influenciada por la presencia de azúcares disueltos y otros edulcorantes, sales y humectantes en productos de confitería. Se ha utilizado por varios años para caracterizar propiedades físicoquímicas y estabilidad microbiana en alimentos (Ergun, Lietha & Hartel, 2010).

El equipo de medición LabSwift Aw (Novasina AG, Suiza), utiliza un sistema basado en el método de célula electrolítica, en el cual la resistencia eléctrica del electrolito cambia al variar la humedad del entorno, permitiendo una medida directa del valor de actividad de agua (Novasina AG, 2010).

2.3 Propiedades mecánicas

2.3.1 Fuerza de corte

La prueba de corte es un método aplicable al análisis de textura de alimentos. En este método se aplica una fuerza de corte al producto, lo que asemeja la acción de los incisivos frontales cuando se introducen los alimentos en la boca.

También mide la fuerza de resistencia al corte de la muestra cuando se corta con una cuchilla (Figura 4), lo cual es un buen indicativo de la dureza o terneza.

El método se basa en generar un esfuerzo interno en el material mediante la acción de dos fuerzas que actúan en sentidos opuestos para de esa forma provocar el corte en el interior y colapsar la estructura (Food Technology Corporation, s.f.).

Una de esas fuerzas es aplicada por el usuario y la otra es la que opone el material de acuerdo con la tercera ley de Newton. Esto genera el esfuerzo interno, que induce inestabilidad en su estructura y resulta en un colapso donde la densidad del esfuerzo aumenta de tal modo que el material no puede deformarse más y se rompe para liberar así la energía mecánica.



Figura 4. Diagrama representativo de la prueba de fuerza de corte (Food Technology Corporation, s.f.). Vista frontal.

2.3.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA por sus siglas en inglés)

La textura instrumental es el parámetro más importante en la calidad de un malvavisco para el consumidor. Para evaluarla, se utiliza el Análisis de Perfil de Textura (TPA), el cual es un protocolo instrumental que imita el proceso de masticación a través de dos compresiones sucesivas del alimento, sin romperlo (Figura 5).

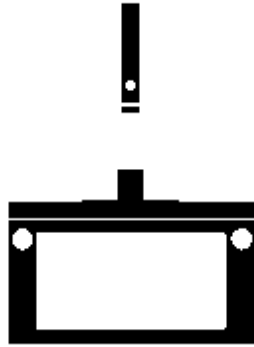


Figura 5. Diagrama representativo de la prueba de TPA (Food Technology Corporation, s.f.). Vista frontal.

Algunos de los parámetros que influyen en la determinación son: las condiciones de programación de la prueba, la forma en la que el instrumento aplica la compresión, la temperatura, la humedad, la preparación, el tamaño y la forma de la muestra, entre otros (Texture Technologies Corp. & Stable Micro Systems, Ltd., s.f.)

Este estudio cuantifica parámetros como dureza (N), elasticidad, cohesividad, masticabilidad (J) y gomosidad (N) (Hleap & Velasco, 2010), lo cual se logra al graficar la fuerza contra el tiempo como se muestra en la Figura 6. Estos parámetros pueden definirse como:

- Adhesividad: Siguiendo el primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la punta de prueba se mueve a su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se hace negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra. Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie. Se mide en ($\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ o N·m).
- Cohesividad: Es el cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1). Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.

- Dureza: Es la fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza (N).
- Elasticidad: Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo ($\text{Distancia}_2 / \text{Distancia}_1$). Mide cuánta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial.
- Fracturabilidad: Es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión, producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta. Se expresa en unidades de fuerza (N).
- Gomosidad: Es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser deglutido. Es el producto de la dureza por la cohesividad. Se expresa en (J).
- Masticabilidad: Es el producto de la dureza por la cohesividad y la elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Se expresa en (N) (Pineda, 2015).

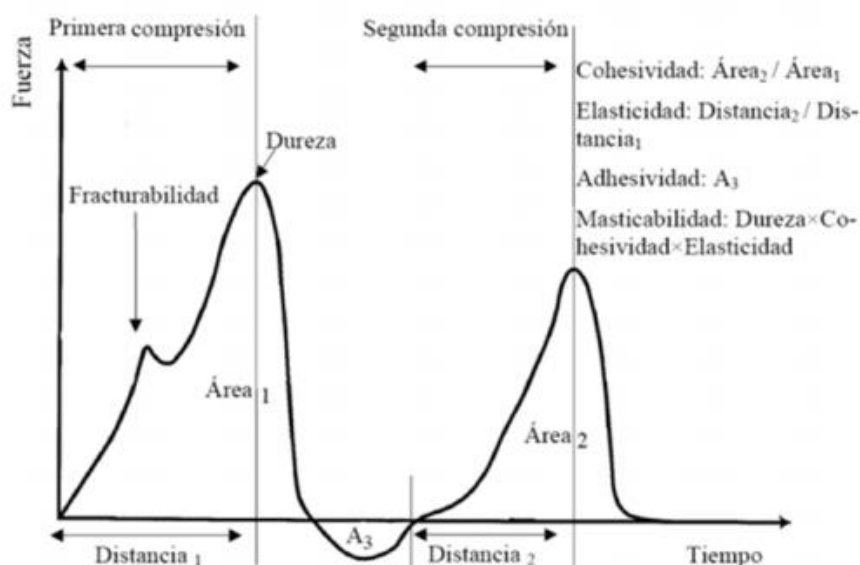


Figura 6. Gráfica General de Análisis de Perfil de Textura (TPA).
(Hleap & Velasco, 2010).

Capítulo 3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

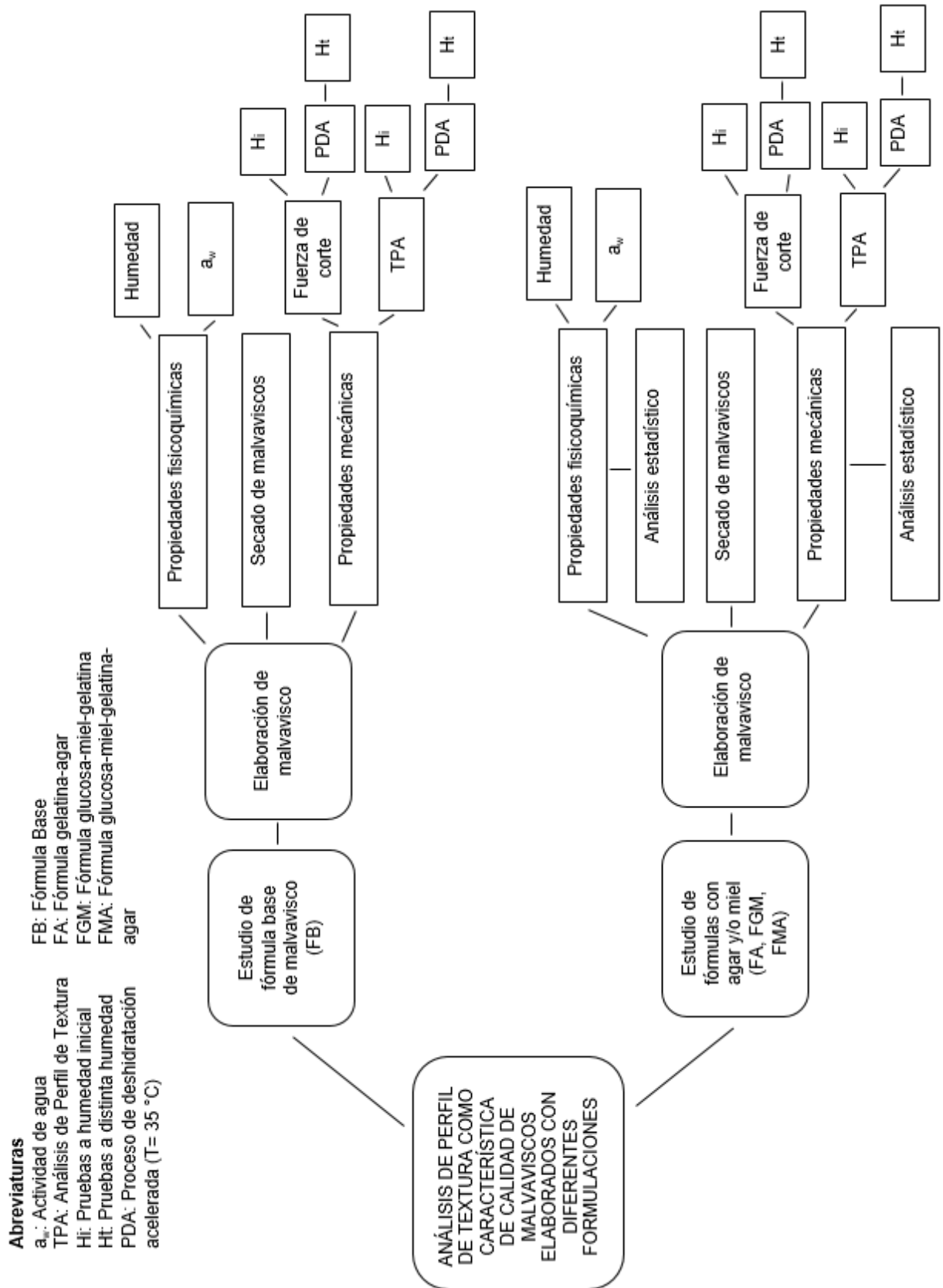
A continuación, se presentan las materias primas utilizadas para la elaboración de las fórmulas de malvavisco y su origen (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ingredientes utilizados.

Ingrediente	Marca
Gelatina (300 Bloom)	SIGMA-ALDRICH ®
Agar (grado alimenticio)	MAPRYSA ®
Miel (80 °Bx)	Sin marca. Lugar de origen: Tepalcingo, Morelos, México.
Glucosa (82 °Bx)	La Gloria™

3.2 Métodos

3.2.0 Diagrama de metodología experimental



3.2.1 Elaboración de la fórmula base de malvavisco (FB)

Se probaron distintas formulaciones variando el contenido de azúcar para la obtención de una fórmula base (Cuadro 4) que tuviera características similares a las del malvavisco comercial (malvaviscos Enrollados, De la Rosa ®), y además permitiera realizar las pruebas mecánicas planeadas para el estudio.

Cuadro 4. Fórmula base para malvavisco (FB).

Ingrediente	Cantidad (g/100 g formulación)	
Azúcar refinada	53.0	
Agua	Para gelatina 18.0 *	Para jarabe 9.0 **
Glucosa (82 °Bx)	16.5	
Gelatina (300 Bloom)	3.0	
Sal	0.5	
TOTAL	100	

* Cantidad de agua utilizada para hidratar la gelatina.

** Cantidad de agua utilizada para preparación de jarabe disolviendo azúcar refinada, sal y glucosa.

3.2.2 Humedad

Se determinó por triplicado gravimétricamente mediante secado en horno a vacío a 60 °C hasta masa constante en la muestra comercial y los malvaviscos elaborados experimentalmente (Periche, Heredia, Escriche, Grau & Castelló, 2015).

3.2.3 Actividad de agua (a_w)

Se determinó por triplicado utilizando el equipo LabSwift Aw (Novasina, Suiza) por triplicado a los malvaviscos elaborados experimentalmente. Se colocó una porción de malvavisco en una cápsula de plástico, se introdujo en el equipo y se procedió con la medición como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Equipo utilizado para determinar a_w .

3.2.4 Secado de malvaviscos

Se colocaron malvaviscos en una charola metálica cuadrada de (13 x 13) cm en un secador APEX modelo SSE70 (APEX CONSTRUCTION LTD., Inglaterra) a 35 ± 5 °C para obtener la cinética de secado, que permitió observar su comportamiento durante esta operación y la planificación de un estudio acelerado de la relación de la pérdida de humedad con la textura instrumental y la fuerza de corte de los malvaviscos preparados en el laboratorio.

3.2.5 Fuerza de corte

Se determinó por quintuplicado en las formulaciones experimentales en una máquina de pruebas mecánicas (Sintech 1/S, MTS System Corporation, EUA) con una celda de carga de 100 N nominal (76.596 N real). La velocidad utilizada fue de 60 mm/min.

Las dimensiones de las muestras cilíndricas fueron 2.2 ± 0.2 cm de diámetro por 3.1 ± 0.2 cm de largo. Las dimensiones de la cuchilla Warner-Bratzler utilizada para realizar el corte son de 4.9 cm de largo en forma de V, un ángulo interno de 60 °, 7.0 cm de ancho y 0.3 cm de espesor.

3.2.6 Perfil de Textura (TPA)

Las muestras fueron analizadas por quintuplicado usando una máquina de pruebas (Sintech 1/S, MTS System Corporation, USA). La celda de carga fue de 500 N nominal (353.50 N real) con una punta de prueba cilíndrica de 3.0 cm de diámetro. Las condiciones de las pruebas incluyeron dos ciclos consecutivos de 50 % de compresión. La velocidad utilizada fue de 60 mm/min (Periche, Heredia, Escriche, Grau & Castelló M., 2015). Las dimensiones de las muestras cilíndricas fueron de 3.0 ± 0.3 cm de diámetro por 3.0 ± 0.3 cm de altura.

3.2.7 Desarrollo de formulación gelatina-agar (FA)

Se substituyó parcialmente el contenido de gelatina por agar grado alimenticio para la obtención de la fórmula mostrada en el Cuadro 5, comparando las propiedades mecánicas de fuerza de corte y TPA con los valores de referencia obtenidos para la fórmula base con el fin de estudiar su posible uso comercial.

Cuadro 5. Fórmula gelatina-agar para malvavisco (FA).

Ingrediente	Cantidad (g/100g formulación)	
Azúcar refinada	53.0	
Agua	Para hidrocoloides 18.0 *	Para jarabe 9.0 **
Glucosa (82 °Bx)	16.5	
Gelatina (300 Bloom)	2.4	
Agar (grado alimenticio)	0.6	
Sal	0.5	
TOTAL	100	

* Cantidad de agua utilizada para hidratar los hidrocoloides.

** Cantidad de agua utilizada para preparación de jarabe disolviendo azúcar refinada, sal y glucosa.

3.2.8 Desarrollo de formulación glucosa-miel-gelatina (FGM)

Se substituyó parcialmente el contenido de glucosa por miel para la obtención de la fórmula mostrada en el Cuadro 6, comparando las propiedades mecánicas de fuerza de corte y TPA con los valores de referencia obtenidos para la fórmula base con el fin de estudiar su posible uso comercial.

Cuadro 6. Fórmula glucosa-miel-gelatina para malvavisco (FGM).

Ingrediente	Cantidad (g/100g formulación)	
Azúcar refinada	53.0	
Agua	Para hidrocoloides 18.0 *	Para jarabe 9.0 **
Glucosa (82 °Bx)	12.375	
Miel (80 °Bx)	4.125	
Gelatina (300 Bloom)	3.0	
Sal	0.5	
TOTAL	100	

* Cantidad de agua utilizada para hidratar la gelatina.

** Cantidad de agua utilizada para preparación de jarabe disolviendo azúcar refinada, sal, glucosa y miel.

3.2.9 Desarrollo de formulación glucosa-miel-gelatina-agar (FMA)

Se sustituyó parcialmente el contenido de gelatina por agar grado alimenticio y glucosa por miel para la obtención de la fórmula mostrada en el Cuadro 7, comparando las propiedades mecánicas de fuerza de corte y TPA con los valores de referencia obtenidos para la fórmula base con el fin de estudiar su posible uso comercial.

Cuadro 7. Fórmula glucosa-miel-gelatina-agar (FMA).

Ingrediente	Cantidad (g/100g formulación)	
Azúcar refinada	53.0	
Agua	Para hidrocoloides 18.0 *	Para jarabe 9.0 **
Glucosa (82 °Bx)	12.375	
Miel (80 °Bx)	4.125	
Gelatina (300 Bloom)	2.4	
Agar (grado alimenticio)	0.6	
Sal	0.5	
TOTAL	100	

* Cantidad de agua utilizada para hidratar los hidrocoloides.

** Cantidad de agua utilizada para preparación de jarabe disolviendo azúcar refinada, sal, glucosa y miel.

3.2.10 Estudio de propiedades mecánicas a distinta humedad

Se midieron las propiedades mecánicas de fuerza de corte y TPA de las formulaciones elaboradas con distinta humedad, para lo cual se sometieron a un proceso de deshidratación acelerada, dentro de un horno convectivo modelo HCF-45 (Aparatos de Laboratorio BG, México) a una temperatura de 35 °C por un tiempo total de treinta horas, tomando muestras por quintuplicado para las pruebas de fuerza de corte y TPA respectivamente cada tres horas. Al ser retirados los malvaviscos de la estufa, se almacenaron en bolsas con cierre hermético, se etiquetaron y se depositaron en un desecador para evitar una migración de agua por veinticuatro horas antes de las pruebas mecánicas.

3.2.11 Análisis estadístico

El análisis estadístico se elaboró con ayuda del software OriginPro® 8 (Origin Lab Corporation®, Northampton, Massachusetts, EUA). Se realizaron pruebas estadísticas ANOVA con un $\alpha = 0.05$ % para determinar si existían diferencias significativas entre las formulaciones. En caso de que existiera diferencia, se realizó una prueba de Tukey para saber en qué fórmulas se presentaba.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1 Propiedades fisicoquímicas

La actividad de agua y la humedad son dos factores importantes que influyen en la calidad, procesamiento, vida de anaquel, cambios químicos, propiedades de textura y sensoriales de los productos de confitería.

En el Cuadro 8 se muestran los valores promedio de humedad y actividad de agua (a_w) obtenidos en las formulaciones desarrolladas. Cabe mencionar que ambos parámetros fueron medidos veinticuatro horas después de su producción.

El contenido de humedad y actividad de agua aumentó en las fórmulas con miel o agar con respecto a la FB. Fontana (2005), reporta que la humedad de un malvavisco se encuentra en un intervalo de 12 a 20 %, mientras que su actividad de agua es 0.60 a 0.75. Sin embargo, no se indica el tiempo posterior a la elaboración en la que se midieron estos valores, por lo que podría ser un factor atribuible a esta diferencia con las formulaciones elaboradas.

En las fórmulas FA y FMA, la sustitución de agar por gelatina es de 10 % de la proporción original de la FB. En estas formulaciones se observó un mayor contenido de humedad y actividad de agua. Al utilizar dos hidrocoloides en la formulación se logra tener una mayor retención de agua en su elaboración. Somboon, Karrila, Kaewmanee & Karrilla (2014), estudiaron la sinéresis de geles de gelatina y agar de manera individual y una mezcla de ambos. Ellos observaron que este efecto se ve disminuido al utilizar ambos hidrocoloides, pero con una mayor proporción de gelatina que de agar.

El análisis estadístico indicó que únicamente existe diferencia significativa de la FB con la FMA con respecto a ambos parámetros fisicoquímicos.

Cuadro 8. Resultados de propiedades fisicoquímicas para fórmulas de malvavisco (n = 3).

Fórmula	Abreviación	Humedad (g agua/100g malvavisco)	a _w
Base	FB	20.55 ± 0.57 ^a	0.726 ± 0.007 ^a
Gelatina-agar	FA	21.44 ± 0.30 ^a	0.740 ± 0.001 ^a
Glucosa-miel-gelatina	FGM	21.69 ± 0.21 ^a	0.740 ± 0.001 ^a
Glucosa-miel-gelatina-agar	FMA	21.96 ± 0.14 ^b	0.758 ± 0.001 ^b

^{a y b} Superíndices que indican diferencia significativa (Prueba de Tukey, P < 0.05)

4.2 Secado de malvaviscos

La Figura 8 muestra cómo disminuye la humedad de las formulaciones de malvavisco estudiadas a una temperatura de 35 ± 5 °C en un periodo de treinta horas.

La FB presentó una disminución de la humedad de 20.55 g agua/100 g malvavisco a 6.38 g agua/100 g malvavisco; la FA de 21.43 g agua/100 g malvavisco a 8 g agua/100 g malvavisco. Por otro lado, la FGM pasó de 21.69 g agua/100 g malvavisco a 7.29 g agua/100 g malvavisco y finalmente la FMA de 21.95 g agua/100 g malvavisco a 6.76 g agua/100 g malvavisco.

Las variaciones observadas en las curvas pudieron deberse a los cambios en la temperatura de secado ocasionada por la desviación presentada por el equipo (35 ± 5 °C). Además, el secado se realizó en un lapso de tres días hasta completar un total de treinta horas (8.5 h/día, aproximadamente), almacenando los malvaviscos en bolsas con cierre hermético y en un desecador cada vez que se suspendió la prueba. La temperatura de secado del malvavisco es un parámetro muy importante, ya que el producto puede sufrir cambios en su estructura física al fundirse y químicamente pueden desencadenarse reacciones de caramelización o de Maillard (Food Crumbles, 2017).

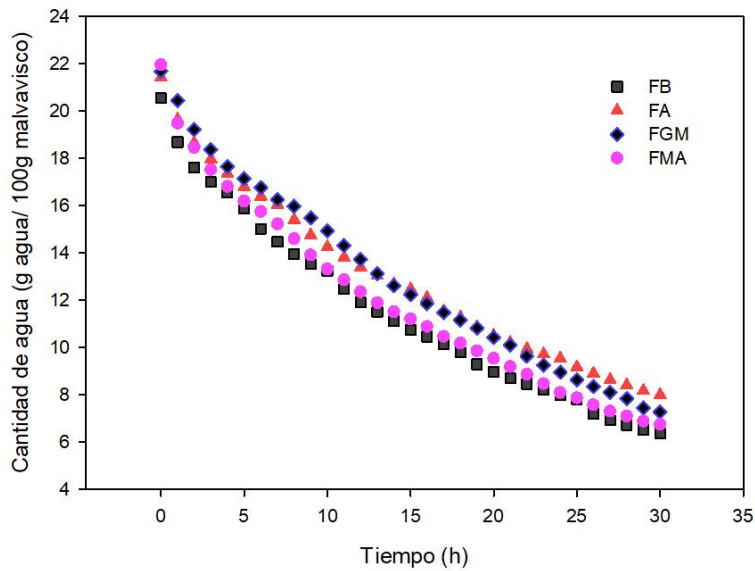


Figura 8. Secado de malvaviscos ($T= 35 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.3 Propiedades mecánicas a humedad inicial

4.3.1 Fuerza de corte de fórmulas de malvavisco para humedad inicial

En la Figura 9 se puede observar la fuerza de corte (N) que presentaron las formulaciones estudiadas.

La fórmula FA disminuye en un 3.2 % la fuerza de corte respecto a FB. Esto se debe a que el agar tiende a formar geles más quebradizos que la gelatina (Joachim & Schloss, 2016). De igual forma, la FGM, obtuvo un decremento de 7.2 % respecto a FB, derivando en una mayor suavidad en el producto y por lo tanto facilitando la fractura de éste.

Dado lo anterior, era esperado que la fuerza de corte en la fórmula FMA, también se viera reducida (16 % con respecto a FB). Sin embargo, el análisis estadístico indicó que no existía diferencia significativa en ningún caso.

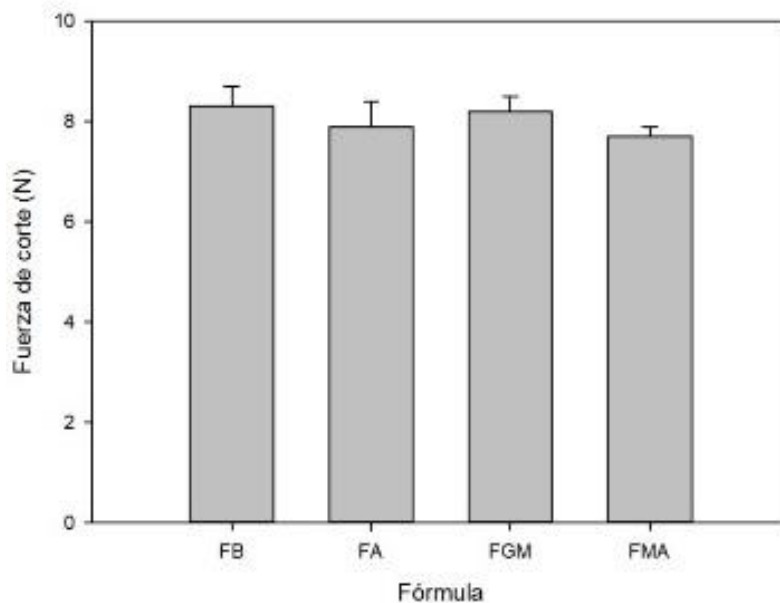


Figura 9. Fuerza de corte para formulaciones de malvavisco (n = 5).

4.3.2 Análisis de Perfil de textura (TPA) de fórmulas de malvavisco a humedad inicial

Los parámetros de dureza, masticabilidad y gomosidad (Figuras 10, 11 y 12) presentaron el mismo comportamiento observado en la prueba de corte (Figura 9), donde las fórmulas FA, FGM y FMA, mostraron un decremento con respecto a la FB, mismo que coincide con lo observado por Horiuchi & Sugiyama (1987). Estadísticamente, no se detectó diferencia significativa para los parámetros de dureza, masticabilidad y gomosidad de las formulaciones con respecto a FB.

De igual forma, los parámetros de elasticidad y cohesividad se encontraron en un intervalo de 0.93 a 0.97 sin diferencia significativa.

Al no tener cambios significativos en la cohesividad y elasticidad, la masticabilidad y la gomosidad eran dependientes directamente de la dureza de las formulaciones, por lo cual al disminuir ésta, era esperado que ambos factores también presentaran una reducción aparente.

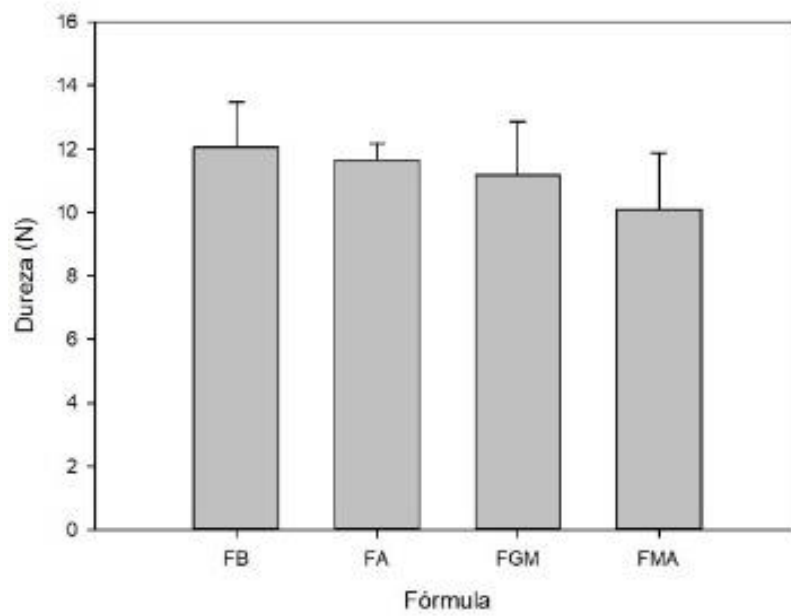


Figura 10. Dureza de fórmulas de malvavisco (n = 5).

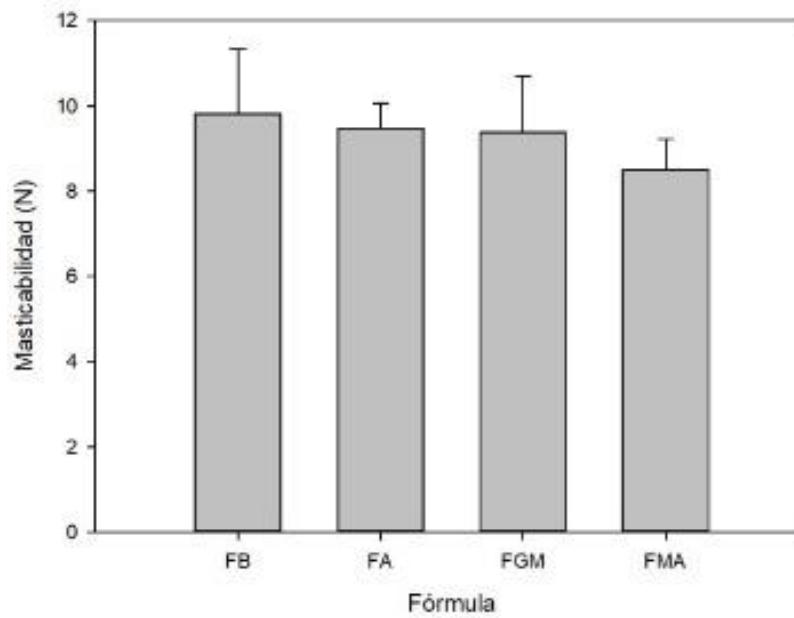


Figura 11. Masticabilidad de fórmulas de malvavisco (n = 5).

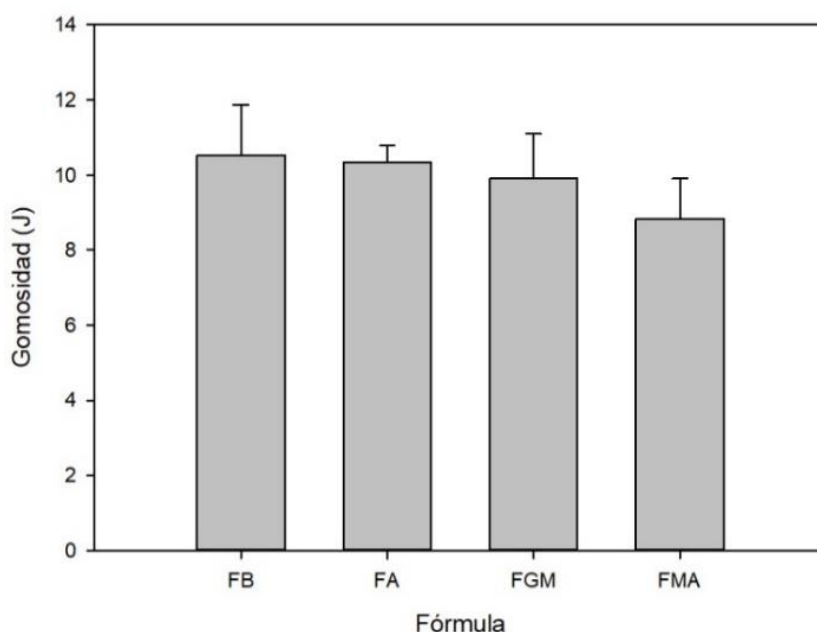


Figura 12. Gomosidad de fórmulas de malvavisco (n = 5).

Al no tener diferencia significativa en las propiedades mecánicas de fuerza de corte y TPA de las fórmulas elaboradas con sustitución parcial de gelatina y/o glucosa con respecto a la FB, las fórmulas fueron consideradas como una alternativa a ésta y aptas para el estudio y comparación de su comportamiento en un proceso de deshidratación acelerada.

4.4 Propiedades mecánicas para distinta humedad

4.4.1 Fuerza de corte para fórmulas de malvavisco para distinta humedad

Los malvaviscos comerciales tienen una vida de anaquel entre veinte y cuarenta semanas dependiendo de la temperatura y la humedad del lugar de almacenamiento. Sin embargo, la calidad del malvavisco se ve deteriorada principalmente debido a su endurecimiento, el cual puede ocurrir por una variedad de posibles mecanismos como la cristalización de azúcares asociada con su pérdida de humedad o reacciones de entrecruzamiento (Fanek, Fava & Huang, 2012). Además, se cree que la formulación de malvavisco afecta la velocidad de cambio de una espuma suave y elástica a una espuma dura y arenosa (Lees, 1991; Groves, 1995).

Las Figuras 13, 14 y 15, muestran la comparación de fuerza de corte a distinta humedad entre la fórmula base y las distintas fórmulas desarrolladas.

El análisis estadístico indicó que todas las formulaciones al ser sometidas a un proceso de deshidratación acelerada ($T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) por tres horas, presentan un cambio significativo respecto a la fuerza de corte inicial. Es decir, una reducción en la humedad inicial en un 8-10 %, hace al malvavisco más duro y por lo tanto se requiere una mayor fuerza para realizar el corte.

Al comparar únicamente la fuerza de corte de las fórmulas sin tomar en cuenta el análisis estadístico, se observó que la FMA presentó una menor resistencia al corte al disminuir la humedad de las formulaciones, lo cual pudo deberse a que, al añadir un polisacárido, en este caso agar, se mejora la estabilidad de la espuma generada por una proteína (gelatina) en la elaboración de malvavisco. Los polisacáridos pueden interactuar con proteínas para formar complejos de proteína-polisacárido que pueden aumentar tanto la rigidez de la interfaz como la actividad superficial de la proteína. Tales interacciones proteína-polisacárido tenderían a retardar la pérdida de humedad del producto (Schmidt, Novales, Boué & Axelos, 2010).

Además, es importante considerar que la humedad de cada fórmula es diferente, factor que podría influir en el comportamiento obtenido.

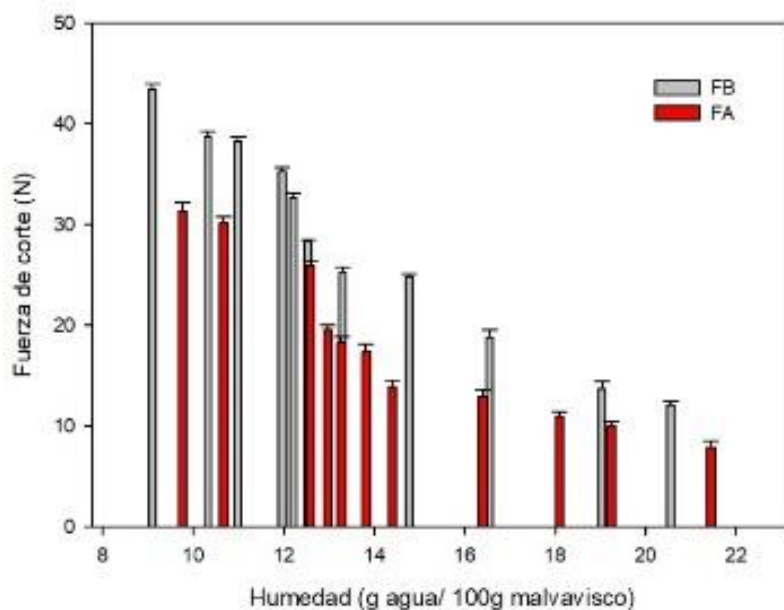


Figura 13. Fuerza de corte FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($n = 5$).

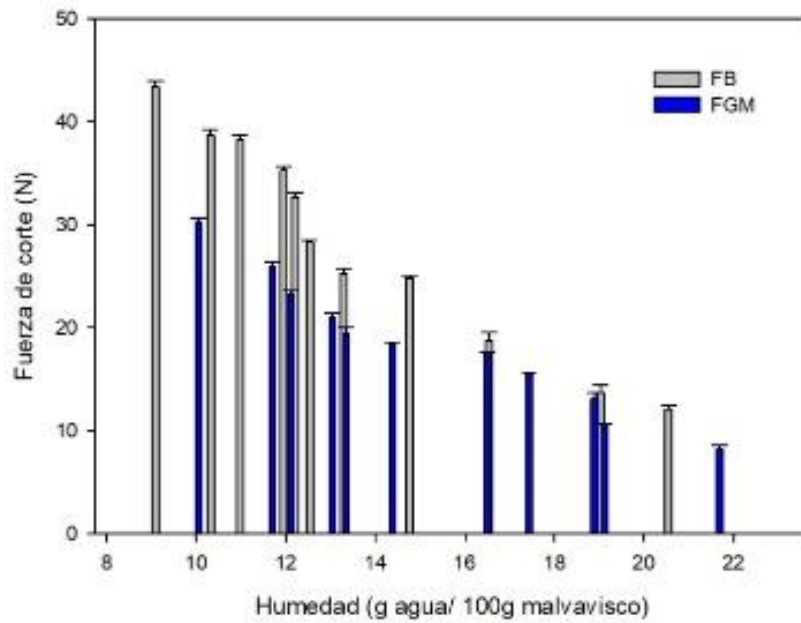


Figura 14. Fuerza de corte FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

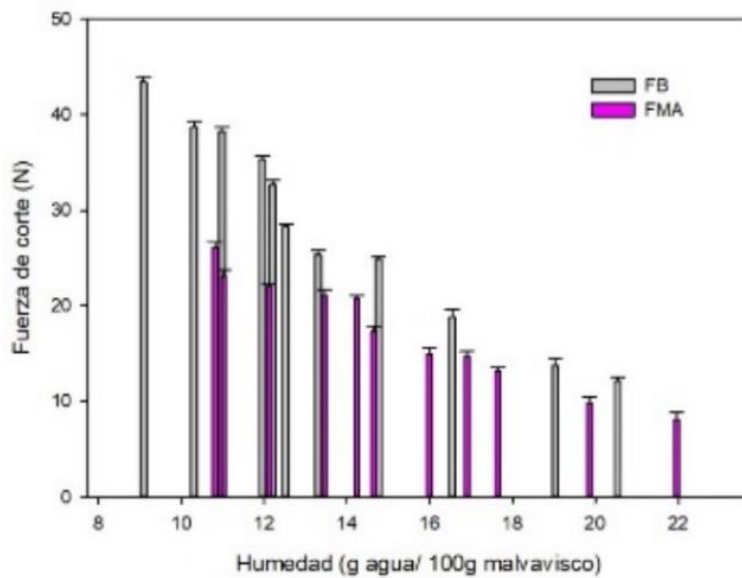


Figura 15. Fuerza de corte FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

4.4.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA) para fórmulas de malvavisco a distinta humedad.

La dureza es el parámetro más importante en el perfil de textura de un malvavisco, ya que las personas que lo consumen desean que éste sea suave y por lo general, se relaciona con la frescura del producto.

En las Figuras 16 a 18 se presenta el comportamiento obtenido de la dureza a distinta humedad de las muestras de malvavisco para las formulaciones estudiadas en un intervalo de 30 h a 35 °C, en donde se comprobó la relación que existe entre estos factores. Todas las fórmulas presentaron la misma tendencia, donde al disminuir la humedad, la dureza aumentaba significativamente.

Diversos estudios (Kirtil et al., 2017; Tan & Lim, 2008) han obtenido resultados similares, en los cuales se ha demostrado la influencia que tiene la humedad relativa del ambiente sobre la actividad de agua del producto, derivando en cambios en la suavidad del producto. Además, Edmond (2000), mencionó que este tipo de comportamiento puede ser un indicativo de la cristalización del azúcar.

La masticabilidad (Figuras 19 a 21) fue alterada significativamente al disminuir la cantidad de agua en las formulaciones. Con base a las definiciones dadas por Pineda (2015), se puede determinar que, al existir estos cambios, se requeriría una mayor fuerza para desintegrar el alimento.

De igual forma, la gomosidad (Figuras 22 a 24) también presentó un aumento con diferencia significativa a valores menores de humedad en todas las formulaciones, lo cual significa que se requeriría una mayor energía para desintegrar el alimento.

Finalmente, los parámetros de cohesividad y elasticidad se encontraron en un intervalo de 0.93 a 0.97 sin diferencia significativa. Al no tener cambios, el malvavisco conserva la capacidad de deformación y de recuperar su forma original al disminuir la humedad.

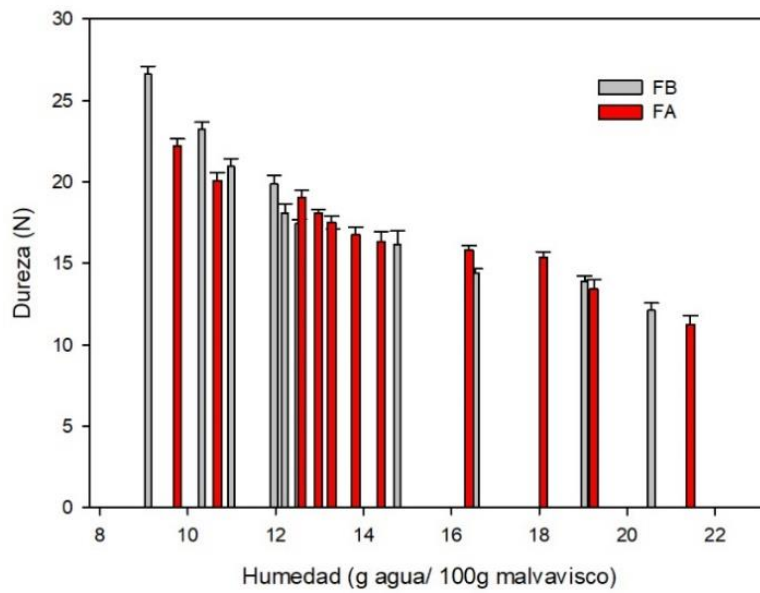


Figura 16. Dureza FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

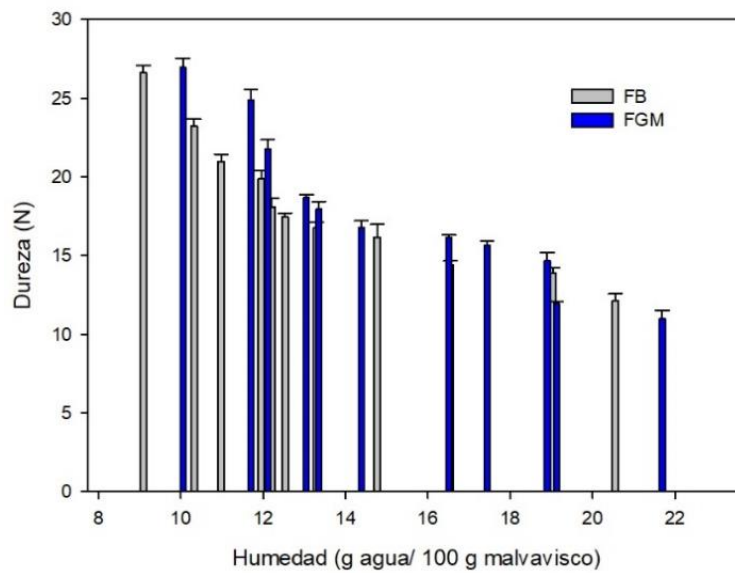


Figura 17. Dureza FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

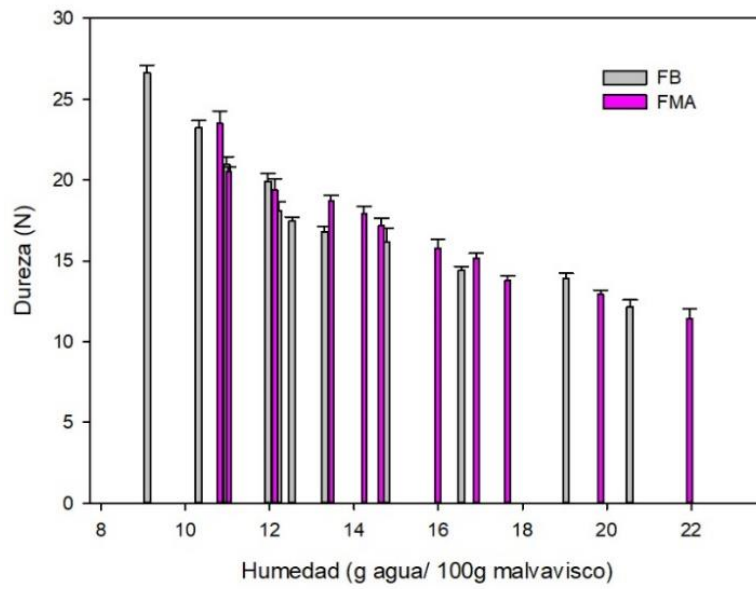


Figura 18. Dureza FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

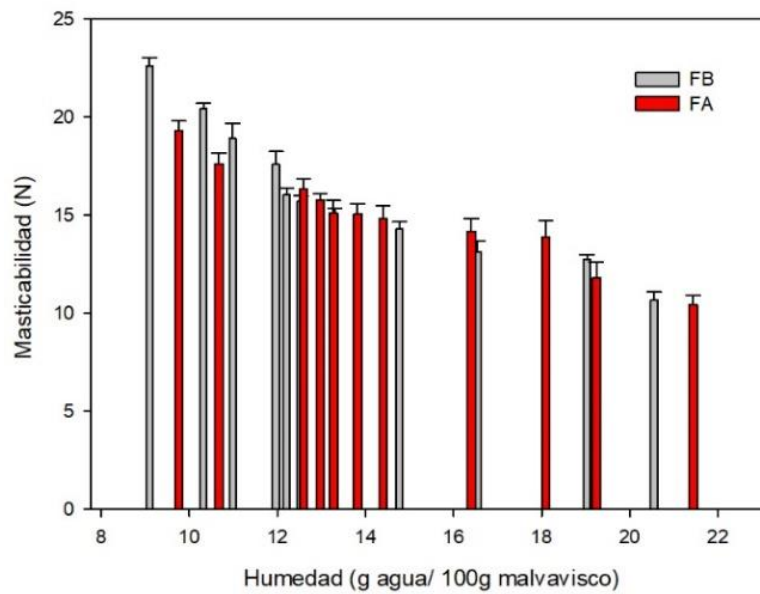


Figura 19. Masticabilidad FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

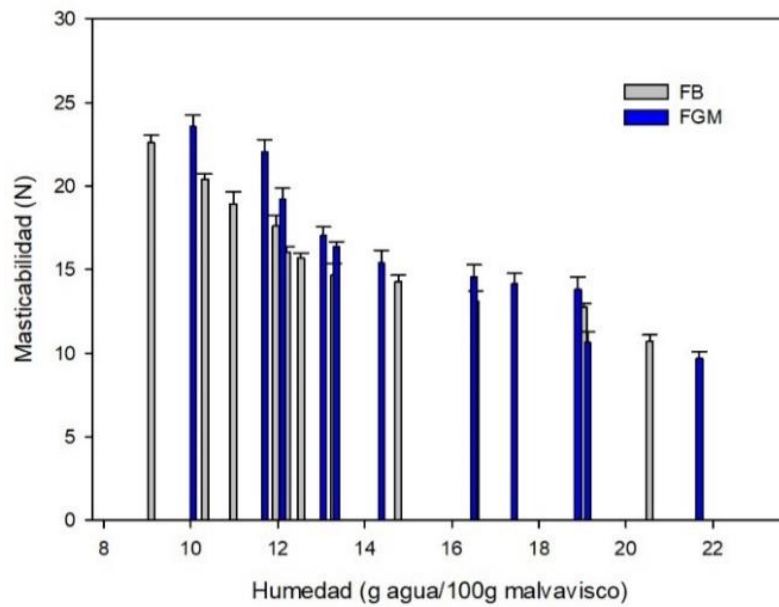


Figura 20. Masticabilidad FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

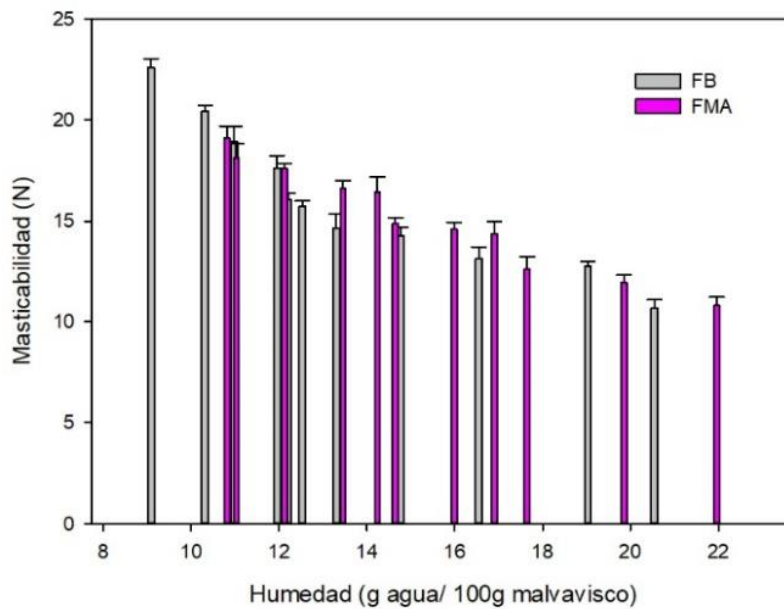


Figura 21. Masticabilidad FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

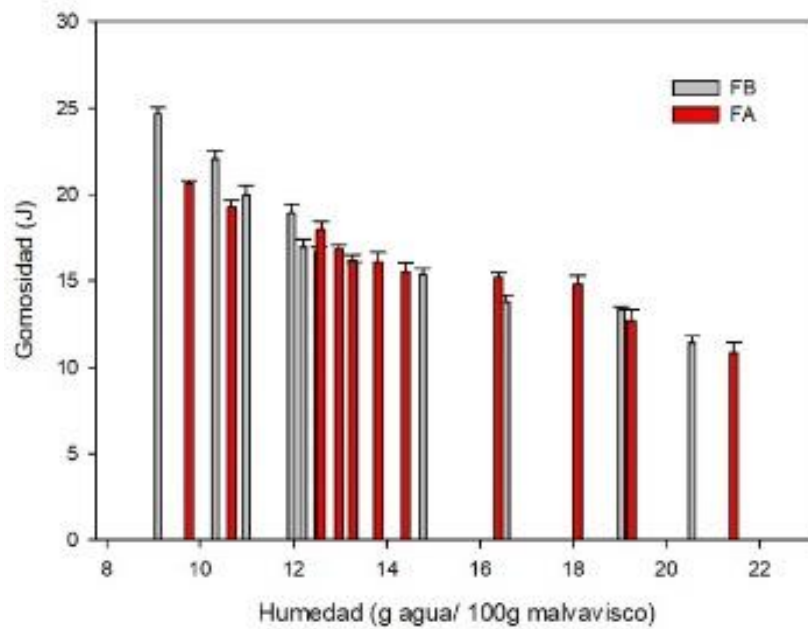


Figura 22. Gomosidad FB vs FA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

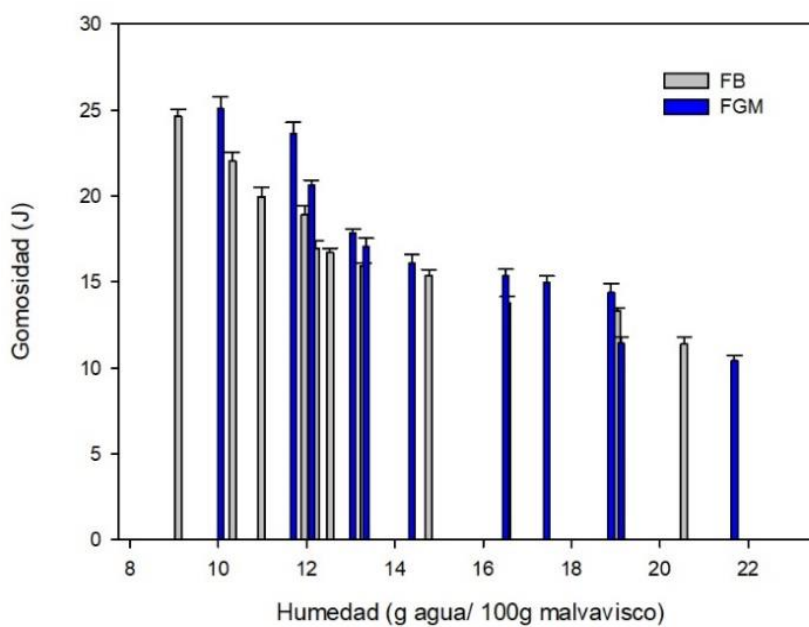


Figura 23. Gomosidad FB vs FGM a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

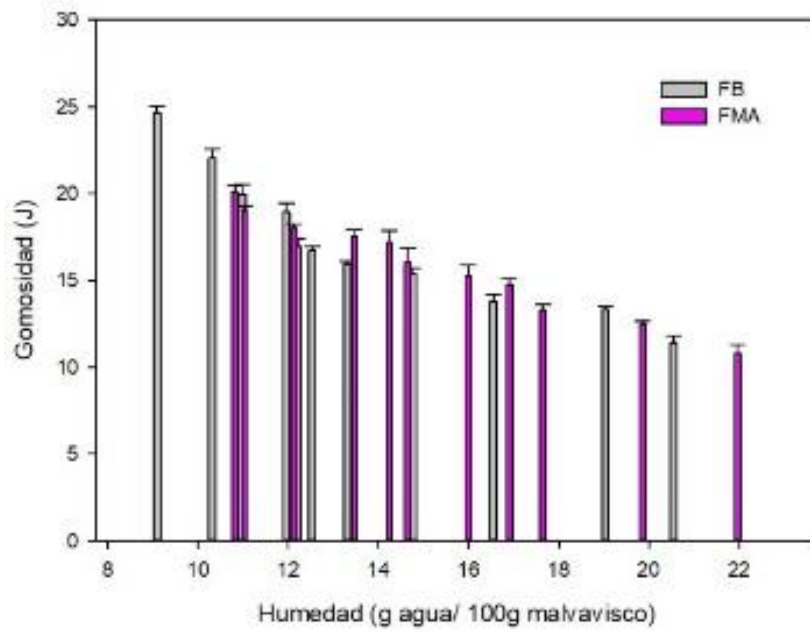


Figura 24. Gomosidad FB vs FMA a distintos valores de humedad tras proceso de deshidratación acelerada a 35 °C (n = 5).

Capítulo 5. Conclusiones

El uso de agar o miel en sustitución parcial de gelatina y glucosa puede ser considerado como una alternativa en la elaboración de malvavisco, ya que se conserva las propiedades de textura de éste. Además de ampliar la gama de ingredientes para su producción y proporcionar un valor agregado al producto al utilizar agentes de origen natural.

Las pruebas mecánicas son suficientemente sensibles para detectar cambios en el perfil de textura de malvavisco y por lo tanto pueden ser usadas como indicadores de calidad en este producto.

Los parámetros de perfil de textura: dureza, masticabilidad y gomosidad, además de la fuerza de corte, presentaron cambios significativos con respecto a la fórmula base al disminuir la humedad medida en el producto, por lo que es posible concluir que ésta tiene una influencia directa en las propiedades de textura de malvavisco.

Con base a los comportamientos observados a lo largo de las pruebas mecánicas realizadas, se puede inferir que la fórmula gelatina-miel-agar (FMA) tiene una mayor capacidad para mantener la suavidad a lo largo del almacenamiento, sin embargo, presenta cambios estadísticamente significativos de los parámetros fisicoquímicos de humedad y actividad de agua con respecto a los obtenidos por la fórmula base (FB).

Dado lo anterior, se definió que la fórmula con mejores características es la fórmula gelatina-glucosa-miel (FGM), ya que fue capaz de mantener una mejor suavidad que la fórmula base (FB) sin presentar cambios significativos a humedad inicial con relación a todos los parámetros fisicoquímicos y de textura analizados, es decir, conserva todas las propiedades iniciales del malvavisco.

Estudios complementarios sugeridos

Para profundizar más sobre el estudio de los cambios que se presentan en el malvavisco durante su vida de anaquel se sugieren los siguientes estudios:

- Método de difracción de rayos X para determinar el grado de cristalización de la sacarosa.
- Microscopia electrónica de barrido que permita observar cambios en la estructura interna del malvavisco.
- Microcalorimetría Diferencial de Barrido (μ DSC) para determinar temperatura de transición vítrea (T_g) en los sistemas azúcar/gelatina y azúcar/agar.

Capítulo 6. Referencias

Asia Pacific Food Industry (2017), Water Activity and Quality In Confectionery. Recuperado de (<https://apfoodonline.com/industry/water-activity-and-quality-in-confectionery/>). Fecha de consulta 26 de febrero de 2019.

Bellis, M. (2019), The History of Marshmallows, Recuperado de (<https://www.thoughtco.com/history-of-marshmallows-1991773>). Fecha de consulta 10 de agosto de 2019.

Braden & Petruso (sin fecha), Marshmallow. Recuperado de (<http://www.madehow.com/Volume-3/Marshmallow.html>). Fecha de consulta 10 de agosto de 2019.

Buera, M. del P., Welti-Chanes, J., Lillford, P. & Corti, H. (2006), Water Properties of Food, Pharmaceutical, and Biological Materials, Taylor & Francis Group, USA, págs. 325-326.

Chi Pung, A. (2014), Sugar Chemistry of Hard Candies. Recuperado de (<http://blogs.discovermagazine.com/scienceandfood/2014/10/28/sugar-chemistry-of-hard-candies/#.XH2ic4hKjIV>). Fecha de consulta 26 de febrero de 2019.

Codex Stan 12-1981. Codex Norma para la miel.

Edmond, J. (2000). The Effects of Ingredients on the Glass Transition Temperature, Tg, and the Shelf Life of Marshmallow. Honours Thesis, Dunedin: University of Otago.

Eggleston, G., Salassi, M., Richard, E. & Birkett, H. (2007), Sustainability of the sugar industry: Future value addition from sugarcane. International Sugar Journal 109, 415–432.

EPSA, Aditivos Alimentarios, S.A. (2013), Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad, Tecnifood. La Revista de la Tecnología Alimentaria, 97-99.

Ergun, R., Lietha, R. & Hartel, R.W. (2010), Moisture and Shelf life in Sugar Confections. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 162-192.

Estrada, K. (2019), Propiedades reológicas, texturales, fisicoquímicas y térmicas de jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis y jarabes de maíz comerciales. Tesis que para obtener el título de Ingeniería en Alimentos, UNAM, México, pág.24.

Fanek, H., Fava, C. & Huang, E. C, (2012), Determination of effective diffusion coefficient of water in marshmallow from drying data using finite difference method. *International Food Research Journal*, 1351-1354.

Food Crumbles, (2017), Science of roasting marshmallows-Over a campfire or barbecue. Recuperado de (<https://foodcrumbles.com/roasting-marshmallows-science-over-a-campfire/>). Fecha de consulta 26 de febrero de 2019.

Food Techonology Corporation (Sin fecha), Shear Test Methods. Recuperado de (<http://www.foodtechcorp.com/shear-test-methods>). Fecha de consulta 23 de mayo de 2018.

Fontana, A. (2005), Water Activity for Confectionery Quality and shelf life, Decagon Devices Inc., USA.

Gareis, H. & Schrieber, S. (2007). *Gelatin handbook: theory and industrial practice*. Wiley-VCH GmbH & Co.

González, A. (2008), Elaboración de un malvavisco con ginseng relleno de jalea de tamarindo, Proyecto de Investigación Curricular, IPN, México, pág. 32.

Groves, R. (1995). Technology and techniques in marshmallow production. *Candy Industry*, 160, 46–53.

Hartel, R., von Elbe, J. & Hofberger,R. (2017), *Confectionery Sciencie and Technology*, Editorial Springer, USA.

Hernández, C. (1998), La elaboración del malvavisco, Tesis que para obtener el título de Químico, UNAM, México.

Hernández, T. (2012), Efecto de las interacciones proteína.proteína (clara de huevo-soya, suero de leche y grenetina) en una espuma sólida, Tesis que para obtener el título de Ingeniería en Alimentos, UNAM, México.

Hleap, J. & Velasco V. (2010), Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol. 8(2), 46-56.

Horiuchi, H. & Sugiyama, J. (1987), Mechanical and Structural Properties of Agar-Gelatin Mixed Gels, Agricultural and Biological Chemistry., 51 (8), 2171 -2176.

Hull, P. (2010), Glucose Syrups. Technology and applications, Editorial Wiley-Blackwell, Reino Unido, pág.150.

Jha, M. (2003), Modern Technology of Confectionery Industries with Formulae & Processes, Asia Pacific Business Press Inc., India.

Joachim, D. & Schloss, A., (2016), The Science of Gelatin, Fine Cooking #132, pp. 28-29.

Kirtil, E., Aydogdu, A., & Oztop, M. H. (2017). Investigation of physical properties and moisture sorption behaviour of different marshmallow formulations. Acta Horticulturae, 243-248.

Kleiner, L. (2016), Sugar reduction in confectionery and related applications, Journal of Nutritional Health & Food Engineering, Vol. 4(2):392–393.

Kumar, C. S. S. R. (2005), Biofunctionalization of Nanomaterials, Vol I, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Alemania, pág.332.

Lees, R. (1991). Fundamental principles in the production and characteristics of foam confectionery products. Confectionery Production, 57, 210–211.

Lees, R. & Jackson, E.B. (1973). Sugar Confectionery and Chocolate Manufacture. Plymouth: Clarke, Doble, & Brendon Limited.

Madhavan, S. (2015), A Review on Hydrocolloids-Agar and Alginate. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 7, 704-707.

Marcus, J.B. (2013), Culinary nutrition: the science and practice of healthy cooking. Chapter 2- Food Science Basics: Healthy Cooking and Baking Demystified, Academic Press, USA, págs.. 51-97.

Nollet, L.M. L. (1996), Handbook of Food Analysis, M. Dekker, New York.

Norma Mexicana NMX-F-036-981. Miel de Abeja. Especificaciones. Norma Mexicana. Dirección General de Normas. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"., Secretaría de Salud, México.

Novasina AG (2010), Novasina. The Art of Precision Measurment. LABSWIFT. Operating Instructions, Novasina AG, Suiza.

Peng, S., Ling, N., Wei, S., Anisa, Y., Suan, L. (2016), Classification of Honey from Its Bee Origin via Chemical Profiles and Mineral Content. Food Analytical Methods, Vol. 10, 1-12.

Periche, A.; Heredia, A., Escriche R., Grau, A., Castellón M. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. Food Science and Technology, Vol.62, 605-612.

Pineda, A. (2015), Propiedades físicas y mecánicas de pan integral: efecto de la adición de xantana sobre su envejecimiento, tesis de Licenciatura, UNAM, México.

Reis, D. (2007), Empleo de Almidones en confitería. Recuperado de (<http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/handle/123456789/3792/M000459.pdf?sequence=5&isAllowed=y>). Fecha de consulta 9 de agosto de 2019.

Schmidt, I., Novales, B., Boué, F. & Axelos, M.A.V. (2010), Foaming properties of protein/pectin electrostatic complexes and foam structure at nanoscale. Journal of Colloid and Interface Science, 35(2), 316-324.

Science, B. (2012), Sweet Science: Making Marshmallows, Scientific American, recuperado de (<https://www.scientificamerican.com/article/bring-science-home-marshmallows/>). Fecha de consulta 24 de mayo de 2018.

Somboon, N., Karrila, T.T., Kaewmanee & Karrila, S.J., Properties of gels from mixed agar and fish gelatin. International Food Research Journal 21(2), 485-492, 2014.

Tan, J. & Lim, M. (2008), Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows, *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 43, 1699–1704.

Texture Technologies Corp. And Stable Micro Systems, Ltd. (sin fecha), Overview of Texture Profile Analysis. Recuperado de (<http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#settings-and-standards>). Fecha de consulta 24 de mayo de 2018.

Thompson, A. (2018), Marshmallow trends: Clean labels, unique flavors. Recuperado de (<https://www.candyindustry.com/articles/88346-marshmallow-trends-clean-labels-unique-flavors>). Fecha de consulta 28 de Julio de 2019.

Varshosaz, J., Zaki, M., Minaltan, M. & Banoozadeh, J. (2015), Preparation, Optimization, and Screening of the Effect of Processing Variables on Agar Nanospheres Loaded with Bupropion HCl by a D-Optimal Design, *BioMed Research International*.