



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

Evaluación de las propiedades gelificantes y
estabilizantes del mucílago de *Salvia hispánica L.* en
una mermelada de fresa y piña

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Juan Antonio Aguilar Alcibar

ASESORES:

Dr. Martín Ramón Porras Godínez

I. A. Miriam Edith Fuentes Romero

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Evaluación de las propiedades gelificantes y estabilizantes del mucilago de *Salvia hispánica* L. en una mermelada de fresa y piña

Que presenta el pasante: **Juan Antonio Aguilar Alcibar**

Con número de cuenta: **413109479** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de junio de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	Dr. Martín Ramón Porras Godínez	
1er. SUPLENTE	I.A. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	
2do. SUPLENTE	I.Q. Guillermo Martínez Morua	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/javg



Agradecimientos

A la *Universidad Nacional Autónoma de México*, por haberme permitido la formación académica dentro de sus instalaciones.

A la *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*, por darme las herramientas para desarrollar con excelencia mi profesión.

Al *Taller de Físicoquímica de Alimentos*, por brindarme el espacio para poder desarrollar la parte experimental de la tesis.

A mi asesor de tesis, el *Dr. Martín Ramón Porras Godínez*, por su inestimable apoyo brindado en mis pasos por el taller y por el tiempo otorgado en la realización de mi tesis.

A mi co-asesora de tesis, la *I.A. Miriam Edith Fuentes Romero*, a quien tuve el privilegio de conocer y me otorgo sus conocimientos durante el transcurso de mi carrera, y por el apoyo y tiempo brindado para este proyecto.

A la *Dra. Elsa Gutiérrez Cortez*, por la donación del mucílago de *Salvia hispánica L.*

A mis *Sinodales*, por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

A mi *Familia*, por guiar mi camino y hacer que cada día conozca nuevos horizontes, debo de reconocer que su apoyo y amor incondicional han logrado que hoy culmine una etapa muy importante en mi vida.

Gracias a todos los que han colaborado en este proyecto, en un pedazo de mi vida, y lo han hecho más significativo para mí. Mi más sincero agradecimiento.



Dedicatorias

Hoy volteo atrás, para darme cuenta que todo encaja, que cada cosa que he hecho y cada persona que he conocido, han aportado su granito de arena para ser lo que hoy soy. No hay nada que un hombre no sea capaz de hacer, cuando alguien sigue y/o a poya tus pasos. Por eso quiero dedicar este trabajo

A mi mamá, *Josefina Alcívar*, tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es invaluable, haz guiado mis pasos desde el primer día en que nos conocimos, todo lo que soy es por ti, tus consejos sabios, encaminaron mi ser, a lo que soy hoy, me otorgaste; consuelo cuando la tristeza tocaba mi puerta, paciencia para enseñarme las lecciones de la vida, pero sobre todo me enseñaste que un buen hombre es hijo de una gran mujer. Todo te lo debo a ti.

A mi papá, *Juan Aguilar*, han pasado varios años desde que te dieron la noticia de mi existencia y te aseguro que desde ese momento e incluso antes, has tenido la fortaleza para limpiar el camino que hoy cruzo y de antemano te quiero agradecer el apoyo que me has dado y el esfuerzo que has tenido para nuestra familia.

¡Quiero ser como tú!, dentro de medio siglo, tener la mitad de tus conocimientos.

A mis hermanos, *Luis, Manuel y Alejandro*, se dice que el hermano mayor es el encargado de guiar a los menores, pero no es así, ustedes me han guiado y dado la fuerza para concluir las metas que me propongo. Los quiero ver triunfar.

A mi novia, *Zaira Hernández*, la vida se encarga de poner personas importantes en mi camino, y tú eres una de ellas, te agradezco el tiempo que has compartido conmigo, las palabras y sobre todo, el nunca dejarme que me rindiera. Gracias amor.



Índice general

	Paginas
Resumen.....	1
Introducción.....	2
Capítulo 1. Antecedentes.	3
1.1. <i>Salvia hispánica L.</i>	3
1.2. Mucílago de <i>Salvia hispánica L.</i>	10
1.3. Alimentos funcionales	14
1.4. Sistemas dispersos.	16
1.5. Coloides.	17
1.6. Geles.....	19
1.7. Proceso de elaboración de las mermeladas en la industria	30
1.8. Piña.....	36
1.9. Fresa.....	37
Capítulo 2. Propiedades Fisicoquímicas	38
2.1. Potencial electrostático.	38
2.2. Propiedades funcionales del mucílago de la <i>Salvia hispánica L.</i>	42
2.3. Propiedades texturales.....	47
2.4. Inestabilidad de geles.....	50
Justificación.....	53
Capítulo 3. Objetivos.	54
3.1. General.	54
3.2. Particulares.	54
3.3. Hipótesis.	54

Capítulo 4. Materiales y Métodos.....	55
4.1. Materiales.....	55
4.2. Métodos	55
Capítulo 5. Resultados y Discusión.....	60
5.1. Determinación del pH.....	60
5.2. Determinación del ° Brix.....	62
5.3. Determinación del potencial Z.....	63
5.4. Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA).....	64
5.5. Evaluación de la capacidad de hinchamiento (CH).	66
5.6. Determinación de la capacidad de formación de geles (CG).	67
5.7. Evaluación de los parámetros de adhesividad.	69
Conclusiones.....	74
Referencias	75

Índice de figuras

Figura 1. Planta de la <i>Salvia hispánica L.</i>	4
Figura 2. Morfología de la chíá.....	5
Figura 3. Estructura monomérica del mucílago de chíá.	10
Figura 4. Sistema disperso coloidal.....	17
Figura 5. Estados colapsado e hinchado de un gel.....	20
Figura 6. Formación de geles.....	21
Figura 7. Fenómenos generales de la gelificación	23
Figura 8. Interacciones en los geles.....	24
Figura 9. Tipo de geles.....	25
Figura 10. Estructura de la pectina.....	27
Figura 11. Estructura molecular de la pectina de alto metoxilo	28
Figura 12. Estructura molecular de la pectina de bajo metoxilo	29

Figura 13. Diagrama de procesos para la mermelada.	32
Figura 14. Partículas Cargadas.....	38
Figura 15. Capa interfacial	39
Figura 16. Potencial Z teórico del Mucílago	41
Figura 17. CRA del xiloglucano de tamarindo	43
Figura 18 capacidad de hinchamiento del xiloglucano	44
Figura 19. Clasificación de atributos de textura.....	47
Figura 20. Propiedades adhesivas.	49
Figura 21: División del contenido del agua en un producto.....	51

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonómica de <i>Salvia hispánica L.</i>	3
Tabla 2. Composición química de algunas semillas.....	6
Tabla 3. Porcentaje de aminoácidos en la semilla de chía.....	8
Tabla 4. Composición química del mucílago	12
Tabla 5. Clasificación de los coloides.....	18
Tabla 6. Agentes gelificantes	26
Tabla 7. Formulación de mermelada tradicional.....	31
Tabla 8. Contenido de pectina en los diferentes frutos.	35
Tabla 9. Composición química de la piña.....	36
Tabla 10. Composición química de la fresa	37
Tabla 11. CG de la harina de <i>mung vean</i>	46
Tabla 12. Formulaciones de las 4 mermeladas.....	56
Tabla 13. pH de las diferentes muestras analizadas.....	60
Tabla 14. ° Brix de las diferentes muestras analizadas.....	62
Tabla 15. CG de la chía.	68
Tabla 16. Propiedades adhesivas de las mermeladas.	69
Tabla 17. Sinéresis de las mermeladas comercial y las cuatro formulaciones.....	72

Índice de grafico

Grafico 1. Potencial Z del Mucílago de chía	63
Grafico 2. CRA del mucílago de chía	65
Grafico 3. Capacidad de hinchamiento del mucílago.	66
Grafico 4 Prueba de adhesividad en las mermeladas	70

Resumen

En la actualidad la industria alimentaria de México y el resto del mundo están en constante investigación para descubrir nuevos aditivos de origen natural, que otorguen algunas propiedades funcionales, mayor aporte nutritivo y proporcione algún bien al organismo del consumidor, de tal manera resalta el mucílago de la chía o *Salvia hispánica L.*, dada la situación anterior, se desarrolló un gel de mucílago de chía, con el objetivo de evaluar las propiedades gelificantes y estabilizantes en una mermelada de fresa y piña

Para poder dar respuesta a este problema se llevó acabo, en primer paso, un estudio fisicoquímico, para determinar el potencial Z y la capacidad de retención del agua, la capacidad gelificante y la capacidad de hinchamiento, realizándolo en 0.2 y 3 g de Mucílago, con la modificación del pH y la temperatura, y así poder seleccionar la concentración adecuada para formar el gel, a continuación se realizó una estandarización de los frutos a base del pH y ° Brix, para poder desarrollar las mermeladas de fresa y piña, se utilizó como base las normas mexicanas (NMXF-127-1982. Y NMX-F-131 -1982), para desarrollar las mermeladas de fresa y piña, con dos formulaciones, una testigo y la otra con la adición del 3 % del mucílago de la chía y así poder estudiar la funcionalidad en el sistema mediante pruebas fisicoquímicas, texturales y de estabilidad.

Posteriormente al revisar los resultados se encontró que el mucílago de la *Salvia hispánica L.* puede ser utilizado para mejorar la consistencia y es capaz de reducir la sinéresis en la elaboración de mermeladas, esto debido, que en pH menores a 3.5 y una temperatura de 90 °C desarrolla sus propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y formación de gel), también se observó que puede ser usado para reducir la cantidad de azúcar presentes en las formulaciones de mermeladas, esto debido, que en una mermelada comercial se utiliza más del 50% de azúcar, mientras que en la experimental solo se usó un 38.2%.

Introducción

En la actualidad México cuenta con aproximadamente 119 millones de habitantes (INEGI, 2015), de los cuales el 15.8 % padece de diabetes, de entre los 20 y 79 años, mientras que el promedio de los países miembros de la OCDE es de 7% (OCDE, 2017). Estos antecedentes han despertado la exigencia del consumidor por nuevos productos con mayor calidad, con el aprovechamiento de materias primas naturales (Baño *et al.*, 2017). En este contexto, se ha posicionado a la chía, como una de las semillas con alto poder funcional, por sus altos niveles de aceite omega-3, proteínas, antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra dietética (18-30%) (Xingú *et al.*, 2017 y Reyes *et al.*, 2008). Esta fibra contiene mucílagos, que se hace presente al dejarse reposar en agua y pueden ser utilizado como fibra dietética o añadirla y dar consistencia a mermeladas, jaleas, yogures, mostazas y salsas tártara (Busilacchi *et al.*, 2015).

Algunos autores han efectuado estudios sobre las propiedades funcionales de la *Salvia hispánica L.*, entre ellos los efectuados por Baño *et al.*, (2017), quienes probaron si había un efecto en las propiedades sensoriales, fisicoquímicas y el rendimiento en la mortadela con la agregación de chía, en la cual, se probaron cuatro formulaciones, siendo, una testigo y tres niveles de variación de la harina de chía (1, 3 y 5%), el autor concluye que hay una mejora significativa en el sabor, textura y en el porcentaje de fibra, convirtiéndolo en un alimento funcional. En otros estudios, Chambi *et al.*, (2017), emplearon al mucílago de chía, como un estabilizante en jugos de fresa, en el cual concluyeron que tiene propiedades funcionales como estabilizante, debido a su alto contenido de fibra soluble aislada; por lo tanto, es un ingrediente funcional que puede mejorar la calidad de un alimento como; néctares de frutas, mermeladas o jaleas, entre otros.

Dada la situación anterior, en el presente trabajo tiene como objetivo, evaluar el efecto de la adición del mucílago de la *Salvia hispánica L.* en la estabilidad de una mermelada de fresa y piña, mediante pruebas fisicoquímicas y texturales, para desarrollar un gel con características de alimento funcional.

Capítulo 1. Antecedentes.

1.1. *Salvia hispánica L.*

Salvia hispánica L. conocida comúnmente como chía, deriva de la adaptación española al término náhuatl chían o chien (plural), término que en náhuatl significa “semilla de la que se obtiene aceite” (Y. Ixtaina, 2010). Es una especie anual nativa de Centroamérica, de zonas montañosas del oeste y centro de México, así como de Guatemala. Se encuentra naturalmente en áreas de bosques de encino o pino-encino y se distribuye en ambientes semiáridos y templados del Eje Neo volcánico Transversal de las Sierras Madre Occidental y del sur de Chiapas, en altitudes que oscilan entre 1 400 y 2 200 m donde se ubica el centro de diversidad genética y fenotípica de chía silvestre y domesticada (Xingú *et al.*, 2017).

Botánicamente, la chía fue clasificada por Carlos Lineo en 1753, quien la llamó *Salvia hispánica L.* que en Latín significa planta española que salva (Sosa *et al.*, 2016). En la **Tabla 1** se muestra con detalle la jerarquía taxonómica de la *Salvia hispánica L.*, según Y. Ixtaina, (2010).

Tabla 1. Taxonómica de *Salvia hispánica L.*

Reino	Vegetal
División	<i>Magnoliophyta o Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida o Dicotyledoneae</i>
Orden	<i>Lamiales</i>
Familia	<i>Lamiaceae</i>
Subfamilia	<i>Nepetoideae</i>
Tribu	<i>Mentheae</i>
Genero	<i>Salvia L.</i>
Especie	<i>Salvia hispánica L.</i>

Es una planta herbácea anual de 1 a 5 m de altura, ramificada y frecuentemente con base leñosa; tallos verdes, en ocasiones pigmentación púrpura, con densos tricomas simples blancos y glándulas sésiles anaranjadas que contienen aceites esenciales en los pelos glandulares de sus hojas y tallos, motivo por el cual han sido domesticadas para ser utilizadas como condimentos y en la elaboración de perfumes (Y. Ixtaina, 2010; Di Sapio *et al.*, 2012). Las hojas miden de 8 a 10 cm de longitud y 4 a 6 cm de ancho, se encuentran opuestas con bordes aserrados y color verde intenso. Las flores son hermafroditas de un tono violeta-celeste o blanco, pedunculado y reunido en grupos de seis o más, en verticilos sobre el raquis de la inflorescencia (Gutiérrez *et al.*, 2014) ver **Figura 1**.



Figura 1. Planta de la *Salvia hispanica* L.

- **Características fisicoquímicas de la semilla**

El fruto, al igual que otras especies de la familia *Lamiaceae*, es típicamente un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar 4 mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas”, los cuales son mono pérmico, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos (Y. Ixtaina, 2010).

En la **Figura 2** se muestra la *Salvia hispánica* conocida como: *Salvia* española, artemisa española, chía negra, chía mexicana, o simplemente chía, estas semillas son pequeñas con forma ovalada y achatada, miden entre 2 a 2,5 mm de largo, entre 1,2 a 1,5 mm de ancho y 0,8 a 1 mm de espesor. Su coloración va de café oscuro a negro, a veces gris o blanco; las semillas blancas son de mayor peso, ancho y espesor que las oscuras y la capacidad de desarrollar un mucílago cuando se hidrata. Posee además una superficie lisa y brillante (Di Sapia *et al.* 2012, Muñoz, 2012 y Rovati *et al.*, 2012).

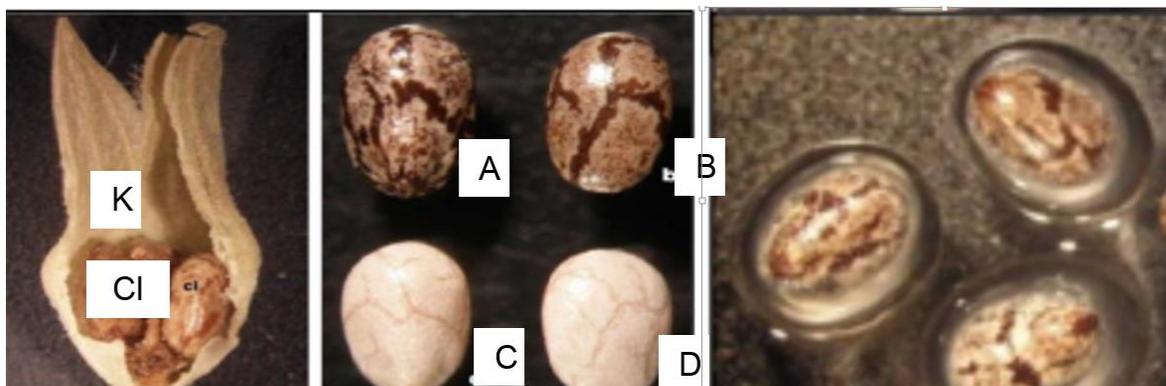


Figura 2. Morfología de la chía

En la figura anterior se esquematiza la morfología de la semilla de chía o *Salvia hispánica* L. en donde en la parte izquierda se puede encontrar la semilla, denotada con las letras “Cl” y al cáliz señalada con la letra “K”, en la figura de en medio están las semilla de chía oscura (A y B) y la blanca(C y D), se puede observar las cara; dorsales (A y C) y ventrales (B y D), en la imagen izquierda, se encuentra el mucílago, en la parte exterior de la semilla, este hidrocoloide se hace presente cuando el pseudo cereal es hidratado con algún líquido, comúnmente agua (Di Sapia *et al.* 2012).

- **Composición química**

Las semillas limpias y secas se pueden mantener durante años ya que contienen antioxidantes que previenen el deterioro de los aceites esenciales contenidos en el interior. (Muñoz, 2012). En la **Tabla 2** se muestra una comparación de composición química (proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra, minerales y energía) de la semilla de chía, arroz, cebada, avena, trigo y maíz, propuesta por Y. Ixtaina, (2010).

Tabla 2. Composición química de algunas semillas

Composición	Energía (kcal)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	CHO (%)	Fibra (%)	Minerales (%)
Chía	550.00	21.00	30.50	20.00	23.50	5.00
Arroz	358.00	6.50	0.5	79.1	2.80	0.50
Cebada	354.00	12.50	2.30	73.50	17.30	1.70
Avena	389.00	16.90	6.90	66.30	10.60	1.70
Trigo	339.00	13.70	2.50	71.10	12.20	1.80
Maíz	365.00	9.40	4.70	74.30	3.30	1.20

La producción, consumo y demanda de chía en México y a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años, por ser una fuente de aceite con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados y compuestos fenólicos, vitaminas y minerales (calcio, potasio, magnesio, fósforo, selenio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc), pero sobre todo a su alto contenido de aceite omega 3 en comparación con otras fuentes naturales conocidas hasta la fecha (Xingú *et al.*, 2017). En la comparación de los cereales enlistados en la **Tabla 2** se muestra, que la chía es un cereal que aporta un mayor contenido de energía y de; proteínas, grasas, hidratos de carbono, minerales y fibra (23.5% es de fibra dietética). A continuación, se describe brevemente cada nutriente de la chía.

- **Aceites y ácidos grasos.**

El contenido de aceite presente en la semilla de chía es de alrededor de 33%, el cual representa el mayor porcentaje de ácido α -linolénico (62 a 64%), así como el tenor más elevado (82,3%) de ácidos grasos esenciales (ácidos α -linolénico y linoleico), seguido por el cártamo, el lino y el girasol con 75, 72 y 67%, respectivamente. Los aceites de colza (67%) y de oliva son altamente insaturados (82%) debido al gran contenido de ácido oleico, pero con un bajo tenor de ácidos grasos poliinsaturados (27 y 11%, respectivamente). Actualmente, se disponen en el mercado de cuatro fuentes de ácidos grasos ω -3. Las dos más importantes en volumen de producción son las asociadas al pez menhaden (*Brevoortia tyrannus*) y la semilla de lino, mientras que las fuentes minoritarias son la semilla de chía y las algas marinas (Y.Ixtaina, 2010).

- **Vitaminas y minerales**

La semilla de chía es fuente importante de; *vitamina C*, que contribuye en la formación e hidroxilación del colágeno y protege las células del estrés oxidativo mediante la supresión de la producción de radicales libres por irradiación UV, asimismo disminuye los daños en la piel ocasionados por estos rayos., *vitamina E*, una de las funciones más importantes de esta vitamina es su acción antioxidante que protege de los radicales libres a los lípidos tisulares, específicamente de membranas, no obstante, tiene otras funciones como regular la proliferación celular y la acción fagocítica en el sistema inmunológico. Estos efectos se vuelven relevantes en el envejecimiento, ya que se ha reconocido que conforme los mamíferos aumentan la edad, hay una disminución progresiva de la actividad del sistema inmunológico y la *vitamina A*, actúa como antiinflamatorio, lucha contra las bacterias que producen el acné, regulariza los procesos de la piel, ayuda a corregir condiciones de sequedad y deshidratación, colabora en la rápida cicatrización de las heridas (Carrillo et al., 2017).

- **Proteínas**

La semilla de chía aporta el 21% de proteínas, mientras que otros cereales, aportan menos del 16%. En la **Tabla 3** se puede observar el porcentaje de aminoácidos presentes en 16 g de la semilla de chía, propuesta por Ixtaina, (2010)

Tabla 3. Porcentaje de aminoácidos en la semilla de chía.

Aminoácidos	%	Aminoácidos	%
Acido aspártico	7.64	Leucina	5.89
Treonina	3.43	Tirosina	2.75
Serina	4.86	Fenilalanina	4.73
Acido glutámico	12.40	Histidina	4.44
Glicina	4.22	Arginina	2.57
Alanina	4.31	Prolina	8.90
Valina	5.10	Metionina	0.36
Cistina	1.47	Iseleucina	3.21

La chía presenta un porcentaje significativo de aminoácidos esenciales. Entre los que se pueden destacar; arginina y prolina, por disminuir las pérdidas de nitrógeno activando los linfocitos T (los cuales activan la formación de macrófagos y fibroblastos); a nivel cutáneo, interviene en la síntesis de colágeno favoreciendo la cicatrización, ayuda en la replicación celular y la respuesta inmunitaria, también colabora en la pigmentación, la circulación sanguínea y la lipólisis (liberación de óxido nítrico), por otro lado, la tirosina aparte de tener propiedades antioxidantes es precursora de cisteína y melanina (*Carrillo et al., 2017*)

- ***Fibra dietética y carbohidratos.***

Hidratos de carbono y fibra dietética de la semilla de chía contiene en torno a un 43.5% de hidratos de carbono, de los cuales el 20% son carbohidratos disponibles, mientras que el contenido de fibra dietética ronda en los 23.5%, que a su vez se subdividen en fibra insoluble y soluble (Ugena, 2015).

La *fibra dietética insoluble*, se encuentra presente en un 90-94% del 23.5 % de fibra dietética total compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, y son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, lo cual produce un aumento del volumen de la masa fecal, acelerando el tránsito intestinal y la *fibra dietética soluble*, se encuentra presente en un 6-10% del 23.5 % de fibra dietética total, al ser colocada en un medio acuoso, forma un retículo donde ésta queda atrapada, dando lugar a soluciones de gran viscosidad, secretando un polisacárido mucilaginoso que rodea la semilla, difícilmente cuantificables, integrado a su vez por azúcares neutros y ácido glucurónico. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte de su potencial anti-carcinogénico, mediante la disminución de la absorción intestinal de ácidos grasos, colesterol y el arrastre de sales biliares, aumentando la pérdida de colesterol a través de las heces, además de inhibir la síntesis endógena de colesterol y la desaceleración de la digestión y la absorción de nutrientes. Dada la capacidad de la fibra dietética soluble de formar geles, tiene la propiedad de retardar la evacuación gástrica, lo que a su vez hace más eficiente la digestión y absorción de los alimentos, generando una mayor sensación de saciedad. Se ha informado que el consumo de este mucílago ayuda a la digestión y que, junto con la semilla, constituye una fuente de alimento nutritivo (Ugena, 2015, Capitani, 2013 y Muñoz, 2012).

1.2. Mucílago de *Salvia hispánica* L.

Los términos “gomas” y “mucílagos” son empleados como sinónimos. Sin embargo, son diferentes, las *gomas* son sustancias que liberan las plantas como protección frente a una lesión o debido a condiciones climáticas adversas tales como la sequía y los *mucílagos* son polisacáridos hidrosolubles constituyentes normales de los vegetales y semillas, producto de su metabolismo y se acumulan en células especiales dentro de los tejidos. Los *mucílagos* no exudan de forma espontánea desde los vegetales, teniendo que recurrirse en muchas ocasiones a la trituración y/o a la utilización de disolventes para su extracción. Son extraídos regularmente con agua fría o caliente, además de ser insolubles en alcohol (Chambi *et. al.*, 2017). Los mucílagos, por su composición y sus propiedades, son capaces de absorber, en algunos casos, más de cien veces su peso en agua (Peña, 2017)

El mucílago de la semilla de chía es un polisacárido de alto peso molecular aproximadamente de 800-2000 kDa, se encuentra en las tres capas exteriores de la cubierta de la semilla, cuando la semilla es puesta en un medio acuoso exuda el polisacárido mucilaginoso que lo rodea. El mucílago de semilla de chía es un polvo blanco que se aísla de la capa externa de las semillas de chía (Timilsena *et al.*, 2016). En la **Figura 3** se muestra la estructura monomérica de mucílago de chía.

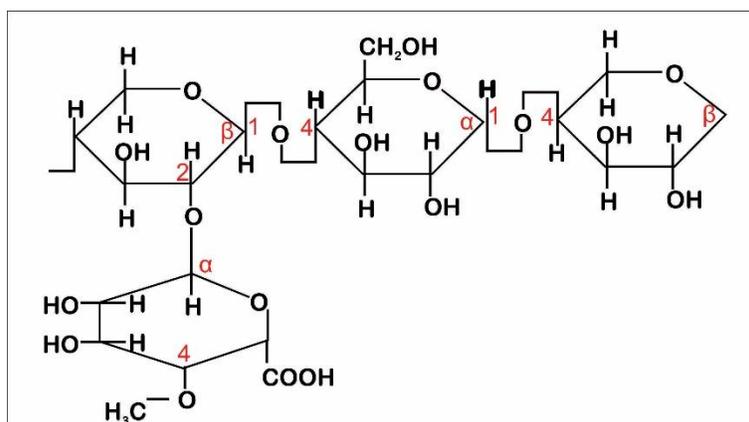


Figura 3. Estructura monomérica del mucílago de chía.

Dependiendo de las variedad, edad, condiciones ambientales de crecimiento y estructura empleada para la extracción, entre otros factores, el mucílago de chía constituye de 4 a 6% de la masa seca de la semilla, de la cual el 93,8% son carbohidratos, conteniendo a la xilosa, glucosa, arabinosa, galactosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico como unidades monosacáridos, cuya cadena principal se encuentra compuesta por (1→4)-β-D-xilopiranosil-(1→4)-α-D-glucopiranosil-(1→4)-β-D-xilopiranosil con ramificaciones en la posición O-2 de β-D-xilopiranosil de la cadena principal. Como se mencionó anteriormente, el contenido de ácido urónico es característico de estos compuestos, siendo para el mucílago del chía aproximadamente un 25% (Timilsena *et al.*, 2016 y Muñoz, 2012).

- ***Extracción del mucílago de la Salvia hispánica L.***

El proceso de obtención del mucílago de la semilla de chía parece ser sencillo, por tratarse de un hidocoloide soluble en agua. Sin embargo, presenta etapas críticas de operación tales como la de llevar a cabo la separación de las semillas del líquido gelatinoso donde se encuentra el mucílago. Debido a que retiene en su estructura una elevada proporción de líquido, se dificultan los procesos de escurrido y de deshidratación, por lo que se requiere el uso de alcohol como solvente para precipitar el mucílago o bien la separación por centrifugación (Chambi *et al.*, 2017).

Un método muy utilizado para obtener el mucílago de la *Salvia hispánica L.* es el de extracción sólido-líquida, por ser utilizado para las preparaciones en pequeña escala. El proceso clásico de maceración consiste en dejar la materia prima en contacto con el solvente durante minutos, con agitación ocasional, para lograr la completa hidratación y así evitar su aglomeración. Posteriormente, se separa la semilla con la fase acuosa, y así poder disolver la fase acuosa con alcohol como solvente para precipitar el mucílago y realizar una filtración al vacío para eliminar parte del agua y obtener el mucílago coagulado, consecutivamente se realizar un secado para eliminar el alcohol y así obtener el mucílago (Chambi *et al.*, 2017 y Guzmán, 2014).

- **Valor nutricional del mucílago de la *Salvia hispánica L.***

El mucílago de la semilla de chía contiene una cantidad significativa de fibra dietética, que se encuentra en mayores proporciones en comparación con otras frutas y semillas que el sistema digestivo no puede digerir. La ingesta de mucílago de chía, sólo o en combinación con la semilla, ha demostrado tener influencia en el metabolismo de lípidos, mediante la disminución de la absorción intestinal de ácidos grasos, colesterol y el arrastre de sales biliares, aumentando la pérdida de colesterol a través de las heces, además de inhibir la síntesis endógena de colesterol y la desaceleración de la digestión y la absorción de nutrientes (Chambi *et al.*, 2017).

Además, al formar parte de la fibra dietética soluble, forma geles de alta viscosidad que producen la distensión gástrica, el enlentecimiento del vaciado gástrico y brinda sensación de saciedad, convirtiéndose en un alimento nutritivo (Chambi *et al.*, 2017). En la **Tabla 4** se muestra, la composición química del mucílago de la *Salvia hispánica L.*, propuesta por Espinosa, (2017).

Tabla 4. Composición química del mucílago

COMPONENTES	%
Humedad	6.84
Carbohidratos	52.79
Proteínas	27.02
Minerales	5.95
Lípidos	7.40

Se conoce, que el mucílago de la chía, es un alto contribuyente de carbohidratos, en forma de fibra dietética, la cual ayuda a regularizar el tránsito intestinal, reduce los lípidos, la glucemia en diabéticos, entre otros beneficios. Por ello se utiliza como apoyo en los tratamientos para la pérdida de peso. Un estudio reveló que el consumo de mucílago de chía durante doce semanas en personas con sobrepeso

y obesidad favoreció significativamente la reducción de peso, la circunferencia de la cintura y mejoró el perfil lipídico, básicamente disminuyó el colesterol total y el aumento de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad). También contiene minerales, de ellos los más importantes en los diferentes procesos de la piel son zinc, cobre y selenio. Por su parte el zinc y el cobre son esenciales como metaloenzima, protegen contra la foto-dermo-envejecimiento, pues limitan la penetración de la radiación, ya que absorben los rayos UV e inhiben la actividad antimicrobiana, por ello son útiles en el tratamiento de acné. El zinc al igual que el cobre, el selenio y algunas vitaminas también son antioxidantes que favorecen la disminución del estrés oxidativo. Por otro lado, el calcio colabora en la proliferación de células en la epidermis de los mamíferos. Es importante en la diferenciación y maduración funcional de los fibroblastos cuando se presenta una herida, lo que se demuestra en la primera fase de la proliferación de éstos, debido a que el calcio aumenta bruscamente y durante la fase de remodelación disminuye, por lo tanto el calcio participa en la cicatrización y curación de heridas (Carrillo et al., 2017)

- ***Usos industriales del mucílago de la semilla de chía***

De acuerdo con Capitani, (2013), Moht *et al.*, (2012) y López *et al.*, (2011), en la actualidad, el uso de la semilla de chía, como del aceite, mucílago o la harina, es utilizado, en la industria alimentaria de varios países, incluyendo Estados Unidos, Canadá, Chile, Australia, Nueva Zelanda y México en productos de pan, cereales, barras, bocadillos de galletas, jugos de frutas, pasteles, yogur, entre otros alimentos. El mucílago de chía se ha posicionado como un ingrediente funcional, ya que tiene propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y capacidad de gelificación), denominadas así por su posible asociación con efectos fisiológicos benéficos en el organismo, conocidas también como propiedades fisicoquímicas (capacidad de controlar el colesterol y la prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad).

En este contexto existe una nueva gama de alimentos conocidos como alimentos funcionales (Sloan, 2000).

1.3. Alimentos funcionales

Los alimentos son todos aquellos productos sólidos o líquidos, de origen natural, semi-procesados o procesados, los cuales están compuesto de cantidades variables de agua, proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales y otros compuestos, incluidos los que imparten sabor y color, cuya ingestión es inocua en las circunstancias habituales de consumo, que al ser ingeridos, llegan a la sangre, nutren, reparan el desgaste, dan energía y calor al organismo sin perjudicarlo ni provocarle pérdidas de su actividad funcional (ANMAT, 2016, Badui, 2006, NOM-043-SSA2-2005 y CAE, 1967).

El término, “alimentos funcionales” o FOSHU, abreviatura del inglés "Food with Specific Health Uses, surgió en Japón por primera vez en la década de los años '80, los cuales se caracterizan por tener efectos benéficos específicos en la salud del consumidor como resultado de sus ingredientes (prebióticos, probióticos, antioxidantes, ácidos grasos omega-3, ácido fólico, fito esteroles, fitoestrógenos, entre otros (Valenzuela *et al.*, 2014).

Los FOSHU se define como, un alimento o bebida que proporciona un macro nutriente con un efecto fisiológico específico o un micro nutriente esencial, pero también puede ser un componente alimenticio que aunque no tenga un alto valor nutritivo o no sea esencial, su consumo logre la modulación de alguna función en el organismo que reduzca el riesgo de enfermedad, o mejora el rendimiento físico o mental por la adición de un ingrediente funcional (Sarmiento, 2006 y Sloan, 2000)

- ***Tipo de alimentos funcionales.***

Este tipo de alimentos funcionales, se puede dar la eliminación o adición de un componente nocivo o benéfico para la salud del consumidor. Como es el caso de las grasas saturadas, un agente a eliminar; ya que está demostrado que el consumo de grasas saturadas y parcialmente hidrogenadas tipo trans favorece a un problema cardiovascular (Silveira *et al.*, 2003).

En los componentes a adicionar y que favorecen la salud del consumidor se podrá encontrar a los probióticos los cuales se definen como los microorganismos vivos (ácido láctico, *lactobacilos* y *bifidobacterias*) que cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio a la salud, prebióticos, son carbohidratos de cadena corta, se consideran como tal algunos fructooligosacáridos, povidexosa y algunos oligosacáridos de la soya y la avena, cuando son incorporados en la dieta alteran la microbiota intestinal disminuyendo los recuentos de coliformes, bacteroides y cocos, aumentando las bifidobacterias hasta en diez veces, y los simbióticos es la asociación de los prebióticos y probióticos, un ejemplo de estos sería; un preparados lácteos ricos en fibra fermentados por bifidobacterias. Se supone que dicha asociación proporciona efectos sinérgicos (Fuentes *et al.*, 2015 y Silveira *et al.*, 2003).

Otras sustancias de origen vegetal, en su mayor parte hidratos de carbono, no digeridas por las enzimas humanas y con la peculiaridad de ser parcialmente fermentadas por bacterias colónicas y que favorecen a la salud del consumidor son las fibras dietéticas y estas se pueden clasificar, según su capacidad de disociarse en agua; la “*fibra insoluble*” engloba a la celulosa, hemicelulosas y lignina. Como acciones funcionales se le atribuyen: el incremento del bolo fecal y el estímulo de la motilidad intestinal; la mayor necesidad de masticado y la “*fibra soluble*” está representada fundamentalmente por pectinas, gomas, mucílagos y algunas hemicelulosas; su principal característica es su capacidad para atrapar agua y formar geles viscosos, lo que determina su poder laxante. Asimismo, al incrementar significativamente la cantidad y consistencia del bolo fecal se consigue un efecto positivo en el caso de diarreas (Silveira *et al.*, 2003).

Además, se produce una disminución del proceso digestivo, del tránsito y de la absorción de hidratos de carbono y lípidos, así como una adicional sensación de plenitud. Ambos tipos de fibras se encuentran en proporciones variables en los alimentos, aunque de forma genérica puede decirse que la fibra insoluble predomina en los cereales enteros mientras que la soluble abunda en frutas, vegetales, tubérculos y pseudo cereales como la chía (Silveira *et al.*, 2003).

Ya sea, que se le adicione o no, a un producto un ingrediente funcional, llámese; fibra dietética, probióticos, prebióticos, entre otros. La mayoría de los alimentos son sistemas dispersos. Unos pocos son soluciones homogéneas, como el aceite de cocción y algunas bebidas, pero otros alimentos elaborados son estructuralmente complicados y contiene diferentes elementos estructurales de tamaño y estado de agregación que varían ampliamente: geles rellenos, espumas gelificadas entre otros, incluso la cerveza, contiene una espuma, que es una solución que contienen burbujas de gas, la leche es una disolución que contiene gotitas de grasa y agregados de proteínas, y varios geles están formados por una red de moléculas de polisacáridos que movilizan una disolución (Fennema, 2000).

1.4. Sistemas dispersos.

Un sistema disperso es aquel que está constituido por un gran número de partículas líquidas, sólidas o gaseosas de diferentes tamaños, inmersas en un fluido. En estos sistemas, una fase se dispersa en otras, de tal manera que pueden ocurrir diversos procesos; alguno de estos procesos, llamados de agregación producen un cambio en el número de partículas de una cierta clase o tamaño en función del tiempo (Salinas 1995).

Los sistemas dispersos se pueden clasificar de acuerdo a sus tamaños de partículas en los estados de dispersión. *Dispersión molecular o verdadera solución*; están formadas por una sola fase constituida por moléculas de peso molecular bajo, como son las sales y los azúcares que se disuelven rápidamente y de manera homogénea en el agua, con un tamaño de partícula menor a un nanómetro ($< 10 \text{ \AA}$), *dispersión gruesa*; estas dispersiones constan en partículas mayores y tienden a la sedimentación, con un tamaño de partícula de entre 1 a 100 nanómetros (10 a 1 000 \AA) y *dispersiones coloidales*; se caracterizan por estar integrados por dos o más fases: una discontinua y una fase dispersa, con un tamaño de partícula mayor a 100 nanómetro ($< 1\ 000 \text{ \AA}$) (Badui, 2006).

1.5. Coloides.

Una dispersión o coloide es un sistema de multifases no homogéneas en equilibrio. Específicamente un coloide consta de una o más fases dispersas o discontinuas (**Figura 4.**), contenidas en una fase continua (Badui, 2006). No llegan a formar una solución verdadera en la que se tenga una sola fase homogénea. Las propiedades de una dispersión o coloide son diferentes a las que presentan los componentes de cada fase por separado o en una solución verdadera. Un criterio importante para definir un sistema coloidal es el tamaño de las partículas de la fase dispersa o micelas. Se considera que la partícula coloidal es de un tamaño mayor a 100 nanómetros (Badui, 2006).

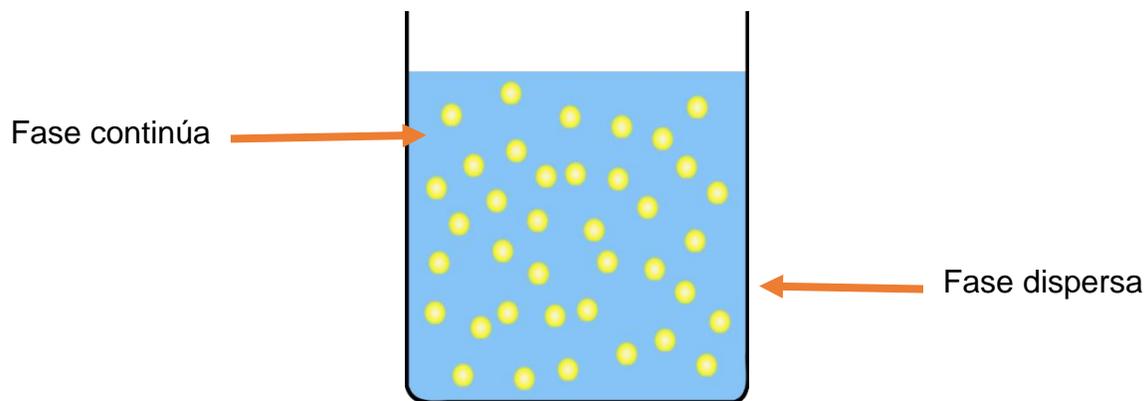


Figura 4. Sistema disperso coloidal

En general los coloides son sistemas de al menos, dos fases, una de ellas finamente dividida en pequeñas partículas (fase dispersa, fase discontinua) a las que rodea completamente la otra sustancia (fase dispersante, medio de dispersión, fase continua) (Peña, 2017). Todos los coloides poseen una carga eléctrica que puede ser positiva o negativa. La carga de las micelas en un coloide es del mismo signo y por lo tanto tienden a repelerse unas a otras, lo que evita su agregación y facilita que se mantengan en suspensión y distribuidas de una manera casi uniforme (Badui, 2006).

- **Clasificación de los coloides**

Los coloides se clasifican de dos maneras: *Con base en la afinidad entre las partículas de las fases que integran al coloide*, coloides irreversibles o los liófilos constan de dos (o más) fases y no se forman espontáneamente, un coloide reversible se forma «disolviendo» un producto en un disolvente adecuado (Badui, 2006 y Fennema, 2000). En los alimentos, la diferencia entre coloides reversibles e irreversibles no es siempre clara. Por ejemplo, una emulsión de aceite en agua es irreversible, en el sentido de que nunca se forma espontáneamente, pero si las gotas de aceite están cubiertas por una capa de proteína, las interacciones entre las gotículas pueden ser similares a las que se dan entre las partículas de proteína en disolución, es decir, a las de un coloide reversible y *por el estado físico de los componentes de la dispersión coloidal*, esta clasificación se basa en las características físicas de cada una de las fases (Rodríguez *et al.*, 2003). Para sistemas de dos fases no miscibles, los coloides se han clasificado en ocho categorías, como muestra en la **Tabla 5** (Badui, 2006).

Tabla 5. Clasificación de los coloides.

Coloide	Fase dispersa	Fase continua	Ejemplos
Sol Solido	Solido	Solido	Dulces y caramelo.
Emulsión	Liquido	Solido	Mantequilla, margarina, chocolate
Espuma solida	Gas	Solido	Algodón de azúcar, helados
Gel	Solido	Liquido	Jaleas, mermeladas, gelatinas
Emulsión	Liquido	Liquido	Leche, aderezo, mayonesa,
Espuma	Gas	Liquido	espuma de cerveza
Aerosol solido	Solido	Gas	Humo para alimentos
Aerosol liquido	Liquido	Gas	Nieblas

1.6. Geles

No existe una definición precisa del término gel, la descripción más usada, se refiere a ellos como materiales poliméricos entrecruzados en forma de red tridimensional de origen natural o sintético, que se hinchan en contacto con el agua formando materiales blandos y elásticos, y que retienen una fracción significativa de la misma en su estructura sin disolverse (Sáez *et al.*, 2003),

Pero para la química de los alimentos un gel es una malla tridimensional de partículas o macromoléculas interconectadas que atrapan e inmovilizan en su interior la fase continua, generalmente agua, que tiene diferentes grados de elasticidad y firmeza. La estructura tramada de los geles forma muchos puntos de contacto entre las partículas, por lo que la rigidez del gel está en función del número y de la fuerza de unión interpartículas que se presenta (Badui, 2006).

Una característica importante de los geles es que no se disuelven y solamente se hinchan, dependiendo de la estructura del polímero entrecruzado. El gel se podrá hinchar con solventes polares o no polares. Los geles que se hinchan con solventes polares como el agua, se denominan hidrogeles, y los que se hinchan con solventes no polares se denominan oleogeles, los cuales son utilizados para la encapsulación o confinamiento de lípidos (Carmona *et al.*, 2018).

También existen los bigeles, que son nuevas formulaciones semisólidas preparadas a base de dos geles iguales o diferentes (hidrogel y/o oleogel) a una alta velocidad de corte. Los bigeles difieren de las emulsiones, cremas y emulgeles ya que no requieren tensioactivos o emulsionantes. Los bigeles no muestran separación de las dos fases en un periodo de 6 a 12 meses a una temperatura ambiente durante. Se estabilizan atrapando las fases móviles a través de una red de gel tridimensional que da como resultado una dispersión extrafina (Singh *et al.*, 2014).

- **Transición de fase**

Los geles son unos materiales interesantes ya que presentan propiedades de líquidos y de sólidos. Las propiedades típicas de líquidos se deben a que el mayor constituyente de los geles es generalmente un líquido, por ejemplo, el agua. Por otro lado, los geles tienden a mantener su forma debido a que se encuentran entrecruzados formando una red, este aspecto representa la naturaleza sólida de los geles. Además de estos aspectos característicos de líquidos y sólidos, un gel puede cambiar su estado drásticamente, de modo similar a como un gas cambia su volumen. La **Figura 6** muestra esquemáticamente los dos posibles estados de un gel, el estado colapsado y el hinchado, el tránsito de estos dos estados se conoce como transición de fase (Sáez *et al.*, 2003).

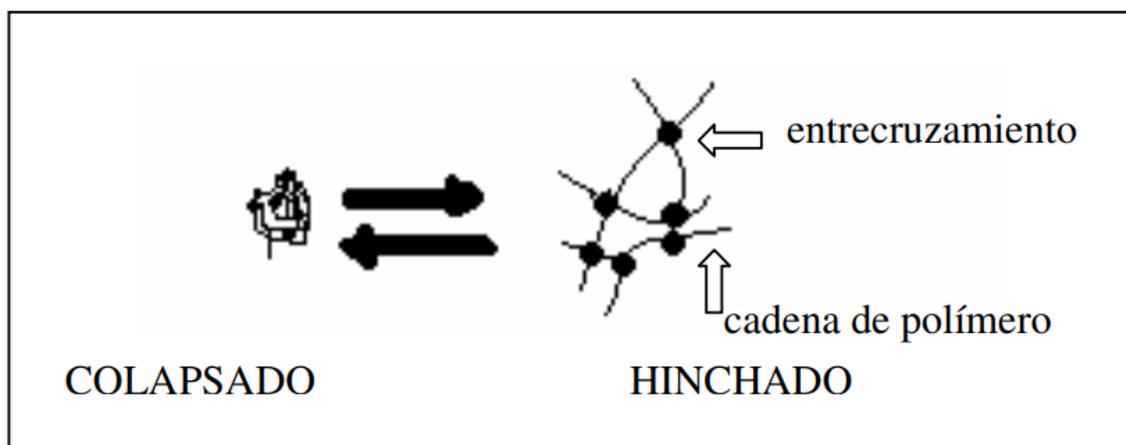


Figura 5. Estados colapsado e hinchado de un gel.

Myoga y Katayama (Myoga y Katayama, 1987) estudiaron las interacciones electrostáticas en geles poli (anfólitos), que contienen cationes y aniones en su estructura molecular. Observaron que a pH neutro se deshinchaban, mientras que a pHs diferentes (mayores y menores) se hinchaban. Por lo visto, a pH neutro todas las cargas están ionizadas y se atraen unas a otras de modo que el gel se

deshincha; por otro lado, si una de las cargas esta neutralizada y la otra esta ionizada el gel se hincha. Tanto las fuerzas de Van der Waals como la de los puentes de hidrógeno ocasionan un colapso a temperaturas bajas, mientras que las interacciones hidrófobas causan el efecto contrario (Sáez *et al.*, 2003).

- **Condiciones para la formación de gel**

Los geles se pueden clasificar según la naturaleza de las uniones de la red tridimensional; *geles químicos* (**6 A**), son aquellos en los que la red está formada a través de enlaces covalentes, este tipo de enlace es muy fuerte y su ruptura conduce a la degradación del gel, y los *geles físicos* (**6 B**), son aquellos en la cual tienen propiedades semejantes por entrecruzamiento físico de polímeros en los que la red está formada sin enlaces, solo entrecruzamientos (Sáez *et al.*, 2003).

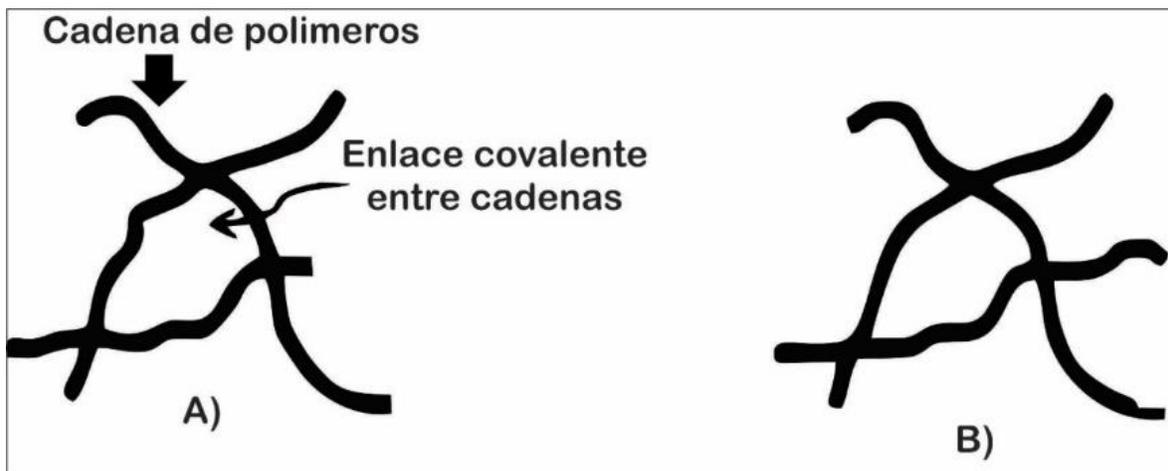


Figura 6. Formación de geles.

Por otro lado los geles químicos se dan por la adición de iones que disminuye las fuerzas de repulsión y origina interacciones proteínas-proteínas o polisacárido-polisacárido para formar el gel, la gelificación incitada por ácido se da por la adición de ácidos orgánicos en donde la reducción del pH forman grupos de agregación con

una estructura suficientemente ordenada para producir el gel y la formación de geles por enzimas depende de las cadenas laterales reactivas a las enzimas a utilizar, y los *geles físicos*, los cuales se dan por la aplicación de calor; el cual provoca un desdoblamiento de las moléculas del polímero, y por presión se puede general la gelificación en proteínas a bajas temperaturas formando geles con propiedades diferentes a las obtenidas por el calor, dando lugar a la ruptura de interacciones hidrofóbicas y electrostáticas. Generalmente, las uniones son del tipo de Van der Waals, muchos más débiles que las uniones covalentes (Trespacios, 2007 y Sáez *et al.*, 2003).

Por lo que respecta al hinchamiento, la diferencia fundamental entre polímeros entrecruzados y no entrecruzados reside en que, en los primeros, la entrada de líquido no puede separar las cadenas por estar covalentemente unidas mientras que en los segundos, la entrada de líquido puede desenmarañar las cadenas, separándolas, debido a que las fuerzas que las mantienen unidas son de origen físico. La estructura entrecruzada es insoluble mientras que la no entrecruzada puede disolverse. La entrada de líquido en el interior de una malla polimérica alcanza un límite o grado máximo de hinchamiento, ya que la estructura covalente no puede deformarse indefinidamente. Por el contrario, el hinchamiento de un polímero no entrecruzado carece de límite, puesto que la incorporación progresiva de líquido puede conducir a la disolución del polímero (Sáez *et al.*, 2003).

- ***Mecanismo de gelificación***

La formación de un gel se logra utilizando agentes gelificantes, cuyas características comunes es la capacidad de pasar de un estado de sol a gel, gracias a la unión de sus cadenas, formando una matriz tridimensional inmersa en un medio líquido. Sus propiedades en consecuencia dependen fuertemente de las interacciones entre matriz y el líquido (Barrantes, 2009). Según Chambi *et. al.*, (2017) la gelificación implica 3 transiciones o etapas que se indican a continuación (**Figura 7**)

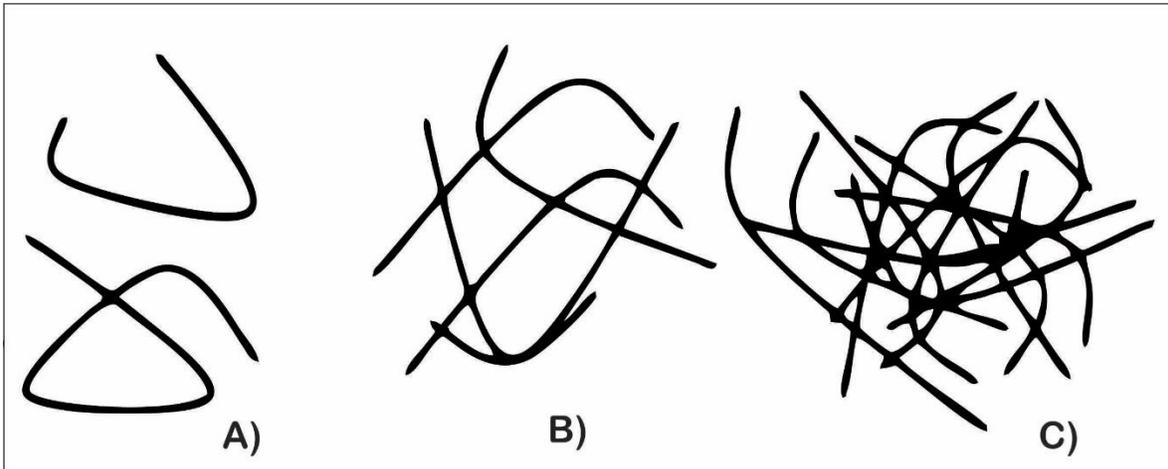


Figura 7. Fenómenos generales de la gelificación

Como se muestra en la **Figura 7A**, el *estado de dispersión*, es cuando el polímero está en forma de solución y las macromoléculas no están organizadas unas con respecto a otras, *gel elástico (Figura 7B)*, aparece cuando las cadenas están suficientemente asociadas para formar una red o gel y el *gel rígido (Figura 7C)*, a medida que las cadenas se organizan entre sí, el gel se transforma cada vez más rígido, lo que da lugar al fenómeno de sinéresis; ya que el gel se contrae y exuda una parte de la fase líquida (Chambi *et. al.*, 2017).

Según Bello, (2014) para la formación de los geles y que se forme una red tridimensional dentro de su estructura, existen cinco interacciones moleculares fundamentales que hacen posible la transición de fase: las fuerzas de Van der Waals, las interacciones hidrófobas, los enlaces de hidrógeno, las electrostáticas y las transferencias de carga. A continuación se describen algunas de ellas (**Figura 8**).

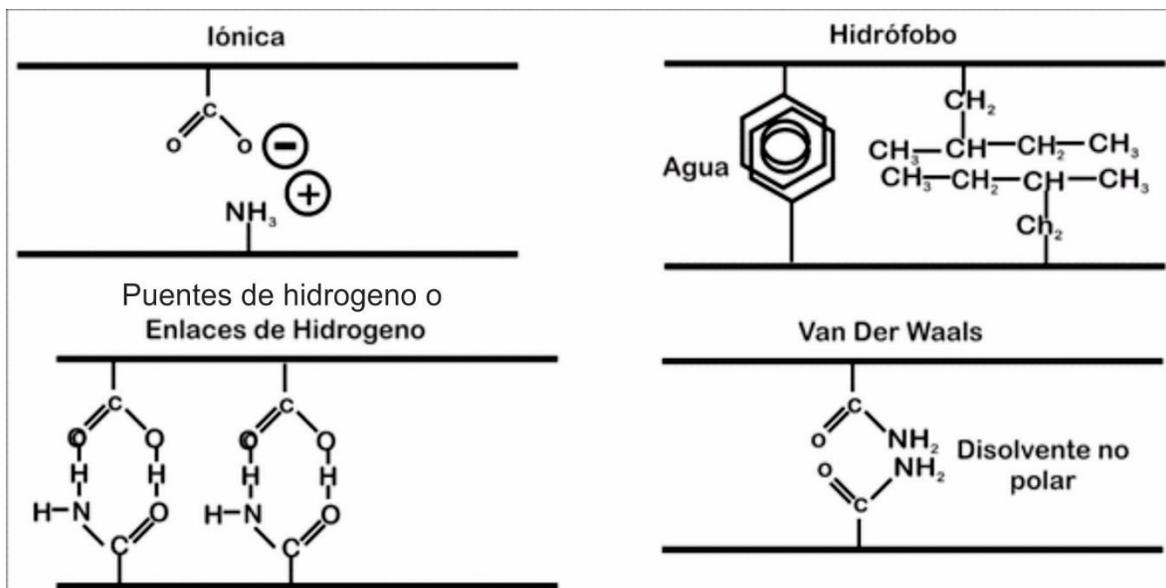


Figura 8. Interacciones en los geles

iónica, se da en cuerpos con cargas (electrones y protones). Puede ser atracción o de repulsión esto depende de las cargas presentes (cargas negativas o positivas frente a frente se repelen o cargas negativas y positivas frente afrente se ataren), *hidrófobo*, las moléculas de agua cerca de las cadenas hidrófobas de polímero tienen muchos enlaces de hidrógeno y forman unas estructuras ordenadas, llamadas icebergs, las cuales son similares a la estructura de las moléculas de agua en el hielo, *enlaces de hidrógeno o puentes de hidrógeno*, es la fuerza atractiva entre un átomo electronegativo y un átomo de hidrógeno unido covalentemente a otro electronegativos y *fuerzas de Van der Waals*, es la fuerza de estabilidad molecular, en el cual se forma un enlace no covalente, participantes de dos fuerzas; la de dispersión (atracción) y la de repulsión entre las dos capas electrónicas de dos átomos (Sáez et al., 2003).

- **Agentes gelificantes**

Los agentes gelificantes son hidrocoloides de alto peso molecular (polisacáridos y proteínas), que tienen una gran afinidad por el agua donde se dispersan y forman soluciones coloidales (Capitani, 2013).

La capacidad de los polisacáridos para producir geles depende de la formación de "zonas de unión" entre las moléculas de polímero o los agregados que restringen la expansión de la red. De este modo, la red contiene material interconectado que abarca todo el volumen, se hincha con una alta proporción de líquido. En efecto, las moléculas de polímero se agregan en una inmensa molécula con una estructura tridimensional que el líquido "atrapa". La versatilidad para construir geles funcionales es amplia, cuando se mezclan los geles y forman diferentes estructuras basadas en sus diferentes fases que forma (**Figura 9**) (Zúñiga *et al.*, 2008).

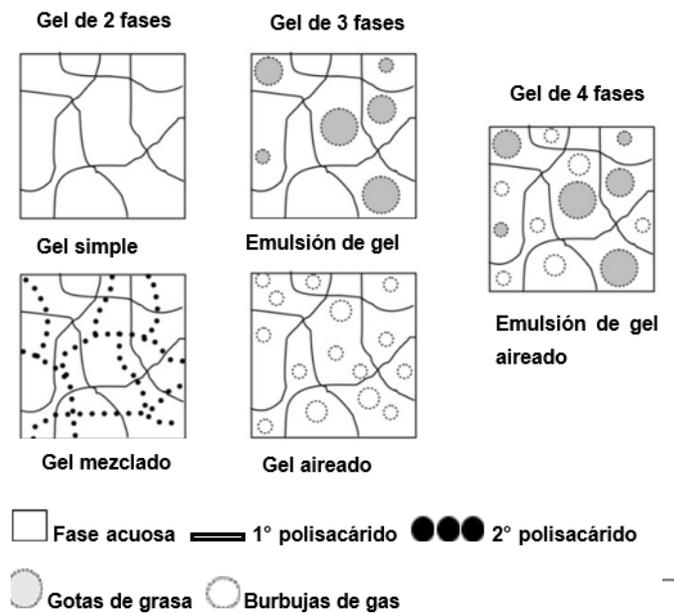


Figura 9. Tipo de geles

A continuación, en la **Tabla 6**, se muestra la clasificación de los hidrocoloides formadores de geles y como se utilizan dentro de la industria alimentaria, esto según Capitani, (2013) y Pasquel, (2001)

Tabla 6. Agentes gelificantes

Clasificación	Obtención	Goma	Característica	Aplicación
Botánica	Plantas Frutas	Almidón	Geles Formador de viscosidad	Yogures, helados, entre otros.
		Pectina	Geles Espesantes	Mermeladas, entre otros.
Algas	Rojas	Agar	Geles Espesante	Dulces, masas, entre otros.
		Carragenina	Geles Espesante Estabilizante	Lácteos y salsas
	Marrones	Alginatos	Gelificante estabilizante espesante.	Lácteos, entre otros.
Animal	Colágeno	Grenetina	Gel	Gelatinas, caramelos, gomitas, entre otros
		Proteína de suero	Gelificante Aireador Emulsionante	Helados, panificación y cereales

- **Pectinas**

Las mermeladas y las jaleas son los principales tipos de alimentos que utilizan grandes cantidades de pectinas. Por su capacidad de formar geles a pH por debajo de 3.6 y un requerimiento de 55% en peso de azúcar (Thakur *et al*, 1997). Esto debido a que funcionan como agentes gelificantes y espesantes en una gran variedad de productos y es un polisacárido que normalmente se encuentran en las paredes celulares de las plantas o frutos (Pasquel, 2001).

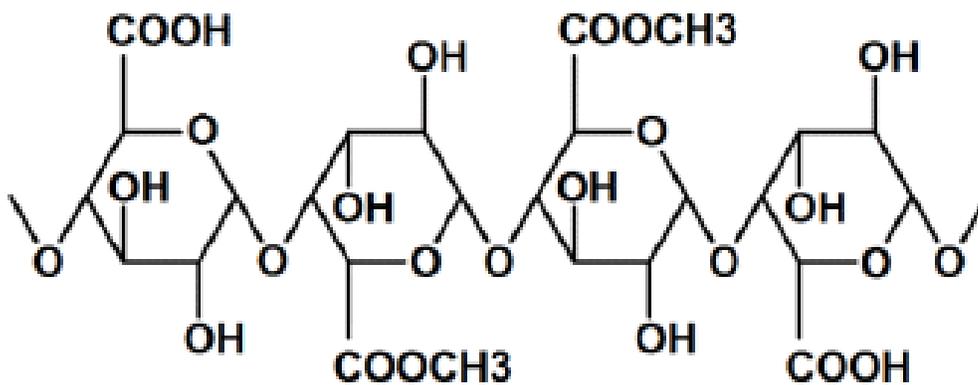


Figura 10. Estructura de la pectina

Están constituidas por una cadena lineal de unidades de ácido α -D-galactopiranosilurónico unidas por enlaces (1~4). Azúcares neutros, sobre todo L-ramnosa (**Figura 10**), están también presentes. En las pectinas de cítricos y de manzana las unidades α -L-ramnopiranosilo están insertadas en la cadena de polisacárido a intervalos bastante regulares. Estas unidades de α -L-ramnopiranosilo pueden conferir a la estructura las irregularidades necesarias para limitar el tamaño de las zonas de unión y, por tanto, la gelificación efectiva (Fennema, 2000).

- **Mecanismo de formación de gel a partir de la pectina**

Esto se lleva a cabo cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilos se disocian parcialmente para formar iones carboxilos con carga negativa provocando así el aumento de las cargas negativas de la molécula y la recíproca repulsión entre ellos. La adición de azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad; la agregación de ácido, libera cationes de hidrógeno, disminuye la electronegatividad y favorece a la unión física de sus moléculas (Grunauer, 2009). Existen dos tipos de pectinas que dependen de su grado de metilación: alto y bajo metoxilo. (Pasquel, 2001)

- **Pectina de alto metoxilo**

Más de la mitad de los grupos carboxilos presentes en la estructura, están en forma de grupos metiléster (-COOCH₃) (Fennema, 2000). Esto a su vez se puede clasificar según la rapidez con que gelifican contra el porcentaje de metoxilación o esterificación de los grupos carboxilos, en tres tipos; lenta (60-67), mediana (68-70) y rápida (71-76) (Grunauer, 2009).

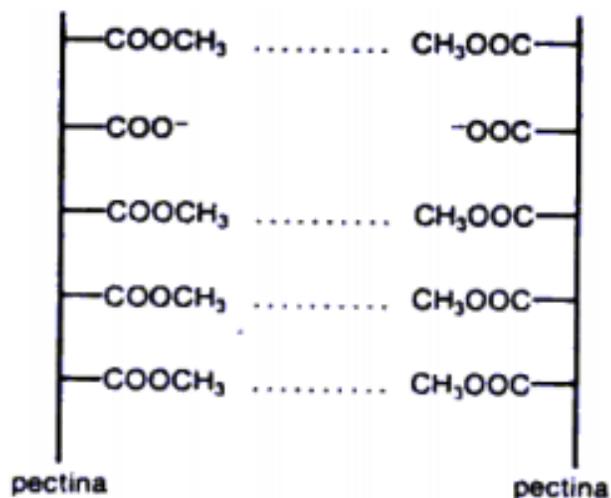


Figura 11. Estructura molecular de la pectina de alto metoxilo

Las soluciones de pectina alto metoxilo gelifican cuando se encuentra presente también la cantidad suficiente de ácido y azúcar. Puesto que el pH de la solución de pectina disminuye, los grupos carboxilato altamente hidratados y cargados se convierten en grupos carboxílicos no cargados y sólo ligeramente hidratados. Como resultado de ello, las moléculas del polímero pueden ahora asociarse a lo largo de porciones de su longitud, formando zonas de unión (**Figura 11**) y por tanto una red de cadenas que atrapa la solución acuosa de las moléculas de soluto (Grunauer, 2009). La formación de zonas de unión es favorecida por la presencia de una alta concentración (alrededor del 65%, y al menos un 55%) de azúcar, que compite por el agua de hidratación y reduce la solvatación de las cadenas, permitiendo así que interaccionen entre ellas. (Fennema, 2000).

Pectina de bajo metoxilo

Esta pectina se genera por la degradación de las pectinas de alto metoxilo, por hidrólisis acida, enzimática u otro factor que reduzca la esterificación de la molécula de pectina. Presenta una esterificación menor al 50%.

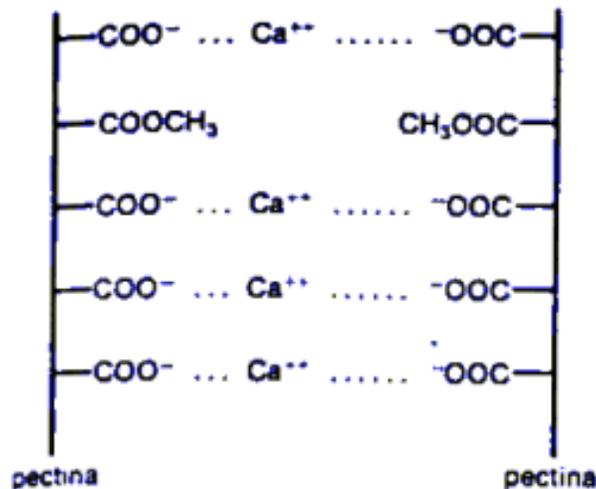


Figura 12. Estructura molecular de la pectina de bajo metoxilo

Para gelificar se requieren la presencia de pH de 2.8 a 6.5 y presencia de iones calcio. Ya que en estas condiciones los grupos carboxilos se encuentran ionizados y así pueden establecer uniones con los iones calcio (**Figura 12**) y se induce a una gelificación iónica de las pectinas de bajo metoxilo mediante el acoplamiento de cadenas que forman un modelo llamado caja de huevo. Al incremento de la concentración de esos cationes, aumenta la temperatura de gelificación y la fuerza del gel (Grunauer, 2009 y Fennema, 2000).

1.7. Proceso de elaboración de las mermeladas en la industria

Una mermelada es una mezcla de frutas cocidas con azúcar que pueden ser frutas enteras, trozos de fruta, pulpa o puré de fruta; con o sin jugo de frutas o jugo concentrado; mezclada con edulcorantes, con o sin agua (García *et al.*, 2000 y Codex Stan 79-1981). La elaboración de mermeladas sigue siendo uno de los métodos más populares para la conservación de las frutas en general, por otra parte, se aprovecha tanto la pulpa como la piel, de modo que se consumirá de forma íntegra la fruta. Una de los beneficios es que debido a que la piel de la fruta es rica en fibra nos va a ayudar a regular el tránsito intestinal y además va a mejorar la absorción de las grasas (Coronado *et al.* 2001). Por otra parte un problema que presenta este tipo de geles es el de la sinéresis, el cual consiste en una exudación de la fase acuosa que elimina parte del agua constituyente del gel. El líquido exudado está compuesto en parte por las propias moléculas coloidales en forma diluida, esto se debe a una contracción del gel, ya que hay un reacomodo físico de las macromoléculas que adquieren una estructura más estable y provocan un ajuste en las interacciones soluto-disolvente. La sinéresis está influenciada por factores como concentración de los coloides, el pH, la temperatura o los cambios de esta y la presencia de otros agentes que la pueden acelera o inhibir (Badui, 2006).

La norma mexicana NMX-F-131-1982, establece, las condiciones para las mermeladas de fresa que contiene la fruta desmenuzada o en forma de partículas finas, en el cual otorga como ingredientes principales las frutas limpias, sanas y de madurez adecuada, edulcorantes nutritivos, para esto se guarda una relación de

fruta, azúcar de 40%: 60% m/m. y como ingredientes alternativos el uso de mejoradores de textura, conservadores y modificadores de pH. A continuación, en la **Tabla 7** se muestran los ingredientes y porcentajes a utilizar en las mermeladas tradicionales.

Tabla 7. Formulación de mermelada tradicional.

Ingredientes	%
Fruta	35.20
Azúcar	60.00
Pectina	4.50
Ácido cítrico	0.20
Acido Benzoico	0.10

Para las mermeladas existen ciertos parámetros indispensables que se consideran para el desarrollo de un producto de alta calidad, entre los que podemos mencionar; una adecuada relación entre dulzor y acidez en la mezcla ya sea la propia o la adición de un ácido, color y sabor normales para el tipo o clase de frutas que presentes en la composición. Aparte de los parámetros antes mencionado también son de suma importancia, una consistencia semisólida o de gel, un aspecto semitransparente o no transparente, la eliminación de la sinéresis, un pH ácido y un porcentaje de sólidos cercano a los 65. En la **Figura 13**, se muestra el diagrama de procesos para la elaboración de las mermeladas tradicionales, con ayuda de la NMX-F-131-1982 y Coronado et al., (2001).

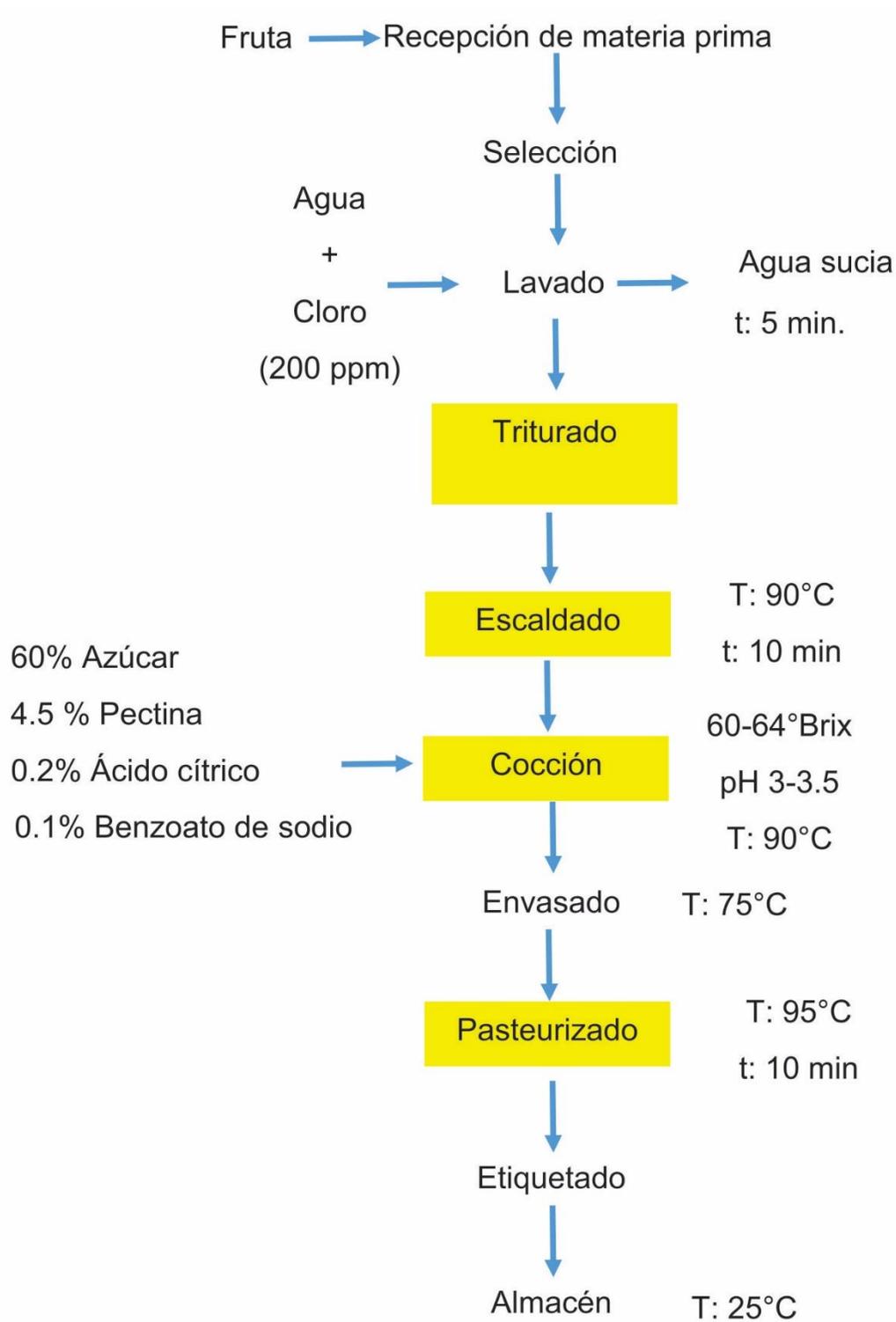


Figura 13. Diagrama de procesos para la mermelada.

Para la elaboración de la mermelada de fresa o piña se inició con las materias primas, que son las frutas, posterior a esto se le realizaron los procesos que a continuación se explica.

Recepción: Se cuantifica la fruta que entrará a proceso. Esta operación debe hacerse utilizando recipientes adecuados y balanzas calibradas y limpias.

Selección: En esta etapa se rechaza la fruta que no cumplan con el grado de madurez adecuado o presente pudrición o magulladuras y/o se elimina cáscaras.

Lavado: Se realiza con agua clorada al 200 ppm durante 5 min, para eliminar bacterias superficiales, residuos de insecticidas y suciedad adherida a la fruta.

Triturado: Se realiza para poder extraer la pulpa de la fruta.

Escaldado: Se pone la fruta a 95 °C durante 10 minutos, para eliminar microorganismos, fijar el color y ablandar los tejidos de la fruta, optimizando la extracción de la pulpa.

Cocción: en esta operación, la pulpa y una tercera parte del azúcar se colocan en cocción a temperatura de 90°C con agitación constante para que la mezcla no se queme. Una vez que se alcanza los 60 °Brix se agrega el resto del azúcar y se continúa la cocción hasta alcanzar los 65 °Brix. En este punto se quita el calor y se agrega el ácido cítrico y la pectina, el cual se disuelve previamente con un poco agua. Se toma una muestra de la mermelada, se enfría hasta 25 °C y se mide el pH, el cual debe encontrarse entre 3.0 y 3.5. De ser mayor a 3.5 se debe agregar una cantidad extra de ácido hasta alcanzar el valor óptimo.

Envasado: se realiza en frascos de vidrio, en envases plásticos o en bolsas. En el caso de usar frascos, éstos deben ser previamente esterilizados con agua hirviendo por 10 minutos y los envases de plástico se deben clorar. La temperatura de llenado no debe bajar de 75 °C. Si el llenado se hace en envases plásticos, éstos se tapan y se colocan en un lugar fresco y seco para su enfriamiento, el cual tardará al menos 12 horas; para asegurarse que todo el lote está frío y haya gelificado se debe dejar en reposo por 24 horas. Ya casi terminando el proceso se ejecuta una *pasteurizado* de

la mermelada con el envase, para garantizar que el producto tenga una vida útil larga. Para ello se colocan los frascos con las tapas cerradas en un baño maría y se calientan a 95 °C durante 10 minutos. Al finalizar este proceso se sacan del baño maría y se enfrían gradualmente, primero en agua tibia y luego en agua fría para evitar un choque térmico que puede quebrar los frascos y ya para finalizar el proceso se desarrolla el *etiquetado y almacén*.

- **Funcionalidad de ingredientes:**

Una buena mermelada se caracteriza por tener un sabor donde la fruta predomine, un color brillante, una textura firme y conservarse bien. Para que esto se logre se necesita que los siguientes ingredientes se combine en perfecta proporción.

Agentes gelificantes: La formación de un gel se logra utilizando agentes gelificantes, cuyas características comunes es la capacidad de pasar de un estado de sol a gel, gracias a la unión de sus cadenas, formando una matriz tridimensional inmersa en un medio líquido. Sus propiedades en consecuencia, dependen fuertemente de las interacciones entre matriz y el líquido (Barrantes, 2009 y García *et al.*, 2000).

Ácido cítrico y Conservadores: Es importante tanto para la gelificación de la mermelada como para darle brillo al color de la mermelada, mejorar el sabor, ayudar a evitar la cristalización del azúcar y prolongar su tiempo de vida útil. El ácido se añade antes de cocer la fruta ya que ayuda a extraer la pectina de la fruta, conservante: Son sustancias que se añaden a los alimentos para prevenir su deterioro, así evitar el desarrollo de microorganismos como hongos y levaduras, los conservadores más usados son el sorbato de potasio y el benzoato de sodio (Barrantes, 2009 y García *et al.*, 2000).

Azúcar: La azúcar es un ingrediente de suma importancia, ya que, cuanto más pectina tenga el fruto más azúcar absorberá al cuajarse. A si aquellas frutas con alto contenido de pectina, requerirá aproximadamente unos 700 g de azúcar por 450 g de fruta. Si el contenido en fruta es mediano se necesitara la misma cantidad de

fruta que de azúcar. Si la fruta contiene poca cantidad de pectina, la adición de azúcar no basta para que cuaje, habrá que añadir pectina. La azúcar actúa como conservante, al bajar la actividad de agua del producto, los mejores resultados se obtienen con azúcar especial para conserva o azúcar en cuadradillo o azúcar blanquilla (García *et al.*, 2000).

Pectina presente en el fruto: El porcentaje de pectina presente en los frutos es de suma importancia para a agregación o no de algún mejorador de textura, en la **Tabla 8** se muestra el contenido de pectina en los diferentes frutos, propuesto por García *et al.*, (200), esta clasificación se debe a que el contenido de pectina presente en los frutos favorece o no el contenido que se debe de agregar de azúcar (Barrantes, 2009 y García *et al.*, 2000).

Tabla 8. Contenido de pectina en los diferentes frutos.

Fruto	Pectina (%)
Manzana	0.50-2.2
Naranja	1.5-5.0
Toronja	3.0-5.0
Limón	2.0-5.5
Fresa	0.4-2
Piña	1.4-4.8

1.8. Piña

La planta es una hierba *perenne* que crece de 1 a 1.5 m de alto cuando se va a producir la fruta, se generan alrededor de 200 flores, cuyos frutos se cambian para formar la *Ananas comomus L.*, es un fruto ovalado y grueso que mide 30 cm de largo y 15 cm de diámetro, en promedio. Su pulpa comestible está rodeada de brácteas verdes que pasan a naranja al madurar, formando la piel del fruto. La producción, correspondiente al 2017, llegó a 945 mil toneladas, de las cuales, Veracruz y Oaxaca aportan el 78% y posteriormente, Tabasco, Quintana Roo, Nayarit, Jalisco, Colima, Chiapas, Campeche, Guerrero, Tamaulipas y Estado de México, se reparten 22% de producción de piña en México. A exportación en el 2016, fue de 86.3 mil toneladas, de las cuales, Estados Unidos consumió el 99 % de toneladas y posteriormente Corea y España, con el 1 % toneladas (SIAP, 2017 y SAGARPA, 2017). En la **Tabla 9**, se muestra la composición química de la piña en porcentaje según Moreira, (2013).

Tabla 9. Composición química de la piña

COMPOSICION	%
Agua	86.80
Proteínas	0.50
Grasas	0.00
Hidratos de carbono	11.50
Fibra	1.20

El contenido de azúcares y ácidos determina el grado de maduración de la piña, siendo importante su control al momento de seleccionar la piña, debe tener valores de ° Brix 12-13, pH de 5-6 y porcentaje de pectina del 1.4 %, ya que estos parámetros se ven relacionados con la adición o no de un mejorador de textura externo al que ya contiene el fruto -pectina- (Torres, 2016).

1.9. Fresa

La fresa, *Fragaria x ananassa Duch. (Rosaceae)*, es una fruta blanda de alto valor calórico (35Kcal/100g), vitamina C, compuestos fenólicos y antioxidantes (Moreiras *et al.* 2013 y López, 2011). La producción de fresa en el año del 2017 en México fue de aproximadamente 658 mil toneladas, del cual, Michoacán, Baja California y Guanajuato son los mayores productores (SIAP, 2017). En el año 2016 México exportó las 343 mil toneladas (SAGARPA, 2017). En la **Tabla 10**, se muestra la composición química de la fresa en porcentaje según Moreiras, (2013).

Tabla 10. Composición química de la fresa

COMPOSICION	%
Agua	89.60
Proteínas	0.70
Grasas	0.50
Hidratos de carbono	7.00
Fibra	2.20

- **Índice de madurez**

El índice de madurez se mide con base al color del fruto, para que la fresa pueda ser procesada industrialmente debe de tener un color rojo oscuro y debe de estar determinado por el contenido de azúcares y la consistencia, la superficie debe de presentar más del 50% de color y debe de tener valores de ° Brix 7-7.7, pH de 2.9 a 3.5 y porcentaje de pectina del 0.43 % ya que, para la elaboración de las mermelada es importante el contenido de: sólidos solubles, pectina y acides, ya que estos definen la formación de un gel consistente y digerible. El contenido de azúcares y acidez determina el grado de maduración del fruto, siendo importante su control al momento de la seleccionar (Torres, 2016).

Capítulo 2. Propiedades Fisicoquímicas

2.1. Potencial electrostático.

El potencial zeta es una propiedad de los materiales que miden el potencial eléctrico en sistemas coloidales, en la química coloidal; se denota por lo general con la letra griega *zeta* (ζ). Desde un punto de vista físico, el potencial zeta es el potencial eléctrico en la doble capa interfacial; es decir que es el punto donde se unen la capa difusa y la de Stern, es un parámetro usado para describir el potencial electrostático en la doble capa cercano a la superficie de las nano-partículas. El cual se ve afectada por la composición de la partícula y el medio en el que se dispersa (Batalla *et al.*, 2014). Las cargas de los coloides pueden ser de naturaleza negativa o positiva, por lo que pueden provocar una repulsión o atracción.

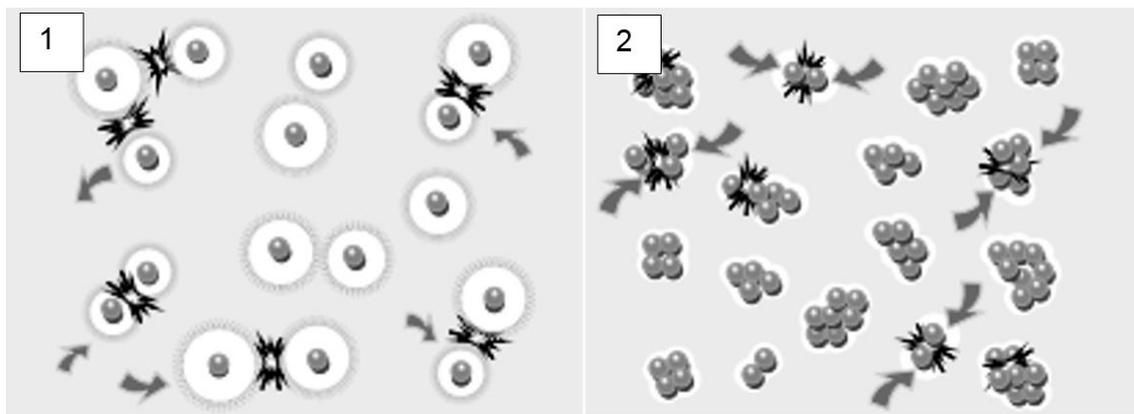


Figura 14. Partículas Cargadas

Como se puede observar en la parte derecha (1) de la **Figura 14** las partículas se encuentran con carga provocando fuerzas de repulsión electrostática entre los coloides vecinos. Si la carga es suficientemente elevada los coloides permanecen discretos, dispersos y en suspensión, pero si reduce o elimina estas cargas se obtiene el efecto opuesto y los coloides se aglomeran y sedimentan fuera de la suspensión como se ve en la parte derecha (2) de la **Figura 14**.

- **La doble capa**

Se usa el modelo de la doble capa para visualizar la atmósfera iónica en la proximidad del coloide cargado y para explicar cómo actúan las fuerzas eléctricas de repulsión. Es posible entender este modelo como una secuencia de etapas que ocurren alrededor de un solo coloide negativo, si los iones que neutralizan sus cargas son repentinamente sacados (Malvern, 2019).

Como lo muestra la **Figura 15** existen dos maneras de visualizar la doble capa interfacial.

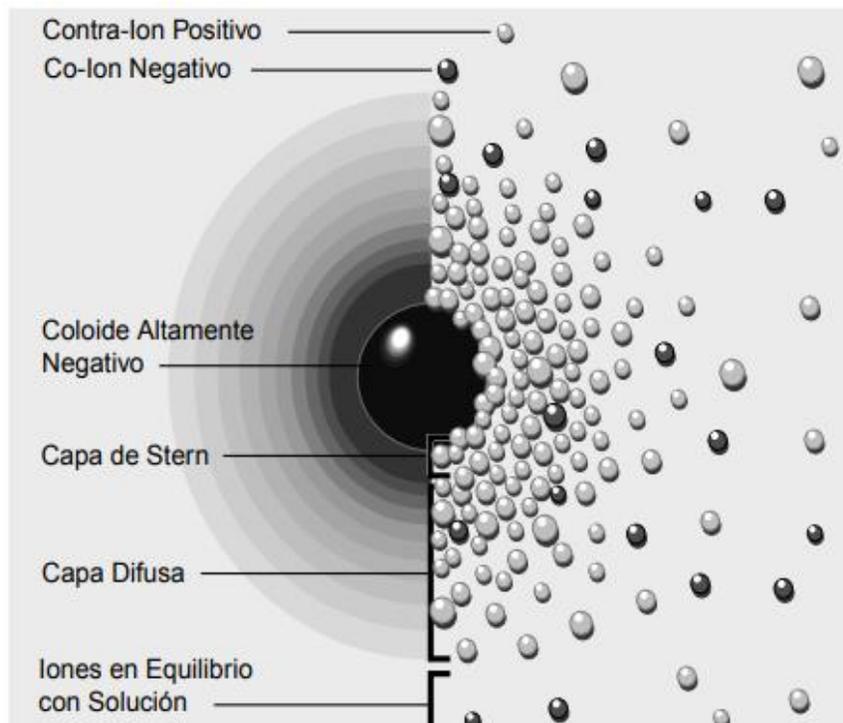


Figura 15. Capa interfacial

En la vista derecha, se muestra la distribución de iones positivos y negativos identificados con color gris o negro respectivamente, alrededor del coloide cargado y en la vista izquierda, se hace referencia al efecto del coloide sobre el ion positivo (llamado *contra-ion*) en la solución. Inicialmente, la atracción del coloide negativo

hace que algunos iones positivos formen una rígida capa adyacente alrededor de la superficie del coloide; esta capa de contra-iones es conocida como la *capa de Stern*. Otros iones positivos, son todavía atraídos por el coloide negativo, pero son rechazados por la capa de Stern. Este equilibrio dinámico resulta en la formación de una *capa difusa de contra-iones*. Los contra-iones tienen una alta concentración cerca de la superficie, la cual disminuye gradualmente con la distancia, hasta que se logra un equilibrio con la concentración de los contra-iones en el seno de la disolución (Malvern, 2019).

- ***Método instrumental para la medición de la potencial z***

El Zetasizer Nano ZS, es un analizador de tamaño de partícula y tamaño molecular de dos ángulos de alto desempeño para la detección mejorada de agregados y la medición de muestras pequeñas o diluidas, y de muestras a una concentración muy baja o alta utilizando la dispersión de luz dinámica con óptica "NIBS". El ZSP también incorpora un analizador de potencial zeta que utiliza dispersión de la luz electroforética para partículas, moléculas y superficies, y un analizador de peso molecular con dispersión de luz estática (Malvern, 2019).

Según Malvern, (2019), el Zetasizer Nano ZS incorpora tres técnicas en una sola unidad compacta, y ofrece una gama de opciones y accesorios para optimizar y simplificar la medición de diferentes tipos de muestras; *La dispersión de luz dinámica* se utiliza para medir el tamaño de partícula y el tamaño molecular, *la dispersión de luz estática* se utiliza para determinar el peso molecular de proteínas y polímeros y *el micro electroforesis de láser Doppler* se utiliza para medir el potencial zeta. Se aplica un campo eléctrico a una solución de moléculas o a una dispersión de partículas, que entonces se mueven con una velocidad relacionada con su potencial zeta. Esta velocidad se mide utilizando una técnica interferométrica de láser patentada llamada M3-PALS (Dispersión de luz para análisis de fase, por sus siglas en inglés). Esto permite el cálculo de la movilidad electroforética, y a partir de esta, se obtiene el potencial zeta y la distribución de potencial zeta.

En el **Figura 16**, se muestra una curva teórica del Mucílago de la *Salvia hispánica L.*, obtenida por Timilsena *et al.*, (2016) en su proyecto “Physicochemical, thermal and rheological characteristics of a novel mucilage from chía seed (*salvia hispánica*)”.

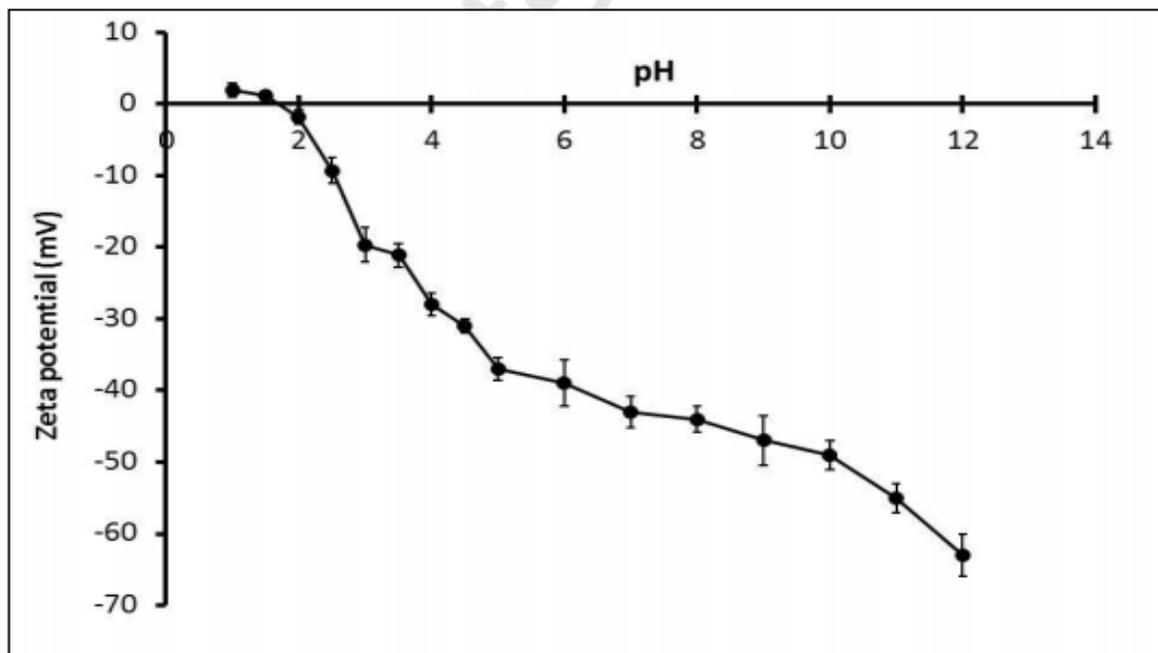


Figura 16. Potencial Z teórico del Mucílago

La potencial zeta de la solución de mucílago de *Salvia hispánica L.* está en función del pH, como se presenta en la **Figura 16**, ya que se muestra una carga negativa de las diluciones disminuyendo el pH y desarrolló cargas positivas cercanas al pH 2.0. Las fuertes características aniónicas de polisacárido indicaron la presencia de cantidades apreciables de ácidos urónicos que lo convierten en una excelente fuente de polielectrolito aniónico que se puede emplear en la preparación de materiales y dispositivos micro / nano funcionales al reaccionar con moléculas catiónicas (Timilsena *et al.*, 2015)

2.2. Propiedades funcionales del mucílago de la *Salvia hispánica L.*

La fibra dietética soluble en agua forma un retículo donde ésta queda atrapada, dando lugar a soluciones de gran viscosidad. Dada esta situación, la capacidad que tiene la fibra dietética soluble se le denominan propiedades funcionales, las cuales son; la capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento y capacidad de gelificación, que pueden ser de gran uso en las industrias alimentarias. Dentro de este grupo se encuentran los mucílagos, xiloglucanos, pectinas, ciertos tipos de hemicelulosas y polisacáridos solubles (Capitani, 2013).

- **Capacidad de retención de agua (CRA)**

Se expresa la cantidad máxima de agua que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de agua y bajo la acción de una fuerza patrón y que se encuentra en equilibrio con el medio de potencial químico conocido, la capacidad que tiene la fibra dietética para retener agua es de suma importancia, en relación con la formulación y el procesamiento de alimentos altos en fibra, ya que de esta propiedad depende en gran medida el nivel máximo de incorporación de la fibra. La capacidad de retención de agua está influida por la naturaleza de la matriz fibrosa y por la forma en cómo se encuentra ligada a las moléculas de agua la hidratación de las fibras resulta en la formación de un gel por lo tanto, la difusión de nutrientes para su absorción puede disminuir debido a la partición de los mismos entre el gel y el medio acuoso del intestino, así como por el aumento de la viscosidad mejorando los procesos de digestión (Capitani, 2013). En la **Figura 17** se puede observar, la capacidad de retención de agua del xiloglucano de tamarindo a diferentes temperaturas propuesta por Peña, (2017).

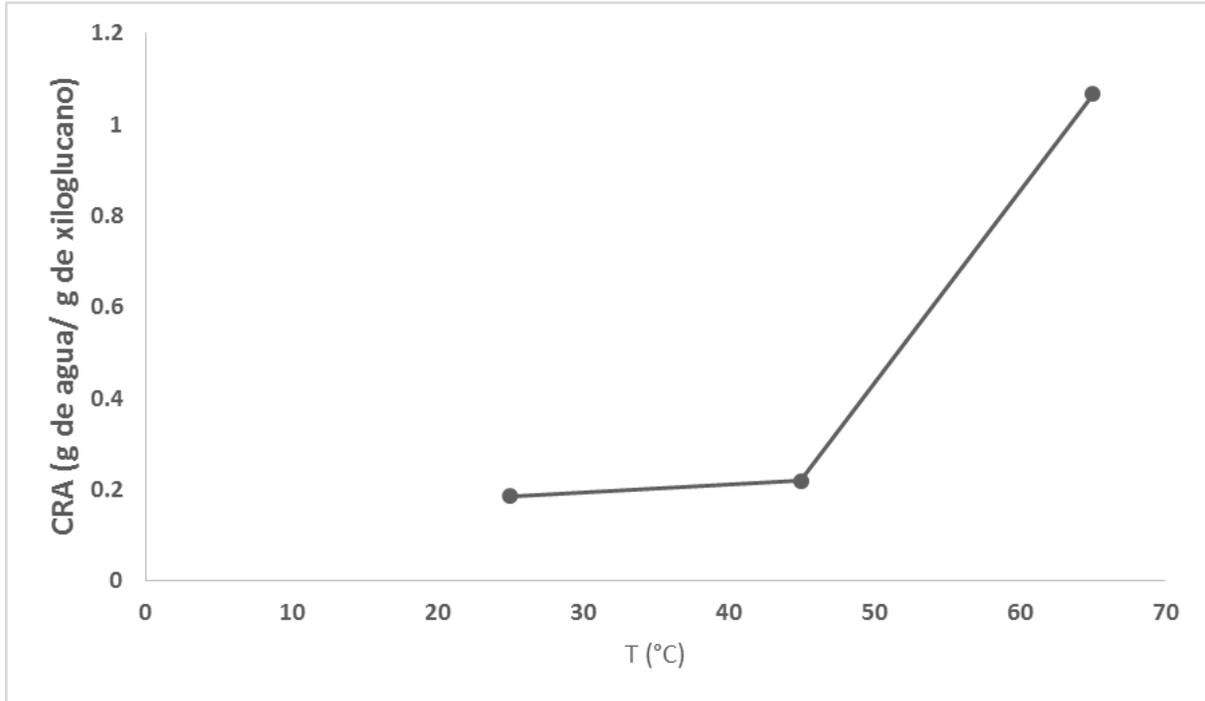


Figura 17. CRA del xiloglucano de tamarindo

En la figura anterior se puede ver reflejado la tendencia del incremento que tiene el xiloglucano con respecto a la temperatura, puesto que a una temperatura de 25°C obtuvieron 0.18 g de agua/ g de xiloglucano, al aumentar la temperatura a 45 °C, se absorbe 0.21 g de agua mientras que a 65 °C se retiene 1.06 g de agua. Este cambio en la capacidad de retención del agua se puede explicarse porque un incremento en la temperatura da como resultado un incremento en la movilidad molecular que promueve la absorción de agua y aumenta el grado de agua retenida por la muestra (Peña, 2017).

- **Capacidad de hinchamiento (CH)**

Se define como la capacidad de la fibra dietética de la para aumentar su volumen en presencia de agua, esta capacidad se ve afectada por la composición, porosidad y tamaño de partícula (Espinosa, 2017).

La capacidad de hinchamiento denota el grado de hidratación de los gránulos, por lo tanto, una mayor capacidad de hinchamiento indica que existen fuerzas de unión más débiles, hecho que explica el incremento de dicha capacidad cuando la temperatura y pH incrementa originando, esto se debe a que la interacción entre moléculas se vuelva más débil, la capacidad de hinchamiento denota el grado de hidratación de los gránulos, por lo tanto, una mayor capacidad de hinchamiento indica que existen fuerzas de unión más débiles, hecho que explica el incremento de dicha capacidad cuando la temperatura incrementa originando que la interacción entre moléculas se vuelva más débil (Espinosa, 2017). En la **Figura18** se puede observar, la capacidad de hinchamiento del xiloglucano.

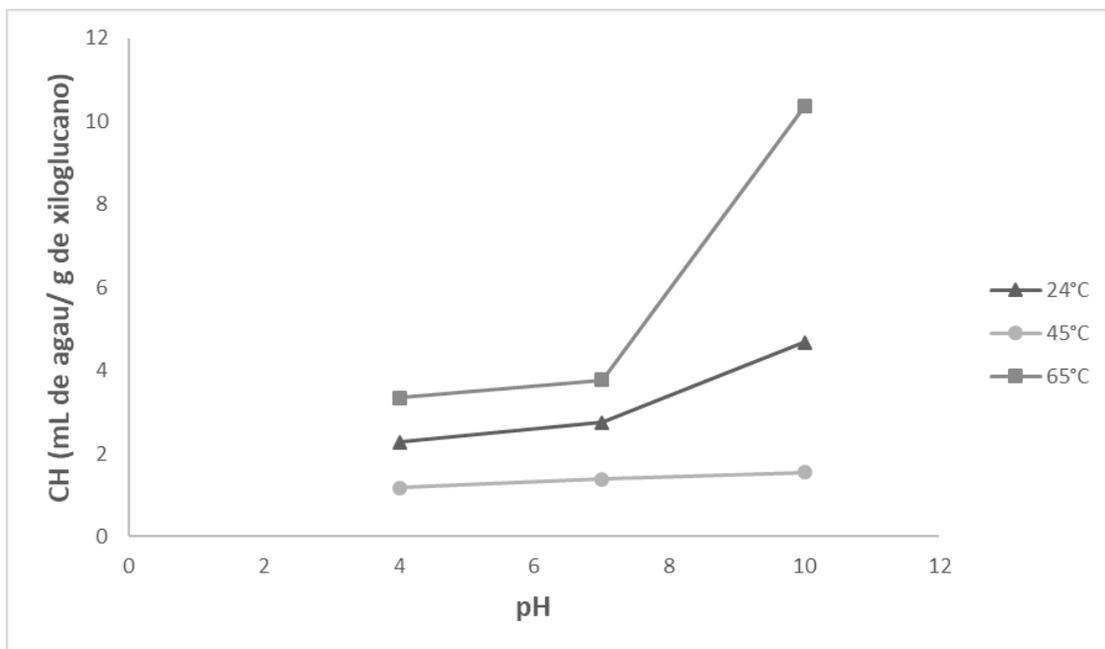


Figura 18 capacidad de hinchamiento del xiloglucano

El xiloglucano, se encontró que el hinchamiento era favorecido cuando la temperatura aumentaba, independientemente del valor del pH. Con un valor de pH neutro (7.0) el índice de hinchamiento (1.17, 1.39 y 1.547 g de agua/ g de xiloglucano) fue el mínimo para las tres temperaturas estudiadas (25, 45 y 65 °C), mientras que en una combinación de pH 10 y temperatura de 65 °C se obtendría la mayor capacidad de hinchamiento (10.36 g agua/ g xiloglucano).

- ***Capacidad de formación de geles (CG)***

Se define como la capacidad que tiene la fibra para formar una red continua de macromoléculas interconectadas y entrelazadas en una estructura tridimensional en las que queda atrapada la fase continua de agua, se puede concebir como un estado en el que las macromoléculas coloidales se orientan formando fibrillas que al interaccionar establecen un “cuerpo básico o esqueleto”, que sirve de soporte para retener agua mediante puentes de hidrógeno (Badui, 2006). En el punto reológico un gel es un material que muestra propiedades viscoelásticas. Cuando el esfuerzo que actúa sobre este gel es pequeño se comporta elásticamente: se deforma instantáneamente, manteniendo la forma obtenida mientras el esfuerzo actúa y recupera rápidamente su forma original en cuanto es el fuerza cesa (Fennema, 2000). En la industria alimentaria la rigidez de la gelificación dependen del tipo de polímero y su concentración; concentración de sales, el pH y la temperatura del medio y es una de las propiedades funcionales más importantes que tienen los polímeros (Badui, 2006 y Wang *et al.* 1994). Comúnmente las propiedades gelificantes de algunos polisacáridos o proteínas son utilizadas en la industria alimentaria como mejoradores de textura en mermeladas, gelatinas, entre otros productos.

En el **Tabla 11**, se describe la capacidad de gelificación para el *Mung Bean*, el cual consintió en evaluar diferentes concentraciones en un rango de 2 a 14% (p/v), a un pH de 7, posteriormente se realizó un baños maría a una temperatura de 80°C durante 10 minutos (Coffman *et al.*, 1977).

Tabla 11. CG de la harina de *mung vean*

Concentración (%)	Numero de muestras	Gelificación	Presencia
2.00	2	-	Liquido
4.00	2	-	Liquido
5.00	3	-	Liquido
6.00	3	-	Liquido
7.00	3	-	Liquido
8.00	9	-	Viscoso
9.00	6	-	Muy viscoso
10.00	6	+	Gel (punto final de menor concentración)
12.00	3	+	Gel firme
14.00	3	+	Gel firme

En la tabla anterior se muestra la capacidad de gelificación, identificándolo con un (+) para los caso que si hubo presencia de gel y con un (-) en donde no hubo gel. La concentración de proteína de 10, 12 y 14% se gelificó de manera consistente tras la aplicación de calor. Los geles de 10 y 12% de proteína eran más blandos que los geles de 12 a 14% de proteínas que eran muy rígidos. Las muestras de 8 y 9% de proteínas fueron muy viscosas, se formó un coágulo pero no era lo suficientemente fuerte como para evitar que el gel deslizará cuando se invirtió el tubo de precipitado.

2.3. Propiedades texturales.

La textura, se define como un conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de superficie de un producto perceptible por el mecano-receptor, los receptores táctiles y en ciertos casos los visuales y los auditivos (Norma técnica NTP-ISO 5492. 2010).

- **Clasificación de las propiedades texturales.**

Los parámetros texturales se pueden definir como el conjunto de características físicas, ligadas a los elementos estructurales del alimento, que son perceptibles por el sentido del tacto, que están relacionadas con la deformación, desintegración y flujo del alimento, cuando éste es sometido a un esfuerzo y que pueden ser medidos objetivamente, en términos de masa, tiempo y distancia. Dichas propiedades se pueden clasificar en función de las propiedades físicas del material en atributos mecánicos, geométricos y de composición (**Figura 16**) (López, 2014).

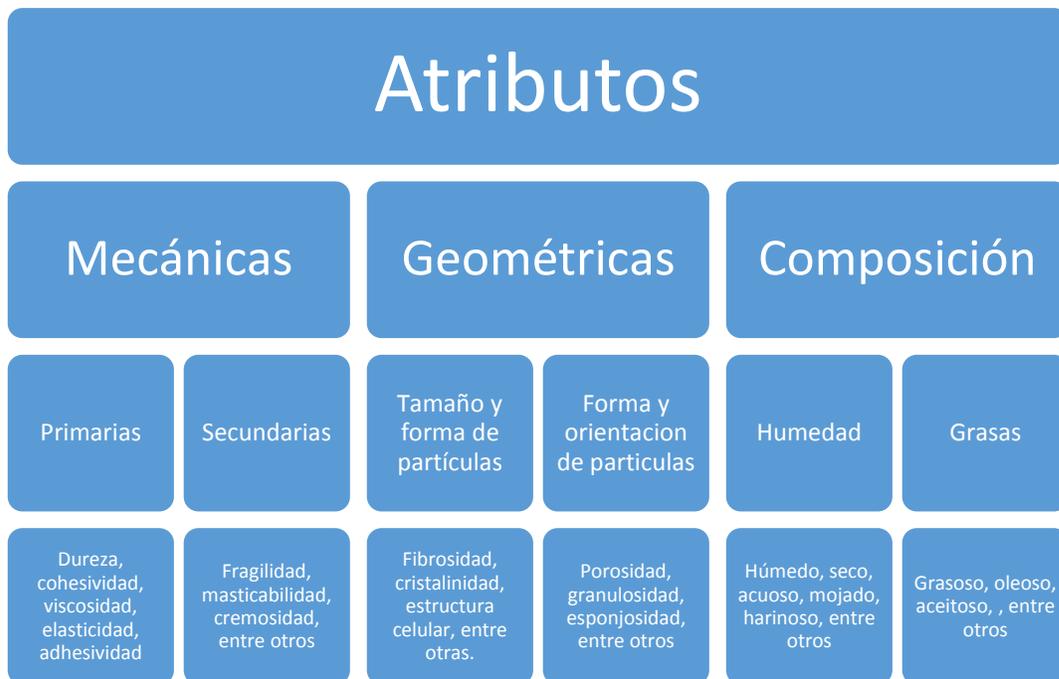


Figura 19. Clasificación de atributos de textura

Se ha observado que las *propiedades mecánicas primarias* generalmente se manifiestan y perciben en la fase de apreciación táctil manual o al dar el primer mordisco, mientras que la geometría y las *propiedades mecánicas secundarias* son destacadas más frecuentemente en las etapas masticatoria, deglutiva, y residual (López, 2014).

Como la textura se manifiesta en diferentes etapas se recomienda evaluar primero la textura del alimento apretándolo con los dedos, después mordiéndolo, dándole un segundo mordisco, masticándolo, tragarlo y por último, en la etapa residual, la sensación que queda después de haber terminado (López, 2014).

- ***Métodos para evaluar la textura***

Los métodos para la evaluación de la textura pueden ser divididos en; *métodos subjetivos*, que son realizados por las personas, estos a su vez se clasifican en; orales (son evaluadas en la boca) y los no orales (en las cuales alguna parte del cuerpo diferente a la boca es utilizada para medir las propiedades texturales) y *métodos objetivos* a su vez se dividen en métodos indirectos que miden las propiedades físicas que correlacionan bien con una o más de las propiedades texturales. Y en métodos directos que miden las propiedades texturales reales de los materiales, estos a su vez se dividen en; empíricas, fundamentales e imitativas, de la cual destaca las imitativas, son aquellas que tratan de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, entre otros) y asume que las fuerzas de reacción desarrolladas por la muestra representan las reacciones humanas. Un ejemplo de este equipo sería, el *texturómetro*, el cual se sustituye la mandíbula por un émbolo (superior) y una placa (inferior) y se le acondicionó con varias velocidades de masticación (López, 2014).

Pruebas adhesivas por penetración y retirada

La adhesividad es comúnmente vista como un atributo negativo en los alimentos, pero en algunos casos, cierto nivel de adhesividad no sólo es tolerable sino deseable. Se puede definir a la adhesividad como “propiedad textural que se manifiesta por la tendencia de un alimento a adherirse a las superficies con las que entra en contacto, especialmente el paladar, los dientes y la lengua durante la masticación”. También se define como la propiedad que permite a un adhesivo formar un puente con la superficie de otro material cuando se ponen en contacto bajo una presión débil. En esta definición se pueden reconocer algunas condiciones que pueden influenciar la adhesividad (fuerza de contacto y tiempo de contacto). Las prueba de adhesividad consiste en poner sobre la base del instrumento, se coloca una pequeña cantidad de muestra (tal que al comprimir no sobresalga del área del dispositivo). El dispositivo se pone en contacto con la muestra con una fuerza establecida. El contacto dura unos segundos y después el dispositivo se retira por arriba de la superficie de la muestra hasta que ésta se despega completamente, de esta manera se obtiene también una curva de fuerza vs tiempo (**Figura 20**) y se obtienen los parámetros texturales (Chávez, 2010).

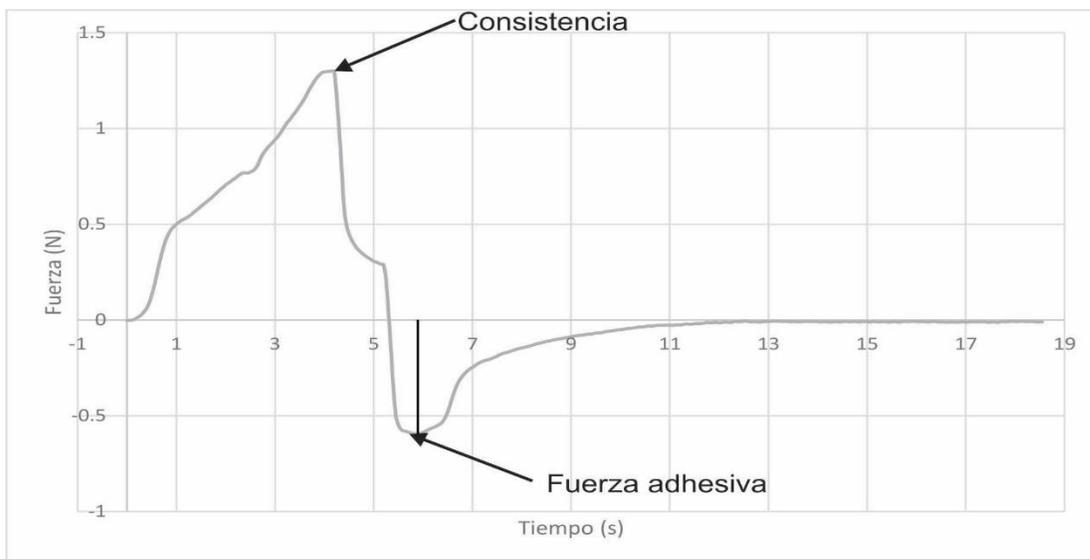


Figura 20. Propiedades adhesivas.

En esta grafica teórica solo existe un ciclo de penetración y retirada, en el cual, además de obtener los parámetros que se obtienen con el perfil de textura, también podemos obtener el parámetro de estiramiento y la relación del cociente de este con la fuerza de adhesividad nos da el valor de la untabilidad, esto se logra cuando el dispositivo es retirado de la muestra hasta que se logra romper el hilo que se forma entre ella y el dispositivo de contacto, mientras que esto no se puede obtener con una pruebas de TPA pues la retirada se realiza hasta la altura de la muestra. (Chávez, 2010).

2.4. Inestabilidad de geles

La sinéresis es una propiedad física de los geles, que es el proceso por el cual el líquido es liberado espontáneamente de la matriz de un gel. Este fenómeno es causado por el desequilibrio o bien por algún cambio en las condiciones externas. En el equilibrio, las fuerzas de contracción elásticas de las cadenas de polímero están balanceadas por las fuerzas de hinchamiento del disolvente, resultando en una diferencia de presión osmótica (Badui, 2006). Cambios en la temperatura modifican la presión osmótica y generan una contracción elástica de las cadenas de polímero. La respuesta contractiva expulsa el exceso de líquido fuera de la matriz (Hernández, 2005). Este conceptos se relacionan con la capacidad de retención de agua de diversas polímeros, ¿Por qué?, se emplean como aditivos en la industria alimentaria por su capacidad de retención de agua, puesto que es una medida de la cantidad del líquido que puede quedar atrapado en una red, sin que exista exudación o sinéresis, en la **Figura 21**, se muestra las zonas hipotéticas en las que se puede dividir el agua contenida en un producto (Badui, 2006).

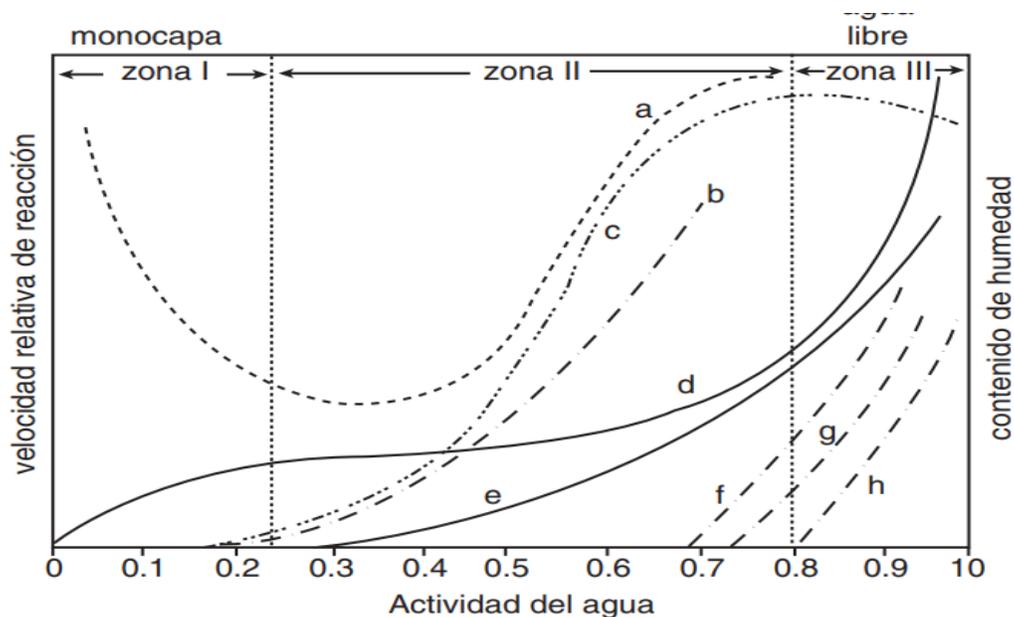


Figura 21: División del contenido del agua en un producto.

La gráfica anterior, está constituida por, la *zona I*, representa a la capa monomolecular y es la más difícil de eliminar en los procesos comerciales de secado; en algunos casos se reducirá parcialmente en la deshidratación, pero esto no es recomendable, ya que, además de que se requiere mucha energía y se daña el alimento, su presencia ejerce un efecto protector, sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque actúa como barrera del oxígeno, la *zona II*, el agua se localiza en diferentes capas más estructuradas y en micro-capilares; es más difícil de quitar que la anterior, pero al lograrlo se obtienen valores de la actividad del agua de aproximadamente 0.25. Por último, el agua en la *zona III* se considera “libre”, se encuentra en macro-capilares, es la más abundante, la que se puede eliminar en la sinéresis, fácil de congelar y evaporar, y su eliminación reduce la actividad del agua a 0.8. Por otra parte, en la figura anterior, se observan unas tendencias que ocurren en los alimentos en función de la actividad del agua, a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacterias (Badui, 2006).

- ***Factores que influyen en la sinéresis***

La sinéresis en geles se ve influida por varios factores: 1) es afectada por el pH del sistema y alcanza su máximo cuando se presenta el punto isoeléctrico, por ejemplo, en la fabricación de jaleas de frutas la gelificación y firmeza adecuada depende en gran medida de que se logre un pH entre 3.2 y 3.5, un pH más bajo causará una estructura muy rígida y se presentará sinéresis; 2) la temperatura a la que se mantiene el gel puede acelerar la sinéresis; la temperatura puede ser baja o alta, de acuerdo con el tipo de gel y su tendencia a la sinéresis, por ejemplo, al refrigerar la mantequilla ésta muestra sinéresis por medio de gotas de líquido depositadas en su superficie; 3) la presión ejercida sobre un gel contribuye a su sinéresis; 4) la naturaleza de la fase dispersa tiene un efecto sobre la sinéresis, por ejemplo, al disminuir la concentración de almidón en un gel aumenta su sinéresis; lo opuesto ocurre en los geles formados con ácido silícico como fase dispersa (Badui, 2006).

Justificación.

En el periodo del 2007 al 2014, el volumen de producción de mermelada presentó una tasa de crecimiento anual medio de 1.37 por ciento, pasando de 54 a 60 mil toneladas (Berries, 2016). Uno de los retos que enfrenta la industria alimentaria es el de bajar las cantidades de azúcar presentes en sus formulaciones, ya que en la elaboración de las mermeladas se utilizó más del 60% de este carbohidrato, según las normas NMX-F-127-1982. Y NMX-F-131 -1982.

Por otra lado, debido a la globalización y al ritmo actual de vida, los hábitos alimenticios en México, así como en el resto del mundo, han tendido al consumo de productos industrializados, comida rápida y productos “chatarra”, entre otros, generando una tasa más alta de morbilidad en enfermedades crónico degenerativas, como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, entre otras (Santillán, 2014).

Ante estos antecedentes han despertado la exigencia del consumidor por los alimentos funcionales, que porten un bien a su salud. Entre las semillas, se ha posicionado a la chía, como un fruto con alto poder funcional esto debido a su alto porcentaje de 18-30% fibra dietética, por su capacidad de controlar el colesterol y la prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (López *et al.*, 2011). Esta fibra contiene mucílagos, que se hace presente al dejarse reposar en agua, puede ser utilizado como fibra dietética o añadirla y dar espesor a mermelada, jalea, yogur, mostaza, salsa tártara y productos como fórmulas para bebés, alimentos de animales, barras nutritivas, entre otros. (Busilacchi *et al.*, 2015).

A raíz de la casi nula información que existe en la aplicación de Mucílago de chía como agente gelificantes, se decidió, evaluar el efecto de la adición del Mucílago de la *Salvia Hispánica L.* en la estabilidad de una mermelada de fresa y piña, mediante pruebas fisicoquímicas y texturales, para desarrollar un gel con características de alimento funcional.

Capítulo 3. Objetivos.

3.1. General.

Evaluar el efecto de la adición del mucílago de la *Salvia hispánica L.* en la estabilidad de una mermelada de fresa y piña, mediante pruebas fisicoquímicas y texturales, para desarrollar un gel con características de alimento funcional.

3.2. Particulares.

- Determinar las propiedades funcionales del mucílago de la *Salvia hispánica L.*, mediante pruebas fisicoquímicas para su aplicación en mermeladas de fresa y piña.
- Evaluar la presencia de la pectina del fruto en las propiedades adhesivas y de estabilidad, mediante pruebas de adhesividad y pruebas fisicoquímicas para determinar la calidad de la mermelada.
- Evaluar la presencia de la pectina del fruto y el mucílago *Salvia hispánica L.* en las propiedades adhesivas y de estabilidad, mediante pruebas de adhesividad y pruebas fisicoquímicas para determinar la calidad de la mermelada.

3.3. Hipótesis.

La adición del mucílago de chía *Salvia hispánica L* contribuirá con las capacidades de gelificación, retención de agua, y capacidad de hinchamiento mejorando las propiedades de adhesividad y de estabilidad en una mermelada a base de fresa y piña.

Capítulo 4. Materiales y Métodos.

4.1. Materiales.

Los reactivos utilizados para el desarrollo del presente proyecto de investigación fueron; ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N respectivamente del laboratorio Baker S.A de C.V. y el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) de la empresa Deiman S.A de C.V., el Mucílago de la *Salvia hispánica L.* empleado en este proyecto fue una donación del laboratorio de posgrados, ubicado en la nave 2000 de ingeniería en alimentos. La mermelada comercial, la azúcar y los frutos (la piña y las fresas) utilizados para la elaboración de las mermeladas, se adquirieron en un mercado local.

4.2. Métodos

A continuación, se describe el conjunto de determinaciones fisicoquímicas para el mucílago de la *Salvia hispánica L.*, frutas y las mermeladas experimentales y comercial, las determinaciones de los parámetros funcionales del mucílago de la *Salvia hispánica L.* y determinación de los parámetros texturales y de estabilidad de las mermeladas comerciales y las mermeladas de los diferentes frutos con y sin la agregación del mucílago.

- ***Proceso de elaboración de mermelada experimental.***

Para el desarrollo de la formulación de la mermelada de fresa y piña se utilizaron como base lo dispuesto por la NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968, el cual indica que las mermeladas se deberán preparar con una relación de fruta-azúcar del 40%: 60% p/p y con algunas modificaciones utilizadas por López *et. al.*, (2011), en su proyecto de formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tuna elaborada a planta piloto, como se muestra en el **Tabla 12**.

Tabla 12. Formulaciones de las 4 mermeladas

INGREDIENTE	Testigo (%)	Con la adición de Mucílago (%)
Pulpa de fruta (piña o fresa)	58.6	58.6
Azúcar	41.2	38.2
Mucílago	-	3
Ácido cítrico	0.2	0.2

Como se observó, se harán cuatro formulaciones de mermeladas en donde se mantendrán constantes el porcentaje de frutas y ácido cítrico pero se estará variando el tipo de fruta de fresa o piña, la cantidad de azúcar y la concentración del Mucílago de la *Salvia Hispánica L.*, el diagrama de procesos es similar al de la **Figura 13.**

- **Determinación del pH.**

Para la determinación, se realizó la dilución de la pulpa de fruta y las mermeladas al 1% y el mucílago de la *Salvia hispánica L.* al 0.01%, con agua destilada (A.O.A.C 981.12/90). Se determinaron por triplicado utilizando un potenciómetro digital de sobre mesa pH-2005 (JP Selecta, España). El objetivo de la determinación para el Mucílago fue implementar el pH original del hidrocoloide, en los frutos, se realizó para estandarizar la muestra ya que estos definen la formación de un gel consistente y digerible, en cuestión de la mermelada se le realizó para esta prueba para ver si cumplía con los parámetros establecidos por las normas la NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968

- **Determinación de los °Brix**

Para la evaluación de los sólidos solubles de la fruta se recomienda tenerlos en forma de puré y las mermeladas a 25°C (A.O.A.C 920.151). Se evaluaron por triplicado utilizando un refractómetro digital RX-500 (Atago 325, Estados Unidos). El objetivo de esta prueba radica en que los °Brix están relacionados con el grado de maduración de la piña y fresa, siendo importante su control al momento de seleccionar los frutos, y las mermeladas para que cumplan los parámetros indicados por las normas la NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968

- **Determinación del potencial Z**

Para este análisis el mucílago de la *Salvia hispánica L.* se dispersó con agua destilada a una concentración de 0.01 % en volumen de partículas, debido a que pueden existir interferencias en la medición. El potencial Z de la solución acuosa del hidrocoloide se midió a un pH original (7) y dos modificados (3.5 y 10.47) con ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N según sea el caso (Timilsena *et. al.*, 2015), se determinaron por separado, utilizando el equipo Zetasizer Nano (Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK). El objetivo de esta técnica fue evaluar el efecto en la modificación del pH, sobre el potencial de superficie original a partir de las cargas electrostáticas del Mucílago.

- **Determinación de la capacidad de retención de agua.**

Se empleó una adaptación del método, de determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) propuesto por Espinosa, (2017), el cual consta de 3 repeticiones de 0.2 g y 3.0 g de Mucílago de chíá cada una de ellas. Las muestras se colocaron en probetas graduadas de 10 mL, se le añadieron 10 mL de agua destilada y se dejaron reposar por 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente se eliminó el sobrenadante y finalmente se pesó él tuvo con el precipitado que contenía.

Para poder ser calculado la capacidad de retención de agua del mucílago de *Salvia hispánica L.*, se utilizó la **Ecuación 1**, en la cual los resultados se expresan en g de H₂O/g de Mucílago.

$$CRA = \frac{Mtp - Mt - Me}{Me}$$

Ecuación 1...

Donde:

Me: masa del mucílago

Mt: masa de la probeta sola

Mtp: masa de la probeta con el precipitado de mucílago sin excedo de agua.

- **Determinación de la capacidad de hinchamiento.**

Se empleó una adaptación del método de determinación de la capacidad de hinchamiento (CH) propuesto por Espinosa, (2017), el cual consta de 3 repeticiones de 0.2 g y 3.0 g de mucílago de chíá cada una de ellas. Las muestras se colocaron en probetas graduadas de 10 mL y se mido el volumen ocupado por el mucílago, se le añadieron 10 mL de agua destilada, se agitaron los tubos por 1 min aproximadamente y se dejaron reposar por 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente se eliminó el sobrenadante y finalmente se midió el volumen ocupado por las muestras. Para poder ser calculado la capacidad de Hinchamiento del Mucílago de *Salvia hispánica L.* se utilizó como apoyo la **Ecuación 2**, en la cual los resultados se expresan en g de H₂O/g de mucílago.

$$CH = \frac{V1 - V0}{me}$$

Ecuación 2...

Donde:

Me: masa del mucílago

V0: el volumen que ocupa el mucílago solo

V1: el volumen que ocupa el mucílago con el precipitado sin exceso de agua

- ***Determinación de la capacidad de formación de geles.***

Se empleó una adaptación del método de determinación de la capacidad de gelificación propuesto por Espinoza, (2017). Preparando disoluciones de 0.2% y 3% de mucílago de chíá. Los tubos se colocaron en un baño de agua a 100°C durante 1 hora y luego en un baño de hielo durante 1 hora, se observó si había o no presencia de gel.

- ***Determinación de las pruebas de adhesividad.***

La prueba de adhesividad consiste en un ciclo de penetración y retirada, en el cual se utilizó un texturometro Shimadzu (SHIMADZU-EZ, Japón) con celda de carga de 20 kg, manejando como dispositivo un cilindro de diámetro de 1 in, consecutivamente la muestra se colocó en un vaso de precipitado de 50 mL, para colocarlo en el texturometro, llenado previamente con la muestra de mermelada, cuidando que no tuviera burbujas y estuviere llenado hasta el máximo del recipiente, se prosiguió con la prueba con una velocidad de penetración de 150 mm/min y penetró una distancia de 5 mm, posteriormente se retiró a una velocidad de 180 mm/ min y una distancia de 15 mm, post-prueba, los datos se obtuvieron del software del equipo para poder obtener una la gráfica de la Fuerza y Tiempo (**Figura 20**), y obtener los datos de consistencia, untabilidad, adhesividad y fuerza adhesiva

- **Determinación de la estabilidad de la mermelada**

Para realizar las mediciones de sinéresis en la mermelada comercial y en las diferentes formulaciones, se empleó una adaptación del método de determinación de sinéresis y utilizado por Barrantes, 2009. Se midió por triplicado, a las mermeladas de piña y fresa con o sin la agregación del Mucílago de chía y a la mermelada comercial, el porcentaje de masa exudado para cada muestra se recolecto día a día durante 5 días, después de ser colocada la muestra en un papel filtro de 5x5 cm, con el fin de ver la evolución de la sinéresis después de haberse roto el gel. Para poder ser calculado la sinéresis de las mermeladas, se utilizó como apoyo la **Ecuación 3**, en la cual los resultados se expresan en porcentaje.

$$\% \text{ sinerisis} = (M1 - M2) * 100$$

Ecuación 3...

Donde

M1: peso primer día.

M2: peso de los días siguientes.

- **Análisis estadístico.**

Para los objetivos planteados, se realizaron un análisis estadístico determinando el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación a cada uno de los parámetros obtenidos.

Posteriormente, para el análisis de los parámetros de adhesividad de las 4 diferentes formulaciones de las mermeladas, con sus tres repeticiones de cada uno; se realizó un análisis estadístico ANOVA y prueba Tukey utilizando el software Minitab 1.8.

Capítulo 5. Resultados y Discusión.

Para determinar el empleo potencial del mucílago de chía o *Salvia. hispánica L.* como un componente que puede ayudar a mejorar las propiedades de adhesividad y estabilidad de una mermelada, se analizaron algunas de sus propiedades, tales como la capacidad de retención de agua, capacidad gelificantes y capacidad hinchamiento, así como la determinación del pH, potencial Z y en la aplicación del mucílago de chía en la mermelada, se le aplicaron pruebas de estabilidad, adherencia, pH, ° Brix a continuación se muestran los resultados promedio obtenidos durante la experimentación

5.1. Determinación del pH.

Se le determino el pH a las frutas, esto debido a que; para la elaboración de mermelada de piña o fresa es importante su medición, ya que estos definen la formación de un gel consistente y digerible (Carrillo, 2001). Por otro lado también se obtuvieron los resultados de las mermeladas; comercial y las cuatro formulaciones experimentales puesto que son parámetros de calidad impuestos por las normas mexicanas la NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968, ver **Tabla 13**.

Tabla 13. pH de las diferentes muestras analizadas

Muestra	Mucílago de chía	Fruta		Mermelada Comercial	Mermelada testigo de		Mermelada con Mucílago	
		Piña	Fresa		Fresa	Piña	Fresa	piña
pH	7.60	5.69	3.26	3.46	3.49	3.46	3.38	3.49

Como se puede observar en la **Tabla 13**, el mucílago de chía es un polisacárido básico, dato que se puede comparar con el obtenido por Guzmán, (2014), el cual reporta que el Mucílago tiene una escala de pH de 6.06 a 7.03. Posteriormente se determinaron los pH's de la fresa y piña, los cuales fueron de 5.69 y 3.26 respectivamente, en cuestión de las mermeladas comerciales y experimentales se observa que están en un rango de 3 a 3.5 datos que se comparan, con base a las normas mexicanas NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968.

Estos valores son de suma importancia en la elaboración de la mermelada, ya que influye en la formación y calidad del gel, inhibe el crecimiento bacteriano, y prolongar su tiempo de vida útil en la conservación del alimento. Un pH interior a 4.5, impide el crecimiento de bacterias patógenas, ya que no son capaces de crecer en medios ácidos. Sin embargo, aunque estos valores limiten el desarrollo de la mayoría de bacterias, no pueden asegurar la inhibición del crecimiento de hongos y levaduras, por lo que la adición de conservantes es necesaria para garantizar una ausencia total de microorganismos contaminantes.

Durante la elaboración de la mermelada, el fruto y el mucílago de chía sufrieron una modificación del pH, en el proceso, esto derivado de la agregación del ácido cítrico, el cual ayudando a la extracción de la pectina y a la prevención de la ionización de los grupos carboxílicos presentes en el ácido galacturónico de la pectina del fruto y permite la formación de puentes de hidrógeno con la estructura ionizada de los grupos carboxílicos del de ácido glucurónico presentes en el mucílago de chía, provocando la inversión de la sacarosa, es decir, la hidrolización de la sacarosa en fructosa y glucosa y permitiendo la formación de una red tridimensional estable. Por otro lado el mucílago de la *Salvia hispánica L.*, se modificó su pH, debido a la agregación del ácido, el cual ayuda a la mejora de las propiedades funcionales del mucílago.

5.2. Determinación del ° Brix.

Se le determino el contenido de azúcares, porque este parámetro fisicoquímico está relacionado con el grado de maduración de la piña y fresa, siendo importante su control al momento de seleccionar los frutos (Carrillo, 2001). Por otro lado también se obtuvieron los resultados de las mermeladas; comercial y las cuatro formulaciones experimentales puesto que son parámetros de calidad impuestos por las normas mexicanas la NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968, ver **Tabla 14**.

Tabla 14. ° Brix de las diferentes muestras analizadas

Muestra	Fruta		Mermelada Comercial	Mermelada testigo de		Mermelada con Mucílago	
	Piña	Fresa		fresa	piña	fresa	Piña
° Brix	12.03	7.70	60.60	65.13	64.87	64.95	64.90

Al realizar las pruebas de °Brix, se observa que el índice de madurez de las fresa se encuentra dentro de lo determinado por Torres, (2016), 7-7.7 ° Brix y la de la piña está dentro de los 12 a 13 °Brix, en cuestión de las mermeladas comerciales y experimentales se puede observar que están en un rango de 60 a 65 ° Brix datos que se puede comparar, en base a las normas mexicanas NMX-F-131-1982 y NMX-F-145-1968. La escala de °Brix mide la concentración de sólidos solubles disueltos en una mezcla o la estimación del contenido de azúcar, estos valores son de suma importancia, ya que influye en la selección de las frutas por su estado de madurez y de igual manera en la elaboración de mermeladas ayudara a saber hasta dónde concentrar un alimento o qué cantidad de azúcar se debe agregar para que el sabor sea constante.

5.3. Determinación del potencial Z

El objetivo de esta determinación experimental fue el de obtener una tendencia que muestre el potencial electrostático en función del pH para el mucílago de la *Salvia hispánica L.* y así saber bajo qué condiciones de pH el mucílago de chía es capaz de absorber más agua. Para ello se obtiene una medición del potencial Z de partículas en suspensión y la carga adquirida (mV). La evaluación se realizó en pH de 3.5, 7.6 y 10.47, estas selecciones se realizaron para poder ver las cargas presentes en el polisacárido en diferentes medios con diferentes pH, ver **Gráfico 1**.

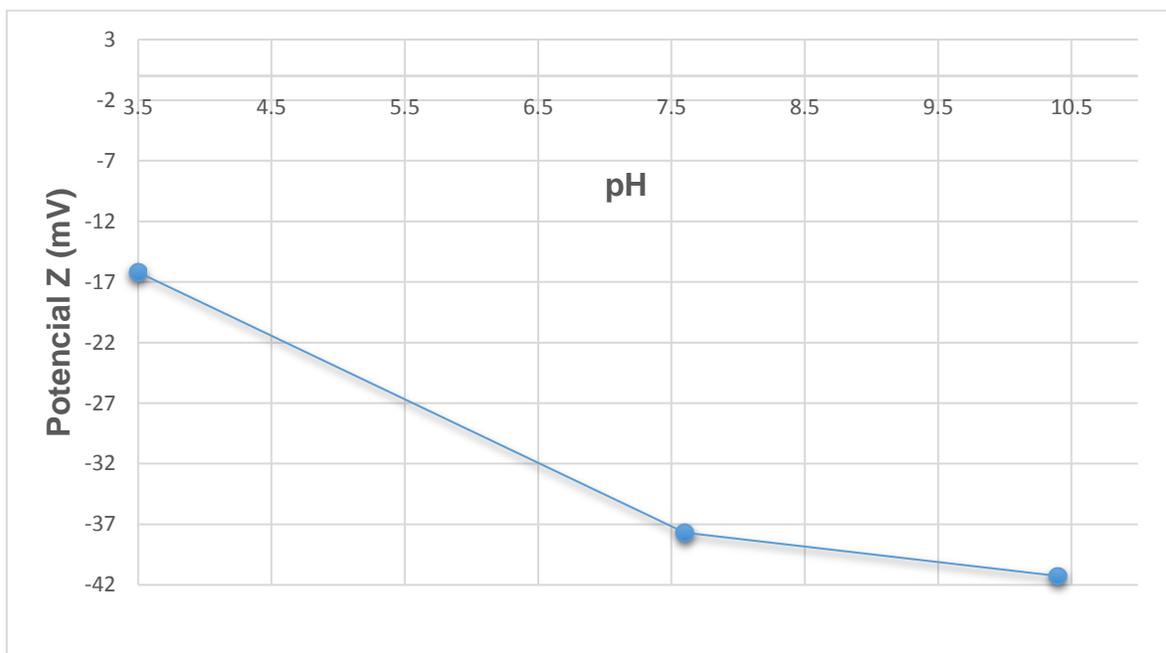


Gráfico 1. Potencial Z del Mucílago de chía

Como se puede observar en el **Gráfico 1**, el pH con mayor carga ocurre en la región de cercana al 3.5. Por otro lado, en la región de pH de 10.5, el mucílago adquiere un promedio del potencial Z de - 41.27 mV, esto se debe a la alta concentración de ácido glucurónico en su estructura, con una relación de los monosacáridos β -D-xilosa, α -D-glucosa y ácido 4-O-metil- α -D-ácido glucurónico es de 2:1:1 (Muñoz,

2012). Estos resultados coinciden con lo reportado por Timilsena *et al.*, (2016), para mucílago de chíá a diferentes pH.

Cabe mencionar que la pectina presenta cargas negativas, haciendo un polisacárido aniónico, por su alto contenido de ácido galacturónico, este polisacárido al igual que el mucílago de la *Salvia hispánica L.*, contienen grupos carboxílicos, como parte de la estructura del ácido galacturónico, que en pH menores a 3, se encuentra la estructura con la agregación de un ion H (forma protonada) (COOH⁺) y en pH mayores a 3, como es el caso del pH de 3.5 en cual debe de estar la mermelada, estos polisacáridos se puede encontrar en forma ionizada (COO⁻) (Grunauer, 2009).

Demostrando que, a pH de 3.5 el mucílago de chíá podrá desarrollar sus propiedades funcionales y formándose una red tridimensional con los grupos carboxilo de la pectina del fruto, esto debido a la agregación del ácido cítrico, el cual previene la ionización de los grupos carboxílicos que se encuentran en el ácido galacturónico de la pectina del fruto y con la agregación de la azúcar a este gel ayuda a deshidratar la pectina y permite la formación de puentes de hidrógeno con la estructura ionizada de los grupos carboxílicos del de ácido glucurónico presentes en el Mucílago de chíá.

5.4. Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA).

El objetivo de esta evaluación experimental fue el de obtener la capacidad de retención del agua para el mucílago de *la Salvia hispánica L.*, en función del pH y la temperatura. La determinación se realizó en diferentes masa de Mucílago (0.2 g y 3.0 g), a pH de 3.5 y 7.6 y una temperatura de 25 y 90°C, estas selecciones se realizaron para poder obtener los gramos de agua retenidos en un gramo de este polisacárido, en diferentes medios con diferentes masas, pH y temperaturas, ver **Gráfica 2.**

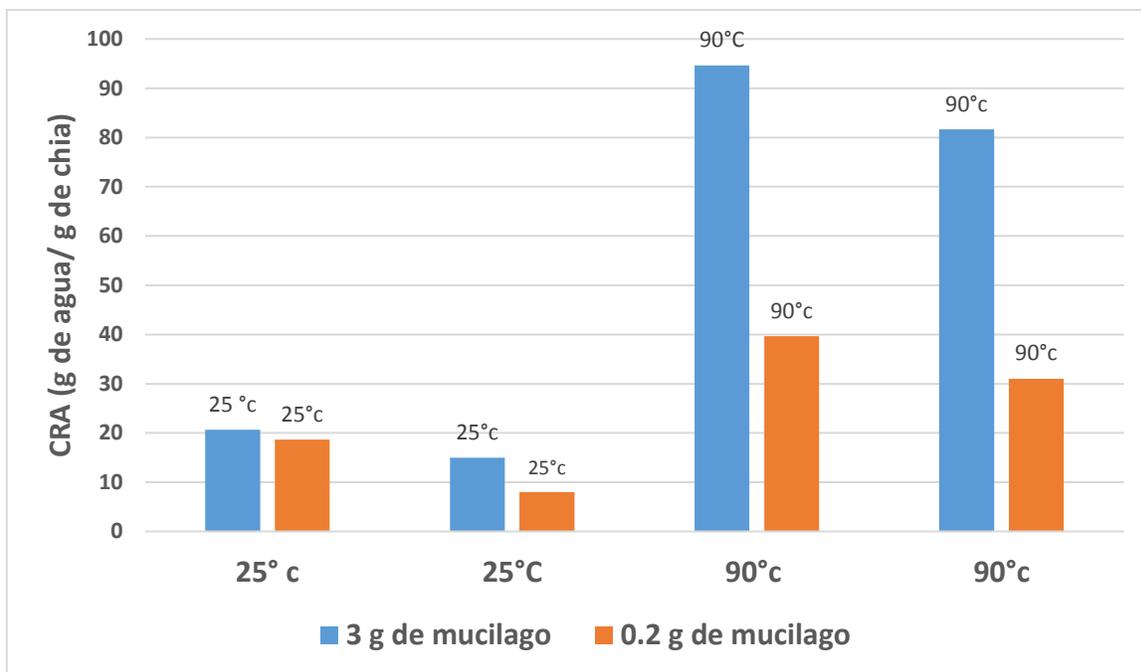


Grafico 2. CRA del mucílago de chíá

Al realizar las pruebas de capacidad de retención de agua, se observa, que esta capacidad está en función de la cantidad de hidrocoloide, y de la temperatura y el pH. En el caso de la combinación del 3 g de mucílago, tratados a 90°C en un medio de pH 3.5, demostró, que tuvo una mayor capacidad de retención de agua a comparación del mucílago que se trató a 25°C y pH de 7.6, esto provocado principalmente por el número de grupos polares libres (por ejemplo –OH), dado que si estos aumentan se incrementa la hidratación, así dicha capacidad es mayor en las fibras solubles, que por acción osmótica captan agua y tienen capacidad de formar coloides tipo gel (Espinosa, 2017). Provocando que las condiciones necesarias para que 3 g mucílago de chíá desarrolle sus propiedades funcionales se a una temperatura de 90° C y un pH de 3.5.

5.5. Evaluación de la capacidad de hinchamiento (CH).

La capacidad de hinchamiento denota el grado de hidratación del mucílago, por lo tanto, una mayor capacidad de hinchamiento indica que existen fuerzas de unión más débiles, hecho que explica el incremento de dicha capacidad cuando la temperatura incrementa originando que la interacción entre moléculas se vuelva más débil. En la **Grafica 3**, se muestran los datos obtenidos para las pruebas de capacidad de hinchamiento a 25 y 90 ° C, 0.2 y 3 g de mucílago y pH de 3.5 Y 7.6.

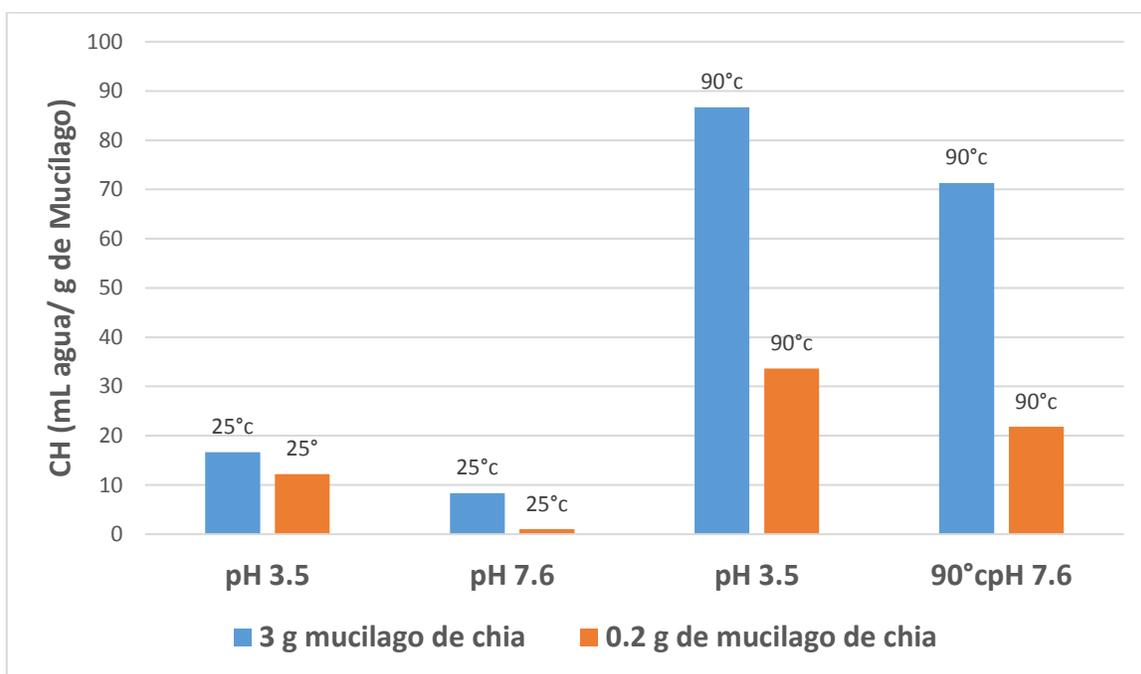


Grafico 3. Capacidad de hinchamiento del mucílago.

Al realizar las pruebas de capacidad de hinchamiento, se observa, que esta propiedad está en función de la temperatura y el pH. En el caso de la combinación de 3 g de mucílago, tratados a 90°C en un medio de pH 3.5, demostró, que tuvo una mayor capacidad hinchamiento a comparación del mucílago que se trató a 25°C y pH de 7.6, ya que este comportamiento al igual que la Capacidad de retención de agua, está relacionado a la función de su estructura tridimensional, así como a su

entorno químico (pH, concentración de sales, entre otros), por tanto esta captación de agua depende principalmente del número de grupos polares libres (por ejemplo –OH), dado que si estos aumentan se incrementa la hidratación, así dicha capacidad es mayor en las fibras solubles, que por acción osmótica captan agua y tienen capacidad de formar coloides tipo gel. Por otro lado se observó que al aumentar la concentración se disminuyen estas capacidades, esto se le puede atribuir a su estructura química ramificada, que por el contrario si se le pone a una temperatura elevada, se mejora las propiedades funcionales, esto se le puede atribuirse a una mejor disolución de algunas moléculas, puesto que es un hidrocoloide ramificado, al cual ayuda para poder desdoblar la estructura y exponer sus propiedades hidrofílicas del hidrocoloide (Espinosa, 2017). Provocando que las condiciones necesarias para que 3 g Mucílago de chíá desarrolle sus propiedades funcionales se a una temperatura de 90° C y un pH de 3.5.

5.6. Determinación de la capacidad de formación de geles (CG).

Es la capacidad que tiene el mucílago para formar una red continua de macromoléculas interconectadas y entrelazadas en una estructura tridimensional en las que queda atrapada la fase continua de agua, se puede concebir como un estado en el que las macromoléculas coloidales se orientan formando fibrillas que al interaccionar establecen un “cuerpo básico o esqueleto”, que sirve de soporte para retener agua mediante puentes de hidrógeno (Badui, 2006). En el **Tabla 15**, se describen los datos empíricos de la capacidad de gelificación para el mucílago de chíá, en el cual consintió en evaluar 2 diferentes concentraciones de mucílago a 25 Y 90 ° C y pH de 3.5 Y 7.6

Tabla 15. CG de la chía.

Concentración (%)	Temperatura (°C)	pH	Gelificación	Presencia
3.0	25	3.5	+	Gel
		7.6	-	Viscoso
	90	3.5	+	Gel (punto final de menor concentración)
		7.6	-	Viscoso
0.2	25	3.5	-	Viscoso
		7.6	-	Líquido
	90	3.5	-	viscoso
		7.6	+	Viscosidad

La mayor concentración del mucílago de *Salvia hispánica L.*, a la cual se observó la formación de gel fue la de 3.0% a temperatura de 90°C y 25°C con un pH de 3.5. Para las concentración de 0.2% de Mucílago, en sus presentaciones de 90°C y 25°C con un pH de 3.5 y 7.6 presentaron una viscosidad moderar.

Como se puede observar en la **Tabla 15**, al modificar la temperatura y el pH afectan las características de gelificación en el mucílago. Demostrando que la capacidad de gelificación no solo dependía de la cantidad de polisacárido, sino también de la temperatura y el pH, esto debido al aumento del pH y la temperatura se aumentó la cantidad de cadenas disponibles de la estructura ramificada del hidrocoloide para absorber moléculas de agua pero al haber mayor cantidad agua hay una saturación de moléculas de agua provocando una saturación en sus estructurar del mucílago (Peña, 2017).

5.7. Evaluación de los parámetros de adhesividad.

En la **Tabla 16**, se muestra los parámetros obtenidos en las pruebas de adhesividad para las mermeladas de fresa y piña testigo y las mermeladas de fresa y piña con la adición de 3% de mucílago de la *Salvia hispánica L.*

Tabla 16. Propiedades adhesivas de las mermeladas.

Fruta	[%] de Mucílago	Consistencia (N)	Untabilidad (cm/N)	Adhesividad (J)	Fuerza adhesiva (N)
Fresa	0	0.16 ^c	-147.62 ^b	-0.0005 ^a	-0.07 ^a
Piña	0	0.65 ^b	-26.28 ^a	-0.001 ^a	-0.36 ^b
Fresa	3	0.71 ^b	-25.96 ^a	-0.001 ^a	-0.40 ^b
Piña	3	0.94 ^a	-15.73 ^a	-0.002 ^b	-0.63 ^c

Valores con el mismo superíndice estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplica pruebas de Tukey.

Se puede notar que si existe diferencias significativas entre las 4 formulaciones. La mermelada de piña con la agregación del mucílago de la *Salvia hispánica L.*, resulto con una mayor consistencia. En las mermeladas con la modificación de las frutas y la concentración del mucílago no hay diferencia significativa en la untabilidad o la adhesividad. En la mermelada de fresa sin la agregación del mucilago se demostró que tiene una mayor fuerza adhesiva a comparación a la de piña con mucílago, mientras que en las otras dos formulaciones no se observa una diferencia significativa en sus parámetros adhesivos.

En la **Gráfica 4** se muestra una curva de fuerza vs tiempo de las pruebas adhesivas por penetración y retirada, para las mermelada comercial y las cuatro formulaciones experimentales.

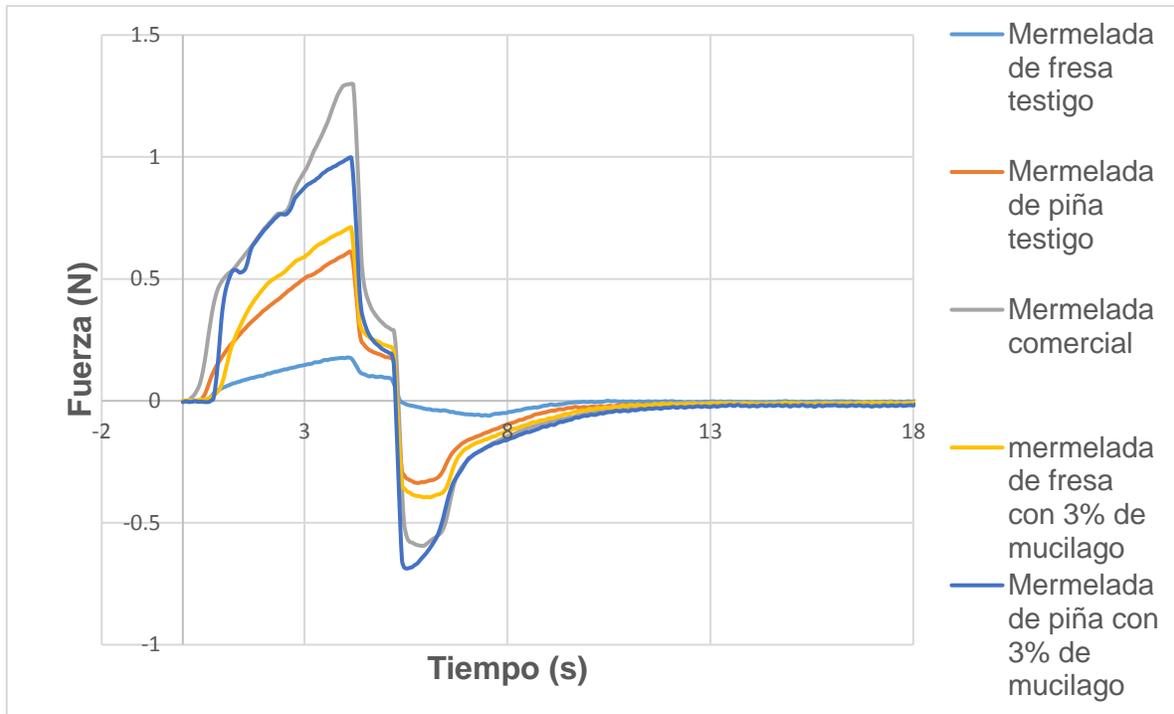


Gráfico 4 Prueba de adhesividad en las mermeladas

Como se puede observar, en la gráfica anterior, solo cuenta con un ciclo de penetración y retirada, en el cual, se puede encontrar en la parte inferior la adhesividad de las mermeladas comerciales y la de las mermeladas de fresa o piña testigo y las mermeladas de fresa y piña con la adición del 3% de mucílago de *Salvia hispánica L.*

En caso de la mermelada de piña con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.*, se observa que hay una fuerza adhesiva mayor, una adhesividad y untabilidad similar, y una menor dureza a comparación de la comercial, esto debido a que en la formulación de cada mermelada, siendo específico, la de piña, se utilizaron aditivos que mejoran las propiedades texturales, dando una mayor fuerza adhesiva y una similitud en la untabilidad y adhesividad.

En cuestión de las mermeladas de fresa y piña testigos y la mermelada de fresa adicionada con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.*, mostraron menores parámetros texturales, de dureza, adhesividad, untabilidad y fuerza adhesiva,

comparación de la comercial, siendo, la mermelada de fresa sin la agregación del mucílago, el gel que obtuvo los menores valores de los parámetros texturales de adhesividad, algo interesante que se puede observar en la mermelada de fresa adiciona con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.* y la mermelada de piña testigo, obtuvieron parámetros texturales similares entre sí, a lo que se le puede adjudicar al mucílago como un aditivo capaz de mejorar las propiedades texturales de las mermeladas con frutos que tienen bajo contenido de pectina en su estructura e igualar las propiedades de untabilidad y adhesividad de las mermeladas de frutos con alto contenido en pectina (piña) a comparación de la comercial.

Como se podrá observar, en la **Gráfica 9**, con la adición del 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.* en la elaboración de las mermeladas de piña y fresa, obtuvieron una mejora en las propiedades adhesivas del gel a comparación de las testigo. esto debido, que en la formulación de las demás mermeladas se utilizó, como aditivo polisacárido que potencializa las propiedades texturales dentro del gel, ya que el mucílago de chíá tiene una alta cantidad de fibra dietética soluble, que al ser sometida a un pH de 3.5 y una temperatura de 90°C, provocó que desarrollaran sus propiedades funcionales y formaran un gel más consistente, de tal manera que las macromoléculas actúan entre si y formen una red tridimensional en la que queda atrapada el agua debido a una fuerte hidratación del polímero.

Evaluación de sinéresis

La sinéresis se genera a causa de una contracción del gel y pierde líquido (Barrantes, 2009). En la **Tabla 17**, se observa el comportamiento de la mermelada comercial y elaborada con fresa y piña con y sin la adición de mucílago, durante 5 días, donde unas presentaron una tendencia de pérdida con respecto a un mayor tiempo y otras se mantuvieron constante en menor tiempo.

Tabla 17. Sinéresis de las mermeladas comercial y las cuatro formulaciones

		Sinéresis (%)				
Días		1	2	3	4	5
	Comercial	23.33	26.67	33.33	36.67	36.67
	Testigo de fresa	33.33	40.00	50.00	60.00	66.67
	Testigo de piña	23.33	26.67	33.33	36.67	43.33
Mermelada	de fresa con 3 % de <i>Salvia hispánica L.</i>	23.33	26.67	33.33	33.33	33.33
	de piña con 3 % <i>Salvia hispánica L.</i>	13.33	23.33	23.33	23.33	23.33

Al realizar las pruebas de sinéresis, se observa, que todos los geles exudan el líquido de su estructura, pero unos en mayor cantidad y/o son menos estables a comparación de las demás muestras.

En el caso de la mermelada de piña adicionada con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.*, demostró, que tuvo una menor pérdida de peso y una estabilidad mayor a comparación de la comercial, esto se ve reflejado que durante en el primer día de la prueba la mermelada de piña perdió un 13% y posteriormente se mantuvo en un 23 % de peso a comparación de la comercial que perdió 23.3% y posteriormente paso de 26.33% a 33.33% hasta que se mantuvo en 36.6% de peso, por lo que se puede observar que el gel elaborado a base de piña y mucílago, se convirtió en el gel más estable, esto debido, a la alta capacidad de retención del agua del polisacárido y que en la agregación del ácido cítrico no solo ayudo al ajuste de pH a 3.5, sino que auxilio a la prevención de la ionización de los grupos carboxílicos presentes en el ácido galacturónico de la pectina de la piña y la azúcar ayudo a deshidratada la pectina y permite la formación de puentes de hidrógeno

con la estructura ionizada de los grupos carboxílicos del de ácido glucurónico presentes en el Mucílago de chíá, formándose una red tridimensional que ayudo a absorber más líquido y liberar menos agua no ligada en el alimento.

Algo interesante que se puede observar en la mermelada de fresa adiciona con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.* y la mermelada de piña testigo, que obtuvieron las mismas perdidas de peso dentro de los tres primeros días, posteriormente se puede observar que la mermelada de piña testigo sigue perdiendo peso a comparación de la mermelada de fresa con mucílago, esto debido a que, en la formulación de cada mermelada, siendo especifico, la de fresa, se utilizaron aditivos que mejoran las propiedades texturales como es el caso de la chíá, que tiene alta capacidad de retención de agua y forma redes tridimensionales más estables con la pectinas del fruto.

Y por último, la mermelada de fresa testigo, fue el gel que obtuvo la mayor pérdida de agua, a comparación de la mermelada comercial y las experimentales (mermelada de piña testigo, fresa y piña adiciona con el 3% del mucílago de *Salvia hispánica L.*), ya que durante el primer día perdió más del 23% de peso y posteriormente seguía perdiendo peso hasta llegar a un porcentaje mayor al 66 %, esto quiere decir que un gramo de mermelada pierde más del 0.66 g de agua, esto debido a que el fruto tiene una cantidad mínima de pectina en su estructura, provocando que una débil formación de redes tridimensionales.

Conclusiones

- El mucílago de chíá es un hidrocoloide básico con pH de 7.6.
- Se determinó que el mucílago tiene carga negativa (aniónico) que al ser modificado su pH de 10.4 a 3.5, se veía afecta la carga de las moléculas, con un incremento en el potencial Z.
- A temperaturas de 90°C, pH de 3.5 y concentración del 3% son las condiciones idóneas para utilizar mucílago en las formulaciones de mermeladas, ya que a estas condiciones desarrolla sus propiedades funcionales de capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de hinchazón (CH) y capacidad de gelificación (CG).
- La adición del mucílago de la *Salvia hispánica L.* en la elaboración de mermeladas favorece a la disminución del agregación de azúcar.
- La agregación de este polisacárido también favorece las propiedades adhesivas y disminuye la sinéresis del gel.
- De las cuatro formulaciones (dos testigos y dos con 3% de mucílago), la elaborada con piña y el 3% de mucílago de chíá, iguala la untabilidad y adhesividad a comparación de la comercial.
- En las formulaciones de mermelada de fresa sin la agregación del mucílago de chíá, fue el gel que adquirió la menor dureza, la untabilidad, adhesividad y fuerza adhesiva, como también una mayor pérdida de agua comparación de la comercial.
- Hay una mejora en estabilidad en la sinéresis de las mérmela de piña con la adición del mucílago a comparación de las mermelada comercial y la de fresa y piña testigo.
- El mucílago de la *Salvia hispánica L.* presenta propiedades funcionales como mejorador de textura y estabilizante en mermeladas, esto debido a su alto contenido de fibra dietética, por lo consecuente se puede utilizar en la elaboración de mermeladas.

Referencias

ANMAT. (2016). Programa federal de control de alimentos: Directrices para la autorización sanitaria de producto alimenticio. Argentina. (pp. 9).

Badui, S., (2006). Química de los alimentos. México. Pearson educación. (pp. 736). 4° Ed.

Baño, D., Mejía, A. Rodas, S. (2017). Efecto de la adición de chíá sobre las características sensoriales, físico-químicas y rendimiento de la mortadela. Perú. Industrial Data. (pp. 111). Vol. 20. No. 1.

Barrantes, A. (2009) Desarrollo de una mermelada sin adición de azúcar empleando gomas que produzcan geles similares a al pectina y evaluación de los costos de materia prima. Tesis. Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, UCR. (pp. 19)

Batalla, J., Cuadros, A., San Martín, E., (2014) Potencial zeta en la determinación de carga superficial de liposomas. México. Edvcatio physicorvm qvo non ascendam. (pp. 4319-1-4319-2) Vol. 8, No. 4.

Bello. J. (2014). Ciencia bromatológica, principio general de los alimentos. España. Díaz de santos. (pp. 198).

Berries. (2016). Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. México. FIRA. (PP. 15)

Busilacchi, H. Qüesta, T. y Zuliani, S. (2015). La chíá como una nueva alternativa productiva para la región pampeana. Agromensajes. Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, UNR. (pp.37- 46). Vol. 41. No.2.

CAE (Código Alimentario Español). (1967). Disposiciones generales. Boletín oficial de España. España. (pp. 14180-14448). No. 248.

Capitani Ivana, M. (2013) Caracterización y funcionalidad de los subproductos de *Salvia Hispania L.* aplicación tecnología de alimentos. Tesis. Argentina. Universidad Nacional de la Plata. (pp. 6-168).

Carmona, D., Farías, L., Ramos, R. y López, C. (2018). Síntesis de un oleogel para su aplicación como material absorbente de aceites. México. CienciAcierta. (pp. 2). No. 56

Carrillo, C., Gutiérrez, M., Muro, M., Martínez, R. y Torres, O. (2017). La chía como súper alimento y sus beneficios en la salud de la piel. México. El residente. (pp. 18-24). Vol. 12. No. 1.

Chambi, E. y Puraca, K. (2017). Evaluación tecnológica para la extracción del Mucílago de la semilla de chía (*Salvia hispánica L.*), y su aplicación como estabilizante en un néctar de fresa. Tesis. Perú. Universidad Nacional de San Agustín. (pp. 1-79).

Chávez, L. (2010). Propiedades adhesivas en alimentos semisólidos comerciales con alto contenido de lípidos y/o azúcar. Tesis. México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. (pp. 4-72).

CODEX para compotas (conservas de frutas) y jaleas CODEX STAN 79-1981

Coffman C, Garcia V (1977) Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. J. Food Technol. (pp. 482). Vol. 12:

Coronado, T. e Hilario, R. (2001) Elaboración de mermeladas: proceso de alimentos para pequeños y micro empresa agroindustriales. Perú. Centro de investigación, educación y desarrollo. (pp. 36)

Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., Quiroga, M. y Severin, C. (2012) Caracterización Morfoanatómica de Hoja, Tallo, Fruto y Semilla de *Salvia hispánica L.* (Lamiaceae). Chile. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. (pp. 249-26). Vol. 11. No. 3.

Espinosa, A. (2017). Propiedad fisicoquímica y tecno funcional de la chía (*Salvia Hispánica*) y su extracto desengrasado. Tesis. España. Escuela Politécnica superior de Orihuela, UMHE. (pp. 10-36)

Fennema. (2000) Química de los alimentos. España. Acriba. 2º Ed. (pp. 1258).

Fuentes, L., Acevedo, D y Gelvez, V. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad. Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. (pp. 140-149). Vol. 13 No. 2.

García, M. y García, M. (2000). Elaboración de conservas vegetales. México. Universidad de León. (pp. 279-282).

Grunauer, F. (2009). Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina Extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle. Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL*. (pp. 12-15). Vol. 1. No.2.

Gutiérrez, R., Vega, L., Vega, S., Fontecha, J., Rodríguez, L. y Escobar, A. (2014). Contenido de ácidos grasos en semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) cultivadas en cuatro Estados de México. México. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. (pp. 199-207). Vol. 19. No. 3.

Guzmán, G. (2014). Extracción y caracterización fisicoquímica del mucílago de la semilla de chan (salvia hispánica l.) para su aplicación como aditivo nutritivo y espesante en la elaboración de una bebida en polvo. Guatemala. Tesis. Facultad de Ingeniería, USAC.

Hernández, M. (2005). Cristal líquido como vehículo para la aplicación tópica de fármacos. Tesis. México. Facultad de química, UNAM. (pp. 59

INEGI. (2015). Censo y conteo de población y vivienda.

López, M., Mercado, J., Martínez, G. y Magaña, J. (2011). Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. México. *Acta Universitaria*. (pp. 31-36). Vol. 21. No. 2.

López, V. (2014). Manual de textura. Tesis. México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. (pp. 11-62)

Malvern. (2019). Potencial Zeta: Un Curso Completo en 5 Minutos. www.malvern.com

Malvern. (2019). Zetasizer nano series, performance, simplicity, versatility. www.malvern.com.

Moht, N., Yeap, S., Ho, W., Beah, B., Tan, S., y Tan, S. (2012). The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. Malasia. Journal of Biomedicine and Biotechnology. (pp.1-9). Vol. 2012.

Moreira. (2013). Tablas de Composición de Alimentos. España. Pirámide. (pp. 50-51). 15 ed.

Muñoz, L. (2012). Mucilage from chía seeds (*Salvia hispanica*): microestructure, physico-chemical characterization and applications in food industry. Tesis. Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. (pp. 146).

NMX-F-127-1982. Alimentos para humanos. Frutas y derivados. "Mermelada de piña".

NMX-F-131-1982. Alimentos para humanos. Frutas y derivados.

NMX-F-145-1968. Jalea de piña. Normas mexicanas. Dirección general de normas NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.

NTP-ISO 5492. (2010). Análisis sensorial, Vocabulario.

OCDE (2017). Health at a Glance 2017. Paris. OCDE. (pp. 63).

Pasquel, A. (2001). Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. Perú. Revista Amazónica de Investigación Alimentaria. (pp. 1-8). Vol. 1.No. 1)

Peña, D. (2017). Estudio de las propiedades emulsificantes del Mucílago de tamarindo. Tesis. Mexico. Facultad de química, UAEM. (pp. 15-18).

Reyes, E., Tecante, A. y Valdivia, M. (2008). Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in mexican chía (*Salvia Hispánica* L.) seeds, México. Food Chemistry. (pp. 656-663). Vol. 107. No.2.

Rodríguez, E, Sandoval, A., y Ayala., A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal. Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos. España. Tecnura. (pp. 4-13). Vol. 7. No. 13.

Rovati A, Escobar E y Prado C. (2012). Particularidades de la semilla de chía (*Salvia hispánica L*). Argentina. EEAOC-Avance Agroind. (pp. 39-43). Vol. 30, No. 3.

Sáez, V., Hernáez, E. y Sanz, A. (2003). Liberación controlada de fármacos. Hidrogeles. España. Revista Iberoamericana de polímeros. (pp. 22-68). Vol. 4. No. 1.

SAGARPA. 2017. Planeación agrícola nacional de la fresa 2017.2030

SAGARPA. 2017. Planeación agrícola nacional de la piña 2017.2030

Salinas, E. (1995). Descripción estocástica de sistemas dispersos. México. Revista Mexicana de Física. (pp. 431-450). Vol. 41, No. 1.

Santillán, A. (2014), Efecto de la adición de Harina de chía (*Salvia Hispánica L*) sobre las características Físicoquímicas, Textuales y Sensoriales de un Gel Cárnico a base de Carne de Carpa común (*Cyprinus Carpio*). Tesis. México. Facultad de Química, UAEM. (pp. 10-69)

Sarmiento, L. (2006) Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. Colombia. Orinoquia. (pp. 16-23). Vol. 10. No.1.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2017). Resumen Nacional, Intención de cosecha 2017. México.

Silveira, M., Monereo, S. y Molina, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos? España. Revista Española de Salud Pública. (pp. 317-331) Vol. 77. No. 3.

Singh, V., Banerjee, I., Agarwal, T., Pramanik, K., Bhattacharya, M. y Pal, K. (2014). Guar gum and sesame oil based novel bigels for controlled drug delivery. India. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. (pp. 2). Vol. 123.

Sloan, E. (2000). The Top Ten Functional Food. Estados Unidos. Food Tech. (pp. 33-62). Vol. 54. No.4

Sosa, A., Ruiz, G, Gordillo, G., West, H., Sharma, M., Liu, X. y Rana, J. (2016). La chía mexicana (*Salvia hispánica L.*): su historia e importancia como cultivo en el mundo. México. (pp. 1-22).

Thakur, B., y Handa, A. (1997). Chemistry and uses of pectin. Critical review Food Science and nutrition. (pp. 47-73). Vol.37. No. 1.

Timilsena, Y. Adhikari, R. Kasapis, S y Adhikari, B. (2016) Physicochemical, thermal and rheological characteristics of a novel mucilage from chía seed (*Salvia hispánica*). Australia. Gums and Stabilisers for the Food Industry. (pp. 68-70). Vol 18.

Torres, I. (2016) Determinación de parámetros fisicoquímicos en fresa (*Fragaria Ananassa*) sometida a radiación UV-C. México. Tlamati Sabiduría. (pp.66-79). Vol. 7. No. 2.

Trespalacios, P (2007). Gelificación de productos avícola por alta presión isostática: actividad de sinérgica de la transglutaminasa microbiana. Tesis. España. Facultad de Veterinaria, UAB. (pp. 65-77)

Ugena, L. (2015). Aceite de chía. Beneficios e inconvenientes de su consumo. Tesis. España. Facultad de farmacia. UC. (pp. 5-15)

Valenzuela, A., Valenzuela, R., Sanhueza, J., y Morales, G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? Chile. Revista Chilena de nutrición. (pp. 198-204). Vol. 41. No. 2.

Wang, C, y Damoran, S. (1991) Thermal gelation of globularproteins: influence of proteínas conformation on gel strength. Estados Unidos. Journal of agricultural and Food Chemistry. Vol. 39. No. 3. (pp. 433-438)

Xingú, A., González, A., de la Cruz, E., Sangerman, D, Orozco, G. y Rubí, M. (2017). Chía (*Salvia hispánica L.*): situación actual y tendencias futuras. México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (pp. 1619-1631). Vol. 8. No. 7.

Y. Ixtaina, V. (2010). Caracterización de la semilla y aceite de chía (*Salvia hispánica L.*) obtención mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos. Tesis. Argentina. Facultad de Ciencias Exactas, UNP. (pp. 3-239).

Zuñiga R. y Aguilera J. (2008). Aerated food gels fabrication and potential applications. Chile. Trends in Food Science & Technology. (pp. 176-187). Vol. 19, No. 4.