



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN QUÍMICA DE ALIMENTOS

TESIS

**DIVERSIFICACIÓN DEL USO DE JENGIBRE Y
JARABE DE AGUAMIEL EN LA ELABORACIÓN
DE UNA MERMELADA**

**Para obtener el título de
Licenciada en Química de Alimentos**

PRESENTA

María Fernanda Ávila Bastida

Directora

Dra. Judith Jaimez Ordaz

Codirectora

Dra. Elizabeth Contreras López

Pachuca de Soto, Hidalgo., abril, 2025



Mineral de la Reforma, Hgo., a 25 de abril de 2025

Número de control: ICBI-D/623/2025

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Egresada de la Licenciatura en Química de Alimentos **María Fernanda Ávila Bastida**, quien presenta el trabajo de titulación "**Diversificación del uso de jengibre y jarabe de aguamiel en la elaboración de una mermelada**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Luis Guillermo González Olivares

Secretario: Dra. Ilse Monroy Rodríguez

Vocal: Dra. Judith Jaimez Ordaz

Suplente: Dra. Elizabeth Contreras López

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

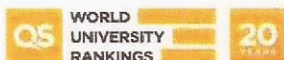
Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director de ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx,
vergarar@uaeh.edu.mx



Agradecimientos

A mis papás por haberme acompañado en este proceso y por todo el esfuerzo que han hecho por verme cumplir mis metas. Gracias por su amor y apoyo incondicional, confianza en lo todo que hago y siempre estar a mi lado, y ahora poder compartir este logro con ellos.

A mis abuelos por siempre confiar en mí y estar a mi lado al pendiente, aconsejándome, guiándome y por todas sus enseñanzas.

A mis profesores de la licenciatura por su experiencia y conocimientos transmitidos, por su confianza, y por motivarme a aprender, descubrir y sobre todo disfrutar lo que hago.

A mi asesora la Dra. Judith por darme la oportunidad de trabajar con ella, por sus consejos y conocimientos, por su confianza siempre puesta en mí, y todo su apoyo en la dirección durante el desarrollo de este proyecto.

A los doctores y compañeros de laboratorio que me apoyaron y compartieron conocimientos para la realización de parte de este proyecto.

A mi tutor el Dr. Alejandro por guiarme a lo largo de la licenciatura, por su amabilidad, consejos y consideración.

A las personas con las que coincidí durante la licenciatura que se convirtieron en mis amigos por todos los momentos que vivimos, por su compañía y motivarme durante este proceso, pero sobre todo por su amistad.

Índice

1. Introducción	9
2. Marco teórico	11
2.1. Definición de la mermelada	11
2.2. Clasificación de la mermelada	12
2.3. Estadísticas de consumo, producción y mercado de mermelada	12
2.3.1. Consumo y producción de mermelada	12
2.3.2. Mercado de mermelada	13
2.3.3. Importaciones y exportaciones de mermelada	14
2.4. Propiedades fisicoquímicas y formulación de la mermelada	16
2.4.1. Fruta	17
2.4.2. Pectina	18
2.4.3. Azúcar	19
2.4.4. Ácido	20
2.5. Proceso de elaboración de la mermelada	21
2.6. Problemas en la elaboración de mermeladas	24
2.7. Tendencias actuales de elaboración de mermelada	27
2.8. Alimentos como ingredientes funcionales	28
2.8.1. Jengibre	28
2.8.2. Jarabe de aguamiel	30
2.8.3. Chía	32
2.8.4. Chayote	33
2.8.5. Manzana	34
3. Estudios preliminares de mermelada elaborada con ingredientes funcionales	36
4. Objetivos	40
4.1. General	40
4.2. Específicos	40
5. Materiales y métodos	42
5.1. Materiales, equipos y reactivos	42
5.2. Materia prima	44
5.3. Desarrollo de las formulaciones de mermelada	44
5.4. Diseño de experimentos	45
5.5. Análisis sensorial	47
5.6. Análisis fisicoquímico	49
5.6.1. Sólidos totales	49
5.6.2. pH	49
5.6.3. Viscosidad	49
5.6.4. Análisis proximal	49
5.7. Análisis microbiológico	52
5.8. Actividad prebiótica	54
5.9. Actividad antioxidante	55

6. Resultados y discusión	58
6.1. Diseño de experimentos	58
6.2. Análisis sensorial	65
6.3. Análisis fisicoquímico	71
6.3.1. Sólidos totales, pH y viscosidad	71
6.3.2. Análisis proximal	73
6.4. Análisis microbiológico	76
6.5. Actividad prebiótica	78
6.6. Actividad antioxidante	82
7. Conclusiones	89
8. Referencias	91
9. Anexos	107

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales, equipos, insumos y reactivos.....	42
Tabla 2. Ingredientes para las formulaciones de mermelada.....	44
Tabla 3. Factores del diseño de experimentos.....	45
Tabla 4. Matriz del diseño de experimentos para las formulaciones de mermelada.	45
Tabla 5. Codificación de las muestras de mermelada.....	47
Tabla 6. Análisis fisicoquímicos basado en el diseño de experimentos.	58
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de la mermelada.....	71
Tabla 8. Composición proximal de la mermelada seleccionada.....	74
Tabla 9. Supervivencia de <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	78
Tabla 10. Actividad antioxidante de mermelada comercial, con jarabe de aguamiel y sin jarabe de aguamiel.	82

Índice de figuras

Figura 1. Tamaño del mercado de mermeladas.	14
Figura 2. Condiciones para la gelificación.	17
Figura 3. Estructura tridimensional del gel de pectinas.	19
Figura 4. Ionización de la pectina.	21
Figura 5. Procesamiento de mermelada.	22
Figura 6. Planta de jengibre y rizoma.	28
Figura 7. Estructura química del gingerol.	30
Figura 8. Gel de mucílago de chíá.	33
Figura 9. Gráficos de contorno para sólidos solubles. a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana	62
Figura 10. Gráficos de contorno para viscosidad (10 rpm). a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana	63
Figura 11. Gráficos de contorno para pH. a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana	64
Figura 12. Valores promedio de puntuaciones de la prueba de nivel de agrado de las formulaciones de mermelada.	66
Figura 13. Porcentaje de jueces que seleccionaron diferentes niveles en la escala JAR de las formulaciones de mermelada para a) intensidad del sabor a jengibre y b) viscosidad.	67
Figura 14. Penalizaciones de las formulaciones de mermelada a) 465, b) 732, c) 559 y d) 585.	70
Figura 15. Porcentaje de inhibición del radical DPPH de mermelada comercial, mermelada con jarabe de aguamiel y mermelada sin jarabe de aguamiel.	84

01.

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

El jengibre, un rizoma originario de Asia, África, Brasil y Jamaica, se distingue por sus aromas y sabores característicos. Se utiliza tanto con fines terapéuticos como alimenticios, en productos como condimentos, dulces, mermeladas y bebidas. Su consumo aporta beneficios para la salud, gracias a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias lo que lo convierte en una opción prometedora para la industria alimentaria.

En el estado de Puebla, un grupo de productores de jengibre enfoca su producción principalmente en la exportación, pero busca diversificar su mercado dentro de México, ofreciendo nuevas alternativas para el consumo de jengibre y productos derivados. Diversos estudios sobre su incorporación en diversos alimentos han demostrado que su inclusión en mermeladas es viable y bien aceptada por los consumidores.

Por otro lado, el estado de Hidalgo es reconocido como uno de los principales productores de maguey cuyos derivados principales son el aguamiel y el pulque. Además del pulque, con el aguamiel se prepara un concentrado de azúcares naturales conocido como jarabe de aguamiel. Sin embargo, este jarabe se conoce y comercializa poco, lo que limita su aprovechamiento en la industria. Los productores han buscado diversificar su uso más allá de la comercialización tradicional del jarabe de aguamiel. Investigaciones recientes han evidenciado su potencial como sustituto de endulzantes convencionales, permitiendo la creación de nuevos productos alimenticios.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo la elaboración de una mermelada alternativa que combine jengibre y jarabe de aguamiel, con el propósito de diversificar las aplicaciones de estas materias primas. Además, se incorporan manzanas locales, con el fin de reducir el desperdicio de este fruto y aprovechar su disponibilidad regional, así como chíá y chayote para aumentar el contenido de fibra y contribuir a la gelificación de la mermelada. La relevancia de este estudio radica en la posibilidad de obtener un producto innovador de alta calidad, al mismo tiempo que se exploran los beneficios potenciales que estos ingredientes pueden aportar a las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la mermelada.

02.

MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico

2.1. Definición de la mermelada

De acuerdo con la norma para las confituras, jaleas y mermeladas del Codex Alimentarius, la mermelada es el producto elaborado por la cocción de fruta ya sea entera, en trozos o machacada, mezclada con productos que le proporcionan un sabor dulce hasta adquirir una forma semilíquida, espesa o viscosa.

A su vez, los estándares de calidad NMX-F-127-1982 y NMX-F-131-1982 correspondientes a mermeladas de piña y de fresa respectivamente, la definen como un producto alimenticio obtenido tras la cocción y concentración tanto del jugo y de la pulpa de frutas en estado óptimo, adicionada de edulcorantes y agua, posteriormente envasada en recipientes cerrados herméticos y sometidos a tratamiento térmico para su conservación.

De igual forma, desde el enfoque de tecnología de alimentos, las mermeladas son productos de consistencia pastosa o gelatinosa elaborados a base de fruta y azúcar, son preparadas por cocción de la fruta en presentaciones entera, troceada, triturada, o tamizada distribuida de manera uniforme, agregando azúcar y agua hasta conseguir un producto semilíquido (Astiasarán y Martínez, 2000; Gil, 2010).

El contenido de fruta en una mermelada debe estar entre el 30 y el 50%, mientras que la concentración de azúcares debe ser igual o superior al 40 %. Esto se debe a que, para que una mermelada funcione como método de conservación de frutas, es necesario contar con una alta concentración de azúcar, lo que previene el desarrollo de microorganismos, facilita la conservación del producto y extiende su vida útil (Capdevila, 1992; Coronado y Rosales, 2001).

En algunos casos, es necesario ajustar el pH utilizando acidificantes como el ácido cítrico, y aumentar el contenido de pectina natural de la fruta mediante la adición de pectina. Así, la mermelada se define como la mezcla de azúcar proveniente de la fruta y azúcar añadida, junto con pectina, que al alcanzar los 65 °Brix forma un gel. Además, debe tener

una acidez adecuada, un contenido total de pectina que no supere el 1%, y la fruta o hortaliza utilizada puede estar sola o combinada con otras (Paltrinieri y Figuerola, 1998).

2.2. Clasificación de la mermelada

La norma para las confituras, jaleas y mermeladas del Codex Alimentarius menciona tres tipos de mermeladas según la forma en que se incorpora la fruta: de agrios, sin frutos cítricos, y tipo jalea.

Según esta clasificación, la mermelada de agrios es el producto preparado con una o una mezcla de frutas cítricas hasta obtener una consistencia adecuada, se puede incluir fruta entera o en trozos, pulpa, puré, jugo, extracto y cáscara, mezclados con productos que den un sabor dulce, con o sin la adición de agua. La mermelada sin frutos cítricos se define como el producto preparado por la cocción de fruta entera, en trozos o machacada mezclada con productos que den un sabor dulce hasta obtener un producto semilíquido, espeso o viscoso; mientras que la mermelada tipo jalea es el producto descrito como mermelada de agrios a la que se le han eliminado todos los sólidos insolubles pero que puede o no contener cáscara en ella (CXS 296-2009).

Las mermeladas también pueden clasificarse por criterios como porcentaje de sólidos solubles y por el contenido de fruta en claras/ligeras (45 °Brix) y espesas (65 a 68 °Brix), mientras que por el contenido de fruta se clasifican en tipo A, distribuidas en mezclas de 55% pulpa y 45% azúcar, de tipo B, distribuidas en mezclas de 50% pulpa y 50% azúcar y tipo C, constituida por 45% pulpa y 55% azúcar (Casariego, 2013).

2.3. Estadísticas de consumo, producción y mercado de mermelada

2.3.1. Consumo y producción de mermelada

La mermelada es un producto de consumo masivo en todo el mundo, con una demanda creciente en Europa y América del Norte, donde se consume diariamente en muchos hogares (Mordor Intelligence, 2022). En México, cerca del 75% de los hogares la consumen, siendo los sabores más demandados fresa, piña, chabacano, durazno, zarzamora y frambuesa (Magaña *et al.*, 2014; Ortega y Parra, 2012).

En cuanto al consumo per cápita, en México se estima un promedio de entre 250 y 500 gramos de mermelada por persona al año. En Latinoamérica, Chile lidera la región con 1.1 kg per cápita, seguido por Argentina con 700 gramos, Perú con 300 gramos y Brasil y Colombia con 100 gramos, cifras que se encuentran por debajo del consumo mexicano. A nivel mundial, el consumo promedio anual es de aproximadamente 1 kg por persona (Alcántara, 2021; Trigo, 2017).

La industria de la mermelada en México tiene un origen reciente, ya que inicialmente solo se producía a pequeña escala. Sin embargo, en los últimos años, el crecimiento de la población y el aumento en la demanda han propiciado el surgimiento de nuevas industrias, que han logrado procesar el producto a menor costo y en el volumen necesario para satisfacer las exigencias del mercado (Magaña *et al.*, 2014; World Access, 2019).

A nivel nacional, algunas empresas dominan el mercado, destacando McCormick con el 25% de la producción, seguida por Smucker's con el 13.1%, y Clemente Jacques con el 12.4%. Las marcas La Costeña y Herdez también son líderes en el sector, ocupando los cuarto y quinto lugares respectivamente. El 35% restante del mercado está compuesto por otras marcas locales y pequeñas empresas que se dedican a la producción de mermeladas artesanales (Alcántara, 2021; World Access, 2019).

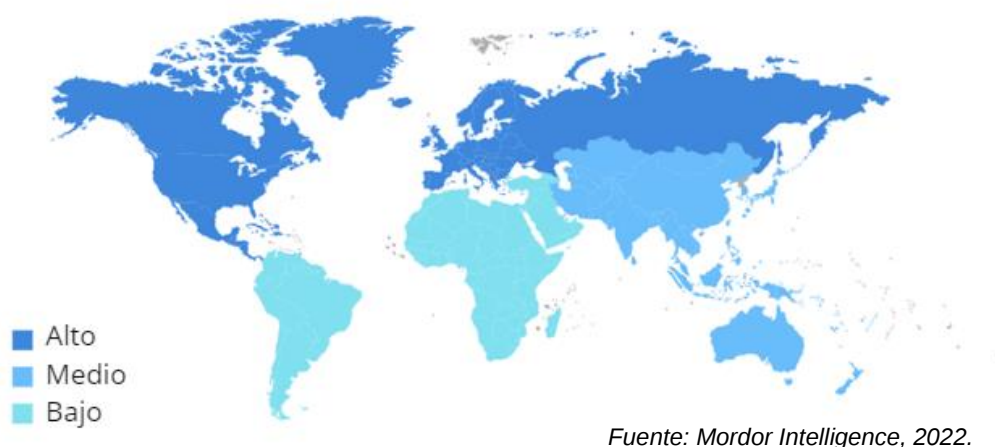
Según la Cámara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias (CANAINCA), la producción de mermeladas en México experimentó un crecimiento entre 2015 y 2019. No obstante, en 2020 se registró una caída del 1.2% en valor y del 0.2% en volumen en comparación con el año anterior (CANAINCA, 2019).

2.3.2. Mercado de mermelada

El mercado de las mermeladas es altamente competitivo debido a la presencia de diversas empresas internacionales que buscan innovar constantemente, ofreciendo productos con ingredientes, sabores, precios y empaques diferenciados (Mordor Intelligence, 2022). El crecimiento del sector en los últimos años ha sido impulsado principalmente por el aumento de ventas y ganancias derivadas de nuevas tendencias, como la demanda de productos más naturales, orgánicos y artesanales, que contienen menores niveles de azúcar, nuevas texturas y un mayor contenido de fruta. Este

crecimiento podría mantenerse si se continúan desarrollando productos que promuevan la salud del consumidor (Alcántara, 2021).

Como se observa en la Figura 1, los principales países generadores de ingresos en el mercado de mermeladas son Estados Unidos y Alemania. Además, se espera que las regiones en desarrollo de Asia y América del Sur, como China, Brasil, India, Bangladesh, Argentina y Sudáfrica, experimenten un crecimiento en la demanda de estos productos (Mordor Intelligence, 2022).



Fuente: Mordor Intelligence, 2022.

Figura 1. Tamaño del mercado de mermeladas.

En México, el valor de las ventas de mermeladas ha aumentado tanto en volumen como en valor en los últimos cinco años. En 2020, se alcanzaron 67.4 millones de toneladas vendidas, con un aumento acumulado cercano al 17% en los últimos diez años (Alcántara, 2021).

2.3.3. Importaciones y exportaciones de mermelada

Las mermeladas gozan de gran aceptación a nivel mundial y se han consolidado como uno de los grupos de productos de exportación más importantes y con mayor crecimiento en los últimos años (Magaña *et al.*, 2014). Los principales países exportadores de mermelada son Francia, Alemania, Italia, España y Turquía, mientras que los mayores consumidores incluyen a Alemania, Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Países Bajos, que en conjunto representan el 50% del total mundial de importaciones (Global Marketing Associates, 2019; World Access, 2019).

Según la Cámara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias (CANAINCA), Estados Unidos domina el comercio mundial de conservas. En 2019, las exportaciones desde este país representaron el 87.4%, seguidas por Centroamérica (3.8%), Europa (3.4%) y Sudamérica (1.1%). En cuanto a las importaciones, Estados Unidos acaparó el 49.3%, Centroamérica el 28.7%, y Europa el 3.7%. A pesar de la relevancia de Europa en el mercado, entre 2018 y 2019 se registró un descenso del 11.9% en las exportaciones y del 24.3% en las importaciones, mientras que las demás regiones experimentaron un crecimiento constante en su participación (CANAINCA, 2019).

En México, el comercio exterior de mermeladas, tanto en exportaciones como en importaciones, mostró un aumento significativo a partir de 2015. Sin embargo, entre 2018 y 2019, se observó una disminución del 0.2% en el valor y volumen de las exportaciones, así como una caída del 0.1% en valor y del 3% en volumen en las importaciones (CANAINCA, 2019).

De acuerdo con datos publicados por Informe de Expertos (2025), el mercado de mermeladas en México ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años, impulsado por una mayor demanda en regiones clave como la Ciudad de México, que representa aproximadamente el 70% del mercado nacional. A partir de 2021, las importaciones de mermeladas alcanzaron un valor de 18.4 millones de dólares, destacando que 12.9 millones de dólares corresponden a la Ciudad de México. Este crecimiento ha sido favorecido por la evolución hacia productos más saludables, como mermeladas orgánicas y de bajo contenido en azúcar, que responden a las nuevas tendencias de consumo. Además, la innovación en sabores y presentaciones ha sido un factor clave en la expansión del mercado, que sigue evolucionando para satisfacer las cambiantes preferencias de los consumidores mexicanos.

2.4. Propiedades fisicoquímicas y formulación de la mermelada

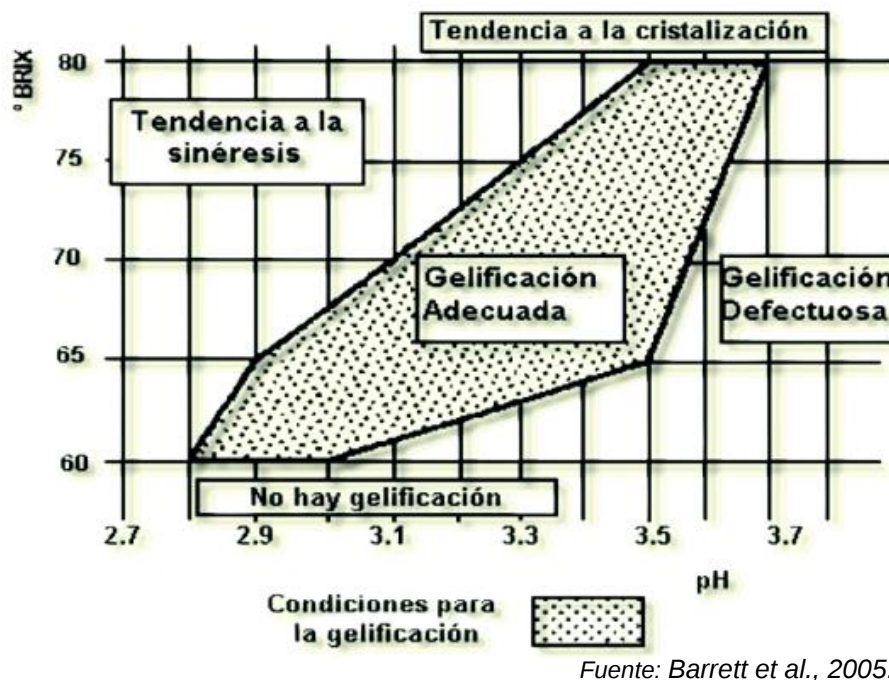
La mermelada es un gel formado por la interacción de azúcar, ácido y pectina, cuya estructura y apariencia dependen de factores como el nivel de pectina, el pH y el tipo y contenido de azúcar (Barrett *et al.*, 2005). En términos tecnológicos, su elaboración implica la evaporación del agua y la reducción de la actividad acuosa bajo condiciones óptimas, con un pH de 3 y sólidos solubles entre 64 y 68 °Brix (Díaz, 2018).

La elaboración de mermeladas resuelve el problema del deterioro de las frutas causado por microorganismos al incrementar el contenido de azúcar, ya que las frutas frescas tienen una alta actividad de agua, lo que favorece el crecimiento y la supervivencia de microorganismos. Para reducir la actividad de agua, se emplean dos estrategias: la eliminación de agua durante el proceso de ebullición y la adición de azúcar, lo cual reduce la actividad acuosa a niveles suficientemente bajos. Además, las frutas tienen una acidez natural, y el pH bajo también actúa como inhibidor de microorganismos, los cuales no pueden crecer en condiciones ácidas (Food Crumbles, 2017).

Los solutos presentes en la mermelada reducen la presión de vapor del agua y la actividad acuosa, al mismo tiempo que aumentan la presión osmótica, lo que contribuye al control microbiológico, particularmente de hongos, levaduras y bacterias. Para lograr este control, se requiere una alta concentración de sólidos, como ocurre con la mermelada, en la que se ajusta la actividad de agua a 0.8 añadiendo entre un 60 y 65% de sacarosa, lo que también facilita la gelificación de las pectinas (Badui, 2012).

El proceso de elaboración comienza con la ebullición de las frutas, lo que rompe sus paredes celulares, libera la humedad interna y las ablanda. El azúcar se añade al inicio de la ebullición y se disuelve en el agua. A medida que la mezcla hierve, la textura cambia, el contenido de agua se reduce y la concentración de azúcar y componentes de la fruta aumenta. Se agrega pectina para retener el agua y formar el gel, siendo necesario un ambiente ácido y la presencia de azúcar para la gelificación (Food Crumbles, 2017).

En el procesamiento de mermeladas, los cuatro ingredientes esenciales son la fruta, la pectina, el azúcar y el ácido. De manera opcional, se pueden añadir conservantes, agentes amortiguadores y antiespumantes. El proceso se basa en la mezcla de estos ingredientes, la evaporación de los sólidos totales y el tratamiento térmico, además de requerir un equilibrio preciso entre los factores químicos de azúcar, pectina y acidez, como se ilustra en la Figura 2 (Barrett *et al.*, 2005; Compound Interest, 2014).



Fuente: Barrett *et al.*, 2005.

Figura 2. Condiciones para la gelificación.

2.4.1. Fruta

Para lograr una mermelada de calidad, es fundamental que la fruta esté lo más fresca posible y en el nivel adecuado de maduración. Esto garantiza que aporte el jugo necesario para la mezcla, mantenga su aroma y sabor, y facilite la gelificación de la mermelada. Si la fruta está excesivamente madura, sus niveles de pectina y ácido pueden ser bajos, lo que afectaría negativamente el proceso de gelificación (FAO, s.f.).

Casi todas las frutas son aptas para la elaboración de mermeladas, siempre que se les brinde una manipulación adecuada. Esto permite que se utilicen tanto frutas enteras como trozos, cáscaras, pieles o semillas comestibles, siempre que se indique en el producto final (Ávila, 2015; Coronado y Rosales, 2001).

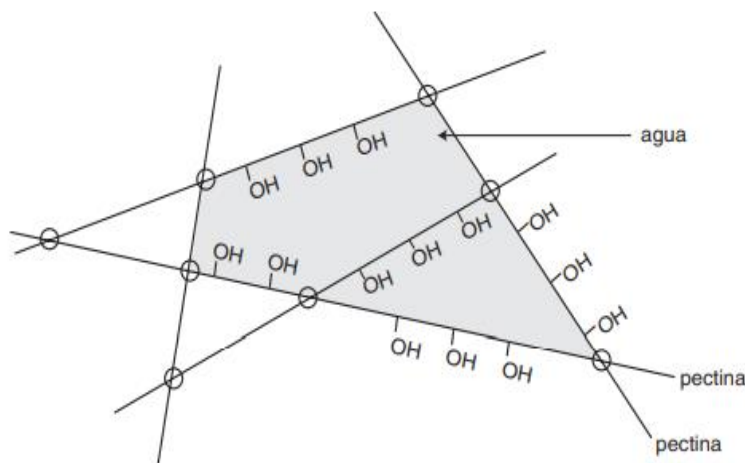
2.4.2. *Pectina*

Las pectinas son polisacáridos de cadena larga que se encuentran de manera natural en las paredes celulares de las plantas. En las frutas, se localizan principalmente en las cáscaras y los corazones, y son sustancias naturales gelificantes que permiten la coagulación de la mermelada. Las pectinas son solubles en agua, facilitando la formación del gel característico de la mermelada (Ávila, 2015).

La pectina se obtiene de subproductos de la industria alimentaria, como las cáscaras y cortezas de cítricos, o del bagazo de manzana y membrillo. Comercialmente, se presenta en forma de polvo color café claro o como concentrado líquido de color oscuro (Coronado y Rosales, 2001). Existen dos tipos principales de pectinas: las de alto metoxilo, que forman geles en un rango de sólidos superior al 55% y con un pH de 2 a 3.5, y las de bajo metoxilo, que no requieren azúcar ni ácido, sino sales de calcio, y forman geles en un rango de sólidos de 10 a 80% y pH de 3 a 6.5 (FAO, s.f.).

Originalmente, la producción de mermelada dependía de las pectinas naturales presentes en la fruta, que se cocinaba con azúcar para lograr el equilibrio adecuado de azúcar, pectina y pH. Sin embargo, debido a que el contenido de pectina varía según la madurez y la variedad de la fruta, cuando se utilizan frutas con bajo contenido de pectina, se puede añadir pectina de otra fruta con mayor cantidad o pectina comercial para garantizar una gelificación adecuada y lograr un gel firme con una apariencia uniforme (Barrett *et al.*, 2005; Rupp, 2016).

En la preparación de mermeladas, la pectina, al combinarse con la cantidad correcta de azúcar y acidez, forma una red de gel a través de interacciones intermoleculares. Este proceso depende de la temperatura, siendo el punto de gelificación generalmente a 104°C. Al enfriarse la mermelada, esta red atrapa las moléculas de agua como se muestra en la Figura 3, logrando una consistencia suave y semisólida (Compound Interest, 2014).



Fuente: Badui, 2012.

Figura 3. Estructura tridimensional del gel de pectinas.

2.4.3. Azúcar

El contenido de azúcar en la mermelada es fundamental, ya que no solo proporciona el sabor dulce característico, sino que también contribuye a mantener un color brillante y una textura adecuada. Además, actúa como conservante al reducir la actividad de agua lo suficiente para prevenir el crecimiento microbiano, prolongando la vida útil del producto. El azúcar también juega un papel relevante en la gelificación, ya que favorece la formación de gel al atraer agua hacia sí misma, alejándola de la pectina. Esto reduce la capacidad de la pectina para mantenerse en cadenas separadas y favorece la formación de redes gelificantes (Ávila, 2015; Rupp, 2016).

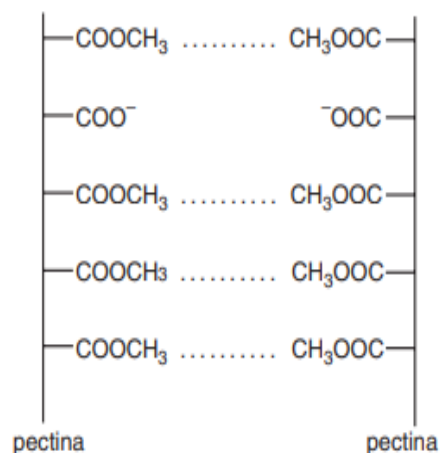
Para asegurar una gelificación adecuada, un buen sabor y la conservación de la calidad, se recomienda una proporción de azúcar de aproximadamente 60 gramos por cada 100 gramos de fruta. Si la cantidad de azúcar es inferior al 60%, existe el riesgo de fermentación, lo que incrementa la actividad de agua y favorece el crecimiento microbiano. En cambio, si la cantidad de azúcar supera el 68%, puede producirse cristalización del azúcar durante el almacenamiento. Por lo tanto, el contenido ideal de azúcar en una mermelada debe estar entre el 65 y el 69%, tomando en cuenta los azúcares naturales presentes en la fruta (Compound Interest, 2014).

El azúcar utilizada debe ser blanca preferentemente, ya que permite preservar el color y sabor natural de la fruta. Sin embargo, también es posible sustituir parcialmente el azúcar con jarabe de maíz o miel, siempre en cantidades adecuadas para evitar que enmascaren el sabor de la fruta o alteren la estructura del gel (Albrecht, 2020).

Durante el proceso de cocción de la mermelada en un medio ácido, la sacarosa se invierte, desdoblándose en glucosa y fructosa, lo que facilita la conservación mediante el equilibrio entre ambos azúcares. Una baja inversión de sacarosa puede provocar la cristalización del azúcar, mientras que una inversión elevada puede ocasionar la granulación de la dextrosa. Por lo tanto, el porcentaje óptimo de azúcar invertido debe ser entre el 35 y el 40% del total (Coronado y Rosales, 2001).

2.4.4. Ácido

La gelificación de la mermelada también requiere la presencia de ácido en la mezcla, ya que este ayuda a la pectina en el proceso de gelificación, además de clarificar el producto, conferirle brillo, mejorar el sabor, prevenir la cristalización del azúcar y prolongar la vida útil del producto (Astiasarán y Martínez, 2000). Los grupos carboxilo en la pectina suelen estar ionizados, como se muestra en la Figura 4, y las moléculas de pectina liberadas de la fruta, que se encuentran en forma de hebras de polisacáridos, tienden a repelerse entre sí. En el caso de frutas con baja acidez, es necesario añadir ácido para neutralizar las cargas negativas generadas por la ionización de la pectina, lo que permite la formación del gel. Para que el gel se forme correctamente, el pH de la mezcla debe mantenerse entre 2.8 y 3.3, ya que a un pH más ácido los grupos COOH no se ionizan, lo que reduce la repulsión entre las moléculas de pectina (Ávila, 2015; Rupp, 2016).



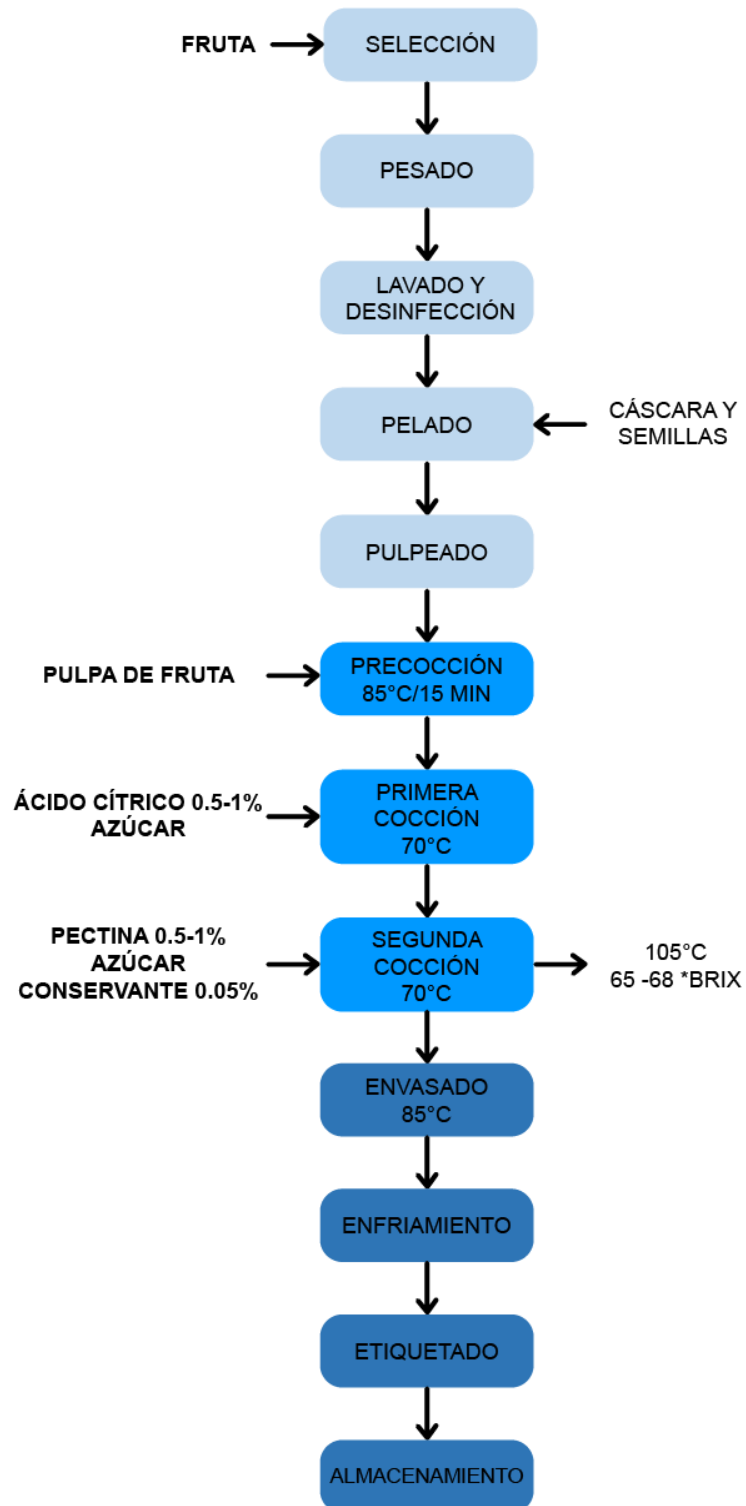
Fuente: Badui, 2012.

Figura 4. Ionización de la pectina.

Las frutas contienen ácidos naturales como el ácido cítrico, málico y tartárico, los cuales contribuyen a la acidez de la mermelada. Sin embargo, la acidez presente en las frutas no suele ser suficiente para alcanzar el pH necesario para una gelificación adecuada, por lo que es necesario añadir ácido adicional (Compound Interest, 2014). El ácido cítrico comercial, que se presenta en forma granulada con un aspecto similar al azúcar, es comúnmente utilizado, aunque también se puede emplear jugo de limón. Este ácido se agrega antes de la cocción, ya que facilita la extracción de pectina de la fruta. La cantidad de ácido cítrico recomendada es entre el 0.15 y el 0.2% del peso total de la mermelada. Un nivel adecuado de acidez es esencial para la formación del gel: si el pH es insuficiente, la mermelada no gelificará, mientras que un exceso de acidez puede ocasionar sinéresis, es decir, la liberación de agua del gel (Albrecht, 2020; Coronado y Rosales, 2001).

2.5. Proceso de elaboración de la mermelada

En la Figura 5 se presenta el diagrama de flujo que ilustra las etapas del proceso de elaboración de mermelada. Este proceso abarca una serie de operaciones que incluyen la selección, pesado, lavado y desinfección, pelado, pulpeado, precocción de la fruta, cocción, adición de ingredientes en el punto de gelificación, envasado, enfriamiento, etiquetado y almacenamiento del producto final (Ávila, 2015).



Fuente: Coronado y Rosales, 2001.

Figura 5. Procesamiento de mermelada.

El proceso comienza con la selección, en la que se descartan las frutas en mal estado. Luego, se pesa la fruta para llevar un control preciso del peso, calcular el rendimiento y determinar la cantidad adecuada de los ingredientes que se añadirán. Posteriormente, la fruta pasa por un lavado minucioso para eliminar partículas extrañas y suciedad visible, seguido de una desinfección utilizando hipoclorito de sodio en concentraciones de entre 0.05 y 0.2% durante un máximo de 15 minutos para reducir la carga microbiana. Después de la desinfección, la fruta se enjuaga con abundante agua para eliminar cualquier residuo de detergente o desinfectante. A continuación, se realiza el pelado, que puede llevarse a cabo de manera manual utilizando cuchillos, o mediante procesos mecánicos o químicos, dependiendo del tipo de fruta. Este paso tiene como objetivo retirar la cáscara y el corazón de la fruta, para obtener la pulpa libre de cáscaras y semillas, proceso que puede realizarse utilizando licuadoras o pulpeadoras (Molina e Irezabal, 2016).

Una vez pelada y pulpeada la fruta, se procede a una precocción lenta para romper la membrana celular, lo que facilita la extracción de la pectina y los ácidos. Este proceso se lleva a cabo calentando la pulpa y manteniéndola en ebullición entre 10 y 15 minutos a 85 °C para reducir su volumen y comenzar la eliminación del agua. Después, se sigue con la cocción, en la que la mezcla se concentra a temperaturas entre 60 y 70 °C (Ávila, 2015; Coronado y Rosales, 2001).

Cuando la pulpa esta en la fase de cocción y su volumen se ha reducido, se mantiene en calentamiento y se añade el ácido cítrico junto con la primera porción de azúcar, removiendo lo suficiente para disolver ambos ingredientes antes de llevar la mezcla a ebullición rápidamente. Para alcanzar el punto de gelificación de la mermelada, se incorpora la pectina junto con la segunda porción de azúcar, removiendo bien para evitar la formación de grumos. En el punto final de la cocción, se agrega el conservante sin exceder la concentración máxima de 0.05%. El punto final de la cocción se determina mediante la toma de muestras de la mermelada para medir la concentración correcta de azúcar, la cual se determina principalmente con un refractómetro, utilizando una muestra a temperatura ambiente y buscando un valor de entre 65 y 68 °Brix. Además, para verificar la consistencia, se debe controlar la temperatura durante la cocción,

considerando que la mermelada debe alcanzar los 105 °C para obtener la textura adecuada (Fellows, 2016).

Una vez alcanzado el punto final de cocción, la mermelada se retira inmediatamente de la fuente de calor para evitar la sobrecocción, que podría causar oscurecimiento o cristalización del azúcar. La mermelada debe envasarse lo antes posible, a una temperatura no menor a 85 °C, para aprovechar su fluidez durante el llenado, al tiempo que se genera un vacío dentro del envase y se previene su contaminación. El envase debe llenarse hasta el borde, colocar la tapa de inmediato para sellarlo y voltear el frasco durante 3 minutos para esterilizar la tapa. Después, se debe volver a voltear el envase para asegurar el correcto sellado. Es fundamental utilizar envases de vidrio limpios, sin roturas y previamente esterilizados antes del proceso de envasado (Fellows, 2016).

Una vez envasada, la mermelada se deja enfriar para asegurar su calidad y conservación, ya que durante este proceso se forma un vacío dentro del envase debido a la contracción de la mermelada al enfriarse. El enfriamiento puede realizarse utilizando agua fría o dejándola a temperatura ambiente, lo que también permite limpiar el exterior de los envases de cualquier residuo de mermelada que pueda haber quedado (Ávila, 2015; Coronado y Rosales, 2001).

La última etapa del proceso es el etiquetado, en la cual se coloca la etiqueta que debe incluir toda la información sobre el producto de acuerdo con las normativas vigentes. Finalmente, el producto se almacena en un lugar fresco, limpio y seco con suficiente ventilación para garantizar su conservación (Ávila, 2015).

2.6. Problemas en la elaboración de mermeladas

La elaboración de mermelada puede verse influenciada por varios factores relacionados con la fruta, como su variedad, estado de maduración, origen y forma de cultivo. Además, la cantidad de materia prima utilizada, así como las proporciones de fruta, azúcar, pectina y ácidos, son cruciales en el proceso. La forma en que se utiliza la fruta, ya sea entera, en trozos, triturada, en pasta o disolución, también tiene un impacto importante. Otros factores relevantes incluyen la homogeneización, los tiempos y las temperaturas durante la cocción. Entre los aspectos más estudiados, el tiempo de cocción previo y posterior a

la adición de ingredientes es uno de los que tiene mayor efecto, ya que influye en el color, la concentración de sólidos solubles y la viscosidad del producto. Además, la variedad de fruta utilizada puede afectar la tonalidad, el aspecto y la cantidad de sólidos solubles en la mermelada (Nunes *et al.*, 2007).

Durante la elaboración de mermelada, pueden presentarse diversos defectos en el producto final. Para identificar sus causas, es necesario realizar pruebas como el contenido de sólidos solubles, pH, color y sabor (Ávila 2015). Algunos de los problemas comunes que pueden ocurrir son defectos de consistencia, sinéresis, cristalización, presencia de burbujas, cambios de color, presencia de moho, piel o fruta expuesta y disminución del volumen final.

Una mermelada poco firme puede presentarse debido a una cocción prolongada que provoca la hidrólisis de la pectina, una acidez alta que desestructura la pectina, o una acidez baja que reduce su capacidad de gelificación. También puede ser el resultado de que el agua no se haya evaporado lo suficiente antes de añadir el azúcar, o de un exceso de azúcar en relación con la pectina, así como por un enfriamiento excesivo que puede causar la ruptura del gel durante el envasado. Este problema también puede originarse por la carencia de pectina natural en la fruta, cuando se utiliza fruta demasiado madura, o por una cocción insuficiente que no extrae toda la pectina. En estos casos, es necesario verificar los °Brix, el pH y la capacidad de gelificación de la pectina. Cuando se utilizan frutas con bajos contenidos de pectina, se recomienda añadir ácidos, mezclarlas con frutas ricas en pectina, o incorporar pectina comercial mezclada con azúcar para mejorar la gelificación de la mermelada (Fennema, 1996; Coronado y Rosales, 2001).

La cristalización se presenta debido a una elevada cantidad de azúcar, por el exceso de cocción después de haberse hervido que ocasiona una inversión y afecta la proporción final de azúcar, debido a una acidez alta que causa la alta inversión de los azúcares y la granulación de la mermelada, o acidez baja que causa la cristalización de la sacarosa, motivo por el cual hay que utilizar fruta rica en ácido o añadir más durante la cocción (Capdevila, 1992).

El crecimiento de mohos y levaduras en la superficie de las mermeladas está frecuentemente relacionado con una contaminación previa al cierre de los envases. Esto puede ocurrir si la esterilización de los envases es deficiente o si los envases no son herméticos, permitiendo la entrada de esporas durante el proceso de almacenamiento. Para evitar la contaminación microbiológica, es esencial sellar los envases inmediatamente después de envasar la mermelada, a una temperatura no inferior a 85 °C. El uso de envases húmedos o el llenado de los envases con un volumen incorrecto también puede promover la contaminación. Además, el almacenamiento en ambientes cálidos o húmedos favorece el crecimiento microbiano. Una insuficiente cocción de la mezcla, que resulta en un bajo contenido de sólidos solubles, también es un factor contribuyente a la proliferación de microorganismos (Ávila, 2015).

La sinéresis en las mermeladas ocurre cuando el gel liberado por la pectina pierde agua, resultando en la exudación de líquido. Esto puede ser causado por una acidez demasiado alta, deficiencia en la cantidad de pectina, exceso de azúcar invertido o una falta de concentración adecuada durante la cocción. Además, un exceso de agua en la mezcla puede aumentar la probabilidad de sinéresis. Para corregir esto, se debe verificar la concentración de sólidos totales y el pH durante el proceso de cocción (Capdevila, 1992).

La formación de burbujas en la mermelada puede ser indicativa de fermentación, lo que puede alterar tanto el sabor como el color del producto final. Este fenómeno generalmente ocurre cuando la proporción de azúcar en relación con la fruta es demasiado baja, lo que impide que la mezcla alcance la concentración adecuada durante la cocción. En estos casos, la mermelada debe someterse nuevamente a cocción para reducir el exceso de agua, y luego envasarse y sellarse en envases limpios para evitar el crecimiento bacteriano (Coronado y Rosales, 2001).

Los cambios en el color de la mermelada, como el oscurecimiento no deseado, pueden ser causados por una cocción prolongada que induce la caramelización del azúcar. También puede ocurrir debido a un enfriamiento inadecuado después del envasado, lo que permite que se desarrollen reacciones químicas indeseadas. Además, la contaminación con metales o sales, presentes en utensilios o materiales de almacenamiento, puede generar una coloración más oscura en el producto final. Es

importante controlar cuidadosamente la temperatura durante la cocción y el enfriamiento para evitar estos efectos (Coronado y Rosales, 2001).

2.7. Tendencias actuales de elaboración de mermelada

En la actualidad, la innovación en productos como la mermelada está orientada a incorporar ingredientes funcionales y reducir el contenido de azúcar, al mismo tiempo que se promueve el uso de ingredientes naturales. Además, se están explorando nuevos sabores y formatos para adaptarse a los estilos de vida modernos y a un mercado de consumidores cada vez más específico (Zukán, 2018).

El mercado de las mermeladas está siendo impulsado por la creciente demanda de productos listos para consumir, los cambios en los estilos de vida, las preferencias de los consumidores y la popularidad de nuevas propuestas alimentarias. Una tendencia notable es el cambio en las preferencias de los consumidores, que se están alejando de las mermeladas tradicionales, centradas en el sabor dulce, hacia variantes con diferentes sabores, opciones nutritivas, innovadoras y producidas de manera orgánica, lo cual ha tenido un impacto positivo en la industria (Mordor Intelligence, 2022).

Aunque las mermeladas suelen ser productos que contienen grandes cantidades de azúcar, muchos consumidores ahora buscan opciones bajas en azúcares y calorías, pero que conserven sus características principales. Como respuesta a esta demanda, los productores han comenzado a desarrollar mermeladas a base de diversas frutas y con propiedades funcionales, ya que la tendencia actual en el consumo es buscar productos que ofrezcan un buen aporte de nutrientes y además beneficios para la salud (Mordor Intelligence, 2022).

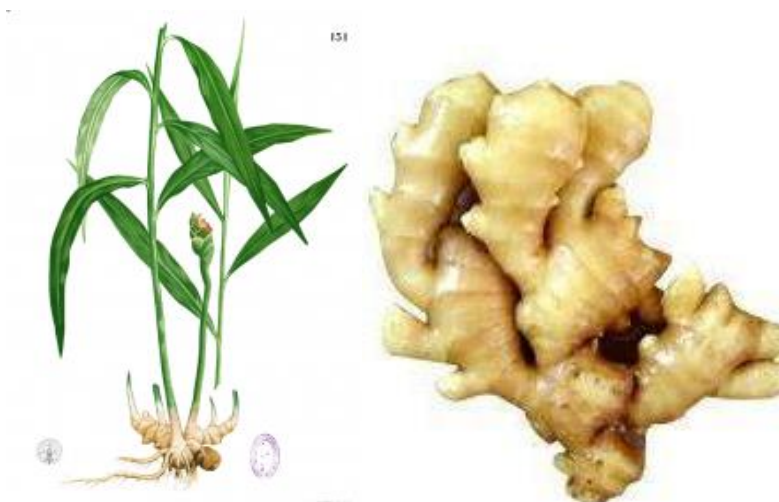
Además, los consumidores están cada vez más interesados en productos fortificados, saludables, bajos en carbohidratos y grasas, sin conservantes ni aditivos artificiales debido a los efectos adversos que estos pueden causar a largo plazo. En el caso de las mermeladas, se ha impulsado el uso de frutas maduras y alternativas para sustituir el azúcar y la pectina (Informe de Expertos, 2022).

Entre los ingredientes utilizados en la elaboración de mermeladas, el azúcar está siendo reemplazado por alternativas como edulcorantes naturales, agentes aromatizantes o concentrados de frutas, los cuales no solo son necesarios para mejorar el sabor, sino también para prolongar la vida útil del producto (Frizzi *et al.*, 2019). Por otro lado, la pectina está siendo sustituida por alternativas de hidrocoloides que actúan como gelificantes, tales como los presentes en la semilla de chía. Estudios han demostrado que el mucílago de esta semilla tiene la capacidad de absorber y retener agua, formar geles y reducir la pérdida de líquidos, lo que lo convierte en una opción interesante para la elaboración de mermeladas (Díaz, 2018).

2.8. Alimentos como ingredientes funcionales

2.8.1. Jengibre

El jengibre (*Zingiber officinale*) es una planta herbácea perenne perteneciente a la familia de las zingiberáceas, que puede alcanzar hasta 1 metro de altura. Esta planta se caracteriza por su rizoma grueso, carnoso y nudoso, que es la parte más utilizada. Sus tallos son simples y las hojas se disponen a lo largo del tallo. Las flores, de color amarillo, se agrupan en una espiga ubicada en el extremo del tallo, como se muestra en la Figura 6 (Salgado, 2011).



Fuente: Vázquez, 2009.

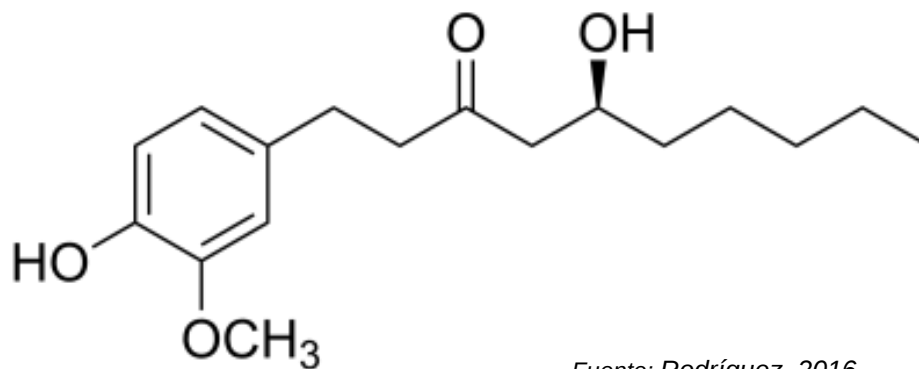
Figura 6. Planta de jengibre y rizoma.

Aunque no se conoce con certeza su origen, se cree que el jengibre proviene de la India o de las selvas tropicales del sur de Asia. Actualmente, se cultiva en diversas regiones tropicales y subtropicales, como en toda China, partes de África, Brasil y Jamaica. En la actualidad, la India produce casi el 50% de la cosecha mundial. El jengibre se distingue por su aroma refrescante y ligeramente cítrico, con un sabor especiado y picante, acompañado de un toque dulce (Siedentopp, 2008).

De toda la planta, únicamente se utiliza el rizoma, que puede medir hasta 10 cm de longitud y presenta colores que varían del blanco al café. Los rizomas destinados a fines terapéuticos y alimenticios se cosechan entre 9 y 10 meses después de la plantación. Una vez recogidos, deben lavarse cuidadosamente y secarse al sol. El jengibre se puede procesar de diversas formas, como en polvo, jarabe, aceite y oleorresina. Este ingrediente tiene una amplia variedad de aplicaciones, tanto como suplemento dietético como en bebidas y productos alimenticios, tales como condimentos en polvo, dulces, sopas, mermeladas y productos horneados (Singletary, 2010).

El jengibre es una fuente rica en diversos nutrientes, incluyendo grasas, carbohidratos, proteínas, fibra, vitaminas, minerales y agua. Contiene entre un 1 y un 3% de aceites volátiles, compuestos principalmente de monoterpenoides y sesquiterpenoides. Además, posee compuestos fenólicos como los gingeroles, shogaoles y paradols, los cuales son responsables de su aroma y olor característico (Singletary, 2010).

La importancia nutricional del jengibre radica en su alto contenido de aceites esenciales y otras sustancias no volátiles, como los gingeroles, que le otorgan su característico sabor picante. Estos compuestos tienen la particularidad de que, incluso cuando el jengibre se somete a un proceso de cocción, experimentan poca evaporación, lo que les permite conservar sus propiedades (Siedentopp, 2008). En la Figura 7 se presenta la estructura del gingerol, el compuesto activo más abundante en el jengibre.



Fuente: Rodríguez, 2016.

Figura 7. Estructura química del gingerol.

Se ha demostrado que el jengibre posee diversos efectos beneficiosos para la salud, tales como propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias, anticolesterolémicas y cardiovasculares. Además, presenta actividad antimicrobiana contra bacterias del tracto gastrointestinal, efectos analgésicos, propiedades antioxidantes, y un índice inhibidor de radicales libres superior al de los antioxidantes comerciales BHA y BHT (Díaz *et al.*, 2019; Latona *et al.*, 2012). Su alto contenido de fibra, aceites, proteínas y minerales esenciales, combinado con su valor nutritivo y los beneficios para la salud, hace que el jengibre sea una materia prima valiosa, especialmente en la fortificación de alimentos y en la industria de alimentos funcionales (Shirin y Prakash, 2010).

2.8.2. Jarabe de aguamiel

El jarabe de aguamiel es un derivado del aguamiel, obtenido a través de la hidrólisis de los fructanos del agave en fructosa, proceso inducido por el aumento de la temperatura (NOM-003-SAGARPA-2016). Posteriormente, se filtra y se somete a un proceso de evaporación para eliminar el agua, obteniendo una humedad entre el 20 y el 28%, y una concentración de fructanos de aproximadamente 5%. Este jarabe es una sustancia dulce natural utilizada como endulzante, con una baja viscosidad y alta solubilidad debido a su elevada concentración de fructosa. Además, se considera un excelente potenciador de sabor y aroma.

Los fructanos de agave son polisacáridos de estructura ramificada, constituidos por unidades de fructosa con o sin glucosa, unidas mediante enlaces glucosídicos tipo β -2,1 y β -2,6. Estos enlaces confieren a los fructanos una resistencia a la hidrólisis, lo que les permite ser clasificados como carbohidratos no digeribles o fibra dietética, proporcionando así un efecto prebiótico (Rojo, 2021).

El jarabe de aguamiel es fuente de diversas sustancias bioactivas de gran importancia, y recientemente ha sido objeto de estudios debido a los beneficios que ofrece para la salud humana. Presenta un efecto prebiótico debido a los fructooligosacáridos que contiene, los cuales mejoran el sistema digestivo, estimulan el crecimiento de la flora intestinal y son utilizados en la industria alimentaria como ingredientes funcionales (López, 2014).

Gracias a su alto contenido de fructosa, se considera una opción recomendable para diabéticos debido a su efecto hipoglucemiante. Además, ayuda a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos, y posee una alta capacidad antioxidante en comparación con jarabes de maíz o de caña de azúcar. Esto se debe a la presencia de compuestos como saponinas, terpenoides, flavonoides y quinonas. También se han asociado propiedades antimicrobianas, anticancerígenas y antiinflamatorias a los compuestos fenólicos presentes en el jarabe de aguamiel (Mendoza *et al.*, 2017).

El jarabe de aguamiel se puede utilizar en el sector alimentario como sustituto de grasas y fibra, como modificador de viscosidad y textura, o incluso como portador en procesos de microencapsulación (Rojo, 2021). Además, en la industria alimentaria se ha empleado como sustituto del azúcar para personas diabéticas, debido a su bajo índice glucémico y su alto poder edulcorante, que puede ser hasta 1.5 veces superior al del azúcar común. Esto se debe a su composición, principalmente de fructosa y glucosa. El jarabe de aguamiel se ha aplicado en la elaboración de productos como helados, jaleas, mermeladas, chocolates, confitería y productos de panificación (Huezcas *et al.*, 2022).

2.8.3. Chía

La chía (*Salvia hispánica* L.) es una planta anual de la familia Lamiaceae originaria de Mesoamérica, específicamente del centro y sur de México, El Salvador, Guatemala y Nicaragua, desde donde se exporta a Japón, Estados Unidos y Europa (FIRCO, 2017).

En los últimos años, este cultivo ha recobrado gran interés, y los mercados de exportación han aumentado, debido a diversas investigaciones que destacan las propiedades nutricionales de sus semillas, las cuales ofrecen beneficios antioxidantes, antiinflamatorios, laxantes e hipotensores (Mohd, 2012; Salgado *et al.*, 2013). Aunque no es tan conocida globalmente, su producción ha incrementado significativamente, y actualmente se utiliza en la elaboración de suplementos, barras energéticas, cereales para el desayuno y galletas, consolidándose como una fuente importante de nutrientes para la industria alimentaria (Muñoz *et al.*, 2012).

Cuando la semilla de chía se coloca en un medio acuoso, exuda un polisacárido que la rodea: el mucílago. Este se encuentra en las células externas de la cáscara en una concentración de entre el 5 y el 6%, y está compuesto por tres capas: una externa formada por células delgadas donde se encuentra el mucílago, una capa escleroide que contiene células largas y delgadas, y una capa interna delgada (Rivas y Romero, 2016). Al entrar en contacto con el agua, la fibra de la semilla se expulsa y se forma un gel mucilaginoso que se adhiere a la semilla, como se muestra en la Figura 8. Este gel de chía es altamente valorado en la industria alimentaria por su capacidad para retener agua, su viscosidad, sus propiedades espesantes y gelificantes, su capacidad para controlar la sinéresis y su habilidad para estabilizar geles (Salgado *et al.*, 2013).



Fuente: Deleito, 2016.

Figura 8. Gel de mucílago de chíá.

2.8.4. Chayote

El chayote (*Sechium edule*) es una planta perenne de la familia Cucurbitaceae, caracterizada por tener una raíz tuberosa y frutos carnosos. México es uno de los principales productores, destinándose en su mayoría a la exportación para el uso alimentario. Los principales mercados de exportación son Estados Unidos y Canadá, mientras que la producción se concentra en Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Chiapas, Jalisco, San Luis Potosí y el Estado de México (Peña *et al.*, 2017).

Existen tres grupos principales de variedades de chayote: albus y nigrum, que se cultivan en zonas templadas, y virens, que se produce en regiones subtropicales y tropicales. La variedad virens se caracteriza por su color verde y su textura lisa, siendo la de mayor demanda para la exportación. Le sigue en popularidad el nigrum spinosum, que se distribuye y consume principalmente en valles altos (SNICS, 2017).

De esta planta, únicamente se consume la pulpa del fruto, que generalmente se cocina en agua o al vapor. Esta pulpa es valorada por su alto contenido nutricional, que incluye aminoácidos, fibra, agua, fósforo, hierro, vitaminas, minerales y carbohidratos (Frizzi *et al.*, 2019). Además, el chayote contiene alcaloides, saponinas, fenoles, polifenoles y flavonoides, y se ha demostrado que posee propiedades diuréticas, antiinflamatorias e hipotensoras (Riviello *et al.*, 2018).

2.8.5. Manzana

La manzana (*Malus domestica*), perteneciente a la familia Rosaceae es una de las frutas más consumidas en el mundo. Su alta demanda en los mercados nacional e internacional se debe a su valor nutricional (InfoAgro México, 2021). Posee una estructura sólida y carnosas, con una pulpa de sabor dulce. Es rica en vitaminas y nutrientes, y su contenido de fibra ayuda a combatir el estreñimiento, prevenir el cáncer y reducir los niveles de colesterol en sangre (SADER, 2016; SADER, 2017).

En las principales zonas productoras de México, las primeras variedades de manzana cultivadas fueron la Rayada y la Rosada. Con el tiempo, se introdujeron otras variedades, siendo las más destacadas los cultivares Golden Delicious, Red Delicious y Gala. Estas variedades varían en tamaño y color, que van desde el verde claro hasta el rojo oscuro, y su sabor puede ser dulce o ácido, dependiendo de la variedad (InfoAgro México, 2021).

03.

**ESTUDIOS
PRELIMINARES DE
MERMELADA
ELABORADA CON
INGREDIENTES
FUNCIONALES**

3. Estudios preliminares de mermelada elaborada con ingredientes funcionales

Cada vez se desarrollan más variedades de mermelada con diferentes ingredientes que son beneficiosos para la salud o mejoran sus propiedades fisicoquímicas. Los estudios sobre este tema son relativamente recientes y se han centrado principalmente en la incorporación de diversas frutas e ingredientes funcionales, así como en su impacto sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de las mermeladas. Una tendencia destacada es la búsqueda de reemplazar ingredientes tradicionales, como el azúcar, por edulcorantes naturales, y de sustituir la pectina con hidrocoloides gelificantes.

Dentro de este contexto, se ha probado la adición de jengibre a la formulación de mermeladas de diversas frutas. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Muresan *et al.* (2014), en el que se evaluó la calidad de mermeladas de plátano con jengibre en concentraciones del 0, 2 y 4%. En este estudio, se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos y sensoriales para determinar las características del producto y la aceptación por parte de los consumidores. Los resultados indicaron que los consumidores prefirieron la mermelada con un 2% de jengibre, destacando la influencia positiva de este ingrediente en las características sensoriales del producto.

De manera similar, un estudio realizado por Moreira *et al.* (2020) evaluó las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de mermeladas de fresa y frambuesa con jengibre. Los resultados mostraron que, a pesar de la buena aceptación del producto, el contenido de sólidos solubles fue del 50%, lo que estuvo por debajo del contenido recomendado en la normatividad (62-65%), lo que resultó en un contenido de humedad superior al permitido.

Al igual que el jengibre, otros ingredientes con potencial funcional como el jarabe de aguamiel se están incorporando cada vez más en las formulaciones de mermeladas, especialmente como alternativa para reemplazar parcialmente el azúcar. Un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2022) analizó el impacto de sustituir el azúcar por jarabe de aguamiel en mermeladas de pera en concentraciones del 0, 25 y 50%. Se evaluaron diversos parámetros fisicoquímicos, como el color, el pH, la acidez, la consistencia y los

sólidos solubles. Los resultados mostraron que, a mayor concentración de jarabe de aguamiel, el contenido de sólidos solubles y la consistencia de la mermelada disminuían, mientras que el pH y la acidez aumentaban, además de observarse un cambio notable en el color final del producto. Estos hallazgos sugieren que el jarabe de aguamiel puede ser una opción viable para sustituir el azúcar, aunque su inclusión en las formulaciones debe ser cuidadosamente ajustada para mantener la calidad del producto.

La elaboración de mermeladas de manzana, una de las más comunes, también ha sido objeto de estudio con el fin de evaluar la adición de ingredientes con potencial funcional como el jengibre. Un ejemplo de ello es el estudio de Lee (2014), que analizó las características de calidad de una mermelada de manzana con jengibre en concentraciones del 2 al 8%. Los resultados mostraron que, a un 4% de jengibre, los parámetros como el pH, la textura, la dureza y la adhesividad aumentaron, lo que mejoró la consistencia del producto. Sin embargo, un mayor contenido de jengibre (8%) resultó en una disminución del contenido de humedad y azúcar. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de jengibre no solo puede mejorar la calidad fisicoquímica de las mermeladas, sino también su aceptabilidad sensorial entre los consumidores, al tiempo que se preservan las propiedades nutricionales del producto.

Además de los estudios sobre jengibre y jarabe de aguamiel, también se han investigado formulaciones de mermelada utilizando ingredientes como el chayote y la chía. Por ejemplo, Frizzi *et al.* (2019) evaluaron las características de calidad de una mermelada de chayote con manzana endulzada con tres edulcorantes diferentes: azúcar, estevia comercial y miel de agave. Se analizó tanto la aceptación sensorial de los consumidores como las características fisicoquímicas y nutricionales de la mermelada. La muestra más aceptada fue la endulzada con stevia y miel de agave, que presentó un contenido de azúcares totales de 28.33%, fibra dietética de 1.46% y proteína de 0.18%. Estos resultados sugieren que la elaboración de mermeladas a base de chayote representa una alternativa viable para la diversificación de productos, brindando opciones más saludables y atractivas para los consumidores.

Por otro lado, Díaz (2018) exploró la incorporación de semillas de chía en la formulación de mermeladas, aprovechando su contenido de mucílago con capacidad para formar geles y absorber y retener agua. El estudio evaluó 17 formulaciones que variaban en las proporciones de fruta, chía y pectina. Se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos, como la consistencia, la actividad de agua (a_w), los grados Brix ($^{\circ}\text{Brix}$) y el color. Los resultados demostraron que la adición de semillas de chía afectaba principalmente la luminosidad y la consistencia de la mermelada, sugiriendo que la chía puede ser una alternativa eficaz para mejorar las propiedades gelificantes y sensoriales del producto.

Los estudios sobre la elaboración de mermeladas con ingredientes no convencionales, beneficiosos para la salud, destacan una tendencia creciente hacia la mejora de sus propiedades nutricionales y sensoriales. La incorporación de ingredientes como jengibre, jarabe de aguamiel, chayote y chía no solo diversifica el uso de estas materias primas, sino también las opciones de mermeladas disponibles en el mercado, respondiendo a la creciente demanda de productos más saludables.

04.

OBJETIVOS

4. Objetivos

4.1. General

Elaborar una mermelada alternativa a las convencionales mediante la incorporación de jengibre y jarabe de aguamiel, con el fin de diversificar el uso de las materias primas utilizadas y mejorar sus propiedades nutricionales y sensoriales.

4.2. Específicos

1. Determinar las condiciones óptimas para la formulación de una mermelada a base de manzana y chayote adicionada con jengibre, jarabe de aguamiel y semillas de chía, evaluando las proporciones de estos ingredientes con el fin de maximizar sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales.
2. Evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas de la mermelada elaborada, conforme a las normativas oficiales, con el fin de asegurar su calidad e inocuidad.
3. Evaluar la aceptabilidad de la mermelada elaborada mediante pruebas sensoriales para determinar la preferencia y la aceptación de los consumidores en cuanto a sus características organolépticas.
4. Evaluar la actividad antioxidante y actividad prebiótica de la mermelada elaborada para determinar sus beneficios potenciales para la salud.

05.

**MATERIALES Y
MÉTODOS**

5. Materiales y métodos

5.1. Materiales, equipos y reactivos

En la Tabla 1 se presentan los materiales, equipos, insumos y reactivos utilizados en la elaboración de mermelada y en los análisis realizados.

Tabla 1. Materiales, equipos, insumos y reactivos.

Materiales	
Cuchillos de acero inoxidable	Vasos de Berzelius
Cucharas de acero inoxidable	Manguera de hule
Espátula de acero inoxidable	Embudo Buchner
Tabla de acrílico	Matraz Kitazato
Vasos de precipitados 50 mL	Membranas de lino
Vasos de precipitados 100 mL	Cajas Petri
Vasos de precipitados 250 mL	Frascos con rosca 250 mL
Cucharas de plástico	Frascos con rosca 100 mL
Charolas de plástico	Viales Eppendorf
Probeta 100 mL	Tubos de ensayo con tapón
Desecador	Gradilla
Charolas de aluminio	Mechero Bunsen
Crisolos de porcelana	Micropipeta 1-10 mL
Pinzas para crisol	Micropipeta 100-1000 μ L
Matraces balón 250 mL	Micropipeta 1-20 μ L
Cartuchos de papel filtro	Tubos para centrífuga 15 mL
Tubos de digestión Kjeldahl	Tubos para centrífuga 50 mL
Matraces Erlenmeyer 250 mL	Celda para espectrofotómetro
Bureta 25 mL	Pipeta Pasteur
Pinzas para bureta	Papel aluminio
Soporte universal	Piceta
Equipos	
Báscula digital (BMXHMK4 Superior mini digital platform scale, DChina)	Vortex (MaxiMix Plus Vortex Mixer M63215, Thermolyne)
Termómetro digital (LabG RT107)	Incubadora (Incubadora E-41, Riosa)
Parrilla de calentamiento (Corning)	Autoclave (Autoclave vertical)
Licuada (BLSTMP-W00, Oster)	Centrífuga (Centrífuga K241, Centurion)
Potenciómetro (HI3221 pH/ORP/ISE Meter, HANNA instruments)	Agitador orbital (Incu-Shaker, Benchmark Scientific)

Refractómetro (HI96801 Digital Refractometer, HANNA instruments)	Rotavapor
Viscosímetro (Viscosímetro Digital Brookfield, El crisol)	Estufa
Balanza analítica (WT-CH Series Electronic Balance, WANT)	Mufla
Agitador magnético (Multi-bar thermostatic magnetic stirrer HJ-4B, LUZEREN)	Equipo Soxhlet
Espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Scientific)	Digestor Kjeldahl
	Destilador Kjeldahl
	Equipo de extracción para fibra
	Cuenta colonias

Insumos

Jarabe de aguamiel (miel de aguamiel, “Rancho la Gaspareña”)
Pectina (DEIMAN)
Ácido cítrico (DEIMAN)
Sacarosa (azúcar refinada Zulka)
Semillas de chía (DiNat)

Reactivos

Agua destilada	Agar bacteriológico (MCD LAB)
Éter de petróleo (Meyer)	Extracto de levadura (MCD LAB)
Acetona (Meyer)	Peptona de caseína (BD Bioxon)
Ácido clorhídrico (Meyer)	Bicarbonato de sodio
Ácido sulfúrico (Meyer)	Sales biliares
Ácido fosfórico (Meyer)	Inulina orgánica soluble (Preventy)
Ácido bórico (Meyer)	Tween 80 (HYCEL)
Ácido acético (Meyer)	Cloruro de sodio (Meyer)
Alcohol etílico (Meyer)	Fosfato dipotásico (Meyer)
Alcohol metílico (Meyer)	Cloruro de calcio (Meyer)
Peróxido de hidrógeno (Meyer)	Sulfato de magnesio (Meyer)
Fenolftaleína	Acetato de sodio anhidro (J.T. Baker)
Verde de bromocresol	Hidróxido de sodio (J.T. Baker)
Rojo de metilo	Sulfato de cobre 5-hidratado (J.T. Baker)
Agar métodos estándar (BD Bioxon)	Cloruro de hierro 6-hidratado (J.T. Baker)
Agar bilis y rojo violeta (BD Bioxon)	2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)
Agar papa y dextrosa (BD Bioxon)	(Sigma-Aldrich)
Agua de peptona tamponada (Difco TM)	2,4,6-Tri-(2-piridil)-s-triazina (TPTZ)
Caldo MRS (Difco TM)	(Sigma-Aldrich)

5.2. Materia prima

El jengibre fresco fue proporcionado por la asociación “Productores Orgánicos de Black Berry de la Sierra Norte de Puebla S.C. de R.L.”. El jarabe de aguamiel se adquirió con productores de Singuilucan, Hidalgo (Rancho La Gaspareña). Las manzanas, las semillas de chía y el chayote se adquirieron en la Central de abastos de Pachuca, Hidalgo.

5.3. Desarrollo de las formulaciones de mermelada

La propuesta inicial para las formulaciones a elaborar se basó en las proporciones recomendadas en la literatura consultada y en las normas pertinentes, con el objetivo de establecer las cantidades adecuadas de los ingredientes utilizados, tales como chayote: manzana, jarabe de aguamiel:sacarosa, jengibre, pectina, ácido cítrico y semillas de chía (Tabla 2).

Tabla 2. Ingredientes para las formulaciones de mermelada.

Materia prima	Formulación
chayote y manzana	60%
jarabe de aguamiel y sacarosa	33-36%
jengibre	2-5%
chía	1%
pectina	0.5%
ácido cítrico	0.5%

Se seleccionaron las materias primas en su estado óptimo de madurez, y se lavaron y desinfectaron adecuadamente las manzanas, los chayotes y el jengibre, retirando la piel de cada uno. Se pesaron las cantidades correspondientes de cada ingrediente, considerando un volumen final de 200 gramos para la preparación de las formulaciones. La manzana y el chayote se trituraron para obtener una mezcla homogénea, que luego se sometió a cocción. Inicialmente, se añadió el ácido cítrico y el jengibre rallado, seguido por la incorporación del jarabe de aguamiel y la sacarosa en dos porciones. Para evitar la formación de grumos, la pectina se añadió en la segunda porción junto con la sacarosa. La mezcla se mantuvo en cocción hasta alcanzar los 85 °C, con agitación constante, y luego se envasó en caliente en frascos de vidrio previamente lavados y esterilizados.

5.4. Diseño de experimentos

Se utilizó un diseño central compuesto con tres factores y tres niveles (Tabla 3) basado en la formulación inicial propuesta. Este diseño tuvo como objetivo evaluar el efecto de las proporciones de chayote:manzana, jarabe de aguamiel:sacarosa y jengibre como variables, sobre los parámetros fisicoquímicos de los sólidos solubles totales (°Brix), pH y viscosidad de las mermeladas. En todas las formulaciones, los porcentajes de pectina (0.5%), ácido cítrico (0.5%) y chíá (1%) se mantuvieron constantes.

Tabla 3. Factores del diseño de experimentos.

Factor	Nivel		
	-1	0	+1
chayote:manzana	25:75	50:50	75:25
jarabe de aguamiel:sacarosa	25:75	50:50	75:25
jengibre	2	3.5	5

Se realizaron 40 experimentos aleatorios (Tabla 4), en los cuales las proporciones de chayote y manzana se ajustaron en un rango del 25 al 75%, representando el 60% de la formulación. De manera similar, el contenido de jarabe de aguamiel y sacarosa se distribuyó en proporciones del 25 al 75%, lo que constituyó el 33, 34.5, y 36% restante de la formulación, de acuerdo con la proporción de jengibre correspondiente.

Tabla 4. Matriz del diseño de experimentos para las formulaciones de mermelada.

Experimento	Chayote:manzana	Jarabe de aguamiel:sacarosa	Jengibre
1	75:25	75:25	2
2	50:50	50:50	5
3	75:50	25:75	2
4	25:75	25:75	5
5	50:50	50:50	5
6	25:75	75:25	5
7	50:50	50:50	3.5
8	75:25	75:25	5
9	50:50	50:50	3.5
10	50:50	50:50	3.5
11	75:25	50:50	3.5

12	25:75	25:75	2
13	50:50	50:50	3.5
14	75:25	75:25	5
15	75:25	50:50	3.5
16	25:75	75:25	2
17	25:75	50:50	3.5
18	50:50	50:50	3.5
19	50:50	50:50	3.5
20	50:50	75:25	3.5
21	50:50	50:50	3.5
22	25:75	25:75	5
23	50:50	50:50	3.5
24	25:75	25:75	2
25	75:25	25:75	2
26	25:75	50:50	3.5
27	75:25	25:75	5
28	50:50	50:50	3.5
29	75:25	75:25	2
30	50:50	75:25	3.5
31	50:50	50:50	2
32	75:25	25:75	5
33	50:50	25:75	3.5
34	25:75	75:25	5
35	50:50	50:50	3.5
36	50:50	25:75	3.5
37	25:75	75:25	2
38	50:50	50:50	3.5
39	50:50	50:50	3.5
40	50:50	50:50	2

Se determinaron los sólidos solubles totales (°Brix), el pH y la viscosidad de las formulaciones de mermelada por triplicado. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Minitab 17. Los valores experimentales se compararon con los datos de predicción para validar el modelo, realizando tres réplicas de cada formulación. Se empleó un modelo de superficie de respuesta para analizar los datos obtenidos del diseño experimental, con el fin de evaluar los efectos de los factores sobre los parámetros fisicoquímicos de las mermeladas, utilizando un nivel de significancia del 5%.

5.5. Análisis sensorial

Se realizaron pruebas sensoriales para evaluar las formulaciones seleccionadas de mermelada, considerando cuatro que cumplieran con parámetros fisicoquímicos adecuados. Estas formulaciones contenían un 75% de jarabe de aguamiel, variando únicamente la proporción de chayote y manzana, así como el contenido de jengibre (2 y 5%) con el objetivo de analizar su influencia en las características sensoriales.

La evaluación se llevó a cabo con un panel de 25 jueces no entrenados, conformado por 9 hombres y 16 mujeres, con edades entre 21 y 55 años, todos consumidores habituales de mermelada y de jengibre. Las muestras, de 5 gramos cada una, fueron presentadas de manera aleatoria y codificadas (Tabla 5) para evitar sesgos en la evaluación. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Análisis Sensorial del edificio de Química de Alimentos de la UAEH, bajo condiciones controladas.

Tabla 5. Codificación de las muestras de mermelada.

Mermelada	Formulación			Código
	Chayote:manzana	Jarabe de aguamiel:sacarosa	Jengibre	
37	25:75	75:25	2	465
29	75:25	75:25	2	732
6	25:75	75:25	5	559
14	75:25	75:25	5	585

En primer lugar, se llevó a cabo una prueba de ordenamiento por preferencia, en la que los jueces evaluaron las cuatro muestras y las ordenaron de manera creciente según su preferencia, considerando la intensidad del sabor a jengibre y la viscosidad. Para ello, se utilizó una ficha de cata específica para esta prueba (Anexo 1). El análisis de los datos se realizó de acuerdo con el método descrito por Watts *et al.* (1992). Se asignaron valores de 1 a 4, donde 1 correspondía a la muestra más preferida y 4 a la menos preferida. Posteriormente, se calcularon las sumas de los puntajes asignados a cada muestra y se compararon los valores totales entre cada par de muestras para determinar la existencia de diferencias significativas.

Para la prueba de nivel de agrado, se solicitó a los jueces que evaluaran las mermeladas según su nivel de aceptación, utilizando una escala hedónica de 9 puntos para determinar el grado de agrado o desagrado. Las respuestas se registraron en una ficha de cata diseñada específicamente para esta prueba (Anexo 1). El análisis de los datos se realizó según lo descrito por Watts *et al.* (1992). Se asignaron valores del 1 al 9, donde 1 correspondía a "me disgusta mucho" y 9 a "me gusta mucho". Los puntajes obtenidos fueron analizados para identificar diferencias significativas entre los promedios de las muestras. Las formulaciones con diferencias significativas en el nivel de agrado fueron identificadas mediante pruebas de comparación múltiple.

Posteriormente, se llevó a cabo la prueba *Just-About-Right* (JAR), en la que se pidió a los jueces que evaluaran las muestras según la adecuación de la intensidad del sabor a jengibre y la viscosidad. Para ello, se utilizó una escala de 3 puntos y una ficha de cata específica para la prueba JAR (Anexo 1). El análisis de los datos se realizó según lo descrito por Fernández *et al.* (2018). Se asignaron valores del 1 al 3, donde 1 representaba un nivel bajo, 2 el nivel ideal y 3 un nivel alto. Para cada atributo, se calculó el porcentaje de jueces que seleccionó cada nivel, y los resultados se representaron gráficamente. Se consideró que un atributo estaba optimizado cuando la mayor proporción de jueces lo calificó como "ideal".

Finalmente, siguiendo la metodología descrita por Fernández *et al.* (2018), se realizó un análisis de penalizaciones para evaluar si la percepción de un atributo superior o inferior al punto JAR tuvo un impacto en la puntuación de agrado global, independientemente de los jueces que lo consideraron ideal. La penalización se calculó restando la media de aceptación global del grupo JAR a la aceptación global de los grupos que percibieron el atributo como demasiado alto o demasiado bajo. Se consideró que la penalización tuvo un impacto significativo en la aceptación global cuando más del 20% de los jueces evaluó el atributo fuera del nivel ideal y la penalización fue superior a 1 punto.

5.6. Análisis fisicoquímico

5.6.1. Sólidos totales

Los sólidos totales se determinaron mediante un refractómetro, siguiendo la metodología establecida en la norma NMX-F-112-NORMEX-2010. La mermelada se homogenizó antes del análisis y la medición se realizó a 20 °C, colocando una alícuota de la muestra sobre el prisma del refractómetro y registrando la lectura correspondiente.

5.6.2. pH

El pH se determinó de acuerdo con la metodología establecida en la norma NMX-F-317-NORMEX-2013, utilizando un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. La mermelada se homogenizó antes del análisis y la medición se realizó a 20 °C, sumergiendo el electrodo directamente en la muestra y registrando el valor en el potenciómetro.

5.6.3. Viscosidad

La viscosidad se midió utilizando un viscosímetro, conforme a la metodología descrita por Barretto *et al.* (2006). Previo al análisis, la mermelada se homogenizó y la medición se realizó a 20 °C, empleando un husillo #7, adecuado para productos de alta viscosidad. Se registraron las lecturas a tres velocidades de rotación (10, 15 y 30 rpm), introduciendo el husillo en la muestra y tomando la lectura en la escala de viscosidad una vez que el valor se estabilizó (Barretto *et al.*, 2006).

5.6.4. Análisis proximal

Para la determinación de la composición química de la mermelada, se emplearon los métodos oficiales de la AOAC: contenido de humedad (AOAC 925.10), cenizas (AOAC 940.26), proteínas (AOAC 991.20), grasas (AOAC 920.85), fibra cruda (AOAC 985.29) y carbohidratos (por diferencia).

Para la determinación del contenido de humedad, se pesaron 6 gramos de muestra en charolas de aluminio y se registró su peso inicial. Luego, se colocó la muestra en una estufa a 105 °C durante 4 horas. Al finalizar el tiempo de secado, la muestra se dejó

enfriar en un desecador durante 25 minutos y, finalmente, se pesó nuevamente hasta alcanzar peso constante. El contenido de humedad se calculó por diferencia de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P_0 - P_f}{m} \times 100$$

Donde P_0 representa el peso de la charola con la muestra antes de secar (g), P_f el peso de la charola con la muestra después de secar (g), y m el peso de la muestra fresca (g).

Para la determinación de cenizas, se colocaron crisoles a peso constante y se registró su peso. Después, se pesaron 3 gramos de muestra, la cual se incineró en una parrilla y posteriormente se colocó en una mufla a 550 °C durante 6 horas. Al finalizar el tiempo de incineración, el crisol se dejó enfriar en un desecador durante una hora. Finalmente, se calculó el contenido de cenizas utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100$$

Donde P_f representa el peso del crisol con la muestra después de incinerar (g), P_0 el peso del crisol a peso constante (g), y m el peso de la muestra fresca (g).

Para la determinación de grasa, se colocaron 2.5 gramos de muestra deshidratada en un cartucho de papel filtro, el cual se introdujo en el extractor. En un matraz balón de 250 mL a peso constante, se adicionaron 150 mL de éter de petróleo y se comenzó el calentamiento, realizando la extracción total de la grasa en 6 ciclos durante aproximadamente 4 horas. Una vez completado el proceso, se retiró el cartucho con la muestra desengrasada y se recuperó el solvente utilizando un rotavapor, seguido de un secado en una estufa a 65 °C durante una hora hasta peso constante. Posteriormente, se dejó enfriar en un desecador durante 25 minutos y se pesó para calcular el contenido de grasa utilizando la siguiente ecuación, realizando la corrección tomando en cuenta el el contenido de humedad:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{P_f - P_0}{m} \times 100$$

Donde P_f representa el peso del matraz con el extracto de grasa (g), P_0 el peso del matraz a peso constante (g), y m el peso de la muestra (g).

Para la determinación de proteína, se colocaron 70 mg de muestra desgrasada en un tubo de digestión Kjeldahl, al que se le adicionaron 3 mL de mezcla digestiva, preparada con 0.3 gramos de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 2 mL de agua destilada, 5 mL de H_3PO_4 y 43 mL de H_2SO_4 concentrado. El tubo se colocó en el digestor durante 15 minutos a 370°C y se dejó enfriar. Posteriormente, se adicionaron 1.5 mL de H_2O_2 al 30%, y se volvió a colocar en el digestor a 370°C , manteniéndolo allí hasta el final de la digestión, hasta obtener un color traslúcido.

La muestra se destiló, programando la adición de 5 mL de NaOH al 50% al tubo durante 6 minutos. El destilado se recolectó en un matraz Erlenmeyer que contenía 50 mL de solución indicadora, preparada con 5 gramos de H_3BO_3 disuelto en agua destilada, 35 mL del indicador A (50 mg de fenolftaleína aforados a 50 mL con EtOH) y 10 mL del indicador B (33 mg de verde de bromocresol y 66 mg de rojo de metilo aforados a 100 mL con EtOH). Posteriormente, se valoró con HCl 0.01 N hasta el vire de verde a café rojizo.

El contenido de proteína se calculó con la siguiente ecuación realizando la corrección tomando en cuenta el contenido de humedad y grasa:

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{(P-B) \times N \times \text{meq} \times F}{m} \times 100$$

Donde P representa el volumen gastado en la valoración de la muestra (mL), B es el volumen gastado en la valoración del blanco (mL), N es la normalidad del HCl, meq son los miliequivalentes de nitrógeno, m es el peso de la muestra (g), y F es el factor de conversión.

Para la determinación de fibra cruda, se pesaron 1.5 gramos de muestra seca en un vaso de Berzelius, al cual se añadieron 150 mL de H_2SO_4 al 1.25%. El vaso se colocó en el digestor con el refrigerante y se mantuvo en reflujo durante 30 minutos. Posteriormente, se retiró del digestor y se filtró en un embudo Buchner, enjuagando con 50 mL de agua

destilada caliente. Se lavó con tres porciones de 50 mL de agua caliente y se eliminó el exceso de agua por succión.

El material del embudo se recuperó y se colocó de nuevo en el vaso de Berzelius, al cual se le añadieron 200 mL de NaOH al 1.25% precalentado. El vaso se colocó en el aparato de digestión con refrigerante y se llevó a reflujo durante 30 minutos. Posteriormente, se retiró del digestor y se filtró en el embudo Buchner, lavando el residuo con 25 mL de solución caliente de H₂SO₄ al 1.25% y tres porciones de 50 mL de agua destilada. Finalmente, el residuo se deshidrató con 25 mL de etanol.

Se transfirió la muestra a un crisol y se introdujo en una estufa a 105 °C durante una hora. Posteriormente, se dejó enfriar en un desecador durante 25 minutos y, una vez alcanzado el peso constante, se registró el peso. El contenido del crisol se incineró en una parrilla de calentamiento y, luego, se colocó en una mufla a 550 °C durante 6 horas hasta alcanzar el peso constante, registrando nuevamente el peso.

El contenido de fibra se calculó con la siguiente ecuación realizando la corrección tomando en cuenta el contenido de humedad y grasa:

$$\text{Fibra (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100$$

Donde P₁ representa el peso del crisol antes de la incineración (g), P₀ el peso del crisol después de la incineración (g), y m el peso de la muestra (g).

El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia restando al 100% la suma de humedad, cenizas, grasa, proteína, y fibra.

5.7. Análisis microbiológico

Para el análisis microbiológico de la mermelada, se aplicaron las metodologías establecidas en las normas oficiales mexicanas para la preparación y dilución de la muestra (NOM-110-SSA1-1994), el conteo de bacterias aerobias mesófilas (NOM-092-SSA1-1994), la cuantificación de coliformes totales (NOM-113-SSA1-1994) y la detección de mohos y levaduras (NOM-111-SSA1-1994).

Para la preparación y dilución de la muestra, se pesaron 10 gramos y se diluyeron en un frasco estéril con 90 mL de agua peptonada. A partir de esta solución, se prepararon hasta cinco diluciones seriadas, transfiriendo 1 mL de cada una a tubos con 9 mL de diluyente.

La cuantificación de microorganismos aerobios mesófilos viables se llevó a cabo mediante el conteo de colonias desarrolladas en un medio de cultivo específico tras la incubación. Se sembraron por duplicado 1 mL de las diluciones 1×10^{-2} , 1×10^{-4} , y 1×10^{-6} en cajas Petri estériles, a las que se adicionó agar para cuenta estándar. La mezcla se homogenizó y se incubó en posición invertida a 35 °C durante 48 horas. Posteriormente, se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de muestra, considerando placas con un rango de 25 a 250 UFC (NOM-092-SSA1-1994).

La determinación de microorganismos coliformes totales se realizó empleando un medio selectivo que permite el desarrollo de bacterias productoras de gas y ácidos orgánicos, las cuales viran el indicador de pH y precipitan las sales biliares. Se sembraron por duplicado 1 mL de las diluciones 1×10^{-2} , 1×10^{-4} , y 1×10^{-6} en cajas Petri estériles, a las que se adicionó agar de bilis rojo violeta. La mezcla se homogenizó y las placas se incubaron en posición invertida a 35 °C durante 24 horas. Se cuantificaron las UFC/g de muestra, considerando placas con un rango de 15 a 150 colonias típicas, caracterizadas por su color rojo rodeadas por un halo de precipitación de color rojo claro o rosa (NOM-113-SSA1-1994).

El análisis de mohos y levaduras se realizó utilizando un medio selectivo acidificado a pH 3.5. Se sembraron por duplicado 1 mL de las diluciones 1×10^{-2} , 1×10^{-4} , y 1×10^{-6} en cajas Petri estériles, a las que se adicionó agar papa dextrosa. La mezcla se homogenizó y las placas se incubaron en posición invertida a 25 °C. La cuantificación de UFC/g de mohos y levaduras en la muestra se realizó tras 3, 4 y 5 días de incubación, considerando placas con un rango de 10 a 150 colonias (NOM-111-SSA1-1994).

5.8. Actividad prebiótica

Se adaptó la técnica propuesta por Jaimez *et al.* (2021) para determinar la actividad prebiótica del jarabe de aguamiel y las mermeladas. El ensayo se realizó por duplicado, utilizando un medio de cultivo compuesto por 35 mL de solución con 3 gramos de extracto de levadura, 1 gramo de peptona de caseína, 0.4 gramos de NaHCO_3 , 0.08 gramos de NaCl , 0.04 gramos de K_2HPO_4 , 0.008 gramos de CaCl_2 , 0.008 gramos de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.04 gramos de sales biliares y 1 mL/L de Tween 80. El pH se ajustó a 7.2 con NaOH 0.1 N o HCl 0.1 N, según fuera necesario.

Se añadió la cantidad necesaria de jarabe de aguamiel y mermelada para alcanzar una concentración de 1 g/L de fuente de carbono, que es directamente proporcional al contenido de carbohidratos determinado a partir de los sólidos totales medidos. Como control, se utilizó un medio suplementado con 1 g/L de inulina. Posteriormente, los matraces fueron pasteurizados en autoclave a 90 °C durante 10 minutos. La inoculación se realizó con 350 μL de la cepa *Lactobacillus rhamnosus*, previamente activada en un tubo con caldo MRS a 37 °C durante 24 horas y reacondicionada en un segundo cultivo en un tubo con caldo MRS bajo las mismas condiciones.

Para evaluar la viabilidad del probiótico, se realizó un conteo de colonias mediante siembra en agar MRS. Se determinó la concentración inicial de microorganismos en los medios recién inoculados y, posteriormente, en las muestras incubadas a 37.2 °C durante 48 horas bajo agitación orbital a 150 rpm. En ambos casos, se realizaron microdiluciones seriadas hasta una concentración final de 1×10^{-8} . Se tomaron 5 μL de las diluciones 1×10^{-5} , 1×10^{-6} , 1×10^{-7} y 1×10^{-8} , que fueron sembradas por microgota en cajas Petri con agar MRS e incubadas a 37 °C durante 48 horas.

Los conteos iniciales y finales de cada muestra se determinaron por duplicado y se expresaron en log UFC/mL. A partir de estos valores, se calculó el porcentaje de supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus* utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{\log \text{UFC } N_1}{\log \text{UFC } N_0} \times 100$$

Donde N_1 representa el conteo después del tratamiento y N_0 representa el conteo inicial de bacterias inoculadas.

5.9. Actividad antioxidante

Para la obtención de los extractos de mermeladas (comercial, con jarabe de aguamiel y sin jarabe de aguamiel), se empleó la técnica propuesta por Mendes *et al.* (2017) con algunas modificaciones. Se pesó un gramo de cada muestra, se añadieron 10 mL de MeOH al 50 % y se mantuvieron en agitación a temperatura ambiente durante una hora. Posteriormente, se centrifugaron a 10,000 rpm por 30 minutos y se recuperó el sobrenadante. Al residuo sólido se le agregaron 20 mL de acetona, se agitó bajo las mismas condiciones y se centrifugó nuevamente durante 30 minutos. Los sobrenadantes obtenidos en ambas extracciones se combinaron y se aforaron a 50 mL con agua desionizada.

La actividad antioxidante mediante la inactivación del radical DPPH se evaluó siguiendo la metodología de Brand *et al.* (1995), con algunas modificaciones. En tubos protegidos de la luz, se mezclaron 2.9 mL de DPPH (0.1 mM en MeOH) y 100 μ L de muestra, se mantuvieron en oscuridad por 50 minutos y se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro, utilizando metanol como blanco. Se preparó un control con 2.9 mL de DPPH y 100 μ L de MeOH.

Para la cuantificación, se utilizó una curva de calibración con concentraciones de Trolox de 0 a 33.3 μ M (0.1 mM en MeOH) como estándar. A cada solución estándar se le agregaron 2.9 mL de DPPH y el volumen correspondiente de cada concentración de Trolox, ajustando a un volumen final de 3 mL con MeOH. A partir de los valores de absorbancia del control y las soluciones estándar, se graficó la curva de calibración ([μ M Trolox] vs. % DPPH remanente). El porcentaje de DPPH remanente se calculó mediante la ecuación:

$$\% \text{ DPPH remanente} = \frac{\text{Abs de la muestra}}{\text{Abs del control}} \times 100$$

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de Trolox por gramo de muestra (mg eq. Trolox/g).

La actividad antioxidante por el método de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) se midió de acuerdo con la metodología propuesta por Benzie y Strain (1996) con algunas modificaciones. Primero, se prepararon tres soluciones: un buffer de acetatos (300 mM a pH 3.6), TPTZ (10 mM en HCl 40 mM) y $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 mM). Estas soluciones se mezclaron en una proporción de 10:1:1 (v/v/v) para obtener el reactivo FRAP.

En tubos protegidos de la luz, se añadieron 1 mL del reactivo FRAP y 250 μL de la muestra. El volumen final se ajustó a 10 mL con agua desionizada, y la mezcla se incubó a 37 °C durante 15 minutos. Posteriormente, se midió la absorbancia a 593 nm en un espectrofotómetro, utilizando el reactivo FRAP como blanco.

Se utilizó una curva de calibración de 0 a 0.03 mM, usando $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Fe^{2+}) en HCl 40 mM como estándar. A cada solución estándar se le agregó 1 mL del reactivo FRAP y el volumen correspondiente de cada concentración de Fe^{2+} , ajustando el volumen final a 10 mL con agua desionizada. A partir de los valores de absorbancia obtenidos para las soluciones estándar, se graficó la curva de calibración [mM Fe^{2+}] vs. absorbancia. La siguiente ecuación se utilizó para calcular la actividad antioxidante, que sigue un comportamiento lineal:

$$A = aX [\text{Fe}^{(2+)}] + b$$

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de Fe^{2+} por cada gramo de muestra (mg eq. Fe^{2+} /g).

06.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6. Resultados y discusión

6.1. Diseño de experimentos

Las mediciones promedio de sólidos solubles, pH y viscosidad de las formulaciones obtenidas a partir del diseño de experimentos con diferentes proporciones de chayote, jarabe de aguamiel y jengibre se presentan en la Tabla 6. Este diseño experimental permitió evaluar el efecto de los factores chayote:manzana, jarabe de aguamiel:sacarosa y jengibre, así como sus interacciones, en las propiedades fisicoquímicas de las mermeladas elaboradas.

Tabla 6. Análisis fisicoquímicos basado en el diseño de experimentos.

Factores			Respuestas		
Chayote: manzana	Jarabe de aguamiel: sacarosa	Jengibre	Sólidos solubles (°Bx)	pH	Viscosidad (cP)
75:25	75:25	2	48.0 ± 0.1	3.2 ± 0.1	8,400 ± 0.0
50:50	50:50	5	48.2 ± 0.1	3.7 ± 0.1	1,800 ± 0.0
75:50	25:75	2	58.3 ± 0.1	3.4 ± 0.0	30,000 ± 0.0
25:75	25:75	5	48.2 ± 0.1	3.4 ± 0.1	12,800 ± 0.0
50:50	50:50	5	50.0 ± 0.3	3.4 ± 0.0	22,000 ± 0.0
25:75	75:25	5	47.3 ± 0.4	3.7 ± 0.1	14,000 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	50.6 ± 0.9	3.6 ± 0.0	12,400 ± 0.0
75:25	75:25	5	53.8 ± 0.6	3.9 ± 0.1	48,800 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	60.3 ± 0.5	3.8 ± 0.1	44,000 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	59.7 ± 0.2	3.5 ± 0.1	42,800 ± 0.0
75:25	50:50	3.5	55.7 ± 0.4	3.5 ± 0.0	22,400 ± 0.0
25:75	25:75	2	60.6 ± 0.1	3.3 ± 0.0	60,000 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	48.7 ± 0.6	3.3 ± 0.1	22,000 ± 0.0
75:25	75:25	5	50.8 ± 0.0	4.0 ± 0.0	22,400 ± 0.0
75:25	50:50	3.5	49.7 ± 0.3	3.8 ± 0.0	18,000 ± 0.0
25:75	75:25	2	56.8 ± 0.3	3.8 ± 0.1	30,400 ± 0.0
25:75	50:50	3.5	59.4 ± 0.4	3.6 ± 0.0	38,800 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	50.6 ± 0.4	3.7 ± 0.1	15,200 ± 0.0
50:50	50:50	3.5	51.8 ± 0.3	3.7 ± 0.0	17,600 ± 0.0
50:50	75:25	3.5	51.4 ± 0.3	3.8 ± 0.0	18,800 ± 0.0

50:50	50:50	3.5	55.4 ± 1.2	3.7 ± 0.1	$24,000 \pm 0.0$
25:75	25:75	5	58.9 ± 0.6	3.3 ± 0.0	$58,800 \pm 0.0$
50:50	50:50	3.5	51.1 ± 0.4	3.8 ± 0.0	$16,400 \pm 0.0$
25:75	25:75	2	55.7 ± 0.4	3.2 ± 0.1	$14,800 \pm 0.0$
75:25	25:75	2	52.1 ± 0.5	3.1 ± 0.2	$10,800 \pm 0.0$
25:75	50:50	3.5	50.1 ± 0.2	3.6 ± 0.0	$14,400 \pm 0.0$
75:25	25:75	5	51.6 ± 0.0	3.4 ± 0.0	$12,400 \pm 0.0$
50:50	50:50	3.5	49.3 ± 0.7	3.7 ± 0.0	$14,000 \pm 0.0$
75:25	75:25	2	48.5 ± 0.1	3.9 ± 0.1	$18,000 \pm 0.0$
50:50	75:25	3.5	54.6 ± 0.2	3.7 ± 0.1	$22,400 \pm 0.0$
50:50	50:50	2	49.9 ± 0.0	3.7 ± 0.0	$22,400 \pm 0.0$
75:25	25:75	5	52.8 ± 1.0	3.5 ± 0.1	$18,400 \pm 0.0$
50:50	25:75	3.5	51.6 ± 0.1	3.0 ± 0.1	$19,200 \pm 0.0$
25:75	75:25	5	46.5 ± 0.4	3.9 ± 0.1	$17,600 \pm 0.0$
50:50	50:50	3.5	55.3 ± 0.1	2.9 ± 0.1	$21,600 \pm 0.0$
50:50	25:75	3.5	51.6 ± 0.1	3.7 ± 0.1	$13,200 \pm 0.0$
25:75	75:25	2	46.9 ± 0.6	3.0 ± 0.0	$14,800 \pm 0.0$
50:50	50:50	3.5	47.0 ± 0.2	3.7 ± 0.1	$22,200 \pm 0.0$
50:50	50:50	3.5	47.8 ± 0.5	3.6 ± 0.1	$25,200 \pm 0.0$
50:50	50:50	2	50.4 ± 0.2	3.8 ± 0.0	$21,600 \pm 0.0$

De acuerdo con las ecuaciones obtenidas del diseño de experimentos, los factores chayote:manzana y sacarosa:jarabe tuvieron un efecto positivo en los sólidos solubles, mientras que el factor jengibre mostró un efecto negativo. En cuanto a la viscosidad, los tres factores presentaron un efecto positivo. Por otro lado, para el pH, los factores chayote:manzana y sacarosa:jarabe tuvieron un efecto negativo, mientras que el factor jengibre ejerció un efecto positivo.

Los valores de sólidos solubles y viscosidad presentan un comportamiento similar, según los gráficos de contorno. Ambos parámetros aumentan conforme se incrementan las proporciones de manzana y sacarosa, debido a su mayor aporte de carbohidratos a la mermelada en comparación con el chayote y el jarabe de aguamiel. La cantidad de jengibre también influye en ambos parámetros; cuando está presente en un 2% en la formulación, contribuye a alcanzar la concentración deseada de sólidos solubles. Sin embargo, un mayor contenido de jengibre reduce la cantidad de azúcar y la viscosidad.

La Figura 9 muestra que las formulaciones de mermelada elaboradas con una proporción de 75:25 de jarabe de aguamiel:sacarosa, 75:25 de chayote:manzana y hasta un 3.5% de jengibre presentaron valores de sólidos solubles entre 49 y 53 °Bx. Además, se observó que la cantidad de sólidos solubles aumenta a medida que las concentraciones de manzana y sacarosa se incrementan. Esto se debe a que la manzana aporta la mayor cantidad de sólidos solubles, con un rango de 12 a 17 °Bx (Guerra y Casquero, 2005), en comparación con el chayote (1.5 a 3.5 °Bx, Castro *et al.*, 2015) y el jengibre (0.31 °Bx, Lee, 2014).

Se observó una influencia similar del jengibre en una mermelada de manzana evaluada con concentraciones de 0, 2, 4, 6 y 8% de este rizoma (Lee, 2014). Los sólidos solubles de la mermelada sin jengibre fueron los más altos (59.97 °Bx), mientras que, al aumentar la cantidad de jengibre, los sólidos solubles disminuyeron, alcanzando su valor más bajo (49.23 °Bx) en la formulación con 8% de jengibre. Esto confirma que un mayor contenido de jengibre reduce significativamente la concentración de azúcar en la mermelada, debido a su menor aporte de sólidos solubles en comparación con la manzana.

Además, en formulaciones donde se sustituye la sacarosa, el tipo de endulzante utilizado influye significativamente en la dulzura, la textura, las propiedades funcionales y las características físicas del producto. Cuando se emplean endulzantes no calóricos, ya sea solos o en combinación con otros, como el jarabe de aguamiel, no aportan la misma cantidad de carbohidratos, lo que reduce el contenido calórico y los sólidos solubles. Por ello, es necesario evaporar una cantidad de agua equivalente a la de una formulación elaborada únicamente con sacarosa para mantener la consistencia deseada (Márquez *et al.*, 2016).

El comportamiento de la viscosidad, que presentó una tendencia similar con respecto a las concentraciones de jengibre, manzana y azúcar, se muestra en la Figura 10. Las formulaciones de mermelada elaboradas con una proporción de 75:25 de jarabe de aguamiel:sacarosa, 75:25 de chayote:manzana y hasta 3.5% de jengibre presentaron viscosidades entre 20,000 y 25,000 cP. La viscosidad está directamente relacionada con la cantidad de sólidos solubles, aumentando a medida que su concentración se incrementa. Esto se debe a que un mayor contenido de azúcar incrementa el índice de

flujo, mientras que un mayor contenido de pectina lo reduce (Chávez, 2022). Por lo tanto, la cantidad de gelificantes en la formulación también influye significativamente en la viscosidad.

Márquez *et al.* (2016) evaluaron una mermelada de mora y obtuvieron resultados similares en cuanto a sólidos solubles y textura. En su estudio, utilizaron una formulación con sacarosa y pectina como control y analizaron el impacto de diferentes endulzantes (sacarosa, sucralosa y stevia) y gelificantes (pectina y agar-agar). Los resultados mostraron que las formulaciones con endulzantes alternativos, solos o combinados con sacarosa, presentaron un menor contenido de sólidos solubles en comparación con aquellas elaboradas exclusivamente con sacarosa y pectina, las cuales alcanzaron hasta 68.25 °Bx. Además, la textura de las mermeladas mostró el mismo comportamiento: las formulaciones con sacarosa como endulzante y pectina como gelificante obtuvieron los mejores resultados en términos de consistencia.

La Figura 11 muestra el pH en las formulaciones de mermelada bajo las condiciones de 75:25 de jarabe de aguamiel:azúcar, 75:25 de chayote:manzana y un máximo de 3.5% de jengibre. Se obtuvo un pH entre 3.5 y 3.7, observándose que, a medida que se incrementa la concentración de jengibre, el pH aumenta, alcanzando valores superiores a 3.7. Sin embargo, este parámetro se mantiene dentro del límite establecido por la norma, y las proporciones de chayote:manzana y jarabe de aguamiel:sacarosa no tienen un impacto significativo.

En una mermelada de manzana evaluada con concentraciones de 0, 2, 4, 6 y 8% de jengibre, se observó un comportamiento similar en cuanto al pH. El pH más bajo (3.52) correspondió a la mermelada sin jengibre, mientras que, al aumentar la cantidad de jengibre, el pH aumentó, alcanzando su valor más alto (3.97) en la mermelada con 8% de jengibre (Lee, 2014). Esto sugiere que un aumento en la cantidad de jengibre también incrementa el pH, dado que el pH del jengibre (6.02) es mayor que el de la manzana (3.9). La acidez de la manzana se debe principalmente a la presencia de ácido málico, el cual es el ácido orgánico dominante en esta fruta, aunque también se encuentran presentes en menor proporción otros como el succínico, cítrico y tartárico (Corona *et al.*, 2020).

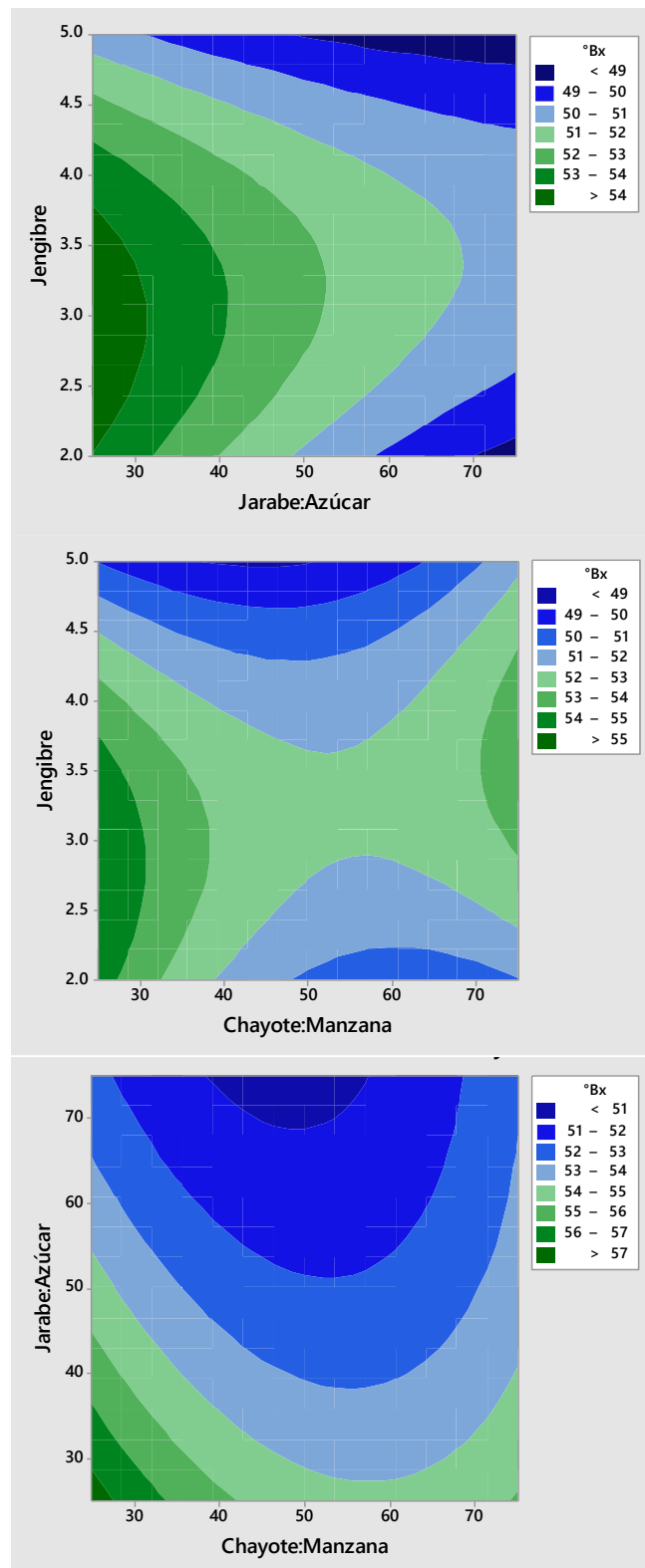


Figura 9. Gráficos de contorno para sólidos solubles. a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana.

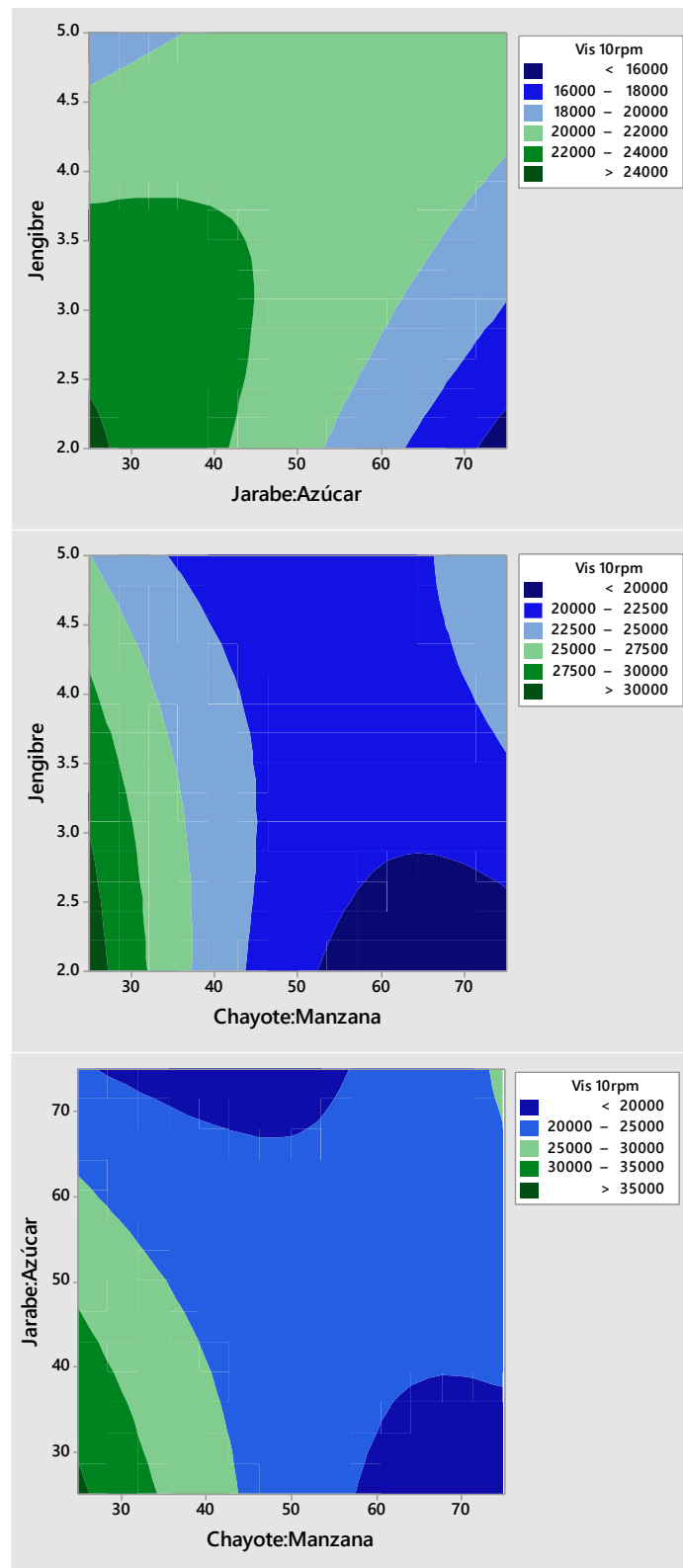


Figura 10. Gráficos de contorno para viscosidad (10 rpm). a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana.

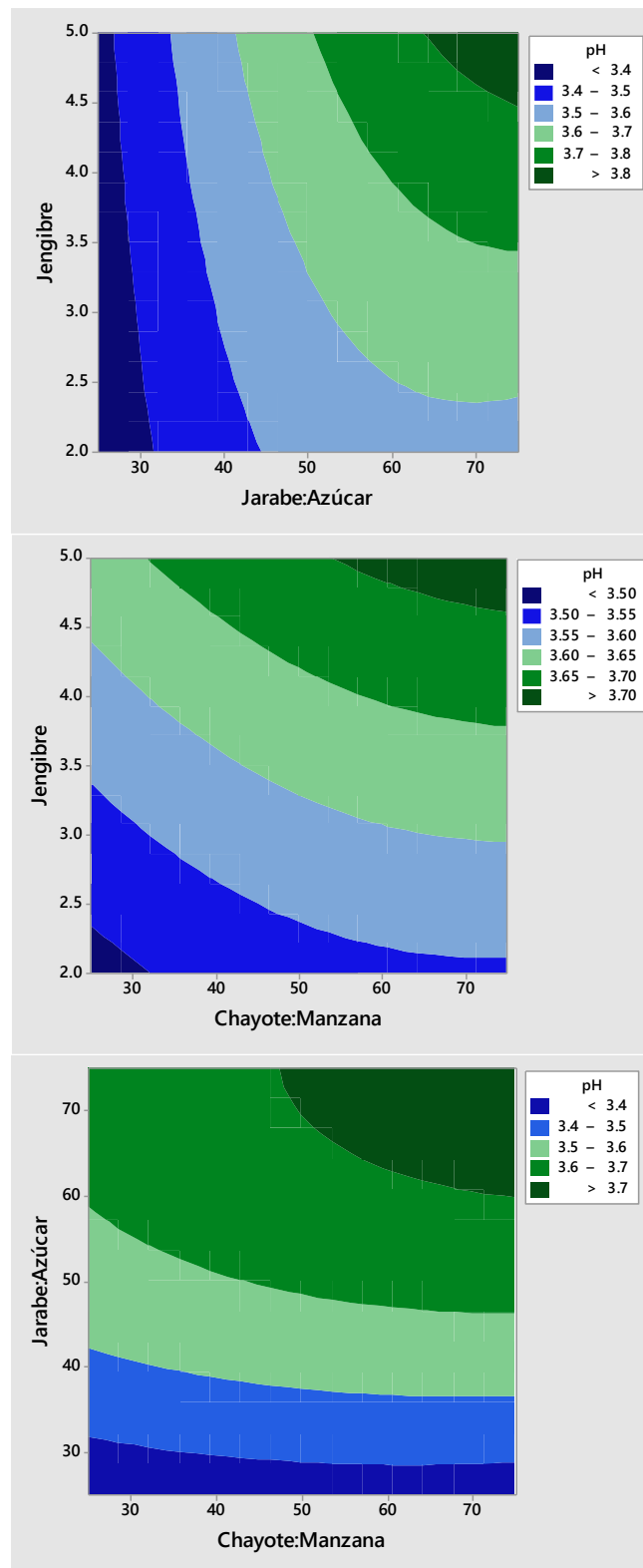


Figura 11. Gráficos de contorno para pH. a) jengibre/jarabe de aguamiel:azúcar, b) jengibre/chayote:manzana y c) jarabe de aguamiel:azúcar/chayote:manzana.

6.2. Análisis sensorial

Los resultados de la prueba de ordenamiento por preferencia indicaron que, entre las cuatro formulaciones de mermelada evaluadas, las más preferidas en términos de intensidad del sabor a jengibre y viscosidad fueron la 732 (75% chayote) y la 465 (25% chayote), ambas formuladas con 75% de jarabe de aguamiel y 2% de jengibre. En contraste, las formulaciones 585 (75% chayote) y 559 (25% chayote), que contenían 75% de jarabe de aguamiel y 5% de jengibre, fueron las menos preferidas para ambos atributos. El análisis estadístico mostró que, en cuanto a la preferencia por la intensidad del sabor a jengibre, las formulaciones 465 y 732 fueron significativamente diferentes de las formulaciones 559 y 585 ($p < 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las cuatro formulaciones en cuanto a la preferencia por la viscosidad.

Para evaluar el nivel de agrado de las formulaciones, se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 representó el menor agrado y 9 el mayor. La Figura 12 muestra los valores promedio de aceptación global obtenidos en esta prueba. Los resultados indicaron que la formulación 732 fue la más aceptada por los jueces, con un nivel de agrado que se ubicó principalmente entre las categorías “me gusta un poco” y “me gusta mucho”. Específicamente, un 12% de los evaluadores calificó la muestra con “me disgusta un poco”, un 8% con “ni me gusta ni me disgusta”, un 20% con “me gusta un poco”, otro 20% con “me gusta moderadamente”, un 24% con “me gusta mucho” y un 16% con “me gusta muchísimo”.

Tras la evaluación simultánea de los atributos de intensidad del sabor a jengibre y viscosidad, se observó que la formulación 732, que contenía 75% de chayote, 75% de jarabe de aguamiel y 2% de jengibre, presentó las puntuaciones más altas y fue aceptada por el 80% de los jueces. A esta le siguió la formulación 465, aceptada por el 72%, luego la formulación 585, aceptada por el 60%, y finalmente la formulación 559, aceptada por el 48%, lo que coincide con los resultados obtenidos en la evaluación de los atributos de manera independiente. Sin embargo, aunque las diferencias entre las formulaciones fueron evidentes en cuanto a la aceptación global, el análisis estadístico de los datos indicó que no hay una diferencia significativa entre las formulaciones evaluadas. Este

resultado puede explicarse por la mayor intensidad del sabor a jengibre en las formulaciones con más concentración de este ingrediente.

Las dos formulaciones preferidas (732 y 465) contenían 2% de jengibre, lo cual parece ser el nivel óptimo, ya que mayores concentraciones de jengibre, como en las formulaciones 585 y 559, aumentaron la pungencia y el sabor picante, lo que afectó negativamente la aceptación. Este fenómeno puede ser atribuido a los aceites esenciales del jengibre, ricos en sesquiterpenos como el zingiberol, y a compuestos fenólicos como el (6)-gingerol y (6)-shogaol, responsables de la intensidad del sabor y la pungencia (Siedentopp, 2008).

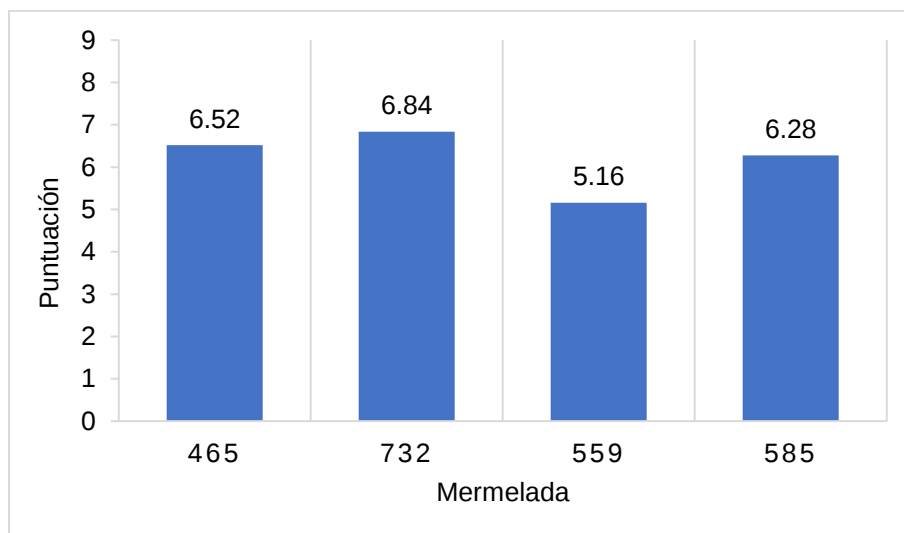


Figura 12. Valores promedio de puntuaciones de la prueba de nivel de agrado de las formulaciones de mermelada.

Respecto a la prueba *Just About Right* (JAR), los resultados presentados en la Figura 13 indican que la formulación mejor optimizada en cuanto a sabor y viscosidad fue la 732, ya que el 64% de los jueces consideró la intensidad del sabor a jengibre de esta formulación como “ideal”, debido a que contiene un 2% de jengibre, lo cual fue considerado adecuado por la mayoría de los jueces. Además, el 60% de los jueces calificó la viscosidad como “ideal”, lo que contribuyó a la optimización y aceptación global de esta formulación. En la formulación 465, el 56% de los jueces percibió el sabor a jengibre como demasiado suave en comparación con las demás, aunque el 60% consideró la viscosidad como “ideal”, al igual que en la formulación 732.

En las formulaciones 559 y 585, el 84% de los jueces consideró que el sabor a jengibre era excesivamente intenso en la primera, mientras que un 36% opinó lo mismo en la segunda, debido a que ambas contenían 5% de jengibre, lo que no fue considerado adecuado según los comentarios de la mayoría de los jueces. En cuanto a la viscosidad, los resultados fueron positivos en ambas formulaciones, ya que en la formulación 559, el 52% de los jueces la consideró con viscosidad “ideal”, mientras que el 28% la percibió como “demasiado poco viscosa”. En la formulación 585, el 56% calificó la viscosidad como “ideal” y el 28% la consideró “excesivamente viscosa”.

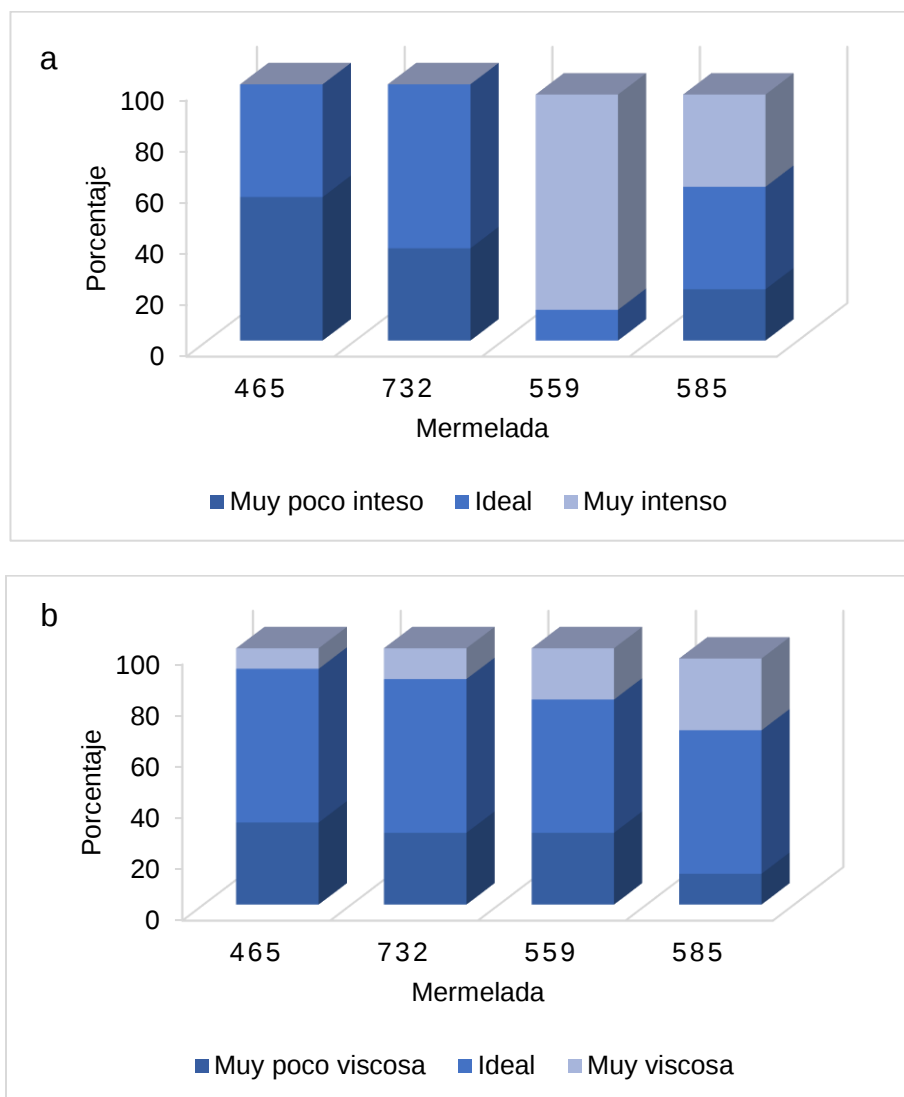


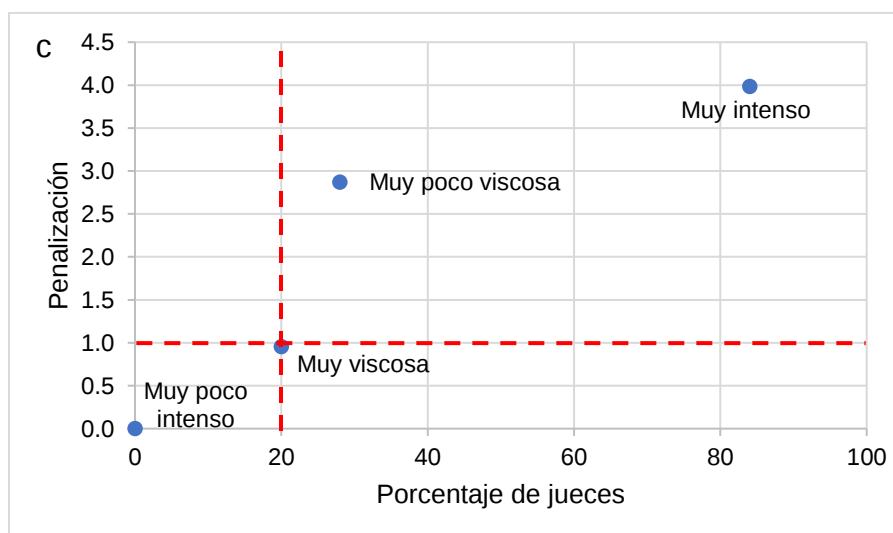
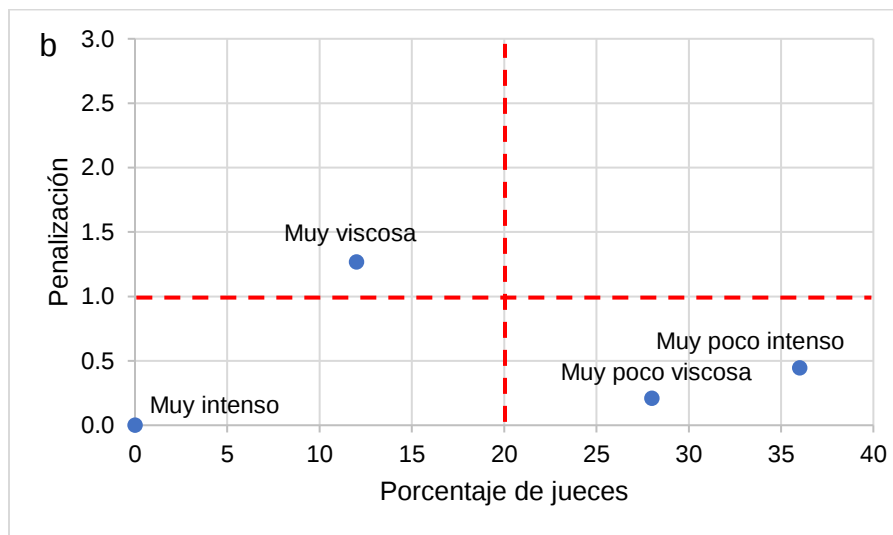
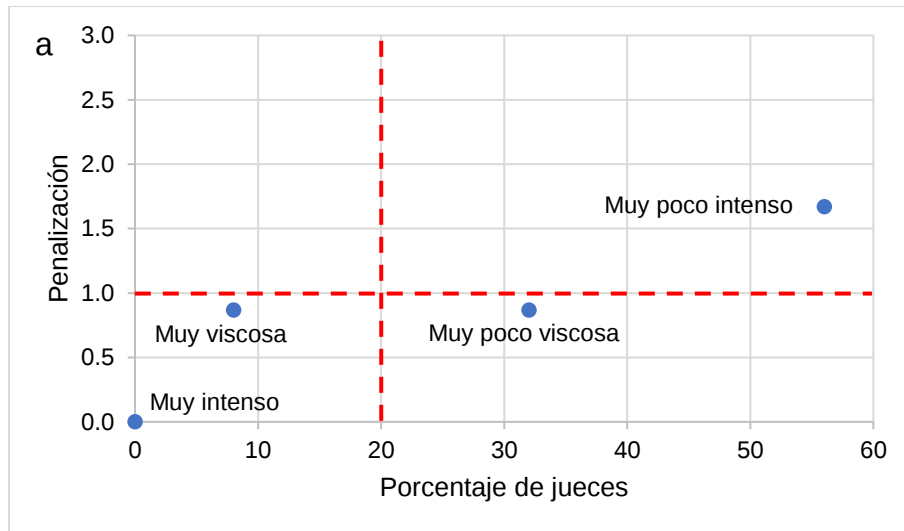
Figura 13. Porcentaje de jueces que seleccionaron diferentes niveles en la escala JAR de las formulaciones de mermelada para a) intensidad del sabor a jengibre y b) viscosidad.

Con el análisis de penalizaciones, se determinó que en la formulación 465 (Figura 14a), respecto a la intensidad del sabor a jengibre, el 56% de los jueces la percibió como “muy poco intenso”, siendo este el parámetro que tuvo el mayor impacto negativo en la aceptación global. Aunque el 32% de los jueces calificó la viscosidad como “muy poco viscosa”, este atributo no afectó de manera significativa la aceptación global. Los demás resultados mostraron valores bajos tanto de *mean drop* (disminución promedio) como en el porcentaje de jueces, lo que sugiere que, para aumentar la aceptación de esta formulación, se podría considerar incrementar la intensidad del sabor a jengibre.

En la formulación 732 (Figura 14b), se mantuvo una relación equilibrada entre el nivel de agrado global y las puntuaciones de ambos atributos: intensidad del sabor a jengibre y viscosidad en la escala JAR. Aunque el 36% de los jueces consideró el sabor a jengibre como “muy poco intenso” y el 28% calificó la viscosidad como “muy poco viscosa” y solo el 12% consideró la viscosidad como “muy viscosa”, ninguno de estos factores penalizó la aceptación global de la mermelada. Por esa razón, esta formulación se eligió como la más optimizada y aceptada por los consumidores.

El bajo nivel de agrado de la formulación 559 (Figura 14c) se debió principalmente a que el 84% de los jueces consideró el sabor a jengibre “muy intenso”. Además, el 28% de los jueces calificó la viscosidad como “muy poco viscosa”. Los demás resultados mostraron valores bajos de *mean drop* y porcentajes bajos de jueces, por lo que, para mejorar la aceptación de la formulación, sería recomendable reducir la intensidad del sabor a jengibre y aumentar la viscosidad.

En la formulación 585 (Figura 14d), el 36% de los jueces calificó la intensidad del sabor a jengibre como “muy intenso”, mientras que el 28% consideró la viscosidad como “muy viscosa”. Sin embargo, ninguno de estos atributos penalizó por completo la aceptación global de la formulación. El 12% de los jueces consideró la viscosidad “muy poco viscosa” y el 20% calificó la intensidad del sabor a jengibre como “muy poco intenso”. Dado que estos porcentajes son bajos y se observó un valor bajo de *mean drop*, no se penalizó la aceptación global. Por lo tanto, esta formulación también podría considerarse como una opción optimizada y aceptada por los jueces.



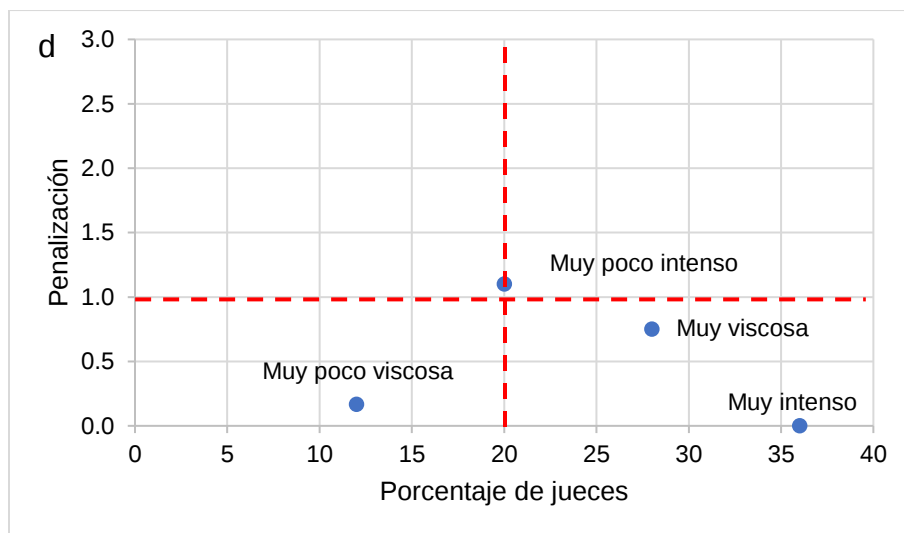


Figura 14. Penalizaciones de las formulaciones de mermelada a) 465, b) 732, c) 559 y d) 585.

El atributo que podría optimizarse para evitar penalizar la aceptación global de las formulaciones menos preferidas es la intensidad del sabor a jengibre. Esta tendencia se observó en las pruebas de ordenamiento por preferencia y nivel de agrado, donde se prefirieron las formulaciones con menor porcentaje de jengibre. Un exceso de jengibre en las formulaciones, intensifica el sabor picante y penetrante, lo que puede resultar poco atractivo para los consumidores generando una disminución en la aceptación global, ya que la percepción de un sabor excesivamente picante puede ser desagradable para una parte significativa de los jueces. Por otro lado, el sabor picante del jengibre está relacionado con la concentración de gingeroles, que en el jengibre fresco utilizado en las mermeladas evaluadas es mayor que en el jengibre seco. Este último, por su menor concentración de gingeroles, tiene un sabor menos intenso, lo que puede influir en la preferencia por formulaciones con menor cantidad de jengibre (Balestra *et al.*, 2011)

Los resultados de las pruebas hedónicas para el desarrollo de nuevos productos, que evalúan diferentes porcentajes de jengibre consultados en la literatura son similares a los obtenidos en la presente investigación. En el caso del desarrollo de formulaciones de mermelada de frutas con jengibre, un estudio de Álvarez y Flores (2020) que evaluó organolépticamente formulaciones de mermelada de pitahaya y piña encontró que las formulaciones con 60% de pitahaya y 40% de piña, y sin jengibre ni sábila, fueron las más aceptadas. De manera similar, un estudio realizado por Muresan *et al.* (2014) sobre

mermelada de plátano mostró que las formulaciones con 2% de jengibre fueron más aceptadas que las que contenían 4% de jengibre.

6.3. Análisis fisicoquímico

6.3.1. Sólidos totales, pH y viscosidad

La Tabla 7 presenta los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas en la formulación de mermelada seleccionada después de la prueba sensorial, con relación 72:25 chayote y manzana, 72:25 jarabe y sacarosa, y 2% de jengibre. Los parámetros que se midieron fueron sólidos totales, pH y viscosidad.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de la mermelada.

Parámetro	Promedio $\pm$ SD	Valores de referencia
Sólidos totales ($^{\circ}$ Bx)	48.1 $\pm$ 0.06	40-65 ¹
pH	3.9 $\pm$ 0.00	>4.6 ²
Viscosidad (cP)	19,600 $\pm$ 0.00	23,920 ³

¹ CXS 296-2009

² NOM-130-SSA1-1995

³ Iza (2020)

El contenido de sólidos solubles en la mermelada fue de 48.1 $^{\circ}$ Bx, resultado que se encuentra dentro de los parámetros de la norma del Codex Alimentarius sobre el contenido de sólidos solubles para mermelada, según la cual el porcentaje debe estar entre el 40 y 65% o menos. Sin embargo, el resultado obtenido fue menor a los que establecen los estándares de calidad para mermelada de fresa y piña requieren un 64%.

El porcentaje de sólidos solubles representan el contenido de azúcares y se atribuye principalmente a los azúcares individuales que aporta la manzana, la fructosa es su azúcar principal con un contenido en la pulpa mayor al 11% (Corona *et al.*, 2020). Por otro lado, el jarabe de aguamiel también aporta al contenido de azúcares en la mermelada debido a su contenido de sacarosa en un 20% como carbohidrato principal, además de 5% de fructosa y 4% de glucosa (González *et al.*, 2022), y el jengibre contribuye en menor medida, ya que se han encontrado concentraciones de 2.45% de fructosa, 2.18% de glucosa y 9.30% de sacarosa en jengibre deshidratado (Jelled *et al.*, 2015).

La mermelada presentó un pH de 3.9 que se encuentra dentro de los parámetros de pH de la NOM-130-SSA1-1995 para alimentos envasados herméticamente y sometidos a tratamiento térmico, que indica que el pH en la mermelada debe ser menor a 4.6, debido a que por su naturaleza se encuentra en la clasificación de alimentos de acidez alta. Sin embargo, el resultado obtenido fue mayor a lo que indican los estándares de calidad para mermelada de fresa y piña, que debe ser un pH entre 3.0 y 3.5. Los resultados de pH también concuerdan con los resultados de Frizzi *et al.* (2019) en un estudio en el que se realizó la caracterización fisicoquímica de una mermelada a base de manzana y chayote, que resultó con un pH de 4.0.

Los principales ácidos orgánicos de la manzana, como el ácido málico, tartárico, cítrico y succínico, que se encuentran en concentraciones de 0.30 a 0.60 g de ácido málico/100 gramos, contribuyen al pH de la mermelada. La acidez está relacionada con el pH, que varía entre 3.5 y 4.0 según la parte del fruto, ya que con mayor concentración de ácidos orgánicos el pH disminuye. Ambos cambian durante la maduración debido a que los ácidos orgánicos se convierten en azúcares, lo que reduce el contenido de acidez y aumenta el pH (Corona *et al.*, 2020).

El contenido total de ácidos orgánicos del jengibre, además de definir su sabor característico ácido y picante, también contribuyó al pH de la mermelada. Se han identificado en los rizomas de jengibre varios ácidos, incluidos el oxálico, málico, cítrico, succínico y tartárico, siendo el ácido tartárico el más abundante, con concentraciones de 23.08 mg/g en peso seco (Yeh *et al.*, 2014).

En cuanto a la viscosidad de la mermelada, esta fue de 19,600 cP medida a 10 rpm. Aunque se observó una gran variación en la viscosidad, atribuida a que la mermelada no presentó una consistencia completamente homogénea, los resultados fueron similares a los reportados por Iza (2013) en un estudio que evaluó mermelada de mango con adición de quinoa al 10 y 20%, obteniendo viscosidades de 23,920 y 27,400 cP, respectivamente, medidas a la misma velocidad.

Los resultados también fueron similares a los reportados por Chávez (2022) en una mermelada de tomate con 0.5% de pectina y una proporción de pulpa:azúcar al 50:50, obteniendo un valor de 21345 cP; y los reportados por Julca (2014) en una mermelada de mango con 0.25, 0.5 y 1% de pectina, y una proporción de pulpa:azúcar de 50:50, obteniendo valores de viscosidad de 25800, 32867 y 36167 cP respectivamente.

La viscosidad es una propiedad fundamental que influye en la textura y apariencia de las mermeladas, además de ser un indicador de su calidad (Núñez, 2014). Factores como la cantidad y tipo de endulzante, la pectina y la pulpa de fruta utilizados afectan significativamente la viscosidad de la mermelada, impactando sus propiedades reológicas. El aumento del porcentaje de pectina mejora la consistencia, mientras que altas concentraciones de azúcar dan como resultado una textura más espesa o viscosa (Chávez, 2022).

Los carbohidratos son uno de los principales componentes que influyen en la viscosidad, por lo que los disacáridos dan lugar a una viscosidad mayor que los monosacáridos. Además, la reología del jarabe de aguamiel está influenciada por el contenido de fructooligosacáridos, y los fructanos cuando se encuentran en solución pueden considerarse y actuar como hidrocoloides debido a los grupos hidroxilo y carbonilo que tienen e interactúan con el agua, lo que contribuye a la viscosidad de la mermelada (González *et al.*, 2022).

Los valores de viscosidad obtenidos indican que ningún factor de gelificantes y endulzantes influyó en la viscosidad de la mermelada, y la proporción de jarabe de aguamiel:sacarosa y chayote:manzana utilizada permitió que la pectina actuara como agente gelificante de manera efectiva, lo que resultó en una viscosidad aceptable que también se vio favorecida por el uso de chía y jarabe de aguamiel en la formulación.

6.3.2. Análisis proximal

Los resultados de la determinación de la composición proximal de la formulación de mermelada seleccionada después de la prueba sensorial se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición proximal de la mermelada seleccionada.

Parámetro	g/100g muestra $\pm$ SD
humedad	51.27 $\pm$ 0.11
cenizas	0.22 $\pm$ 0.02
grasa	0.07 $\pm$ 0.00
proteína	2.79 $\pm$ 0.11
fibra	3.05 $\pm$ 0.71
carbohidratos	42.61 $\pm$ 0.19

Se obtuvo que la cantidad de humedad fue de 51.27%, el siguiente principal componente fueron los carbohidratos con un 42.61%, su contenido de fibra fue de 3.05% y presentó 2.79% de proteína, mientras que en menor cantidad la mermelada presentó 0.22% de cenizas y 0.07% de grasa.

La composición proximal de la mermelada se comparó con lo reportado en un estudio de Frizzi *et al.* (2019), que evaluó las características fisicoquímicas y nutricionales de una mermelada de chayote con manzana endulzada con estevia y miel de agave. La mermelada evaluada en el estudio tenía un mayor contenido de humedad (69.6%) y un menor contenido de carbohidratos (28.45%). El contenido de fibra y proteína de la mermelada fue superior a lo que se reportó en el mismo estudio, que obtuvo 1.46% y 0.18%, respectivamente. Además, los resultados de cenizas y grasa fueron similares a los resultados reportados, con 0.18% de cenizas y 0.13% de grasa.

El resultado del contenido de humedad fue superior al reportado por Moreira *et al.* (2020) en una mermelada de frutos rojos con jengibre, que encontró un contenido de humedad del 40.60%; de la misma manera el resultado fue superior al reportado por Lee (2014) en una mermelada de manzana que se agregó jengibre al 2%, que tenía un 38.80% de humedad, además se determinó que al aumentar el contenido de jengibre en la mermelada redujo el contenido de humedad.

El contenido de humedad de manzana fresca se encuentra alrededor de 85.22% dependiendo del estado de madurez (Tirado *et al.*, 2016), y en chayote fresco de aproximadamente 92.60% (Yurivilca, 2002), pero después de procesar ambos, el

contenido de humedad disminuyó a 51.27% en la mermelada. La reducción de la humedad en el producto final también indica una mayor estabilidad y vida útil, al retrasar proceso de degradación.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de sólidos solubles obtenido, que se atribuye principalmente a los azúcares que aporta el jarabe de aguamiel en combinación con la sacarosa, los azúcares de la manzana y en menor proporción el jengibre y el chayote, está relacionado con el contenido de carbohidratos de la mermelada analizada, que fue mayor al reportado en la mermelada del estudio de Frizzi *et al.* (2019).

Debido a que la mayoría de las mermeladas comerciales no reportan un alto contenido de fibra y proteína, es importante resaltar el alto contenido de estos componentes determinados en la formulación. Sin embargo, al agregar chía a la formulación, se lograron concentraciones más altas en la mermelada que en otros productos y permitió darle un valor adicional. Por ejemplo, la mermelada de fresa comercial carece de fibra, grasas y proteína, mientras que la mermelada de fresa con chía tiene 3.1% de fibra, 0.9% de grasas y 0.7% de proteína. Esto se debe a que la chía tiene una cantidad significativa de aceite (40%) principalmente en forma de ácido linolénico (omega 3), fibra dietética (30%), y proteínas (19%) que tienen un valor biológico superior a los de otros cereales y son componentes esenciales de la dieta (Muñoz *et al.*, 2012).

El contenido de fibra y proteína superior también es comparable con los resultados que obtuvo Nduko *et al.* (2018) en un estudio que evaluó la fortificación de mermelada de piña con semillas de chía analizando sus características fisicoquímicas y sensoriales. En cinco formulaciones de mermelada se agregaron diferentes cantidades de semillas de chía, y los resultados mostraron que, en comparación con la mermelada de control, la adición de semillas de chía aumentó el contenido de proteínas (de 0.53 a 8.60%) y fibra (de 4.83 a 21.02%). Según los resultados, la adición es una opción para aprovechar las propiedades funcionales de las semillas de chía y mejorar el valor nutricional del producto final, sin embargo, se debe tener en cuenta la aceptación del consumidor durante su desarrollo.

Otra opción que se puede considerar para aumentar el contenido de fibra en la mermelada elaborada es agregar cáscara de manzana y chayote en la formulación, ya

que se ha demostrado que utilizar cáscara de frutas aumenta considerablemente su contenido. Un estudio de Iuit *et al.* (2019) evaluó mermeladas enriquecidas con cáscara de mango como fuente adicional de fibra, ya que contiene alrededor del 14% de fibra dietética total, resultando una mermelada con 30% de cáscara con el mayor nivel de agrado en la evaluación sensorial y con un contenido de fibra mayor (7.8%) en comparación con la mermelada que no se le agregó (5.5 %).

6.4. Análisis microbiológico

Se evaluó la calidad microbiológica de la mermelada elaborada y almacenada a temperatura ambiente, de acuerdo con la NOM-130-SSA1-1995, que establece las disposiciones y especificaciones sanitarias para alimentos envasados en recipientes herméticamente sellados y sometidos a tratamiento térmico. Los límites establecidos por dicha norma son 50 UFC/g para mesófilos aerobios, 10 UFC/g para coliformes totales y 10 UFC/g para mohos y levaduras.

En la mermelada analizada, no se observó crecimiento microbiano en ninguna de las diluciones evaluadas para los tres grupos de microorganismos indicadores. Esto indica una óptima calidad microbiológica del producto, lo que confirma la eficiencia del tratamiento térmico aplicado durante su proceso de elaboración. La cocción, junto con los factores limitantes del crecimiento de microorganismos, como la acidez y la alta concentración de azúcar, son fundamentales para la conservación del producto, garantizando su estabilidad durante el almacenamiento, evitando el deterioro microbiológico y manteniendo sus características, lo que asegura la calidad sanitaria.

La calidad microbiológica de la mermelada se atribuye a dos procesos térmicos: exponerla a una fuente de calor por un tiempo determinado antes y después de envasarla. Primero se realiza una cocción de la pulpa y luego se esteriliza el producto terminado para eliminar todos los microorganismos que puedan reproducirse en condiciones normales de almacenamiento y sin refrigeración (NOM-130-SSA1-1995). Además, se encuentra cerrada y envasada herméticamente, lo que impide que los microorganismos ingresen al producto, y el envasado en caliente crea un vacío en los envases.

La cocción tiene como objetivo mejorar la conservación ya que elimina las formas vegetativas de microorganismos, esporulados e inactiva enzimas que pueden alterar el producto (Pons, 2009), que junto con las condiciones de pH y concentración de azúcares dificultan su proliferación; sin embargo, es susceptible al ataque por mohos y levaduras (Soriano, 2021).

La estabilidad microbiológica de las mermeladas depende de la alta concentración de azúcar, pero cuando se reduce en cierta medida, también implica una disminución del dulzor, cambios en la textura y estabilidad microbiológica debido a la alta actividad de agua. Debido a esto, se pueden agregar edulcorantes, espesantes o conservadores según sea necesario, y aplicar barreras de conservación adicionales para garantizar la estabilidad durante períodos de almacenamiento prolongados (Montagnani, 2016).

El pH, que también sirve como barrera para el desarrollo microbiano, debe ser inferior a 4.6 (Galarza, 2019). El pH de la mermelada fue inferior a 4.0, y no se observó crecimiento microbiano. Al ser un alimento ácido y de humedad intermedia permite retardar el crecimiento de la mayoría de las bacterias que suelen crecer a pH entre 6.0 y 8.5, a excepción de hongos y levaduras que se desarrollan a pH bajos (Morales, 2010).

El uso de conservantes, que retrasan o impiden el crecimiento de microorganismos y prolongan su vida útil, es otra forma de evitar el crecimiento microbiano. También se deben considerar factores como la higiene y las condiciones de procesamiento, ya que tienen un impacto en el crecimiento microbiano (Aguilar, 2018).

Además de las barreras que contribuyen a mantener la estabilidad microbiológica de la mermelada, el jengibre, como ingrediente, posee compuestos con propiedades antimicrobianas que también ayudan a limitar el crecimiento microbiano. La oleorresina del jengibre, que es una mezcla de aceite esencial y resina, contiene compuestos como los sesquiterpenos y monoterpenos, los cuales son compuestos volátiles presentes en los aceites esenciales, y el gingerol, el shogaol y la zingerona, principales compuestos no volátiles de la resina. Estos compuestos presentan propiedades antimicrobianas contra bacterias, mohos y levaduras (Armijo, 2020; Ribeiro, 2001).

El extracto de oleoresina ha demostrado propiedades antimicrobianas, así como efectos bacteriostáticos y bactericidas frente a microorganismos como *S. aureus* y *E. coli* a concentraciones específicas (Vargas, 2015), mientras que los sesquiterpenos son efectivos contra bacterias grampositivas y gramnegativas (Valencia, 2018). Por lo tanto, el uso de jengibre se presenta como una excelente opción de aditivo conservante natural para retrasar la descomposición de los alimentos. Su capacidad para reducir la contaminación microbiana, junto con su aroma característico, ha incrementado su popularidad en la industria alimentaria como un conservante natural.

6.5. Actividad prebiótica

Se evaluó la actividad prebiótica de distintos sustratos, incluyendo el jarabe de aguamiel y la mermelada elaborada con este ingrediente, para analizar su capacidad de estimular el crecimiento selectivo de probióticos. Este crecimiento se comparó con el observado en un sustrato no prebiótico (mermelada sin jarabe de aguamiel) y con un sustrato prebiótico de referencia (inulina), cuya eficacia ha sido ampliamente demostrada (Canchanya y Munive, 2019). La Tabla 9 presenta los recuentos iniciales y finales de *Lactobacillus rhamnosus* en cada medio inoculado, así como el porcentaje de supervivencia tras 48 horas de incubación a 37 °C.

Tabla 9. Supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus*.

Muestra	Conteo inicial Log UFC/g $\pm$ SD	Conteo final Log UFC/g $\pm$ SD	Supervivencia (% $\pm$ SD)
Inulina ¹	11.43 $\pm$ 0.02	11.22 $\pm$ 0.11	98.18 $\pm$ 1.15 ^a
Jarabe de aguamiel ¹	11.41 $\pm$ 0.05	11.08 $\pm$ 0.00	97.07 $\pm$ 0.40 ^a
Mermelada con jarabe de aguamiel ¹	11.45 $\pm$ 0.00	11.00 $\pm$ 0.00	96.09 $\pm$ 0.00 ^{ab}
Mermelada sin jarabe de aguamiel ²	8.23 $\pm$ 0.04	7.69 $\pm$ 0.12	93.44 $\pm$ 1.10 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa entre los datos

¹ Conteo de la dilución 10⁻⁸

² Conteo de la dilución 10⁻⁵

La viabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* tras la incubación en condiciones simuladas del tracto gastrointestinal fue elevada en todos los medios evaluados. La inulina, utilizada como control positivo, presentó el mayor porcentaje de supervivencia (98.18%), seguida por los medios con jarabe de aguamiel (97.07%) y mermelada con jarabe de aguamiel (96.09%). En contraste, el medio inoculado con mermelada sin jarabe de aguamiel —en la que se empleó sacarosa como edulcorante— mostró el menor porcentaje de supervivencia, con un valor de 93.44%. El análisis estadístico reveló que no existieron diferencias significativas entre las muestras de inulina, jarabe de aguamiel y mermelada con jarabe de aguamiel ($p < 0.05$). Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas entre la inulina y la mermelada sin jarabe de aguamiel, así como entre el jarabe de aguamiel y dicha mermelada ($p < 0.05$), lo que sugiere que el jarabe de aguamiel favorece la supervivencia del probiótico y aporta una actividad prebiótica relevante al producto elaborado.

Los resultados de la supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus* en jarabe de aguamiel y en la mermelada elaborada con este jarabe indican una mayor resistencia del probiótico en comparación con la mermelada sin jarabe de aguamiel. Además, el comportamiento observado fue similar al de la muestra con inulina, considerada un prebiótico de referencia. En todos los casos, la concentración de *Lactobacillus rhamnosus* se mantuvo en el orden de 11 unidades logarítmicas (log UFC/mL), lo que sugiere que los sustratos evaluados proporcionaron una cantidad suficiente de carbohidratos fermentables para sustentar la viabilidad del microorganismo. Tanto el jarabe de aguamiel como la mermelada que lo contenía demostraron un efecto estimulante comparable al de la inulina. No obstante, debe considerarse que, al tratarse de matrices no purificadas, otros compuestos presentes podrían influir positiva o negativamente en el crecimiento del probiótico, al modificar el entorno metabólico o la disponibilidad de nutrientes.

El comportamiento de supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus* en los medios con diferentes carbohidratos se presentó en orden descendente: inulina > jarabe de aguamiel > mermelada con jarabe de aguamiel > mermelada sin jarabe de aguamiel. Esta tendencia coincide con lo reportado por Escamilla *et al.* (2015), quienes evaluaron el efecto de distintas fuentes de carbono sobre el crecimiento de bacterias ácido lácticas en

un medio de cultivo similar al empleado en este estudio. En dicha investigación, la glucosa promovió el mayor crecimiento, seguida de la galactosa, mientras que el medio control, sin fuente de carbono, no permitió el desarrollo de los probióticos.

Las diferencias observadas en el porcentaje de supervivencia de probióticos en los diferentes medios pueden atribuirse al tipo de fuente de carbono presente en cada uno, ya que los oligosacáridos con potencial prebiótico influyen de manera distinta en el crecimiento y supervivencia de las bacterias probióticas. Aunque se ha demostrado que ciertos compuestos, como la inulina, los galactooligosacáridos, los fructooligosacáridos y la lactulosa, promueven el desarrollo de cepas específicas, aún no se han establecido con claridad los sustratos más efectivos para estimular selectivamente el crecimiento de probióticos particulares (Huebner *et al.*, 2007; Corzo *et al.*, 2016).

La mayor supervivencia observada en el medio con inulina se explica por el hecho de que esta fuente de carbono se encuentra purificada y puede ser utilizada eficientemente por los probióticos como su principal fuente de carbono. La inulina derivada del agave, rica en fructanos —los principales productos de la fotosíntesis en esta planta—, es resistente a la hidrólisis por enzimas digestivas y puede ser fermentada por la microbiota del colon para producir ácidos grasos de cadena corta. Estas características explican el alto porcentaje de supervivencia de los probióticos en presencia de este compuesto. Además, la inulina de agave, líder en el mercado de prebióticos, ha demostrado estimular selectivamente el crecimiento y la actividad de bacterias benéficas (Kolida y Gibson, 2007).

El jarabe de aguamiel, obtenido a partir de la eliminación del agua del aguamiel, es una fuente natural de fructooligosacáridos y fructanos, y se utiliza también para desarrollar probióticos (Romero *et al.*, 2015). El alto porcentaje de supervivencia observado en los medios con jarabe de aguamiel y mermelada con jarabe de aguamiel se debe a su perfil de oligosacáridos. El jarabe de aguamiel, con un contenido de sólidos solubles de 70 a 75 °Brix, puede contener entre 20 y 58% de sacarosa, 5 a 23% de fructosa, 4 a 18% de glucosa y 4 a 10% de fructanos (Castañeda *et al.*, 2023), aunque estos valores pueden variar dependiendo del método, tiempo y temperatura de procesamiento.

La estabilidad de los probióticos puede variar en función de las propiedades de la matriz alimentaria, siendo el pH y la composición química los factores más influyentes en su viabilidad. En un estudio de Karu y Sumeri (2016), se evaluó la supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus* en jugos de frutas, considerando factores como el pH, el contenido de oxígeno y la acidez. En este estudio, se mantuvieron recuentos viables en varios puntos de la simulación del tránsito gastrointestinal, con una pérdida de viabilidad de 0.35 unidades logarítmicas en jugo de manzana. Resultados similares fueron obtenidos en las muestras de jarabe de aguamiel y mermelada con jarabe de aguamiel, que mostraron reducciones de 0.33 y 0.45 unidades logarítmicas, respectivamente, bajo condiciones de pH similares, 3.3 para el jugo de manzana y 3.9 para la mermelada.

El crecimiento y la supervivencia de los probióticos en el medio también pueden atribuirse a la cepa utilizada y sus requerimientos específicos, como se demostró en un estudio realizado por Torres (2015) sobre la supervivencia de cepas de lactobacilos encapsuladas con aguamiel en un sistema gástrico e intestinal. En este estudio, las cepas de *Lactobacillus rhamnosus* presentaron una mayor supervivencia que las cepas de *Lactobacillus casei* en condiciones gastrointestinales, sin una disminución significativa en la población después del tratamiento, lo que sugiere que existieron condiciones adecuadas para mantener los probióticos viables. En general, los lactobacilos crecen bien en medios ligeramente ácidos y requieren bajos niveles de oxígeno, carbohidratos fermentables, proteínas, ácidos grasos insaturados y minerales para su crecimiento. Sin embargo, varios factores pueden afectar su viabilidad, incluyendo el estrés, las sales biliares, las enzimas, el pH, y la composición química del medio, así como la concentración de azúcares y la interacción con otras especies (Torres, 2015).

Durante su paso por el tracto gastrointestinal, las bacterias probióticas deben tolerar diversas condiciones y permanecer viables. El pH inicial del estómago y la acidez durante la digestión son dos de los factores más relevantes que afectan su supervivencia. Además, la presencia de enzimas, sales biliares y la alta osmolaridad constituyen otras barreras significativas para su viabilidad (Reale *et al.*, 2015). La composición del medio de cultivo utilizado proporcionó a los probióticos las condiciones adecuadas para mantenerse viables. La peptona y el extracto de levadura suministran nitrógeno,

vitaminas y minerales, mientras que las sales inhiben el crecimiento de algunos microorganismos y actúan como amortiguadores para mantener un pH bajo. Además, la acidificación del medio favoreció el crecimiento de los probióticos, ya que la disminución del pH tiene un impacto significativo en su supervivencia (Pitino *et al.*, 2010).

Se ha investigado la funcionalidad de los probióticos en diferentes matrices alimentarias, basándose en una concentración mínima de microorganismos viables en el producto de 10^7 UFC/g (Bernal *et al.*, 2017), considerando que las concentraciones disminuyen durante el paso gastrointestinal y los probióticos deben sobrevivir en cantidades suficientes para generar efectos benéficos. Las concentraciones iniciales de las muestras fueron de 2.7×10^{11} UFC/g en inulina, 2.6×10^{11} UFC/g en jarabe de aguamiel y 2.8×10^{11} UFC/g en mermelada con jarabe de aguamiel. Además, las concentraciones de microorganismos probióticos viables después de la simulación gastrointestinal en las muestras de jarabe de aguamiel y mermelada con jarabe de aguamiel son superiores al mínimo reportado, lo que confirma su presencia en ambos productos y sugiere que dichas concentraciones podrían tener efectos benéficos para la salud del consumidor.

6.6. Actividad antioxidante

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la actividad antioxidante, determinada mediante los métodos DPPH y FRAP, para las muestras de mermelada comercial de fresa con chía, mermelada con jarabe de aguamiel y mermelada sin jarabe de aguamiel.

Tabla 10. Actividad antioxidante de mermelada comercial, con jarabe de aguamiel y sin jarabe de aguamiel.

Muestra	DPPH mg eq. Trolox/g	FRAP mg eq. Fe ²⁺ /g
Mermelada comercial de fresa con chía	2.86 ± 0.53^a	4.99 ± 0.15^a
Mermelada con jarabe de aguamiel	1.50 ± 0.21^b	2.07 ± 0.12^b
Mermelada sin jarabe de aguamiel	1.04 ± 0.10^b	0.92 ± 0.09^c

Letras diferentes indican diferencia significativa entre los datos

La capacidad de la muestra para neutralizar radicales libres se evaluó mediante el método DPPH. Este método se basa en la capacidad del radical libre DPPH para neutralizarse mediante un mecanismo de transferencia de átomos de hidrógeno, lo que resulta en la formación de una molécula estable. La medición se realiza observando la pérdida de color del DPPH tras la reacción con los compuestos presentes en la muestra (Mercado *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos mostraron que la mermelada comercial de fresa con chía, con un valor de 2.86 mg de equivalentes de Trolox por gramo de muestra, exhibió la mayor capacidad para neutralizar radicales libres. Le siguió la mermelada con jarabe de aguamiel, que presentó 1.50 mg de equivalentes de Trolox por gramo de muestra, y finalmente, la mermelada sin jarabe de aguamiel, con 1.04 mg de equivalentes de Trolox por gramo de muestra.

La capacidad de la muestra para reducir el ion Fe^{3+} al estado Fe^{2+} se evaluó mediante el método FRAP, que se basa en una reacción de transferencia de electrones, dando lugar a la formación de un complejo coloreado con el compuesto TPTZ. La concentración de antioxidantes en la muestra está directamente relacionada con el cambio de color durante la reacción (Mercado *et al.*, 2013), lo que implica que un valor de absorbancia elevado indica un mayor poder reductor y, por lo tanto, una mayor capacidad antioxidante. Los resultados obtenidos mostraron que la mermelada comercial de fresa con chía, con 4.99 mg de equivalentes de Fe^{2+} por gramo de muestra, presentó la mayor concentración de antioxidantes. Le siguió la mermelada con jarabe de aguamiel, con 2.07 mg de equivalentes de Fe^{2+} por gramo de muestra, y finalmente, la mermelada sin jarabe de aguamiel, con 0.92 mg de equivalentes de Fe^{2+} por gramo de muestra.

Según el análisis estadístico, la actividad antioxidante medida por el método DPPH de la mermelada comercial de fresa con chía fue significativamente mayor que la de la mermelada con jarabe de aguamiel y la mermelada sin jarabe de aguamiel, sin embargo, no se observó una diferencia significativa entre estas dos últimas. En cuanto al método FRAP, la actividad antioxidante de las tres muestras fue significativamente diferente ($p < 0.05$) con la mermelada comercial de fresa con chía mostrando la mayor capacidad antioxidante, seguida de la mermelada con jarabe de aguamiel, y la mermelada sin jarabe de aguamiel, que presentó la menor capacidad antioxidante.

Los resultados obtenidos de la actividad antioxidante medida por DPPH y FRAP de las muestras difieren de los reportados por otros autores. En comparación con otros alimentos cuyo poder antioxidante ha sido demostrado por diferentes métodos, la mermelada de interés elaborada con jarabe de aguamiel presentó una actividad antioxidante menor. Por ejemplo, en jugo de nopal se ha reportado una actividad de 1.68 mg equivalentes de Trolox (Mendoza *et al.*, 2017), mientras que en frutas como guayaba y uva se encontraron valores de 1.85 y 2.13 mg equivalentes de Trolox, respectivamente (Kuskoski *et al.*, 2005). De manera similar, el poder antioxidante reductor férrico de una bebida con extracto de jengibre reportado por Imran *et al.* (2021) fue de 3.06 mg equivalentes de Fe^{2+} .

El porcentaje de inhibición del radical DPPH de las muestras de mermelada se presenta en la Figura 15. La mermelada comercial de fresa con chía tuvo un 20.26% de inhibición, la mermelada con jarabe de aguamiel un 10.32% de inhibición y la mermelada sin jarabe de aguamiel un 6.95% de inhibición. Los resultados indican que los antioxidantes presentes en las muestras permitieron la inhibición del radical DPPH en diferente medida, de forma que los mayores porcentajes demuestran una mayor capacidad como captadores de radicales libres (Mendoza *et al.*, 2020). Según el análisis estadístico, no se observó diferencia significativa entre el porcentaje de inhibición del radical DPPH de la mermelada con jarabe de aguamiel y la mermelada sin jarabe de aguamiel ($p < 0.05$). Sin embargo, el porcentaje de inhibición de la mermelada comercial fue significativamente mayor en comparación con ambas mermeladas ($p < 0.05$).

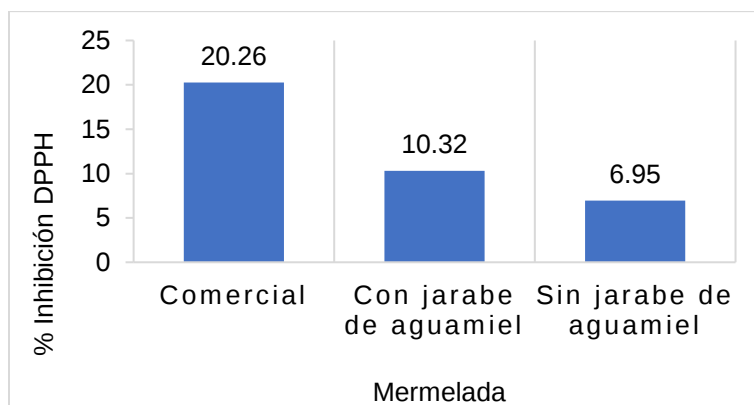


Figura 15. Porcentaje de inhibición del radical DPPH de mermelada comercial, mermelada con jarabe de aguamiel y mermelada sin jarabe de aguamiel.

El porcentaje de inhibición del radical DPPH de la mermelada de interés con jarabe de aguamiel (10.32%) fue más bajo que los reportados para los ingredientes utilizados, los cuales se les atribuye actividad antioxidante. Por ejemplo, el jengibre ha demostrado una inhibición de hasta 56.36% (Mercado *et al.*, 2013), y el jarabe de aguamiel ha mostrado una inhibición de 40.03 a 42.34% (Chagua *et al.*, 2020). Sin embargo, cuando se comparan con otras mermeladas, como las de fresa, mora y arándano, el valor de inhibición de la mermelada con jarabe de aguamiel es considerablemente menor. Mermeladas de naranja e higo presentaron inhibiciones del 27.01% y 15.52%, respectivamente (Rababah *et al.*, 2011), mientras que la mermelada de fresa alcanzó un 56.7%, y las mermeladas de mora y arándano mostraron inhibiciones del 75.61% y 71.47%, respectivamente (Mendes *et al.*, 2017). La diferencia en la actividad antioxidante puede explicarse por el contenido de compuestos fenólicos totales y antocianinas presentes en las bayas, que son responsables de su alta capacidad antioxidante. En contraste, la mermelada con jarabe de aguamiel, aunque contiene algunos compuestos antioxidantes, no presenta la misma concentración de estos elementos, lo que puede justificar su menor capacidad para inhibir el radical DPPH en comparación con otros productos ricos en compuestos fenólicos.

El contenido de flavonoides en las frutas está estrechamente relacionado con su capacidad antioxidante (Rababah *et al.*, 2011). Flavonoides como la quercetina, epicatequina y floretina, presentes en la manzana, son clave para su actividad antioxidante (Lee *et al.*, 2003). La cáscara de la manzana contiene la mayor concentración de estos compuestos, seguida de la fruta entera y la pulpa. Además, las antocianinas se encuentran principalmente en la cáscara de las variedades rojas, mientras que las manzanas verdes y amarillas, así como la pulpa, carecen de ellas. Un estudio realizado por Corona *et al.* (2020) evaluó diferentes variedades de manzana y encontró que, usando el método de DPPH, la cáscara presentó la mayor capacidad antioxidante, con valores de 3.77 a 5.61 mg equivalentes de Trolox, seguida por la fruta entera (2.36 a 4.33 mg equivalentes de Trolox), y la pulpa, con la menor capacidad antioxidante (2.03 a 3.55 mg equivalentes de Trolox).

La actividad antioxidante de la mermelada elaborada con manzana, chayote, jengibre, chía y jarabe de aguamiel se puede atribuir tanto a los compuestos fenólicos de la manzana, especialmente en su cáscara, como al jengibre. La cáscara de la manzana es particularmente rica en flavonoides y otros antioxidantes, por lo que es recomendable no retirarla durante la elaboración de la mermelada para maximizar el contenido de compuestos bioactivos. Además, el jengibre, especialmente su pulpa, contribuye a la actividad antioxidante, ya que contiene compuestos fenólicos como gingerol, shogaol y paradol, que se han asociado con una inhibición de radicales DPPH de aproximadamente 46.5% (Díaz *et al.*, 2019). Aunque el jengibre seco tiene mayor actividad antioxidante debido a su mayor concentración de compuestos fenólicos, la pulpa fresca sigue siendo una fuente significativa de estos compuestos.

Las semillas de chía también contribuyen a la actividad antioxidante de la mermelada debido a su contenido de flavonoides (Di Sapio *et al.*, 2008). Asimismo, el jarabe de aguamiel, con una actividad antioxidante de 8.72 mg equivalentes de Trolox (Romero *et al.*, 2015), explica la mayor actividad antioxidante observada en la mermelada con jarabe de aguamiel en comparación con la versión sin este ingrediente.

Las diferencias en la capacidad antioxidante de las muestras de mermelada de interés, en comparación con los reportes de la literatura, pueden explicarse por diversos factores, como el disolvente, el método y el tiempo de extracción empleados en los análisis. Por ejemplo, para la determinación de la capacidad antioxidante del jengibre, se ha demostrado que los mejores resultados se obtienen con tiempos de extracción de 60 minutos y etanol como disolvente, en lugar de metanol o agua (Imran *et al.*, 2021).

El procesamiento de frutas también afecta la concentración y bioactividad de sus compuestos en el producto final. La selección de la materia prima debe considerar la variedad, las condiciones de cultivo, la cosecha y el almacenamiento, así como los compuestos presentes en las frutas (Van der Sluis *et al.*, 2001). En el caso de mermeladas, durante la cocción, las condiciones de acidez y azúcar influyen en la preservación de los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, lo que puede reducir hasta un 35% de la capacidad antioxidante original (Kim y Padilla, 2004). Este descenso se debe a la degradación térmica de los compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas

(Chagua *et al.*, 2020), como lo evidenció un estudio de Agostini *et al.* (2004), donde se observó una disminución en los equivalentes de Trolox en manzana y fresa frescas después de tratamiento térmico.

Además, la menor actividad antioxidante de la mermelada con jarabe de aguamiel, en comparación con la mermelada comercial de fresa, podría explicarse por las diferencias en el color de los productos. Los pigmentos como las antocianinas, carotenoides y clorofilas influyen directamente en la capacidad antioxidante. Las frutas de color más oscuro, ricas en antocianinas, suelen tener una mayor capacidad antioxidante (Uvidia *et al.*, 2024). En este sentido, estudios como el de Reyes *et al.* (2015), que analizaron los ácidos fenólicos y la actividad antioxidante de extractos de tres variedades de jamaica con cálices de diferentes colores, demostraron que los cálices más oscuros presentaron una mayor capacidad antioxidante. De manera similar, Carranza *et al.* (2024) evaluaron cómo los fenoles totales, la vitamina C y el color afectan la capacidad antioxidante de las frutas, encontrando que las frutas con colores más intensos, como la fresa, presentan mayor actividad antioxidante debido a su mayor concentración de compuestos fenólicos y vitamina C.

Esta investigación ha abordado de manera integral los beneficios de una mermelada elaborada con ingredientes como manzana, chayote, jengibre, chía y jarabe de aguamiel, A través de la diversificación del uso de estos ingredientes, algunos de ellos locales, se ha logrado un producto con aceptación sensorial que también ofrece propiedades prebióticas y antioxidantes representando una alternativa saludable de este tipo de productos para el consumidor.

07.

CONCLUSIONES

7. Conclusiones

Se establecieron las condiciones óptimas para la formulación de una mermelada a base de manzana y chayote, adicionada con jengibre, jarabe de aguamiel y semillas de chía, obteniendo un producto con características sensoriales adecuadas en cuanto a textura, sabor y consistencia.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos confirmaron que la mermelada cumple con las normas oficiales aplicables, garantizando su seguridad para el consumo humano y respaldando su viabilidad comercial.

Las pruebas sensoriales mostraron una alta aceptación por parte de los consumidores, validando el uso de chayote, manzana, jengibre y jarabe de aguamiel en la elaboración de una mermelada innovadora con potencial funcional.

La formulación de la mermelada desarrollada representa una opción viable para el desarrollo de productos elaborados con ingredientes naturales y locales, alineándose con la tendencia hacia alimentos más saludables y sostenibles.

08.

REFERENCIAS

8. Referencias

- Agostini, L. R., Morón Jiménez, M. J., Ramón, A. N., y Ayala Gómez, A. (2004). Determinación de la capacidad antioxidante de flavonoides en frutas y verduras frescas y tratadas térmicamente. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 54(1), 89-92.
- Aguilar, D. V. (2018). *Análisis la estabilidad natural a tiempo real de una mermelada empleando mucílago de cacao (Theobroma cacao CCN-51) combinado con trozos de piña usando dos tipos de conservantes*.
- Albrecht, A. (2020). *Jams, Jellies and Preserves*. UNL FOOD. <https://food.unl.edu/jams-jellies-and-preserves#>
- Alcántara, A. (2021). *El dilema de las mermeladas en la NOM-051: eliminar azúcares o conservar su nombre*. GOULA. <https://goula.lat/el-dilema-de-las-mermeladas-eliminar-azucares-o-conservar-su-nombre/>
- Álvarez, E. Y., y Flores, E. A. (2020). *Elaboración de mermelada funcional con Pitahaya (Selenicereus undatus (Haw) DR Hunt) y piña ananas comusus, utilizando sábila y jengibre como conservantes en la Provincia de Pastaza*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal Amazónica].
- Armijo, G. E. (2020). *Determinación de la vida útil de la pulpa de guanábana (Annona muricata), conservada con jengibre (Zingiber officinale) como agente antimicrobiano*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal Amazónica].
- Astiasarán, I. y Martínez, J. A. (2000). *Alimentos: composición y propiedades*. (3ª ed.). McGraw Hill Interamericana
- Ávila, E. P. (2015). *Manual: Mermelada*. Cámara de Comercio de Bogotá.
- Badui, S. (2012). *Química de los Alimentos*. (5ª ed.). Pearson Education.

- Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., y Romani, S. (2011). Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 700-705.
- Barrett, D. M., Somogyi, L. y Ramaswamy, H. (2005). Processing Fruits. Science and Technology. CRC Press.
- Barretto, A. L., Converti, A., y Nogueira, M., (2006). Simultaneous effects of total solids content, milk base, heat treatment temperature and sample temperature on the rheological properties of plain stirred yogurt. *Food Technology and Biotechnology*, 44(4), 515-518.
- Bautista, N. (2019). *Fructooligosacáridos y obtención de azúcares totales cristalizado del aguamiel de Agave americana L.(maguey)*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marco].
- Benzie, I. F., y Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bernal, C. A., Díaz, C., y Gutiérrez, C. (2017). Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas. *Revista chilena de nutrición*, 44(4), 383-392.
- Brand, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Cámara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias. (2019). *Memoria estadística 2019*. CANAINCA. <https://www.canainca.org.mx/index.php/canainca/memoria-estadistica>
- Canchanya, M. K., y Munive, R. (2019). Evaluación de la actividad prebiótica in vitro y propiedades funcionales de la harina de pulpa de calabaza (*Curcubita ficifolia*).
- Capdevila, J. (1992). *El gran libro de las mermeladas y conservas*. Planeta.

- Carranza, J., Torres, D. M., Contreras, C. S., García, J. M., y Carranza, J. (2024). Influencia en la capacidad antioxidante de los fenoles totales, vitamina C y color en frutas. *Revista fitotecnia mexicana*, 47(1), 19-26.
- Casariego, A. (2013). Mermeladas y Jaleas [Maestría en Procesamiento de Alimentos, Universidad Agraria del Ecuador] citada en Fernández, E.A.O., Zamora, P.A.Y., Puente, B.D.K., Villegas, S.N.R., y Marcía, F.J.A. (2021). Evaluación de las Características Físico-Químicas y Sensoriales de la jalea de Ananas comosus y Passiflora edulis. *Revista InGenio*, 4(2), 49–60.
- Castañeda, A., Moreno, L., Jaimez, J., Ramírez, J., Pérez, E., Cruz, A. E., y González, L. G. (2023). Aguamiel syrup as a technological diversification product: Composition, bioactivity and present panorama. *Future Foods*, 100249.
- Castro, J. M., Toledo, A. M., Rodríguez, B., Perdomo, A., Rodríguez, E. M., y Díaz, C. (2015). Caracterización morfológica y composición química de chayotas (*Sechium edule*) cultivadas en las Islas Canarias (España). *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 65(4), 243-253.
- Chagua, P., Malpartida, R. J., y Ruíz, A. (2020). Tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas y de capacidad antioxidante de aguamiel de Agave americana L. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 45-57.
- Chávez, M. F. (2022). *Evaluación fisicoquímica, sensorial y reológica de la mermelada de tomate de árbol (Cyphomandra betacea)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Compound Interest. (2014). *What Makes Jam Set? – The Chemistry of Jam-Making*. Compound Interest. <https://www.compoundchem.com/2014/09/22/what-makes-jam-set-the-chemistry-of-jam-making/>
- Corona, L. S., Hernández, D. M., y Meza, O. G. (2020). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y

- fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Biotecnia*, 22(1), 166-174.
- Coronado, M. y Rosales, R. (2001). *Elaboración de mermeladas: Procesamiento de alimentos para pequeñas y microempresas agroindustriales*. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo.
- Corzo, N., Montilla, A., Moreno, F. J., Villamiel, M., y Olano, A. (2016). *Prebióticos: definición, obtención y estructura*. CSIC- Universidad Autónoma de Madrid.
- Deleito, O. (2016). *Las semillas de chía, ¿un alimento milagro?* La botica de Teté. <https://laboticadetete.com/las-semillas-chia-alimento-milagro/>
- Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., y Severin, C. (2008). Chía: importante antioxidante vegetal. *AgroMensajes*, 56, 11-13
- Díaz, J., Ybañez, R. O., Asunción, D., Quispe, I. M., y Asmat, P. (2019). Capacidad antioxidante in vitro del liofilizado de la pulpa y cáscara del rizoma de *Zingiber officinale* Roscoe (jengibre). *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 4(4), 121-126.
- Díaz, M. (2018). Efecto del uso de semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) en la elaboración de mermelada de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) como agente gelificante. *AgroProductividad*, 11(11), 41-47.
- Escamilla, Y., García, M., López, A., Gómez, L., Rodríguez, G., y Cruz, A. (2015). Synthesis of al-fucosidase in different strains of lactic acid bacteria. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(3), 623-629.
- FAO/WHO. (2009). *CXS 296-2009. Norma para las confituras, jaleas y mermeladas*. Codex Alimentarius.
- Fellows, P. J. (2016). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. (4a ed.). Woodhead Publishing

- Fennema, O. R. (1996). *Food chemistry* (3a ed.). CRC Press.
- Fernández, I., García, E. M., y Fuentes, A. (2018). *Aplicación de las escalas de punto ideal o Just-About-Right (JAR) en análisis sensorial de alimentos*. Universitat Politècnica de València.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *Fruit processing toolkit: Jam*. FAO. <https://www.fao.org/3/au115e/au115e.pdf>
- Food Crumbles. (2017). *The Science of Making Jam (Fruit Jelly)*. Food Crumbles. <https://foodcrumbles.com/making-jam-science/>
- Frizzi, F., Herrera, J. A., Alatríste, I., y Servín, R. (2019). Caracterización fisicoquímica y nivel de agrado de una mermelada artesanal a base de manzana (*Malus pumila* cv. Golden Delicious) y chayote (*Sechium edule*). *AgroProductividad*, 12(1), 19-24.
- Galarza, E. A. (2019). *Aprovechamiento de la fruta de tamarindo (Tamarindus indica L.) para la elaboración de dulce y su caracterización* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato].
- Garrido, J. I., Lozano, J. E., y Genovese, D. B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 325-332.
- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. (3ª ed., Tomo II). Editorial Medica Panamericana.
- Global Marketing Associates. (2019). *Global jam market: Export opportunity analysis*. Food Export Market. <https://foodexportmkt.blogspot.com/2019/03/global-jam-market-export-opportunity.html>
- González, A. M., Solanilla, J. F., Flores, A. C., Serrato, L. E., Morales, J., González, S. M., y Rodríguez, R. (2022). Temperature effect on sensory attributes, thermal and rheological properties of concentrated aguamiel syrups of two Agave species. *Measurement: Food*, 7, 100041.

- Guerra, M., y Casquero, P. A. (2005). Evolución de la madurez de variedades de manzana y pera en almacenamiento frigorífico conjunto con absorbedor de etileno. *Información tecnológica*, 16(4), 11-16.
- Hassan, A. H., Nauman, M., Muhammad, F., Hussain, S., y Nadeem, M. (2010). A comparative study on chemical composition and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) and cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(14), 8231-8237.
- Heymann, H., y Lawless, H. T. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices*. (2ª ed.). Springer Science y Business Media.
- Huebner, J., Wehling, R. L., y Hutkins, R. W. (2007). Functional activity of commercial prebiotics. *International Dairy Journal*, 17(7), 770-775.
- Huezcas, L., Alanís, E., Ariza, J. A., y Zafra, Q. Y. (2022). Subproductos de interés nutricional y funcional de Agave salmiana. *Revista chilena de nutrición*, 49(2), 250-262.
- Imran, A., Quispe, C., Zeeshan, A., Imran, M., Nadeem, M., Gilani, S. A., ... y Cruz-Martins, N. (2021). Development and antioxidant characterization of Ginger-Mint drink prepared through different extraction techniques. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2576-2590.
- InfoAgro México. (2021). *Variedades de manzana*. InfoAgro México. <https://mexico.infoagro.com/variedades-de-manzana/>
- Informes de Expertos. (2022). *Perspectiva del Mercado Latinoamericano de Mermeladas, Jaleas y Conservas*. Informes de Expertos. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-mermeladas-jaleas-y-conservas>
- Informes de Expertos. (2025). *Visión General del Mercado de Mermeladas en México*. Informes de Expertos. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-mermeladas-en-mexico>

- Iuit, M., Betancur, D., Santos, J., y Cantón, C. G. (2019). Mermelada enriquecida con fibra dietética de cáscara de Mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1), 193-201.
- Iza, E. C. (2013). *Desarrollo de una mermelada de mango Haden con quinua (Chenopodium quinoa)*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana].
- Jaimez, J., Contreras, E., Ramírez, J., Castañeda, A., y González, L. G. (2023). Prebiotic potential of macerates derived from solid-state fermentation of barley straw by *Rhizopus oryzae* JCP024: preliminary evaluation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-6.
- Jelled, A., Fernandes, Â., Barros, L., Chahdoura, H., Achour, L., Ferreira, I. C., y Cheikh, H. B. (2015). Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 77, 30-35.
- Julca, A. (2014). *Evaluación reológica de la mermelada de Mango (Mangifera indica L.) variedad y estabilidad en el almacenamiento*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Karu, R., y Sumeri, I. J. J. O. F. R. (2016). Survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG during simulated gastrointestinal conditions depending on food matrix. *J Food Res*, 5(5), 57-66.
- Kim, D. O., y Padilla, O. I. (2004). Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruits: Cherry, plum, and raspberry. *Journal of food science*, 69(9), S395-S400.
- Kolida, S., y Gibson, G. R. (2007). Prebiotic capacity of inulin-type fructans. *The Journal of nutrition*, 137(11), 2503S-2506S.

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25, 726-732.
- Latona, D. F., Oyeleke, G. O., y Olayiwola, O. A. (2012). Chemical analysis of ginger root. *Journal of Applied Chemistry*, 1(1), 47-49.
- Lee, K. W., Kim, Y. J., Kim, D. O., Lee, H. J., y Lee, C. Y. (2003). Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(22), 6516-6520.
- Lee, S. M. (2014). Quality characteristics of apple jam added with ginger. *Culinary science and hospitality research*, 20(2), 79-88.
- López, L. G. (2014). *Elaboración, control de calidad y evaluación de la actividad antidiabética de la miel de agave (Agave americana L.)* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Magaña, J. E., Jiménez, L., Villareal, V. H., Licón, L. P., y Núñez, J. (2014). Investigación de mercado de una empresa productora de mermeladas con sabores de productos regionales, ciudad Delicias, Chihuahua. *Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 2(3), 397-408.
- Márquez, C., Caballero, B., y Vanegas, K. (2016). Efecto de edulcorantes no calóricos sobre el desarrollo de mermelada de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Temas agrarios*, 21(2), 32-39.
- Martínez, M. J. (2017). *Desarrollo de un té de infusión de jengibre (Zingiber officinale) y canela (Cinnamomun verum) y sus análisis microbiológicos y fisicoquímicos*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Dr. José Matías Delgado].
- Mendes, L., de Souza, D. F., da Silva, E. A., de Oliveira, T. O., y de Lima, J. P. (2017). Physical and chemical characterization and quantification of bioactive compounds in berries and berry jams. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4), 1853-1864.

- Mendoza, B., Hernández, E. M., Alberto, C., y Gómez, E. (2017). Alimentos funcionales de la región del Altiplano y su capacidad antioxidante. *Ciencias Biol y la Salud*, 1(1), 56-62.
- Mendoza, N. A., Hoyos, J. A., y Peláez, C. A. (2020). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales de extractos de tallo de Stevia rebaudiana en varios modelos in vitro. *Revista EIA*, 17(34), 53-61.
- Mercado, G., Ros, L. D. L., Wall, A., López, J. A., y Álvarez, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición hospitalaria*, 28(1), 36-46.
- Mohd, N., Yeap, S. K., Ho, W. Y., Beh, B. K., Tan, S. W., y Tan, S. G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 1-9.
- Molina, E. B., & Irezabal, M. L. C. (2010). *Procesamiento térmico de frutas y hortalizas*. Editorial Trillas.
- Montagnani, M. A. (2016). *Optimización de una mermelada de tomate de reducido tenor glucídico mediante el uso de aditivos naturales*. [Tesis de Doctorado, Universidad Tecnológica Nacional].
- Morales, D. A. (2010). *Desarrollo y evaluación de una mermelada de fresa (Fragaria vesca L.) como ingrediente para el yogur de fresa de la Planta de Lácteos de Zamorano*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana].
- Mordor Intelligence. (2022). *Jam, jelly, and preserves market*. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/jam-jelly-and-preserves-market>
- Moreira, E., Dal Castel, A. P., de Freitas, A. B., Sonza, E., Kilian, J., da Silva, J. B., Pelisser, C. y Endres, C. M. (2020). Preparation of gourmet jam made of red fruits with ginger, physical-chemical, microbiological, and sensorial characterization. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 33704-33715.

- Muñoz, L. A., Cobos, A., Díaz, O., y Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*, 108(1), 216-224.
- Muresan, C., Pop, A., Muste, S., Scrob, S., y Rat, A. (2014). Study concerning the quality of jam products based on banana and ginger. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 20(4), 408-411.
- Nduko, J. M., Maina, R. W., Muchina, R. K., y Kibitok, S. K. (2018). Application of chia (*Salvia hispanica*) seeds as a functional component in the fortification of pineapple jam. *Food Science y Nutrition*, 6(8), 2344-2349.
- Nunes, M. Arbones, E., Góme, J., Romero Á., y Vázquez, L. (2007). *Factores de proceso que afectan a la elaboración de mermelada de fresa artesanal*. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Núñez, I. G. (2022). Uso de pectina y alginato de sodio como agentes gelificantes en la elaboración de mermelada de jamaica y evaluación de su efecto en los parámetros de calidad. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Ortega, D. y Parra, K. G. (2012). *Estudio de mercado de las mermeladas en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Paltrinieri, G. y Figuerola, F. (1998). *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Peña, M. L., Sosa, M. E., y Cerón, A. (2017). Determinación de fenoles, flavonoides y parámetros fisicoquímicos en chayote (*Sechium edule*) procesado térmicamente. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 101–106.
- Pitino, I., Randazzo, C. L., Mandalari, G., Curto, A. L., Faulks, R. M., Le Marc, Y., y Wickham, M. S. J. (2010). Survival of *Lactobacillus rhamnosus* strains in the upper gastrointestinal tract. *Food microbiology*, 27(8), 1121-1127.

- Pons, J. A. (2009). La preparación de mermelada como recurso didáctico. *Anales de Química de la RSEQ*, (3), 221-226.
- Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M. N., Ereifej, K., y Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.
- Ramírez, S., Pérez, R. V., Ruiz, R., Aguilar, J. E., Fabela, M. F., y Díaz, M. (2022). Effect of sugar substitution by aguamiel on the physicochemical quality of pear jam pear (*Pyrus communis* L.). *Agro Productividad*, 15(11), 85-93.
- Reale, A., Di Renzo, T., Rossi, F., Zotta, T., Iacumin, L., Prezioso, M., y Coppola, R. (2015). Tolerance of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* and *Lactobacillus rhamnosus* strains to stress factors encountered in food processing and in the gastro-intestinal tract. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 721-728.
- Reyes, A., Salinas, Y., Ovando, M. E., Arteaga, R. I., y Martinez, M. D. (2015). Analysis of phenolic acids and antioxidant activity of aqueous extracts of jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) varieties with calyxes of different colors. *Agrociencia*, 49(3), 277-290.
- Ribeiro, O. V., Alva, A., y Valles, J. M. (2001). Extracción y caracterización del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*). *Alimentaria*, 1(1), 38-42.
- Rivas, J. P. y Romero, G. E. (2016). *Utilización de chía (Salvia hispanica L.) Como sustituto de un agente gelificante y antioxidante en la elaboración de una mermelada de fresa y naranja*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Dr. José Matías Delgado].
- Riviello, M. L., Arévalo, M. L., Cadena, J., Soto, R. M., Ruiz, L. M., y Gómez, F. C. (2018). Nutraceutic characteristics of the extracts and juice of chayote (*Sechium edule* (jacq.) sw.) fruits. *Beverages*, 4(2), 37.
- Rodríguez, J. (2016). *Gingerol Molecula*. FCiencias. <https://www.fciencias.com/2016/12/15/gingerol-molecula-da-semana/>

- Rojo, M. (2021). *Fructooligosacáridos y calidad nutracéutica de jarabe de Agave salmiana obtenido a bajas presiones* [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Chapingo].
- Romero, M. R., Osorio, P., Flores, A., Robledo, N., y Mora, R. (2015). Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during in vitro fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2), 281-292.
- Rupp, R. (2016). *Jam: Chemistry and Cool in a Jar*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/culture/article/jam>
- Salgado, F. (2011). El jengibre (*Zingiber officinale*). *Revista internacional de acupuntura*, 5(4), 167-173.
- Salgado, M. P., Calderón, G., Chanona, J., Farrera, R. R., Méndez, J. V., y Díaz, M. (2013). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products*, 51, 453-462.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Manzana Mexicana*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256430/B_sico-Manzana.pdf
- Secretaría de Economía. (1982). *NMX-F-127-1982. Alimentos para humanos - Frutas y derivados - Mermelada de piña*.
- Secretaría de Economía. (1982). *NMX-F-131-1982. Alimentos para humanos - Frutas y derivados - Mermelada de fresa*.
- Secretaría de Salud. (1994). *NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa*.
- Secretaría de Salud. (1994). *NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*.

Secretaría de Salud. (1994). *NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.*

Secretaría de Salud. (1997). *NOM-130-SSA1-1995. Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.*

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017). *Chayote (Sechium spp.)*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/chayote-sechium-spp>

Shirin, A., y Prakash, J. (2010). Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2674-2679.

Siedentopp, U. (2008). El jengibre, una planta medicinal eficaz como medicamento, especia o infusión. *Revista Internacional de Acupuntura*, 2(3), 188-192.

Singletary, K. (2010). Ginger: an overview of health benefits. *Nutrition Today*, 45(4), 171-183.

Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación. (1978). *NMX-F-317-NORMEX-2013. Alimentos - Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas – Método potenciométrico – Método de prueba.*

Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación. (2010). *NMX-F-112-NORMEX-2010. Alimentos - Determinación de sólidos solubles - Método refractométrico - Método de ensayo.*

Soriano, S. (2021). *Análisis fisicoquímico, sensorial y microbiológico para el desarrollo de una formulación de una mermelada de coco*. [Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de València].

Teresi, L. (2016). *Gel Dynamics: a Continuum Mechanics Perspective*. University of Perugia. <https://mmbioeng2016.jimdofree.com/program-1/lectures/gel-dynamics-a-continuum-mechanics-perspective/>

- Tirado, J. M., Zamudio, P. B., Ornelas, J. D. J., Rios, C., Acosta, C. H., Gutiérrez, F., Islas, J. J., y Salgado, R. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 391-408.
- Torres, V. (2015). *Estudio de la supervivencia de Lactobacillus casei y Lactobacillus rhamnosus encapsulados mediante gelación iónica empleando aguamiel, en un sistema gástrico e intestinal*. [Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Trigo, N. A. (2017). Mermelada, sector no tan dulce para Jalisco. *El Diario NTR*. https://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=86200#
- Uvidia, J. H. Luna, S. B., Montero, M. C., y Uvidia, L. A. (2024). Relación entre el color y la actividad antioxidante en *Solanum quitoense*: Un análisis a través de la escala CIELAB. *Revista Social Fronteriza*, 4(4), e44356-e44356.
- Valencia, H. U. (2018). *Efecto antimicrobiano in vitro del aceite esencial de Rosmarinus officinalis (romero) y el aceite esencial de Zingiber officinale (jengibre) sobre colonias de Staphylococcus coagulasa negativa*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Alas Peruanas].
- Van der Sluis, A. A., Dekker, M., de Jager, A., y Jongen, W. M. (2001). Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3606-3613.
- Vargas, V. N. (2015). *Efecto antimicrobiano in vitro del extracto de Zingiber officinale (jengibre) obtenido por extracción con fluidos supercríticos*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santa María].
- Vázquez, A. (2019). *Descubre las propiedades milenarias del jengibre*. Mentta. <https://www.mentta.com/blog/propiedades-del-jengibre/>

- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., y Elías, L. G. (1992). *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. International Development Research Centre.
- World Access. (2019). *La mermelada, un producto que trasciende fronteras y a través de los siglos permanece en los hogares del mundo*. World Access. <https://worldaccess.com.mx/la-mermelada-un-producto-que-trasciende-fronteras-y-a-traves-de-los-siglos-permanece-en-los-hogares-del-mundo>
- Yeh, H. Y., Chuang, C. H., Chen, H. C., Wan, C. J., Chen, T. L., y Lin, L. Y. (2014). Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 329-334.
- Yurivilca, C. W. (2002). *Obtención de fruta confitada a partir del chayote (Sechium edule L.) por el método del proceso lento*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo Maria].
- Zukán. (2018). *Mermelada y confituras, un buen sector para la innovación*. Zukán. <https://zukan.es/noticias-mermelada-confituras-buen-sector-innovacion/>

09.

ANEXOS

9. Anexos

Anexo 1. Ficha de cata

FICHA DE CATA
PRUEBA DE ORDENAMIENTO POR PREFERENCIA
Y PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO

Nombre: _____ Fecha: _____
 Edad: _____ Sexo: _____

Pruebe de izquierda a derecha las muestras de mermelada que se le presentan. Ordénelas en forma creciente según su preferencia de acuerdo a la **intensidad de sabor a jengibre** (escriba los códigos en las líneas correspondientes).

Menor agrado $\longrightarrow$ Mayor agrado

Pruebe de izquierda a derecha las muestras que se le presentan. Ordénelas en forma creciente según su preferencia de acuerdo a la **viscosidad** (escriba los códigos en las líneas correspondientes).

Menor agrado $\longrightarrow$ Mayor agrado

Pruebe de izquierda a derecha las muestras de mermelada que se le presentan y escriba los códigos en los cuadros correspondientes de la escala según su nivel de agrado.

Me gusta muchísimo	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta un poco	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta muchísimo

Comentarios:

¡Muchas gracias!

FICHA DE CATA
PRUEBA JUST-ABOUT-RIGHT

Nombre:

Fecha:

Edad:

Sexo:

Pruebe de izquierda a derecha las muestras de mermelada que se le presentan y marque con una ☐ sobre la escala evaluando los atributos de intensidad del sabor a jengibre y viscosidad.

Código: 465

Intensidad del sabor a jengibre	Muy poco intenso ☐	Ideal ☐	Muy intenso ☐
Viscosidad	Muy poco viscosa ☐	Ideal ☐	Muy viscosa ☐

Código: 732

Intensidad del sabor a jengibre	Muy poco intenso ☐	Ideal ☐	Muy intenso ☐
Viscosidad	Muy poco viscosa ☐	Ideal ☐	Muy viscosa ☐

Código: 559

Intensidad del sabor a jengibre	Muy poco intenso ☐	Ideal ☐	Muy intenso ☐
Viscosidad	Muy poco viscosa ☐	Ideal ☐	Muy viscosa ☐

Código: 585

Intensidad del sabor a jengibre	Muy poco intenso ☐	Ideal ☐	Muy intenso ☐
Viscosidad	Muy poco viscosa ☐	Ideal ☐	Muy viscosa ☐

Comentarios:

¡Muchas gracias!