



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

PROYECTO TERMINAL

**Evaluación nutricional y bioaccesibilidad *in vitro* de una
mermelada funcional a base de nopal (*Opuntia ficus indica*)**

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencia de los Alimentos

P R E S E N T A

L. N. Magdalena Bravo Cruz

Directora
Dra. Aurora Quintero Lira

Co-Director
Dr. Javier Piloni Martini

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, 15 de Enero 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering

Asunto: Autorización de impresión de tesis

El Comité Tutorial de la Tesis titulada “Evaluación nutricional y bioaccesibilidad *in vitro* de una mermelada funcional a base de nopal (*Opuntia ficus indica*)”, realizada por la sustentante **Magdalena Bravo Cruz** con número de cuenta **250461** perteneciente al programa de **Maestría en Ciencia de los Alimentos**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional, y de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos establecidos en el Reglamento de Estudios de Posgrado para la defensa oral en el examen de grado correspondiente.

Atentamente

“Amor, Orden y Progreso”

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, a 6 de marzo de 2026

El Comité Tutorial


Dra. Aurora Quintero Lira
Director


Dra. Esther Ramírez Moreno
Miembro del comité




Dr. Javier Piloni Martini
Codirector del comité


Dr. Cesar Uriel López Palestina
Miembro del comité

“Amor, Orden y Progreso”



2025



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775
Teléfono 7717172100 Ext.42021
maestria_alimentos@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

A mi familia, especialmente a mis padres, Teresa y Adrián, gracias por tanto.

A mis directores de tesis, la Dra. Aurora y el Dr. Piloni, por todo su apoyo, guía, paciencia y enseñanzas durante la realización de este proyecto.

A la Dra. Esther, la Dra. Haide y el Dr. Sergio, por su colaboración y orientación teórico-práctica, así como por compartir sus conocimientos y experiencia.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el financiamiento otorgado durante toda mi estancia en el posgrado.

A mi amiga Arely, por su compañía y apoyo a lo largo de este camino.

A mis gat@s y perros, por ser un gran apoyo emocional y una fuente constante de motivación.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO TEÓRICO	2
2.1 Enfermedades no transmisibles	2
2.3 Tendencias actuales de alimentos funcionales	2
2.4 Alimentos funcionales	3
2.4.1 Definición y clasificación	3
2.4.2 Características de alimentos funcionales (AF)	3
2.4.3 Importancia de los alimentos funcionales en la salud humana	3
2.4.4. Diferencias de alimentos funcionales y nutracéuticos	4
2.5 Compuestos bioactivos	5
2.6 Compuestos fenólicos	6
2.7 Mermeladas	8
2.7.1 Elaboración tradicional.....	8
2.7.2 Características tecnológicas.....	9
2.8 Mermeladas con ingredientes funcionales	9
2.8.1 Ejemplos de mermeladas con ingredientes funcionales.....	9
2.9 Materias primas de interés en el desarrollo de mermeladas funcionales	10
2.9.1 Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	10
2.9.2 Chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	11
2.9.3 Xoconostle (<i>Opuntia spp.</i>).....	13
2.9.4 Aguamiel (<i>Agave salmiana</i>)	14
2.10 Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1	15
2.11 Importancia sensorial y aceptación del consumidor.....	16
2.12 Evaluación nutricional de alimentos y mermeladas	17

2.13	Análisis proximal.....	18
2.14	Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de nutrientes	18
2.14.1	Definiciones	18
2.14.2	Diferencias entre biaccesibilidad y biodisponibilidad.....	18
2.14.3	Factores que afectan la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos funcionales.....	19
2.14.4	Importancia de la digestión simulada <i>in vitro</i>	19
2.15.5	Métodos de digestión gastrointestinal <i>in vitro</i>	20
3	JUSTIFICACIÓN	21
4	HIPÓTESIS	22
5	OBJETIVOS.....	22
5.1	General	22
5.2	Específicos	22
6	METODOLOGÍA	23
6.1	Selección de la materia prima	23
6.2	Elaboración de la mermelada control	23
6.3	Elaboración de tratamientos.....	23
6.4	Características fisicoquímicos	24
6.4.1	pH.....	24
6.4.2	Acidez titulable.....	24
6.4.3	Actividad de agua	25
6.4.4	Textura	25
6.4.5	Color.....	26
6.5	Análisis químico proximal	26
6.5.1	Humedad	26
6.5.2	Cenizas	27
6.5.3	Grasa total	27
6.5.4	Fibra cruda	28
6.5.5	Proteína	29
6.6	Azúcares reductores directos y totales	29

6.7 Calidad microbiológica	30
6.7.1 Análisis microbiológico.....	30
6.7.2 Vida útil.....	31
6.8 Análisis Sensorial.....	31
6.9 Determinación de la capacidad antioxidante	32
6.9.1 ABTS •*	32
6.9.2 DPPH*	33
6.9.3 FRAP	33
6.9.4 Compuestos fenólicos.....	34
6.10 Bioaccesibilidad intestinal <i>in vitro</i> de antioxidantes y compuestos bioactivos ...	34
6.11 Análisis estadístico	35
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
7.1 Elaboración de mermelada control.....	35
7.2 Análisis fisicoquímicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%) ...	35
7.3 Textura	36
7.4 Color.....	38
7.5 Análisis químico-proximal (AQP)	40
7.6 Azúcares reductores directos y totales	43
7.7 Calidad microbiológico	44
7.8 Análisis sensorial.....	45
7.9 Actividad antioxidante y compuestos fenólicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%)	48
8 CONCLUSIONES	51
9 REFERENCIAS	52
10 ANEXOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de compuestos bioactivos	5
Cuadro 2. Clasificación de compuestos fenólicos	6
Cuadro 3. Composición química del cladodio de nopal (g/100 g)	11
Cuadro 4. Composición química de la chía (g/100 g)	12
Cuadro 5. Composición química del xoconostle (g/100 g)	14
Cuadro 6. Clasificación de evaluación sensorial	16
Cuadro 7. Porciones utilizadas de materia prima para la elaboración de la mermelada control (%).	23
Cuadro 8. Formulación de mermeladas a diferentes concentraciones de xoconostle (%)	23
Cuadro 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%)	36
Cuadro 10. Análisis de perfil de textura en las diferentes mermeladas	37
Cuadro 11. Color en los diferentes tratamientos	38
Cuadro 12. Composición químico proximal de nopal y xoconostle para la elaboración de las diferentes mermeladas (%)	41
Cuadro 13. Composición químico proximal de las mermeladas con diferentes concentraciones de xoconostle (%)	42
Cuadro 14. Azúcares reductores directos y totales presentes en las mermeladas.	43
Cuadro 15. Concentración de microorganismos presentes en las mermeladas	44
Cuadro 16. Análisis sensorial de las mermeladas	47
Cuadro 17. Análisis actividad antioxidante y compuestos fenólicos ..	Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala CIELAB.....	26
Figura 2. Formato de análisis sensorial	32
Figura 3. Mermeladas a base de nopal a diferentes concentraciones de xoconostle (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%).....	35
Figura 4. Coordenadas cromáticas de las mermeladas Control, T1, T2 y T3.	39
Figura 5. Edad de los panelistas.....	46
Figura 6. Sexo de los panelistas que evaluaron la mermelada	46
Figura 7. Capacidad antioxidante de T1 y T1FB (Fracción bioaccesible de T1). a) ABTS, b) DPPH, c) FRAP y d) Fenoles	50

RESUMEN

Las mermeladas son productos ampliamente consumidos elaborados tradicionalmente a base de frutas y sacarosa; sin embargo, su alto contenido de azúcar se ha asociado con enfermedades no transmisibles como la obesidad y la diabetes tipo 2. Por ello, existe un creciente interés por desarrollar alimentos funcionales con mejores propiedades nutricionales y efectos benéficos para la salud. El objetivo de este estudio fue evaluar una mermelada funcional a base de nopal, aguamiel, harina de chía y diferentes concentraciones de xoconostle (0%, 1%, 2% y 3%), mediante análisis fisicoquímicos (pH, acidez, textura y color), químico-proximales, microbiológicos, sensoriales, capacidad antioxidante (ABTS•*, DPPH• y FRAP) y bioaccesibilidad *in vitro*. Los datos se evaluaron mediante un análisis ANOVA con un nivel de significancia del 95%. Los resultados mostraron que las mermeladas con xoconostle presentaron menor acidez (0.48–0.65%) y mayor pH (5.39–5.65) en comparación con la mermelada control (1.23% de acidez y pH 4.91). Los valores de actividad de agua (0.82–0.87) se mantuvieron dentro de rangos seguros para evitar crecimiento microbiano. En el análisis químico-proximal, las formulaciones con xoconostle destacaron por su mayor contenido de proteína (1.12–1.36%) y fibra (4.25–4.68%), asociado a los ingredientes funcionales. En la evaluación sensorial, la mermelada T1 fue la mejor evaluada, especialmente en olor y sabor. El resultado del análisis sensorial arrojó que la mermelada T1 fue la de mayor agrado, esta muestra fue utilizada para determinar su capacidad antioxidante y bioaccesibilidad *in vitro*. Los porcentajes de fracción bioaccesibilidad por método FRAP fue de 56.6%, ABTS 10.7%, DPPH 19.1% y fenoles 4.2%. En conclusión, las mermeladas elaboradas con nopal, aguamiel, chía y xoconostle representan una alternativa saludable con buena estabilidad fisicoquímica, valor nutricional y propiedades antioxidantes, siendo la formulación T1 la más aceptada sensorialmente y con mejores características antioxidantes.

ABSTRACT

Jams are widely consumed products traditionally made from fruit and sucrose; however, their high sugar content has been associated with non-communicable diseases such as obesity and type 2 diabetes. Therefore, there is growing interest in developing functional foods with improved nutritional properties and health benefits. The objective of this study was to evaluate a functional jam made from nopal, aguamiel, chia flour, and different concentrations of xoconostle (0%, 1%, 2%, and 3%) through physicochemical (pH, acidity, texture, and color), proximate, microbiological, sensory, antioxidant capacity (ABTS•*, DPPH•, and FRAP), and *in vitro* bioaccessibility analyses. Data were evaluated using ANOVA with a 95% significance level. The results showed that jams with xoconostle presented lower acidity (0.48–0.65%) and higher pH (5.39–5.65) compared to the control jam (1.23% acidity and pH 4.91). Water activity values (0.82–0.87) remained within safe ranges to prevent microbial growth. In the proximate analysis, formulations containing xoconostle showed higher protein (1.12–1.36%) and fiber (4.25–4.68%) contents, associated with the presence of functional ingredients. In the sensory evaluation, sample T1 was the most highly rated, particularly in aroma and flavor. Based on the sensory results, T1 was selected for further evaluation of its antioxidant capacity and *in vitro* bioaccessibility. The bioaccessible fraction percentages were 56.6% (FRAP), 10.7% (ABTS), 19.1% (DPPH), and 4.2% (phenolics). In conclusion, jams formulated with nopal, agave sap, chia, and xoconostle represent a healthy alternative with good physicochemical stability, nutritional value, and antioxidant properties, with formulation T1 showing the highest sensory acceptance and best functional performance.

1 INTRODUCCIÓN

Las enfermedades no transmisibles (ENT) como la Diabetes Mellitus tipo 2 o enfermedades cardiovasculares causaron en 2021 más de 9 millones de muertes, de las cuales 2.3 millones fueron consideradas prematuras (personas menores de 70 años)(OMS, 2025). La Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2), es un trastorno metabólico que se origina debido a fallos en la secreción de insulina por parte del páncreas, o bien, sí hay secreción, pero esta hormona tiene una deficiente función, provocando una elevación de glucosa en sangre (hiperglucemia) (IMSS, 2018). La hiperglucemia crónica causa daños en el sistema nervioso, en órganos, como riñón, ojos, corazón y vasos sanguíneos. En 2019 la Federación Internacional de Diabetes (IDF) estimó cerca de 352 millones de pacientes en edad adulta padecen Diabetes y se espera que este número ascienda a 417.3 millones en 2030 y 486.1 millones en 2045 (IDF, 2019). Este tipo de enfermedades suelen estar ligadas a la obesidad, esta se define como la acumulación de grasa excesiva en el cuerpo (Blüher, 2019). Las ENT representan un desafío de salud pública y está directamente relacionado a los hábitos de vida poco saludables como el consumo de bebidas y alimentos poco nutritivos y con un alto aporte de azúcar y calorías (Yu et al., 2022). Por esta problemática los consumidores prestan más atención en el valor nutricional de alimentos comerciales, buscando alimentos bajos en azúcares, grasa, sodio y calorías, prefiriendo alimentos con mayor densidad nutritiva y que además ofrezcan beneficios a la salud y ayuden a prevenir ENT (Alvídrez-Morales et al., 2002). Los hábitos alimenticios son un determinante relacionado a la salud de la población, por ello se han llevado a cabo diversas investigaciones que pretenden entender cómo los alimentos pueden ejercer efectos específicos en el organismo (Meléndez Sosa et al., 2020). La tendencia del consumidor por preferir alimentos más saludables ha generado el interés por desarrollar tecnologías más innovadoras en la ciencia de los alimentos, favoreciendo la nutrición y beneficios para la salud, usualmente se les conoce como alimentos funcionales, estos son productos que destacan por mejorar la salud humana, a los componentes de estos alimentos se le atribuyen efectos probióticos, prebióticos, que ayuden a reducir la presión arterial, glucosa, colesterol, entre otros (Alvídrez-Morales et al., 2002; Meléndez-Sosa, García-Barrales, et al., 2020). Considerando todo esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades nutricionales, fisicoquímicas, sensoriales,

bioaccesibilidad *in vitro* de una mermelada a base de nopal, aguamiel, chía a diferentes concentraciones de xoconostle.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Enfermedades no transmisibles

Actualmente, la humanidad a nivel mundial se enfrenta a una problemática de salud, especialmente en los países en vías de desarrollo. Las enfermedades no transmisibles (ENT) se caracterizan por ser padecimientos con una lenta progresión y no ser contagiosas. Entre las más comunes se encuentran las enfermedades cardiovasculares, Diabetes Mellitus, cáncer y las enfermedades respiratorias crónicas (Berumen-Rodríguez et al., 2020). Estas enfermedades son causadas por varios factores, genéticos, fisiológicos y también los ligados a una vida sedentaria y una alimentación poco saludable donde el consumo excesivo de azúcar, grasas y sal aumentan el riesgo de padecer ENT (OMS, 2025). Las muertes causadas por ENT en el mundo son altas, tan solo en 2022 en México cerca del 80% de defunciones son causadas por estas enfermedades (León-Hernández et al., 2023). Una clave determinante para el desarrollo de estas afecciones es el exceso de grasa, en América Latina la prevalencia de sobrepeso en adultos es de 60% en ambos sexos (Berumen-Rodríguez et al., 2020). Esta problemática impulsa la innovación y tecnología a nivel alimentario para fortalecer el acceso a alimentos nutritivos y dietas más saludables que permitan combatir la mala nutrición y reducir ENT.

2.3 Tendencias actuales de alimentos funcionales

En años recientes se ha observado una transición en las tendencias alimentarias en México, los consumidores han cambiado sus patrones de alimentación con la llegada de la globalización, incrementando el consumo de alimentos ultraprocesados que se caracterizan por un mayor contenido de azúcares, sodio y grasas (Gómez-Delgado & Velázquez-Rodríguez, 2019). Esta transición ha generado el aumento de enfermedades no transmisibles que se relacionan con la nutrición como obesidad y diabetes. En respuesta a esta problemática y con la llegada de la pandemia se dio lugar al desarrollo de nuevas tecnologías en la ciencia de los alimentos con potencial bioactivo con la finalidad de combatir ENT (Martínez-Alvarez et al., 2021).

2.4 Alimentos funcionales

2.4.1 Definición y clasificación

No hay evidencia de una definición universal, pero el concepto de alimentos funcionales (AF) se publicó por primera vez en Japón en los años 80, en el cual se mencionaba que son alimentos desarrollados que mejoran la salud humana y además reducen el riesgo de padecer enfermedades aumentando la esperanza de vida (Meléndez Sosa et al., 2020). El Centro de Alimentación Funcional (FFC) define a los AF como “Alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicamente activos que, en cantidades efectivas y no tóxicas, proporcionan un efecto clínicamente benéfico para la salud comprobado y documentado utilizando biomarcadores específicos, para promover una salud óptima y reducir el riesgo de enfermedades crónicas/virales y gestionar sus síntomas”. Los AF se pueden clasificar como naturales y modificados. Los alimentos naturales como su nombre lo dice, se identifican por ser encontrados en la naturaleza y que no han sido procesados, algunos ejemplos son frutas, verduras, granos, leche, entre otros. Los AF modificados son los mejorados para aumentar su calidad, productos a los que se le han modificado componentes ya sea eliminando azúcar, grasa, sodio o añadiendo fibra, probióticos, antioxidantes, etc. Otra clasificación se puede determinar por el procesamiento como liofilizados, extrusión, extracción, ultraprocesados, etc. (Sánchez-Nuño & Villarruel-López, 2025)

2.4.2 Características de alimentos funcionales (AF)

Las características de los AF según Beltrán Heredia (2016) son:

- Un alimento de consumo cotidiano
- No causa efectos nocivos a la salud
- Tiene propiedades nutritivas y benéficas para el cuerpo humano
- Puede prevenir o reducir el riesgo a enfermedades no transmisibles
- Las cantidades que se consumen cotidianamente del alimento deben demostrar su beneficio en la salud

2.4.3 Importancia de los alimentos funcionales en la salud humana

Los AF participan de forma positiva para el buen funcionamiento del organismo y reducen el riesgo a enfermedades, estos efectos pueden ir desde la participación de crecimiento y desarrollo de niños, mejorar la función del sistema cardiovascular en el organismo, contenido de antioxidantes, mejorar el metabolismo de xenobióticos y sistema gastrointestinal (Meléndez Sosa et al., 2020).

Los principales componentes de los AF y sus beneficios son:

- Carotenoides: Reducen el daño celular neutralizando los radicales libres. (Beta-caroteno, Luteína, Licopeno).
- Fibras dietéticas:
 - Fibra soluble: Su alta viscosidad retrasa el vaciamiento gástrico favoreciendo a la absorción de nutrientes. También estimula la absorción del agua.
 - Fibra insoluble: Este tipo de fibra son escasamente degradables, además tiene una alta capacidad de retener agua mejorando la motilidad intestinal.
- Ácidos grasos: Reducen el riesgo a enfermedades cardiovasculares (Omega 3, DHA, Ácido linoléico).
- Flavonoides: Neutraliza radicales libres (Catequinas y Flavonas).
- Esteroles vegetales: Reduce los niveles de colesterol sanguíneo (Ester estanol).
- Prebióticos/Probióticos: Mejorar la salud gastrointestinal (Fructooligosacáridos, Lactobacilos).
- Fitoestrógenos: Mejora la función hormonal (Isoflavonas) (Alvídrez-Morales et al., 2002)

2.4.4. Diferencias de alimentos funcionales y nutraceuticos

Los AF y nutraceuticos son dos conceptos que se pueden confundir por su similitud, si bien ambos tienen como propósito mejorar la salud, se diferencian por su presentación y consumo, como ya se mencionó, los AF son productos que además de su aporte nutricional tienen compuestos bioactivos que contribuyen a mejorar la salud y prevenir enfermedades, siempre que se consuman de forma habitual en la dieta y en cantidades efectivas. Por otro lado, un nutraceutico no se refiere al alimento completo, sino únicamente al compuesto bioactivo extraído de un alimento, el cual se presenta como suplemento en dosis mayores a las que se

encuentran en los AF. La función de los nutraceuticos es tratar enfermedades y/o prevenirlas (Alvídrez-Morales et al., 2002; Meléndez-Sosa, Montserrat García-Barrales, et al., 2020).

2.5 Compuestos bioactivos

La funcionalidad de los AF está ligada a la presencia de compuestos bioactivos (CB), estos compuestos se encuentran en pequeñas cantidades en alimentos, no son nutrientes esenciales, pero si tienen una actividad biológica en el organismo, en las que se pueden atribuir función hipotensora, hipoglucemiante, cardioprotector, probiótica, prebiótica, entre otras. Estos CB se pueden clasificar en inorgánicos (minerales: calcio, selenio, zinc, etc) y orgánicos (terpenoides, ácidos grasos, compuestos fenólicos, etc) (Gómez-Romero, 2010), en el Cuadro 1 se puede observar la clasificación:

Cuadro 1. Clasificación de compuestos bioactivos

Compuestos bioactivos orgánicos	Definición	Ejemplos
Terpenoides	Metabolitos secundarios provenientes de vegetales, con gran diversidad estructural, están conformados por isoprenos (cinco unidades de carbono), según el número de estos es su clasificación (Caballero-García, 2004)	Carotenoides, saponinas, tocoferoles, terpenos
Ácidos grasos	Moléculas orgánicas formadas por lípidos, formada principalmente de una cadena de hidrocarbonada (compuesta de carbono e hidrógeno) y un grupo carboxilo (Urango-Marchena et al., 2009)	Ácido linoleico (omega 6), ácido alfa-linolénico (omega 3)
Fitoesteroles	Son esteroides de origen vegetal compuestos por 4 anillos (ciclopentanoperhidrofenantreno), un grupo hidroxilo y una cadena	Sitostanol, campestanol y stigmastanol

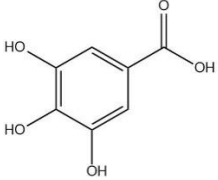
lateral (Muñoz-Jáuregui et al., 2007)

Compuestos fenólicos	Los compuestos fenólicos son Ácidos fenólicos, flavonoides, metabolitos secundarios que se encuentran en plantas en condiciones normales o de estrés (Muñoz-Jáuregui et al., 2007)
----------------------	--

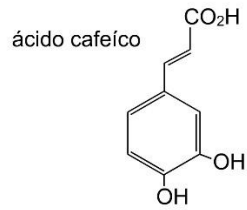
2.6 Compuestos fenólicos

Estos compuestos se caracterizan por tener en su estructura química un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, en el Cuadro 2 se puede observar algunos ejemplos de su estructura molecular, clasificación y algunos alimentos donde se pueden encontrar. En los alimentos los compuestos fenólicos le dan propiedades organolépticas como aroma, color y sabor. Su función es neutralizar los radicales libres presentes en el organismo que causan el envejecimiento o enfermedades. Además, la funcionalidad fisiológica en el cuerpo humano es antiinflamatoria, anticancerígena, antimicrobiana y cardioprotector (Muñoz-Jáuregui et al., 2011).

Cuadro 2. Clasificación de compuestos fenólicos

Compuesto	Ejemplos	Alimentos
Fenoles	 Hidroquinona	Café, té, vino, brócoli, arándanos
Ácidos fenólicos		
Ácidos benzoicos	 Ácido gálico	Nopal, xoconostle, miel, frutos secos

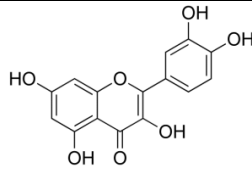
Ácidos cinámicos



Café, té, aceite de oliva virgen extra, mate

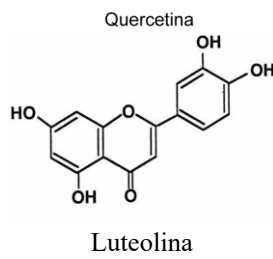
Flavonoides

Flavonoles



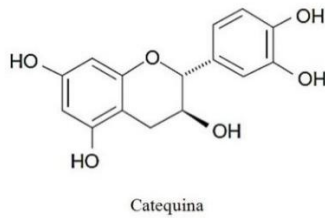
Cacao, cebolla morada, pimientos, arándanos

Flavonas



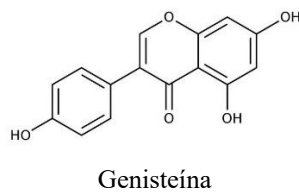
Romero, apio, pimienta, té, brócoli

Flavanoles



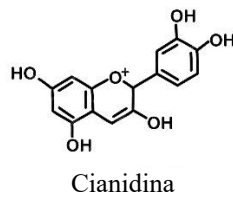
Té verde, matcha, cacao, manzana, uvas rojas

Isoflavonas



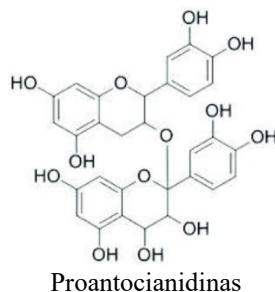
Edamame

Antocianinas



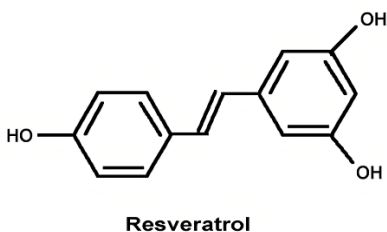
Arándanos, cerezas, frambuesas, uvas, ciruelas

Taninos



Arándanos, cereza, uvas rojas,
cacao, fresa

Estilbenos



Uvas, vino, cacahuates, cacao,
pistaches

2.7 Mermeladas

En 2018 la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera reportó que la producción de mermelada es de un 3.3% a nivel nacional (INEGI, 2018). Las mermeladas son un producto de confitería que se caracteriza por una consistencia pastosa y untuosa, elaborada principalmente de fruta y sacarosa, además puede contener pectina, ácidos orgánicos (ácido cítrico, ácido láctico, ácido tartárico, ácido málico), conservadores y colorantes (NMX-F-131-1982, 1982). De acuerdo con la norma CODEX STAN 296-2009, el contenido de sólidos solubles totales debe situarse en un rango de 60 a 65 %. Sin embargo, en el caso de mermeladas elaboradas sin frutos cítricos, este valor puede oscilar entre el 40 y el 65%.

2.7.1 Elaboración tradicional

Según la CODEX STAN 296-2009, una mermelada puede elaborarse a partir de frutas cítricas (enteras o en trozos). Se puede aprovechar o eliminar la cáscara, así como utilizar pulpas, puré, jugo o extractos acuosos, que se mezclan con otros ingredientes que aportan un sabor dulce, y puede añadirse agua o no. El resultado de esta mezcla es un producto de consistencia espesa y viscosa, con sabor dulce.

2.7.2 Características tecnológicas

La NMX-F-131-1982 establece que las especificaciones fisicoquímicas deben de ser: un pH de 3 a 3.5, la mermelada debe contener como mínimo 30% de fruta, se puede agregar pectina para lograr la consistencia deseada (4.5%), también se le puede añadir ácido cítrico (0.2%) con la finalidad de modificar el pH y conseguir la gelificación que se espera.

2.8 Mermeladas con ingredientes funcionales

No hay una definición establecida para “mermelada funcional” pero se puede entender que es un producto que aporta beneficios para la salud, además de su aporte nutricional y estará elaborado a partir de ingredientes funcionales ricos en fibras, antioxidantes, prebióticos o edulcorantes con menor aporte calórico. En México, la producción de mermeladas se centra en las elaboradas con frutas. Aquellas preparadas con ingredientes poco convencionales, como verduras, o sin sacarosa como edulcorante, suelen considerarse mermeladas artesanales o gourmet (Martínez-Alvarez et al., 2021).

2.8.1 Ejemplos de mermeladas con ingredientes funcionales

Se presentan a continuación diversos estudios realizados por diferentes autores sobre la elaboración de mermeladas funcionales.

- En 2019 se evaluó la respuesta glicémica de una mermelada de nopal y piña endulzada con extracto acuoso de estevia, se concluyó que la combinación de nopal, piña y estevia podrían reducir la respuesta glicémica, es posible que se deba a la presencia de fibra soluble del nopal, a los compuestos de la piña que inhiben enzimas digestivas de carbohidratos (Ruiz-Ruiz & Campos-Segura, 2019).
- Un estudio realizado por Blandón et al. (2022) sobre una mermelada de cebolla adicionada con piña o manzana tuvo como finalidad aprovechar la merma de la cebolla y desarrollar un producto con valor agregado. Los resultados del estudio demostraron que utilizar cebolla a productos favorecen sus beneficios nutricionales y su potencial en la industria alimentaria.
- En 2024 se realizó una mermelada de ciruela e higo endulzada con aguamiel y esta fue comparada con una mermelada comercial. Los resultados sugieren que la sustitución de

azúcar por aguamiel mejora el valor nutritivo logrando reducir la carga glucémica del producto (León-Báez & Márquez-Pallares, 2024).

2.9 Materias primas de interés en el desarrollo de mermeladas funcionales

2.9.1 Nopal (*Opuntia ficus-indica*)

2.9.1.1 Morfología y cultivo

El nopal es una planta que pertenece al género *Opuntia* clasificada con más de 150 especies originarias en México. Esta planta es una cactácea que no tiene hojas, los tallos son planos y carnosos conocidos como cladodios en los que se almacena el agua en forma de mucílago, además, poseen aréolas de las cuales salen espinas en lugar de tener hojas, dándole a la planta la capacidad de adaptarse, logrando crecer en zonas áridas o semiáridas, la temperatura óptima para una buena producción de nopal es de 16 a 28 °C, temperaturas por debajo de los 10 °C pueden reducir la producción de cladodios tiernos, si las bajas temperaturas se mantienen puede dañar a los cladodios maduros. El nopal se cultiva en aproximadamente 3 millones de hectáreas representando gran parte del territorio nacional (González-Gaona et al., 2024; Hernández Becerra et al., 2022). El nopal se ha cultivado por más de 500 años en México, pero a pesar de eso, su explotación tecnológica es muy baja, esto puede ser ocasionado por su rusticidad, por bajos precios lo cual lo hace poco rentable económicamente (Nazareno, 2018).

2.9.1.2 Composición nutricional

Los cladodios de nopal de madurez media y avanzado no suelen consumirse en la dieta humana, esto puede deberse a la textura indeseable por el alto contenido de fibra insoluble, pero el cladodio joven o tierno, es un alimento de gran interés por su contenido nutricional (Hernández Becerra et al., 2022). Estos cladodios tienen β -polisacáridos, glucosas unidas por enlaces β 1-4, pero intercalados con enlaces β 1-3, dando características que evitan la cristalización y aumentan el agua, formando coloides viscosos o gelatinosos (Rocchetti et al., 2018). La composición química del cladodio se caracteriza por el gran contenido de agua que va desde los 88 a 93%, este porcentaje hace que la verdura tenga bajo aporte calórico de aproximadamente 27 Kcal por cada 100 g, en el Cuadro 3 se muestra la composición promedio del cladodio tierno (Hernández Becerra et al., 2022).

Cuadro 3. Composición química del cladodio de nopal (g/100 g)

Componente	Cantidad
Agua	91.7
Proteínas	1.1
Lípidos	0.2
Cenizas	1.3
Fibra	1.1
Carbohidratos	4.6
Ácido ascórbico mg	12.7

El cladodio presenta una variedad de nutrientes, entre ellos los minerales como el calcio que aporta hasta 88 mg por cada 100 g, en cantidades pequeñas se encuentra potasio, hierro, magnesio y sodio. Otros nutrientes presentes son ácido ascórbico con aproximadamente 12.7 mg por cada 100 g (González-Gaona et al., 2024; Hernández Becerra et al., 2022).

2.9.1.3 Compuestos bioactivos y propiedades funcionales

Los principales componentes de los cladodios son polímeros que contienen carbohidratos, principalmente mucílago, un hidrocoloide formado de azúcares como arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa, ácido urónico y ácido acturónico. Este mucílago tiene la capacidad para retener agua formando geles, resultando atractivo tanto para farmacéutica cómo alimentaria (Hernández Becerra et al., 2022). Los efectos funcionales del cladodio son hipoglucemiante, anticancerígeno, antiinflamatorio y cardioprotector, esta funcionalidad se le atribuye al contenido de fibra soluble y antioxidantes como polifenoles (ácidos fenólicos y flavonoides) (Ponce-Luna et al., 2024).

2.9.2 Chía (*Salvia hispanica*)

2.9.2.1 Origen y características botánicas

Salvia hispánica mejor conocida como chía, es una especie originaria de Mesoamérica, que va desde el centro-oeste de México y llega hasta Guatemala (Derewiaka et al., 2019). Históricamente fue una semilla muy valorada ya que era utilizada para ceremonias, como medicamento, pintura y alimento nutritivo, pero con la llegada de los españoles fue desplazada

junto con el amaranto y quinua, en las últimas décadas ha cobrado relevancia gracias a las tradiciones preservadas por los descendientes de los mayas y nahua (Ayerza & Coates, 2005; Copado, 2020). La chía es una planta anual que pertenece a la familia Lamiaceae, crece en condiciones subtropicales, es capaz de crecer en suelos poco nutritivos y resiste sequías moderadas, también es una planta heliófila haciéndola resistente a los rayos del sol, pero puede adaptarse a la sombra, su crecimiento puede alcanzar una altura de hasta 1.5 m, tiene un tallo ramificado, hojas ovaladas con bordes aserrados, las flores se encuentran en forma de ramillete de 6 o más flores, estas son hermafroditas lo cual la hace una planta autofertilizante mejorando la producción, y se encuentran de color púrpura, azul y blanco. Las semillas obtenidas de estas plantas son pequeñas, suaves y ovaladas compuestas de tres capas: epidérmica, subepidérmica y endospermo esta última compone cerca del 80% de la semilla, las hay de color negro, grises, marrones o blancas. Otra característica de interés en la semilla es el mucílago que se forma al contacto con el agua, cubriendo a la semilla de una cápsula transparente (Zare et al., 2024).

2.9.2.2 Perfil nutricional

La semilla de esta planta es rica en ácidos grasos, alcanzando hasta el 40% de su composición, el de mayor presencia es el ácido α -linolénico (omega 3) con más del 60% y ácido linoleico (omega 6) con un 20%, el aporte de ácidos grasos de la semilla es mayor en comparación al salmón. Por otro lado, también aporta más del 25% de fibra. También aporta antioxidantes, proteínas, minerales como: calcio, magnesio, potasio, hierro, selenio y vitaminas principalmente las del complejo B como niacina (Portuguez-Maurtua et al., 2020). En el Cuadro 4 se observa la composición química de la semilla.

Cuadro 4. Composición química de la chía (g/100 g)

Componente	Cantidad
Lípidos	33.4
Ácido α -linolénico (ALA)	22.2
Fibra	28.3
Proteínas	17.2
Cenizas	0.41
Carbohidratos	44

2.9.2.3 Propiedades funcionales y beneficios para la salud

El ácido α -linolénico (omega-3) representa cerca del 68% de los ácidos grasos presentes en la semilla, estos ácidos grasos poliinsaturados no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano, por tanto, deben ser consumidos a través de la dieta. Estos ácidos poliinsaturados tienen funciones como el desarrollo neuronal, intervienen en la función visual y es un excelente neuroprotector (Derewiaka et al., 2019). El aceite extraído de esta semilla tiene cantidades relevantes de tocoferoles, estos muestran una asociación positiva junto con los omegas favoreciendo la protección contra enfermedades. Además de ser un alimento rico en ácidos grasos, la semilla también contiene compuestos fenólicos que superan a cereales como maíz y trigo, estos antioxidantes le atribuyen funcionalidad que ayudan a proteger al organismo de enfermedades degenerativas como cáncer (González-Lucas, 2021; Zare et al., 2024). La semilla al ser hidratada libera un polisacárido hidrocoloide llamado mucílago y le da características de interés en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, el consumo de este mucílago puede generar un efecto reductor de glucemia en sangre tanto en personas sanas como en personas con diabetes, otro efecto que se le puede atribuir es la pérdida de peso ya que el consumo de la semilla genera mayor saciedad (Brissette et al., 2013). La integración de este alimento en tecnologías de procesamiento como aditivo natural podría aportar características funcionales. Los componentes nutritivos y funcionales de la semilla de chía dan efectos benéficos para la salud de los consumidores. Son excelente fuente de proteína, fibra y antioxidantes (Portuguez-Maurtua et al., 2020), los que se pueden encontrar en las semillas son flavonoles (quercetina y kaempferol), ácido rosmarínico, ácidos cinámicos (ácido cafeico y ácido clorogénico) lo cual le da propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y neuroprotectoras ayudando a prevenir ENT (Copado, 2020).

2.9.3 Xoconostle (*Opuntia spp.*)

El xoconostle es una especie que se puede encontrar en diferentes condiciones ambientales, significa que puede adaptarse a sequías y bajas temperaturas, existen alrededor de 21 especies en México (Buenrostro-Pérez et al., 2020; Gutiérrez-Rojas et al., 2022). El xoconostle es una baya compuesta por 3 partes, una de ellas es el epicarpio, cáscara, la pulpa es el mesocarpio y la parte de las semillas que están unidas por una estructura mucilaginosa llamada endocarpio (Aguilar-Morales, 2012).

2.9.3.1 Composición química y contenido de antioxidantes

En el Cuadro 5 se puede observar la composición química del xoconostle con un alto aporte de agua alcanzando hasta el 90%, también destaca por ser un fruto rico en ácido ascórbico con un aporte de 60 mg por cada 100 g. Además, contiene fibra, minerales, compuestos fenólicos, betalainas y ácidos orgánicos, estos últimos relacionados con su beneficio para la salud como hipoglucemiantes, hipolipídicos y propiedades antioxidantes (Aguilar-Morales, 2012; Gutiérrez-Rojas et al., 2022). El xoconostle tiene una amplia diversidad de usos, desde la producción de alimentos procesados, propiedades medicinales, terapéuticas, antioxidantes y nutricionales (Gutiérrez-Rojas et al., 2022)

Cuadro 5. Composición química del xoconostle (g/100 g)

Componente	Cantidad
Agua	86-90
Proteínas	0.5
Lípidos	0.3-1
Cenizas	1-1.8
Carbohidratos	6.9- 11.3
Ácido ascórbico mg	60

2.9.4 Aguamiel (*Agave salmiana*)

La savia de maguey mejor conocida como aguamiel, es un líquido ligeramente turbio, espeso, con sabor muy dulce, en ocasiones puede ser ligeramente ácido (Escalante et al., 2016). El aguamiel es extraído del maguey y específicamente del maguey pulquero (*Agave salmiana*). Para iniciar la extracción, la planta debe estar madura, con una edad de entre 8 a 10 años, las hojas centrales de la planta son retiradas, en el centro queda una cavidad llamada “cajete” se hace un raspado en las paredes y se tapa la cavidad con una piedra o con las hojas de la planta, se deja reposar y en la cavidad se comienza a acumular el aguamiel (Castañeda-Ovando et al., 2023; Valdivieso-Solís et al., 2021). El maguey es capaz de producir de 4 a 6 L de aguamiel al día, y produce hasta 1000 L en la vida útil del maguey, la planta puede estar produciendo

aguamiel de 3 a 6 meses y después la planta muere (Escalante et al., 2016). Este producto, derivado del raspado del maguey pulquero, tiene como principales zonas de producción los estados de Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala. El aguamiel se puede clasificar en dos tipos, la tipo I tiene un pH de entre 6.6 a 7.5, azúcares reductores totales de 8 a 12 g/100 mL, proteínas de 300 a 600 mg/ 100mL, cenizas de 300 a 450 mg/100 mL y una acidez de 0.90 a 1.03 mg/ 100 mL, este tipo de aguamiel se caracteriza por ser de mayor calidad, mientras que el aguamiel tipo II suele ser de menor calidad con un pH de 4.5, azúcares reductores totales de 6g/100 mL, proteínas de 100 mg/100 mL, cenizas de 180 mg/100 mL y una acidez no mayor a 4 mg/100 mL. Cualquier tipo de aguamiel no debe presentar fermentación (Valdivieso-Solís et al., 2021).

2.9.4.1 Características funcionales

El principal uso de aguamiel es como materia prima para el pulque, pero sus características pueden aprovecharse para otros usos, la riqueza de fructanos de aguamiel le dan propiedades prebióticas. La funcionalidad de los fructanos participa en la actividad de la microbiota intestinal, ésta también ayuda a mejorar la absorción de minerales como calcio, magnesio y hierro (Castañeda-Ovando et al., 2023). Los fructooligosacáridos son compuestos presentes en el aguamiel, estos son fermentables en el colon humano, como resultado se producen ácidos grasos de cadena corta, que ayudan a disminuir lípidos en sangre, así como glucosa. Además, reduce las lesiones gástricas. Las saponinas del aguamiel son compuestos con efectos benéficos los cuales destacan los antiinflamatorios, actividad anti-obesidad, reducen el colesterol en sangre, ayuda el control de peso. Los compuestos fenólicos también se pueden encontrar en el aguamiel, ayudan a la reducción de radicales libres previniendo el riesgo a sufrir enfermedades como cáncer de colon (Chagua et al., 2020).

2.10 Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1

La actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010 tiene como prioridad aminorar los problemas de salud como enfermedades no transmisibles causadas por el alto consumo de alimentos procesados. La norma establece los lineamientos para la elaboración y comercialización de alimentos y bebidas no alcohólicas destinados al consumo humano en México. Esta norma es de importancia para garantizar la calidad y seguridad de los productos

alimenticios. Además, presenta un sistema de advertencia frontal donde indica el contenido de exceso de azúcares, grasas saturadas, grasas trans, sodio y calorías para ayudar al consumidor a mejorar la decisión de la elección de alimentos. Esta información es clara y precisa ya que promueve una alimentación más saludable y protección al consumidor. Esta norma ha impactado significativamente en la industria, el efecto ha sido la reformulación de productos cumpliendo con los requisitos del nuevo etiquetado, así como reducir ciertos ingredientes perjudiciales e incorporando ingredientes más saludables.

2.11 Importancia sensorial y aceptación del consumidor

La evaluación sensorial es una ciencia que permite evaluar la calidad y agrado de nuevos productos mediante pruebas hedónicas o de aceptabilidad. Estos datos nos permiten analizar e interpretar las características de un alimento (Cueva et al., 2023). Esta evaluación consta de tres pasos, el primero es el estímulo (color, olor, sabor, textura) que llega a los sentidos y genera señales al cerebro, el segundo paso es cuando el cerebro interpreta esas señales con base a experiencias pasadas y por último, el consumidor responde cómo percibe el estímulo (dulce, ácido, agrio, suave, grumoso, etc). Para el diseño de las pruebas debe tomarse en cuenta varios factores, el propósito del estudio, que prueba se desea realizar, que tipo de participantes se necesitan, por ejemplo, jueces entrenados o consumidores no entrenados, también es importante las características que debe cumplir la muestra desde el tamaño de la porción, la temperatura o como se presenta. Otro punto para tomar en cuenta son las condiciones de la evaluación, las muestras deben ser codificadas, presentarse de forma aleatoria y en algunos casos es necesario limpiar el paladar entre el consumo de las muestras. El lugar dónde se realiza la evaluación puede variar según el estudio, estos pueden ser en laboratorios especializados o en supermercados, cualquiera que sea el lugar se debe tener las condiciones controladas para garantizar los resultados (Severiano-Pérez, 2019). En el Cuadro 6 se puede observar la clasificación del tipo de pruebas analíticas y afectivas (Manfugás, 2007).

Cuadro 6. Clasificación de evaluación sensorial

Analíticas	Jueces entrenados	Pruebas de umbral	Determinan los límites mínimos o máximos de un estímulo
		Pruebas discriminativas	Evalúa diferencias sensoriales

Afectivas	Consumidores no entrenados		perceptibles entre dos o más muestras
		Pruebas descriptivas	Describen detalladamente los atributos sensoriales
		Aceptación	Evalúa la disposición del consumidor de comprar o consumir el producto
		Nivel de agrado	Evalúa el gusto o desagrado que genera un alimento y puede medirse mediante escalas hedónicas
		Preferencia	Permiten conocer cuál de dos o más muestras es más apreciada por el consumidor

La importancia de estas evaluaciones es que permite conocer cómo es percibido el producto por los consumidores como sabor, color, olor, textura, esta información permite mejorar formulaciones y asegurar la aceptación en el mercado (Severiano-Pérez, 2019).

2.12 Evaluación nutricional de alimentos y mermeladas

La identificación de los compuestos presentes en los alimentos puede realizarse mediante una amplia variedad de técnicas analíticas. La elección de la metodología adecuada depende tanto de la propiedad específica que se desea evaluar como el tipo de alimento y del objetivo del análisis. La información obtenida a través de estas técnicas resulta fundamental para valorar la calidad de los productos, así como para garantizar la seguridad y su aporte nutricional (Fon et al., 2019). En el caso de las mermeladas, la evaluación nutricional incluye parámetros como el contenido de azúcares, fibra, minerales y compuestos bioactivos, los cuales pueden determinarse mediante métodos instrumentales como cromatografía líquida de alta resolución (HPLC),

espectroscopía infrarroja y análisis proximales. Estudios recientes han demostrado que la reducción de azúcares y la incorporación de ingredientes funcionales, como microalgas o edulcorantes naturales, pueden mejorar el perfil nutricional y sensorial de las mermeladas (Uribe-Wandurraga et al., 2021). Estos enfoques permiten establecer la calidad del producto y su potencial como alimento funcional dentro de una dieta equilibrada.

2.13 Análisis proximal

En los alimentos, la humedad representa el contenido de agua que estos contienen, el cual puede variar entre un 65% y un 90%, dependiendo del tipo de producto. Este parámetro influye en la estabilidad y deterioro de un alimento; a mayor humedad, mayor probabilidad de deterioro. La proteína cruda es otro componente esencial debido a su función estructural y metabólica en el organismo. Para determinar el contenido de este en un alimento se puede utilizar el método Kjeldahl, que estima el contenido de nitrógeno total presente en la muestra, se calcula el porcentaje de proteína del alimento. En cuanto a los lípidos, su determinación se realiza mediante el método Soxhlet, esta técnica de extracción utiliza un disolvente orgánico para separar las grasas de la muestra. Las cenizas representan el contenido inorgánico de un alimento, son los minerales presentes y se obtienen como residuo tras la calcinación de la muestra lo que permite conocer la proporción mineral del alimento. Por último, la fibra se determina por un método gravimétrico que cuantifica la fracción menos digerible de los alimentos. (UNAM, 2011).

2.14 Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de nutrientes

2.14.1 Definiciones

La bioaccesibilidad se puede definir como la fracción liberada de una matriz alimentaria que queda disponible para su absorción. Por otro lado, biodisponibilidad se refiere a la fracción alimentaria que realmente es absorbida por las células epiteliales, también puede entenderse como los componentes de un alimento que llegan al torrente sanguíneo (Santos et al., 2019).

2.14.2 Diferencias entre bioaccesibilidad y biodisponibilidad

Comprender estos conceptos permite distinguir mejor sus diferencias. La bioaccesibilidad está relacionada con la digestión del alimento, mientras que la biodisponibilidad involucra el

metabolismo de los compuestos (González-Lucas, 2021). Otra diferencia radica en su método de determinación: la bioaccesibilidad se evalúa mediante estudios *in vitro* que simulan la digestión del alimento, mientras que la biodisponibilidad se mide a través de marcadores biológicos, como muestras de sangre o tejido (Santos et al., 2019)

2.14. 3 Factores que afectan la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos funcionales

Hay una variedad de factores que afectan la bioaccesibilidad de forma positiva o negativa como pueden ser los siguientes puntos: (Barrios-Silva & Bravo-Muños, 2020)

- Solubilidad
- Estabilidad
- Estructura química del compuesto bioactivo
- Interacción con otros compuestos
- Metabolismo y absorción de cada individuo
- El consumo de otros alimentos y su interacción (competencia de absorción)
- Procesamiento de los alimentos (tratamientos térmicos, liofilización, almacenamiento)

La bioaccesibilidad suele verse condicionada por la matriz alimentaria, específicamente el contenido de fibra y la interacción con otros compuestos del alimento. Por otro lado, la biodisponibilidad puede verse modificada por factores como la presencia de inhibidores o promotores de absorción (Quirós-Sauceda et al., 2016).

2.14.4 Importancia de la digestión simulada *in vitro*

El proceso de digestión consiste en la degradación de partículas grandes y complejas a unidades monoméricas y asimilables, en este proceso se ven involucrados órganos, enzimas, hormonas y microorganismos presentes en la microbiota intestinal. Entender este proceso permite adquirir conocimiento científico del comportamiento de nutrientes y compuestos bioactivos. Si bien, aplicar metodologías *in vivo* para determinar la bioaccesibilidad y biodisponibilidad arrojando más información, estas técnicas tienen desventajas como los altos costos y limitaciones éticas. Por ello, las metodologías *in vitro* son una alternativa útil para obtener información confiable y

ventajas como la rapidez de su aplicación, bajo costo y sin limitaciones éticas (González-Lucas, 2021).

2.15.5 Métodos de digestión gastrointestinal *in vitro*

Existen dos métodos de digestión *in vitro*:

Estático: Este modelo replica las condiciones de la digestión humana de forma controlada, se utilizan soluciones para la simulación. Se incluyen las 3 fases, oral (saliva y α -amilasa), gástrica (pepsina y ácido clorhídrico) y por último la fase intestinal (pancreatina y bilis). Para medir la bioaccesibilidad de compuestos se pueden usar dos métodos: solubilidad que analiza lo que se disuelve en el sobrenadante después de la centrifuga y la dializabilidad que utiliza una membrana y mide lo que atraviesa la membrana, en ambos casos los compuestos se pueden medir con espectrofotometría o cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). InfoGest es un modelo estático estandarizado para simular la digestión humana: de igual manera se divide en tres etapas, la fase oral utiliza una mezcla de líquido salival simulado y amilasa salival, la duración de esta fase es de 2 min a un pH de 7. La segunda fase es la gástrica con un tiempo de exposición de 120 min, se incorpora pepsina y jugo gástrico simulado para obtener un pH de 3. La fase intestinal tiene una duración de 120 min con un pH de 7, se utiliza una mezcla de líquido intestinal simulado con enzimas (tripsina, quimotripsina, lipasa, colipasa, amilasa, bilis) o extracto pancreático (Barrios-Silva & Bravo-Muños, 2020)

Dinámico: Este modelo simula la digestión de manera más controlada, este modelo incluye factores como el vaciamiento gástrico, la secreción de enzimas y el movimiento peristáltico. Se monitorea constantemente el pH. Este modelo es más controlado, pero presenta desventajas como la adquisición de equipos y el proceso es más técnico (Santos et al., 2019). Los modelos TIM (TNO Gastrointestinal Model) y SHIME (Simulator of Human Intestinal Microbial Ecosystem) son dos ejemplos del modelo dinámico (Barrios-Silva & Bravo-Muños, 2020).

3 JUSTIFICACIÓN

Un factor determinante de enfermedades metabólicas como la Diabetes Mellitus o cardiovasculares es la obesidad. Por ello se sugiere el desarrollo de tecnologías innovadoras y producción de nuevos alimentos que incorporen ingredientes funcionales que mejoren la salud humana. La actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010 sobre etiquetado de alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados establecen regulaciones para advertir al consumidor sobre el exceso de calorías, grasas, azúcares y sodio en los productos. En este contexto, el desarrollo de nuevos alimentos con menor contenido calórico y sin adición de sacarosa se presenta como una alternativa para reducir o evitar sellos de advertencia, contribuyendo así a una alimentación más saludable para el consumidor. La formulación y evaluación de una mermelada a base de nopal, aguamiel, chía y diferentes concentraciones de xoconostle, un producto diseñado para ofrecer un perfil nutricional más equilibrado y acorde con las tendencias actuales de alimentación saludable. A través de la caracterización de sus propiedades nutricionales, físicoquímicas, sensorial y bioaccesibilidad *in vitro*, se busca generar un alimento innovador que cumpla con la normativa vigente y fomente el desarrollo de productos con mayor calidad nutricional en el mercado.

4 HIPÓTESIS

La adición de diferentes componentes funcionales naturales como nopal, aguamiel, xoconostle y chía en la elaboración de una mermelada mejora significativamente las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y la bioaccesibilidad *in vitro*.

5 OBJETIVOS

5.1 General

Caracterizar una mermelada funcional a base de nopal, aguamiel, harina de chía con diferentes concentraciones de xoconostle mediante análisis de propiedades fisicoquímicas, químico-proximal, microbiológico, sensorial, actividad antioxidante bioaccesibilidad *in vitro*.

5.2 Específicos

- Formular una mermelada a base de nopal, aguamiel, harina de chía y diferentes concentraciones de xoconostle (1%, 2%, 3%).
- Determinar las características fisicoquímicas (pH, acidez, a_w , textura y color), análisis químico proximal (humedad, cenizas, grasa, fibra cruda y proteína), azúcares reductores en las formulaciones de las mermeladas.
- Evaluar la calidad microbiológica mediante la cuantificación de microorganismos mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras en diferentes formulaciones de mermeladas, con el fin de determinar su vida útil.
- Establecer el grado de aceptación de las mermeladas mediante una prueba hedónica con consumidores no entrenados.
- Evaluar la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP), compuestos fenólicos y la bioaccesibilidad intestinal *in vitro* de la mermelada con mejor aceptabilidad sensorial.

6 METODOLOGÍA

6.1 Selección de la materia prima

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) y xoconostle (*Opuntia spp.*) fueron recolectados en invernaderos con condiciones controladas localizados en La Esperanza, Cuauhtepic de Hinojosa, Hidalgo (20.06902 °N y 98.31803 °O). El aguamiel se recolectó de Singuilucan, Hidalgo, (19.96757 °N y 98.51858 °O) y la chía (*Salvia hispánica*) se adquirió mediante proveedores comerciales.

6.2 Elaboración de la mermelada control

En el Cuadro 7 se muestra la formulación de la mermelada control, se elaboró con nopal, aguamiel, chía y ácido cítrico. El nopal se coció a 92 °C por 5 min en agua y ácido cítrico, una vez cocido se molió hasta obtener una pulpa homogénea. Por otro lado, el aguamiel se calentó (92 °C) hasta obtener 38 °Brix, una vez obtenida esta concentración se añadió la pulpa de nopal, la harina de chía y se continuó calentando a 92 °C hasta obtener una concentración de 58 °Brix (Gutiérrez-Fernández, 2018).

Cuadro 7. Porciones utilizadas de materia prima para la elaboración de la mermelada control (%).

Ingrediente	Porción
Nopal	96.6
Chía	3
Ácido cítrico	0.4

Adicionado con limón para acidificar
Adición de aguamiel (38 °Brix)

6.3 Elaboración de tratamientos

Para los tratamientos se utilizó nopal, aguamiel, harina de chía y diferentes concentraciones de xoconostle, en el Cuadro 8 se muestran las porciones de la materia prima.

Cuadro 8. Formulación de mermeladas a diferentes concentraciones de xoconostle (%)

Tratamientos	Nopal	Harina Chía	Xoconostle
T1	96	3	1
T2	95	3	2
T3	94	3	3

Adición de aguamiel (38 °Brix)

Para la preparación se seleccionaron cladodios de nopal con una longitud de aproximadamente 9 cm, cumpliendo con la madurez deseada para este proyecto. Después los nopales se picaron y cocieron a una temperatura de 92 °C por 5 min. Una vez cocidos se licuaron hasta obtener una pulpa homogénea. Se retiró la cáscara y la semilla del xoconostle, de igual forma se molió por 2 min. El aguamiel se filtró para eliminar cualquier impureza utilizando una tela manta de cielo, una vez filtrado se realizó la concentración del líquido hasta obtener 38 °Brix calentando a una temperatura de 92 °C, lograda la concentración del aguamiel se incorporó el resto de los ingredientes, pulpa de nopal, harina de chía y pulpa de xoconostle a diferentes concentraciones. El calentamiento de la mezcla continuó hasta alcanzar una concentración final de 58 °Brix, la mezcla se envasó y se sometió a esterilización (Gutiérrez-Fernández, 2018).

6.4 Características fisicoquímicas

Los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado en la materia prima (xoconostle y nopal) y los tratamientos de las mermeladas (T1, T2 y T3) incluyendo el control (T0).

6.4.1 pH

La medición de pH se llevó a cabo utilizando un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 7 a temperatura ambiente. Para cada muestra, se pesaron 10 g y se colocaron en vasos de precipitado, donde se realizó la lectura correspondiente. Entre cada medición, el electrodo se enjuagó con agua destilada para evitar contaminación (Suárez-Machín et al., 2016).

6.4.2 Acidez titulable

La acidez titulable hace referencia a la presencia de ácidos orgánicos libres en una muestra y se determina por medio de una reacción donde se neutraliza una solución básica. La acidez titulable de las mermeladas se calculó y reportó en términos de porcentaje de ácido cítrico. Para el análisis, se disolvió 2 g de la muestra en 25 mL de agua destilada y se añadieron 2 gotas de fenolftaleína como indicador. La titulación se llevó a cabo utilizando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a 0.1 N hasta observar que la solución viró a rosa pálido.

El cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

(1)

$$\% \text{ Ácido Cítico} = \frac{G \times N \times meq \times Vol\ total}{P \times A} \times 100$$

Donde:

G: mL NaOH 0.1 N usados en la titulación

N: normalidad química de NaOH

meq: miliequivalente de ácido cítrico

P: peso de la muestra utilizada (g)

A: alícuota del jugo (mL)

Vol total: volumen total

6.4.3 Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) es la cantidad de agua libre presente en un alimento, es agua disponible que puede estar relacionada para el desarrollo de microorganismos, textura o reacciones químicas. El valor mínimo es de cero y máximo de 1, el valor más alto refiere mayor actividad de agua. Para su determinación se utilizó el medidor Aqualab, Para la determinación se utilizó aproximadamente 5 g de muestra donde se colocaron dentro de cápsulas, estas fueron colocadas en el equipo y se procedió a su lectura, la prueba se realizó en todas las muestras (T0: Control, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%) por quintuplicado.

6.4.4 Textura

El perfil de textura se realizó con un texturómetro marca Brookfield modelo CT3-4500, el análisis se realizó por quintuplicado en todas las muestras de mermelada (T0: Control, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%), se utilizó una sonda de cono hembra y macho, se realizó una compresión de un solo ciclo, las condiciones de carga y velocidad fueron de 4.5 kg a 1 mm/s. Para preparación de las muestras, se llenó el cono sonda hembra con una espátula y nivelando toda la superficie asegurándose que estuviera libre de burbujas, esta sonda quedo fija en el soporte, la sonda cono macho se movió hacia abajo embonando con la sonda hembra a una distancia retorno de 30 mm, Los parámetros registrados fueron: dureza, adhesividad, extensibilidad y resiliencia.

6.4.5 Color

El análisis de color se realizó utilizando un colorímetro LS171, se realizaron 25 lecturas de cada muestra (T0: Control, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%). Se utilizaron 5 g de la muestra y se colocaron en unas sondas y se procedió a su lectura. En la Figura 1 se representa el modelo del sistema de color CIELAB, el eje L mide la luminosidad donde el valor 0 es negro y el valor 100 es blanco, en el eje a* los valores positivos representan colores rojizos y valores negativos reflejan colores verdosos, para el eje b* los valores positivos representan colores amarillentos y los negativos representan colores azulados.

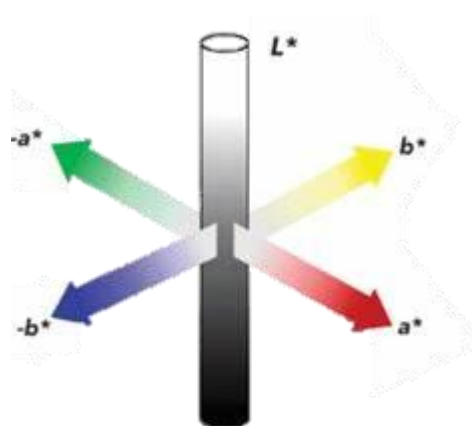


Figura 1. Escala CIELAB

6.5 Análisis químico proximal

Los análisis químicos proximales se realizaron por triplicado en la materia prima (nopal, xoconostle) y en las mermeladas (T0: Control, T1:1%, T2:2% y T3:3%).

6.5.1 Humedad

Todos los alimentos contienen agua en menor o mayor proporción, este contenido oscilará entre el 65% y el 90%. Para la determinación de humedad se utilizó el método 925.49 de la AOAC (2016). En charolas de aluminio (a peso constante) se pesaron 10 g de cada muestra (nopal, xoconostle y tratamientos), y se introdujeron en un horno de secado marca Craft a 105 °C durante 4 h. Transcurrido ese tiempo, se colocaron en un desecador durante 15 min hasta que la charola con la muestra se enfrió, y finalmente se pesaron hasta obtener un peso constante. Con la siguiente formula se determinó el porcentaje de humedad:

(2)

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W1: Peso de la charola más muestra húmeda (g)

W2: Peso de la charola más muestra seca (g)

6.5.2 Cenizas

Las cenizas son el residuo inorgánico que queda después de la calcinación de las muestras. La determinación se realizó de acuerdo con el método 900.02 de la AOAC (2016). Se realizó el pesaje de las muestras (5 g), se utilizaron crisoles de porcelana acondicionados previamente a peso contante. Las muestras se carbonizaron con ayuda de un mechero Bunsen y un triángulo de porcelana, se evitó que la muestra se derramara. Posteriormente, las muestras se calcinaron a 525-550 °C por 4 h en una mufla marca Felisa, FE-261a 525-550 °C, al terminar se verificó que la muestra fuera de color blanco grisáceo. Se dejó enfriar en desecador por 15 min y se pesó cada una de las muestras. El porcentaje de cenizas se determinó con la siguiente fórmula:

(3)

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W1: Peso del crisol más muestra calcinada (g)

W2: Peso del crisol solo (g)

6.5.3 Grasa total

Para la determinación de grasa se siguió el método de Soxhlet 920.75 de la AOAC, (2016) . Se utilizaron vasos Büchi a peso constante y cartuchos de celulosa para cada muestra previamente

secas y libres de humedad. Se empleo como solvente éter de petróleo, y se inició la extracción en el extractor Soxhlet durante 4 h. Una vez terminado la extracción, los vasos Büchi se trasladaron a un desecador para que se enfriaran durante 15 min y se registró su peso final. El porcentaje de grasa cruda se determinó con la siguiente fórmula:

(4)

$$\% \text{ de Grasa cruda} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W1: Peso del vaso Büchi con grasa (g)

W2: Peso del vaso Büchi solo (g)

6.5.4 Fibra cruda

Para la determinación de fibra cruda se siguió el método 930.20 de la AOAC (2018). Se utilizaron las muestras obtenidas de la extracción de grasa y se colocaron en vasos Berzelius. Se añadieron 200 mL de ácido sulfúrico 0.255 N precalentada y el vaso fue colocado en el equipo de determinación de fibra, donde se mantuvo en ebullición durante 30 min, se filtró y se lavó con agua destilada hasta obtener un pH neutro. La muestra filtrada se colocó una vez más en el vaso Berzelius y se le añadieron 200 mL de hidróxido de sodio 0.313 N caliente, la muestra se dejó hervir por 30 min, se filtró y se agregaron 25 mL de ácido sulfúrico 0.255 N y 150 mL de agua caliente. Por último, se añadió 25 mL de alcohol. El residuo obtenido del filtrado se pasó a crisoles y se dejaron secar por 2 h a 130 °C. Las muestras se llevaron a calcinar a 530 °C durante 30 min, se dejó enfriar por 15 min en un desecador y se pesaron. El porcentaje de fibra se determinó con la siguiente fórmula:

(5)

$$\% \text{ de Fibra} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W1: Peso del crisol más muestra seca (g)

W2: Peso del crisol sólo con muestra calcinada (g)

6.5.5 Proteína

La determinación de proteína se realizó de acuerdo con el método de Kjeldahl 970.22 de la AOAC (2018). Se inició el procedimiento con una digestión Kjeldahl. Para la realización de esta, se utilizó 0.5 g de cada muestra (nopal, xoconostle y mermeladas) junto con una pastilla digestora y 15 mL de ácido sulfúrico concentrado (96%). La mezcla se procesó en un digestor Büchi (K-425/K-436). La siguiente etapa se le añadió a la mezcla 20 mL de agua destilada y se transfirió al destilador Büchi K-355. El destilado se recolectó en un matraz con 50 mL de ácido bórico 2% P/V diluido y 2-3 gotas de rojo de metilo como indicador. Para terminar, se realizó una titulación con ácido sulfúrico 0.1 N. El porcentaje de proteína se determinó con las siguientes fórmulas:

(6)

$$\% \text{ de } N = \frac{(ml \text{ gastados})(meq } N)(Normalidad \text{ del } H_2SO_4)}{Peso \text{ real de la muestra}} \times 100$$

(7)

$$\% \text{ de proteína} = (\%N)(Factor \text{ de conversión})$$

6.6 Azúcares reductores directos y totales

Esta determinación se realizó basada en la metodología descrita por Miller (1959). El reactivo ácido 3,5-dinitrosalicílico tiene la función de reaccionar con monosacáridos, cuando reaccionan se torna de tonalidades amarillo a naranja. para la preparación del reactivo DNS se utilizó 100 mL de NaOH (hidróxido de sodio) 2N, en un vaso de precipitado de 1000 mL se diluyó 5 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico, 150 g de tartrato de sodio y potasio, se disolvió perfectamente y se aforó a 500 mL, esta muestra es sensible a la luz por ello se guardó en un frasco ámbar forrado con aluminio. Se realizó una curva patrón a partir de glucosa al 0.2% (2 g en 1000 mL de agua

destilada). Se utilizó 200 mL de glucosa al 0.2% y se diluyó a una concentración de 0.2 g/L a 2.0 g/L. Para la técnica se tomaron 500 µL de cada concentración y 500 µL de DNS, se colocaron en un tubo de ensaye. Los tubos con cada concentración fueron calentados a baño maría a ebullición durante 5 min, se enfriaron en un recipiente con agua y hielo y se le agregó 5 mL de agua destilada, se mezcló en un vortex y se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de 540 nm.

Para la determinación de azúcares reductores totales se pesó 500 µg de cada una de las mermeladas y se colocaron en un tubo de ensayo, se añadió 2.6 mL de agua destilada y 300 µL de HCl a una concentración de 5%, se agitó en un vortex y se calentó a baño maría a 60°C durante 30 min, las muestras se enfriaron en un recipiente con agua y hielos, se ajustó el pH (6-8) con una solución de KOH 3N y se aforó a 15 mL. De estas muestras se tomaron 500 µL y nuevamente se colocaron en un tubo de ensayo, se les agregó 500 µL de DNS y se calentaron a ebullición durante 5 min, se enfriaron, se les agregó agua destilada y se mezcló hasta homogenizar la muestra, se realizaron las lecturas a 540 nm. La determinación se realizó por triplicado en cada muestra.

Para la determinación de azúcares reductores directos, se preparó una dilución de 500 µL de la muestra y 5 mL de agua destilada y se llevaron a un pH de 6-8 con una solución de KOH 3N y se aforó a 10 mL con agua destilada. De la dilución, se tomaron 500 µL para reaccionar con 500 µL de DNS mediante ebullición por 5 min. Una vez fríos los tubos, se diluyeron con 5 mL de agua y se agitaron para homogeneizar. La lectura final se realizó con un espectrofotómetro a 540 nm.

6.7 Calidad microbiológica

6.7.1 Análisis microbiológico

Para la evaluación microbiológica, se utilizaron 3 medios de cultivos (agar MacConkey, Papa Dextrosa y agar para cuenta estándar), se realizaron 3 diluciones (10-1, 10-2, 10-3). Se sembraron las muestras (control, T1, T2, T3), para posteriormente hacer el conteo de UFC. Para estos análisis se realizaron 2 repeticiones.

Basado en la NOM-092-SSA1-1994 para la determinación de mesófilos aerobios se preparó agar cuenta estándar. Las cajas inoculadas con las muestras a diluciones 10-2, 10-3 fueron

incubadas a una temperatura de 35 °C por 48 h y se realizó el conteo manual de UFC. Siguiendo la NOM-112-SSA1-1994 para la determinación de coliformes totales, se preparó un medio de cultivo agar MacConkey. Las cajas inoculadas con las muestras a diluciones 10^{-1} y 10^{-2} , fueron incubadas a 35 °C durante 24 horas, tras lo cual se realizó el conteo manual de UFC. De acuerdo con la NOM-111-SSA1-1994, para la determinación de hongos y levaduras se preparó agar papa dextrosa. Las cajas inoculadas con las muestras a diluciones 10^{-1} y 10^{-2} fueron incubadas a 25 °C durante 5 días, y posteriormente se realizó el conteo manual de UFC.

6.7.2 Vida útil

Para el análisis de vida útil de las mermeladas se hizo un conteo de coliformes, mesófilos aerobios, hongos y levaduras desde el día 0, 7, 14 y 21 días, siguiendo la metodología establecida por las normativas ya descritas (Valdez-Herrera et al., 2022)

6.8 Análisis Sensorial

Se realizó la evaluación sensorial a las 4 mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%), para conocer el nivel de agrado de los consumidores, mediante una prueba de aceptabilidad hedónica, considerando atributos como color, olor, sabor y textura. Se seleccionaron 140 jueces no entrenados, sin restricciones de género y que no presenten alergias a los ingredientes de las muestras. Las muestras fueron preparadas en vasos desechables de 1 oz codificados con números de tres dígitos asignados al azar con 7 g de cada muestra. El análisis se realizó en una aula, con iluminación, cada participante tuvo una estación individual equipada con agua para neutralizar el paladar entre las muestras. Se explico a los participantes el propósito de la prueba. Los jueces recibieron las muestras en orden aleatorio y evaluaron cada una de manera individual calificando los atributos de sabor, olor, color y textura según su percepción personal. A cada uno de los panelistas se les entrego un formato donde indicaron con una “x” el nivel de agrado de cada atributo de la muestra (Figura 2).



Nombre: _____

Fecha: _____ Edad: _____ Sexo: F ☐ M ☐ Lugar de procedencia: _____

Escolaridad: Nivel medio superior ☐ Nivel superior ☐ Otro: _____

Instrucciones: Frente a usted, se encuentran 4 muestras previamente codificadas, comience a evaluar (de izquierda a derecha). Por favor tome agua entre cada muestra. Posteriormente indique con una x que tanto le gusta la muestra.

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

¡Gracias por su participación!

Figura 2. Formato de análisis sensorial

Una vez realizado el análisis sensorial se eligió la mermelada con mayor aceptabilidad (TA) entre los consumidores y se analizó la bioaccesibilidad intestinal *in vitro* de antioxidantes

6.9 Determinación de la capacidad antioxidante

La determinación de ABTS, DPPH, FRAP. se realizó a las muestras control, T1, T2, T3 y la muestra de mejor grado de aceptación por panelistas (fracción bioaccesible de TA).

6.9.1 ABTS •*

El método ABTS se basa en la generación del radical catión ABTS•* caracterizado por un color azul verdoso con una absorbancia máxima de 734 nm. Los compuestos antioxidantes reducen

el radical, disminuyendo la absorbancia, permitiendo cuantificar la capacidad antioxidante de las muestras (Thaipong et al., 2006). La técnica se basa en lo descrito por Kuskoski et al. (2005). El radical catión ABTS•⁺ se realizó con la reacción de ABTS (76.8 mg en 20 mL de agua destilada) 7 mMol con persulfato de potasio (6.6 mg en 10 mL de agua destilada) 2.45 mMol, esta reacción se dejará reposar por 16 h en completa oscuridad. Se diluyó la mezcla para alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 754 nm. Se elaboró una curva de calibración con 3 mg de ácido ascórbico diluidos en 10 mL de agua destilada, realizando concentraciones de 5, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L de cada concentración, se tomó 20 μ L y se añadió ABTS (980 μ L), se mezcló perfectamente y se dejó reposar por 7 min para ser leídos a 754 nm en un espectrofotómetro (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). El blanco utilizado fue agua destilada.

6.9.2 DPPH*

El radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH*) se caracteriza por un color púrpura intenso con una absorbancia de 517 nm, cuando una antioxidante reduce el radical DPPH* se reduce y pierde color como resultado se observan tonalidades amarillas o incoloras (Brand-Williams et al., 1995). Los reactivos se prepararon según lo descrito Morales y Jiménez (2001). Los reactivos utilizados son Trolox (3.75 mg en 50 mL de etanol) y DPPH (7.4 mg en 100 mL de etanol). Se realizó una curva patrón a diferentes concentraciones de Trolox a 0, 50, 100, 200 y 300 μ mol/L. Para la técnica se tomaron 100 μ L de cada concentración y se añadió 500 μ L de DPPH, se homogenizó y se dejó reposar por 1 h, una vez transcurrido el tiempo las muestras fueron leídas por un espectrofotómetro (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA) a 520 nm. El blanco utilizado fue etanol.

6.9.3 FRAP

Esta técnica evalúa la capacidad de un antioxidante de ceder electrones y reducir un ion férrico (Fe^{3+}) a su forma ferrosa (Fe^{2+}). Esta reducción se realiza con Fe^{3+} -TPTZ (tripiridiltriazina) que se caracteriza por una tonalidad ligeramente amarilla, cuando se reduce el color cambia a un azul intenso con una absorbancia máxima a 593nm (Mesa Vanegas A. et al., 2015). Se siguió el procedimiento descrito por Thaipong et al. (2006) el reactivo FRAP 10:1:1 se preparó un tampón de acetatos (0.3 M, pH 3.6), TPTZ y cloruro férrico (20 nM). Se utilizó sulfato ferroso

para la curva patrón con concentraciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 $\mu\text{mol/L}$. Para la técnica se tomó 30 μL de cada concentración y se le añadió 90 μL de agua destilada y 900 μL de FRAP, se mezclaron y se dejarán a baño maría (37 °C) por 10 min, transcurrido el tiempo se realizó la lectura a 593 nm en un espectrofotómetro (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). El blanco utilizado fue agua destilada.

6.9.4 Compuestos fenólicos

El método consiste en la cuantificación de compuestos fenólicos totales, estos reaccionan con un reactivo Folin-Ciocalteu de color amarillo, al reaccionar con grupos fenólicos cambia a tonalidades azulados. Basado en la metodología de Stintzing et al. (2005) se preparó carbonato de sodio al 7.5%, solución Folin-ciocalteu 1:10 y ácido gálico (7.5 mg en 25 mL de agua destilada). Se realizó la curva patrón en concentraciones 0, 100, 200 y 300 con ácido gálico y agua destilada. Se efectuó la técnica con 100 μL de cada concentración, 500 μL de Folin-ciocalteu y 400 μL de carbonato de sodio. Se homogenizo y reposo por 30 min. Después se realizó la lectura a 765 nm, se utilizó agua destilada como blanco.

6.10 Bioaccesibilidad intestinal *in vitro* de antioxidantes y compuestos bioactivos

El modelo aplicado fue descrito por Trinidad et al. (1996), con algunas modificaciones (Ramírez-Moreno et al., 2018)

Fase 1: Digestión intraluminal

Se pesó 500 mg de la muestra (T1:1%), se agregó 20 mL de agua destilada, se agito con un vortex y se ajustó el pH a 2 con HCl 6 M. Se añadió 120 μL de pepsina, se mezcló y colocó en la incubadora con agitación de 60 rpm por 2 h a 37 °C.

Fase 2: Simulación de la absorción abdominal.

Para la fase 2 se preparó una mezcla de bilis-pancreática donde se utilizó 5 mg de pancreatina, 12.5 mg de colato de sodio y 12.5 mg de desoxicolato de sodio en 1 mL de NaHCO_3 0.1 M. Una vez transcurrido las 2 h, a la muestra se le añadió 1.5 mL de bilis-pancreática y se homogenizo. La mezcla se colocó en membranas de diálisis, dentro de una solución de NaHCO_3 , se incubaron nuevamente durante 16 h a 37 °C con una agitación de 60 rpm. La fracción bioaccesible se utilizó para la determinación de antioxidantes y compuestos bioactivos.

6.11 Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar, procesando los datos a través de un análisis de varianza ANOVA y método Tukey con un intervalo de confianza de 95% ($p \leq 0.05$) para determinar las diferencias significativas de las distintas formulaciones. El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Elaboración de mermelada control

Las mermeladas elaboradas a base de nopal, chía, aguamiel a diferentes concentraciones de xoconostle (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%) se observan en la Figura 3.

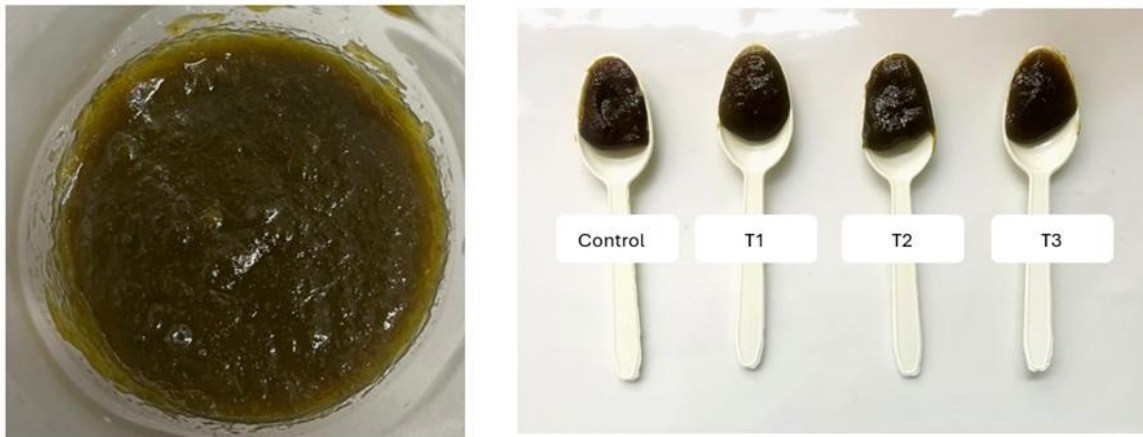


Figura 3. Mermeladas a base de nopal a diferentes concentraciones de xoconostle (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%).

7.2 Análisis fisicoquímicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%)

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de acidez de las mermeladas. Al realizar la comparación de pH de todas las mermeladas se observó que el nivel más bajo fue de la muestra control (4.91 ± 0.01), mostrando diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, esta diferencia puede atribuirse a la composición de la formulación, ya que en la mermelada control se incorporó jugo de limón conforme a la formulación original. El limón, con un pH de 2, contribuye significativamente al aumento de la acidez en este tratamiento, lo que explica su comportamiento distinto en comparación con las demás formulaciones (Rodríguez-Arzave et al., 2020). La evaluación de estos parámetros es importante para la

elaboración de las mermeladas, ya que al aumentar la acidez y disminuir el pH se crean las condiciones poco óptimas para el desarrollo de microorganismos garantizando la seguridad del alimento (Calvache-Álvarez et al., 2016). En el análisis de acidez se observó que la mermelada control mostró una acidez mayor en comparación con las demás, las cuales presentaron porcentajes más bajos. Se observa diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, esto se relaciona con la cantidad de xoconostle añadido, ya que la acidez tiende a aumentar mientras aumenta la concentración del fruto. Este comportamiento se le puede atribuir a la presencia de ácido cítrico en el xoconostle. Por ello, los niveles de acidez detectados en los distintos tratamientos están asociados al fruto (Filardo-Kerstupp et al., 2010).

Se observa diferencias significativas de a_w en la muestra control (0.83 ± 0.00) con respecto a los demás tratamientos, el tratamiento 3 presentó valores por debajo de 0.86 lo cual representa un menor riesgo de contaminación microbiana, los resultados de los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias entre sí y muestran una a_w de 0.87. Estos valores son similares a los reportados por Cutia Chucuri (2024) donde realizó una mermelada de zanahoria endulzada con miel de abeja. En general, los valores de a_w entre 0.83 y 0.87, junto con la acidez de la mermelada y su contenido de azúcares, favorecen la seguridad microbiológica del producto al limitar el crecimiento de microorganismos patógenos (Badui, 2010).

Cuadro 9. Resultados de los análisis fisicoquímicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%).

	Control	T1	T2	T3
pH	4.91 ± 0.01^a	5.65 ± 0.4^b	5.4 ± 0.19^b	5.39 ± 0.06^b
%Acidez	1.23 ± 0.01^d	0.48 ± 0.01^a	0.58 ± 0.00^b	0.65 ± 0.01^c
a_w	0.83 ± 0.00^b	0.87 ± 0.00^c	0.87 ± 0.00^c	0.82 ± 0.00^a

(a, b, c, d indican que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

7.3 Textura

La textura de las mermeladas se evaluó a través de propiedades de dureza, adhesividad, extensibilidad y resiliencia. En el Cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos para cada parámetro. En cuanto a la dureza se observan valores de 0.38 a 0.56 N. El tratamiento 2 mostró el valor más bajo (0.38 ± 0.03 N), seguido del tratamiento 1 (0.43 ± 0.03 N) sin diferencias

significativas entre ambos ($p \leq 0.05$). El tratamiento 3 presentó el valor más alto (0.56 ± 0.01 N) presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a los tratamientos 1 y 2. La muestra control tuvo un valor de (0.49 ± 0.07 N) sin diferencias significativas con tratamiento 1 y 3. Los resultados sugieren que el tratamiento 3 posee una mayor dureza. Este incremento puede estar relacionado con la a_w , esta actividad influye directamente en la textura de las mermeladas. Una menor a_w favorece las interacciones entre pectinas y azúcares, lo que contribuye a la formación de geles más firmes (Badui, 2010).

La adhesividad está asociada a la “pegajosidad”, a menor adherencia a las superficies menos pegajosas son las mermeladas, los valores del tratamiento 1 (0.000888 ± 0.00 mJ) y tratamiento 2 (0.000858 ± 0.00 mJ) no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) y mostraron valores más bajos de adhesividad. Por otro lado, la mermelada control y tratamiento 3 registraron valores más altos (0.00117 ± 0.00 y 0.001134 ± 0.00 mJ) esta sugiere mayor pegajosidad, esto puede deberse a la proporción de azúcar respecto al agua, generando una textura más adherente (Lema-González, 2022). En cuanto a la extensibilidad que determina cuánto puede estirarse la muestra antes de romperse, ningún tratamiento mostró diferencias significativas, esto significa que la adición de los diferentes porcentajes de xoconostle no influyó. Los valores obtenidos en la propiedad de resiliencia indican que el tratamiento 2 presentó el valor más alto (0.052 ± 0.01) diferenciándose significativamente de la mermelada control y el tratamiento 3 (0.032 ± 0.01 y 0.02 ± 0.01). Estos resultados indican que las concentraciones 1 y 2% de xoconostle generan un equilibrio favorable entre firmeza, elasticidad y adhesividad, concentraciones mayores pueden aumentar la rigidez de la mermelada.

Cuadro 10. Análisis de perfil de textura en las diferentes mermeladas

	Dureza (N)	Adhesividad (mJ)	Extensibilidad (mm)	Resiliencia
Control	0.49 ± 0.07^{bc}	0.0011 ± 0.00^b	1.53 ± 0.44^a	0.03 ± 0.01^{ab}
T1	0.43 ± 0.05^{ab}	0.0008 ± 0.00^a	1.40 ± 0.16^a	0.04 ± 0.01^{ab}
T2	0.38 ± 0.03^a	0.0008 ± 0.00^a	1.66 ± 0.25^a	0.05 ± 0.01^b
T3	0.56 ± 0.01^c	0.0011 ± 0.00^b	1.52 ± 0.16^a	0.02 ± 0.01^a

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

De acuerdo con Gutiérrez Fernández (2018)), quien evaluó una mermelada elaborada con nopal, agua y chíá en diferentes concentraciones, se reportaron valores de adhesividad de 0.34 ± 0.06

mJ, extensibilidad de 1.21 ± 0.31 mm y resiliencia de 0.03 ± 0.004 para la formulación con 3 % de chíá. Estos valores son similares con los obtenidos con el presente estudio, principalmente las características de extensibilidad y resiliencia, lo cual podría sugerir un comportamiento estructural similar entre ambas fórmulas.

7.4 Color

El color es un atributo de importancia en un alimento, este influye en la percepción de los consumidores anticipando las expectativas de sabor y calidad (Lema-Gonzalez, 2022). En el Cuadro 11 se puede observar los resultados obtenidos en el análisis de color de las mermeladas. En el eje L (luminosidad) la mermelada control y T3 no mostraron diferencias significativas con valores de 29.86 y 29.80 respectivamente, estos resultados son menores a los obtenidos en el T1 y T2 (31.30 ± 0.46 y 31.67 ± 0.69), lo que indica que estos dos últimos son más claros, considerando que 0 representa el negro y 100 el blanco (Talens Oliag, 2017). Las tonalidades más oscuras pueden estar relacionadas a las reacciones oxidativas desarrolladas durante el proceso de cocción y almacenamiento. En el eje a^* se detectó tonalidades rojizas (valores positivos) o tonalidades verdes (valores negativos), se observan diferencias significativas entre las mermeladas. En la mermelada control presento el valor más alto (2.68 ± 0.28) seguida por T2 (2.10 ± 0.47) y T1 (1.76 ± 0.72), el valor más bajo fue T3 (1.67 ± 0.49). Estos resultados determinan que la mermelada control tiene tonalidades más rojizas, comparado con los tratamientos que incorporan xoconostle. Para el eje b^* T2 presentó el valor más alto (8.96 ± 0.69), siendo estadísticamente diferente respecto a las demás mermeladas ($p < 0.05$). Le siguió T1 (8.20 ± 0.93), la mermelada control (7.17 ± 0.65) y T3 (6.74 ± 0.70) no mostraron diferencias significativas entre sí. Estos resultados indican que todas las mermeladas presentaron tonalidades amarillas, ya que valores positivos en el eje b^* se asocian con matices amarillos, mientras que los negativos reflejan tonalidades azuladas (Talens Oliag, 2017)

Cuadro 11. Color en los diferentes tratamientos.

	L	a^*	b^*
Control	29.86 ± 0.60^a	2.68 ± 0.28^c	7.17 ± 0.65^a
T1	31.30 ± 0.46^b	1.76 ± 0.72^{ab}	8.20 ± 0.93^b
T2	31.67 ± 0.69^b	2.10 ± 0.47^b	8.96 ± 0.69^c
T3	29.80 ± 0.56^a	1.67 ± 0.49^a	6.74 ± 0.70^a

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

En la Figura 4 se puede observar las coordenadas cromáticas a^* y b^* mostraron que todas las formulaciones se ubicaron en el cuadrante positivo, indicando predominio de tonalidades amarillas y ligeramente rojizas. La muestra T2 presentó mayor saturación, mientras que T3 mostró una menor intensidad de color.

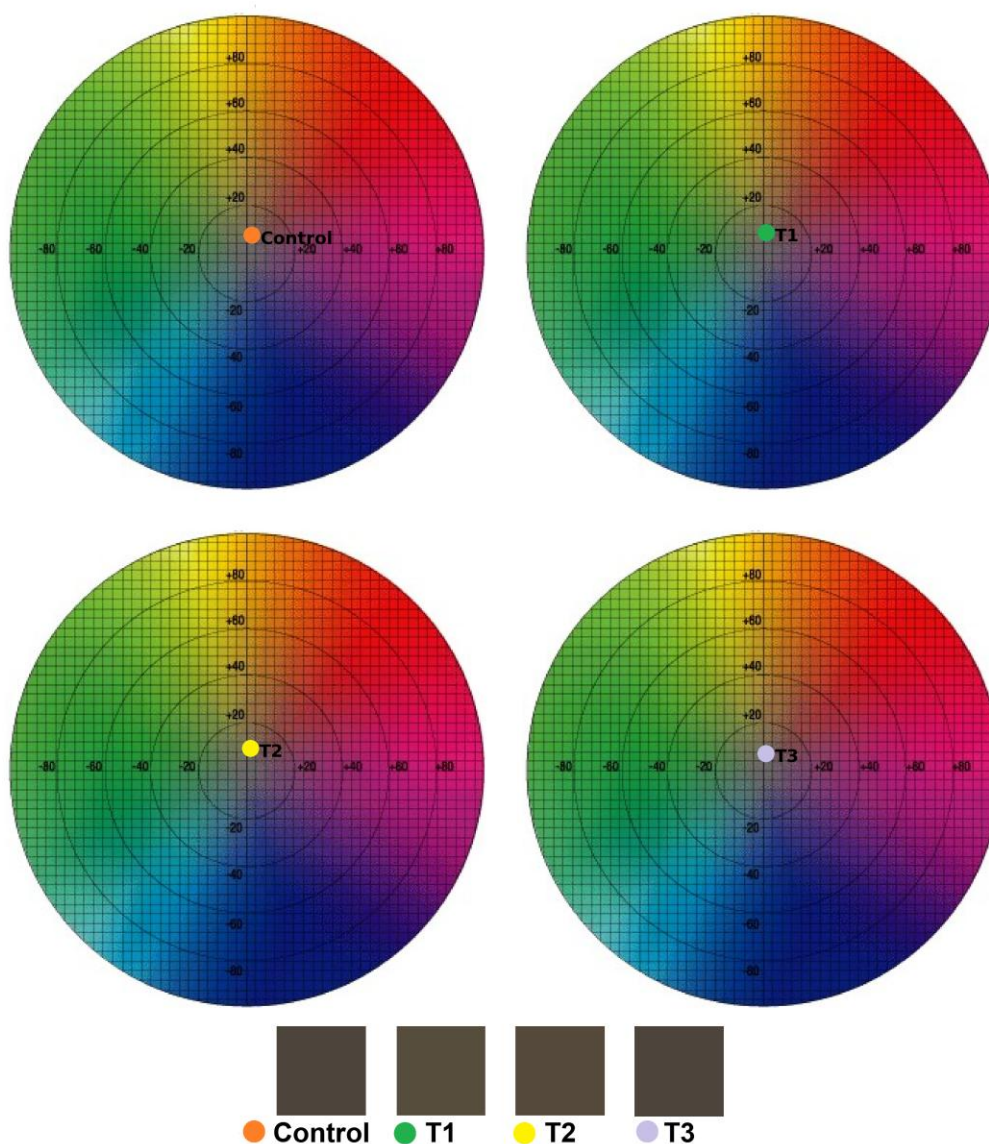


Figura 4. Coordenadas cromáticas de las mermeladas Control, T1, T2 y T3.

Ruiz-Ruiz y Campos Segura (2019) reportaron que, tras 20 días de almacenamiento, la mermelada artesanal elaborada con nopal y piña, endulzada con estevia, presentó valores de color de $L= 48.2$, $a^*= 3.21$ y $b^*= 25.23$. estos resultados muestran una mayor tendencia hacia

tonalidades amarillas (valores elevados de b^*) y una mayor luminosidad (L^*) en comparación con las mermeladas evaluadas en el presente estudio. Esta variación puede estar relacionada con el tipo de fruta utilizada, el sistema de endulzamiento y las condiciones de procesamiento, factores que influyen directamente en la percepción visual del producto final.

Al comparar los resultados de color con los reportados por Camacho Morales y Núñez Solano (2024) en una mermelada de pera y nopal, se observa que su muestra presentó un valor de 24.1, menor que los obtenidos en este estudio (29.80–31.67), lo que indica una menor luminosidad por tanto es más oscura. Respecto al eje b^* las muestras reportadas en ambos estudios tuvieron tendencia a tonalidad amarilla.

7.5 Análisis químico-proximal (AQP)

Se realizó el análisis químico-proximal del nopal y xoconostle utilizados en la formulación de las mermeladas, con el fin de conocer su composición nutricional inicial. De igual forma, se determinó el mismo análisis en la mermelada control y los tres tratamientos con diferentes concentraciones de xoconostle con la intención de evaluar las diferencias en los componentes proximales (humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos). En el Cuadro 12 se puede observar los resultados AQP del cladodio de nopal y el xoconostle, en ambos casos se presentó un contenido elevado de humedad con valores de $94.98 \pm 0.006\%$ y $94.74 \pm 0.29\%$, respectivamente. El contenido de cenizas fue de $1.11 \pm 0.11\%$ en el nopal y de $0.71 \pm 0.02\%$ en el xoconostle. En cuanto al contenido de lípidos, el nopal registró $0.44 \pm 0.10\%$, mientras que el xoconostle presentó un valor ligeramente mayor ($1.08 \pm 0.03\%$). El porcentaje de fibra cruda fue de $1.44 \pm 0.66\%$ en el nopal y $1.19 \pm 0.44\%$ en el xoconostle. El contenido de proteína mostró valores de $1.39 \pm 0.26\%$ para el nopal y $0.46 \pm 0\%$ para el xoconostle. Finalmente, el contenido de carbohidratos fue de $0.64 \pm 0.55\%$ en el nopal y de $1.82 \pm 0.35\%$ en el xoconostle.

Nazareno (2018) reportó niveles de humedad en cladodios de nopal que oscilan entre 88 y 95%, valores que coinciden con el porcentaje obtenido en este estudio (94.98%). Este contenido de humedad es característico de los cladodios frescos y tiende a disminuir conforme aumenta la edad del cladodio (Alvarado-Raya et al., 2016)

En comparación con los valores reportados por Guzmán y Chávez (2007)) comparados contra los resultados del nopal presentó mayor contenido de grasa contra 0.17%, mayor fibra contra un

0.30% y proteína 0.94%, mientras que el contenido de carbohidratos fue considerablemente menor respecto al 5.96%. El bajo contenido de carbohidratos podría deberse al mayor porcentaje de agua en los cladodios tiernos, lo cual diluye la concentración de sólidos como azúcares. Estas diferencias podrían relacionarse con diferencias en las variedades de nopal, región y diferencias ambientales que influyen en su composición química.

En el caso del xoconostle, el contenido de humedad (94.74%) y fibra (1.19%) fue similar al descrito por Morales et al. (2012) No obstante, los valores de grasa (1.08%) y cenizas (0.71%) fueron superiores a los observados por Morales et al. (2012) y (García-Hernández, 2017) quienes reportaron 0.03% y 0.07%, respectivamente. Estas variaciones pueden atribuirse a factores como la variedad del fruto, el grado de madurez, las condiciones edáficas y las diferencias metodológicas en la determinación (Gutiérrez-Salomón et al., 2021). El contenido de proteína (0.46%) coincidió con lo informado por García Hernández (2017), lo que confirma la baja proporción de este componente en el fruto fresco.

Cuadro 12. Composición químico proximal de nopal y xoconostle para la elaboración de las diferentes mermeladas (%)

	Nopal	Xoconostle
Humedad	94.98 ± 0.006	94.74 ± 0.29
Cenizas	1.11 ± 0.11	0.71 ± 0.02
Grasa	0.44 ± 0.10	1.08 ± 0.03
Fibra cruda	1.44 ± 0.66	1.19 ± 0.44
Proteína	1.39 ± 0.26	0.46 ± 0
Carbohidratos	0.64 ± 0.55	1.82 ± 0.35

En Cuadro 13 se observa el contenido de humedad, la mermelada T2 presentó el valor más alto (32.78 ± 1.21 %) y una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) respecto a la mermelada control (28.14 ± 0.53 %) y T3 (26.74 ± 1.16 %), mientras que la mermelada T1 (30.09 ± 2.07 %) no presentó diferencias significativas con ninguno de los tratamientos. El contenido de cenizas también tuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), la mermelada control presentó mayor porcentaje (2.53 ± 0.02 %), y la menor concentración se registró en T1 (2.00 ± 0.05 %). Los tratamientos T2 y T3

presentaron valores intermedios de $2.07 \pm 0.07 \%$ y $2.12 \pm 0.03 \%$, respectivamente. El porcentaje de grasa en las mermeladas van desde 0.11 a 0.66%, la mermelada T1 no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con ninguno de los tratamientos, mientras que la mermelada T2 ($0.66 \pm 0.32\%$) si presento diferencias con respecto a las mermeladas control ($0.17 \pm 0.03\%$) y mermelada T3 ($0.17 \pm 0.03\%$). En el contenido de fibra se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Las mermeladas T1 ($0.90 \pm 0.01 \%$) y T3 ($0.86 \pm 0.13 \%$) no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí mostraron diferencias con respecto a la mermelada control ($1.07 \pm 0.058 \%$) y T2 ($1.18 \pm 0.008 \%$), las cuales registraron los valores más altos. El contenido de proteína en el tratamiento T3 mostró el valor más alto ($3.00 \pm 0.09\%$), seguido de T2 ($2.89 \pm 0.37\%$) y T1 ($2.83 \pm 0.14\%$), mientras que la mermelada control presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con el valor más bajo ($2.19 \pm 0.0\%$). Finalmente, los carbohidratos fueron el componente con mayor porcentaje en las formulaciones de 60.40 a 67.11%. Las mermeladas T1 ($63.73 \pm 2.16\%$) y T2 (60.40 ± 1.58) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a las mermeladas control (60.40 ± 1.58) y T3 (67.11 ± 1.26).

Cuadro 13. Composición químico proximal de las mermeladas con diferentes concentraciones de xoconostle (%)

	Control	T1	T2	T3
Humedad	28.14 ± 0.53^a	30.09 ± 2.07^{ab}	32.78 ± 1.21^b	26.74 ± 1.16^a
Cenizas	2.53 ± 0.02^c	2.00 ± 0.05^a	2.07 ± 0.07^{ab}	2.12 ± 0.03^b
Grasa	0.17 ± 0.03^a	0.41 ± 0.09^{ab}	0.66 ± 0.32^b	0.11 ± 0.04^a
Fibra cruda	1.07 ± 0.05^b	0.90 ± 0.01^a	1.18 ± 0.00^b	0.86 ± 0.13^a
Proteína	2.19 ± 0.07^a	2.839 ± 0.14^b	2.89 ± 0.37^b	3.00 ± 0.09^b
Carbohidratos	65.87 ± 0.57^b	63.73 ± 2.16^a	60.40 ± 1.58^a	67.11 ± 1.26^b

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

El porcentaje de cenizas (2.00-2.53%) comparado con Camacho Morales y Núñez Solano, (2024)) donde propone una mermelada de pera y nopal, adicionada con chía y endulzada con sucralosa reporto un porcentaje de cenizas de 0.85, valor menor comparado con las mermeladas de nopal, xoconostle y chía endulzada con aguamiel, estas diferencias pueden estar relacionadas

con la presencia de minerales en ingredientes como el xoconostle y aguamiel (Gutiérrez Rojas et al., 2022). González Montiel et al. (2019), reportaron 42.79 a 67.75% de humedad en sus tratamientos de mermeladas de nopal con diferentes proporciones de sacarosa y stevia, valores más altos comparados con las mermeladas de este proyecto, estas diferencias pueden deberse a la diferencia de materia prima y proceso de elaboración. Además, el contenido de fibra reportados fue de 0.34 a 0.59% valores por debajo a los reportados en este trabajo (0.86-1.18%) esta diferencia puede deberse a la adición de chía con un contenido de fibra de 28.3 g por cada 100g lo cual puede favorecer el contenido de fibra en las mermeladas (Portuguez-Maurtua et al., 2020) Finalmente, al comparar los resultados con los obtenidos por Ávila Bastida (2025), quien elaboró una mermelada endulzada con jarabe de aguamiel y sacarosa, se observa que el contenido de carbohidratos fue de 42.61 %, valor inferior al registrado en el presente estudio. En contraste, el porcentaje de humedad fue mayor, alcanzando un 51.27 %. Estas diferencias podrían atribuirse al proceso de elaboración, principalmente a la concentración de azúcares, ya que, durante la cocción, un mayor contenido de azúcares favorece la reducción de humedad y la concentración de sólidos totales.

7.6 Azúcares reductores directos y totales

En el Cuadro 14 se observan los resultados obtenidos de la determinación de azúcares reductores. Los valores obtenidos de ART no presentaron diferencias significativas entre todos los tratamientos; la mermelada control presentó el valor más alto con 50.61 ± 0.02 g/kg, mientras que el valor más bajo fue el de la mermelada T1 con 4.97 ± 0.02 g/kg. Por otro lado, los resultados de ARD mostraron que la mermelada T3, con el valor más bajo (1.83 ± 0.01 g/kg), presentó diferencias significativas con respecto a las mermeladas control (2.45 ± 0.11 g/kg) y T1 (2.41 ± 0.24 g/kg). En la mermelada T3 se observó una disminución en el contenido de ARD, lo cual podría estar asociado con la mayor concentración de sacarosa en la formulación, ya que, durante la cocción, parte de estos azúcares reductores pudo haberse degradado o consumido en reacciones de Maillard, contribuyendo a la reducción observada en su contenido (Vega, 2018).

Cuadro 14. Azúcares reductores directos y totales presentes en las mermeladas.

	Azúcares Reductores Totales (g/100g)	Azúcares Reductores Directos (g/100g)
Control	5.06 ± 0.00^a	2.45 ± 0.11^b
T1	4.97 ± 0.02^a	2.41 ± 0.24^b

T2	5.01 ± 0.05 ^a	2.13 ± 0.23 ^{ab}
T3	5.02 ± 0.08 ^a	1.83 ± 0.01 ^a

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

Los resultados comparados con Gutiérrez Fernández, (2018) donde trabajó con mermelada de nopal, chía y aguamiel tuvo resultados con mayor contenido de azúcares totales, donde llegó alcanzar hasta 6.99 g/100g. Esta diferencia puede atribuirse a la proporción de aguamiel utilizada en sus formulaciones, así como a la variación en el contenido de azúcares del aguamiel, ya que su concentración puede cambiar dependiendo de las condiciones de obtención y procesamiento.

7.7 Calidad microbiológico

Con la intención de mantener la seguridad alimentaria y cumplir con la normatividad en el desarrollo de nuevos productos, se realizó un análisis microbiológico con el objetivo de determinar si las mermeladas son aptas para el consumo. Los resultados del análisis microbiológico de las mermeladas almacenadas a 5 °C se presentan en el Cuadro 15. No se detectó crecimiento de coliformes, mohos y levaduras en ninguna de las formulaciones durante los 21 días de almacenamiento, cumpliendo con los límites establecidos por la NMX-F-131-1982. En cuanto al recuento de mesófilos aerobios, se observó crecimiento microbiano desde el día 0 en las muestras T1 y T3, mientras que en la muestra control se detectó a partir del día 7 y en T2 a partir del día 14. Sin embargo, las unidades formadoras de colonia (UFC/g) se mantuvieron por debajo de los valores permitidos por la normatividad (50 UFC/g), por lo que no representan un riesgo para el consumidor. Las mermeladas, tanto control como las adicionadas con diferentes concentraciones de xoconostle, presentaron buena calidad microbiológica durante los 21 días de almacenamiento, siendo seguras para su consumo después de su elaboración. Esta estabilidad puede atribuirse al tratamiento térmico aplicado durante su procesamiento, al pH ácido, a la baja actividad de agua (a_w) y al almacenamiento en refrigeración.

Cuadro 15. Concentración de microorganismos presentes en las mermeladas

Días	0	7	14	21
Mesófilos aerobios UFC/g				

Control	ND	<10	<10	<10
T1	<10	<10	<10	<10
T2	ND	ND	<10	<10
T3	<10	<10	<10	<10
Coliformes UFC/g				
Control	ND	ND	ND	ND
T1	ND	ND	ND	ND
T2	ND	ND	ND	ND
T3	ND	ND	ND	ND
Hongos y levaduras UFC/g				
Control	ND	ND	ND	<10
T1	ND	ND	ND	ND
T2	ND	ND	ND	ND
T3	ND	ND	ND	ND

ND: No detectado

De manera similar, Cutia Chucuri (2024) reportó resultados microbiológicos favorables en una mermelada de zanahoria elaborada con diferentes niveles de miel de abeja, donde no se detectó la presencia de *E. coli* y se observó una disminución en el conteo de levaduras y mohos conforme aumentó la concentración de miel. Estos resultados son similares con los obtenidos en el presente estudio, ya que ambos productos presentan características fisicoquímicas que limitan el crecimiento microbiano y favorecen la estabilidad del producto durante el almacenamiento. Otro estudio realizado por Camacho Morales y Núñez Solano (2024)) quienes evaluaron una mermelada de pera y nopal adicionada con chía en el cual no se detectó crecimiento microbiano (0 UFC/g) para ninguno de los grupos analizados (mesófilos aerobios, coliformes, hongos y levaduras).

El reporte de bajas concentraciones de mesófilos aerobios y la ausencia de coliformes, hongos y levaduras concluye que se ajusta a la normatividad, por lo que indica que las mermeladas son aptas para consumo humano. La NMX-F-131-1982 estipula que la concentración permitida de microorganismos son para mesófilos aerobios 50 UFC/g, coliformes 10 UFC/g, hongos y levaduras 20 UFC/g. Es fundamental realizar buenas prácticas de manufactura para la elaboración de las mermeladas y con eso se enfatice la creación de alimentos inocuos.

7.8 Análisis sensorial

Para el análisis de las cuatro muestras de mermeladas participaron 141 panelistas. En la Figura 5 se muestran las edades de los participantes, las cuales oscilan entre 18 y 32 años. La mayor

proporción correspondió al grupo de 18 a 20 años, con 88 panelistas (62%); seguido por el grupo de 21 a 23 años, con 40 panelistas (28%). Asimismo, 5 panelistas (4%) tenían edades entre 24 y 25 años, otros 5 panelistas (4%) entre 27 y 29 años, y finalmente 3 panelistas (2%) se encontraban en el rango de 30 a 32 años.

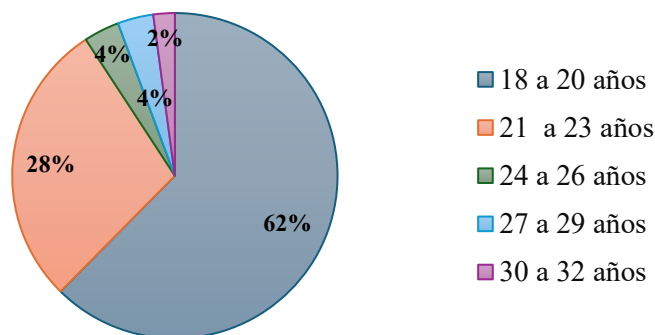


Figura 5. Edad de los panelistas

En cuanto al género de los participantes, 91 fueron mujeres (65%) y 50 hombres (35%), como se muestra en la Figura 6. Esta distribución refleja una mayor participación del género femenino en la evaluación sensorial.

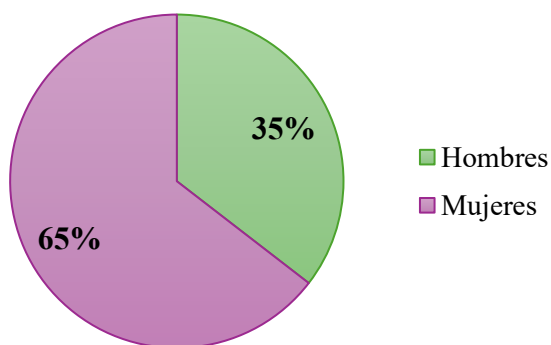


Figura 6. Sexo de los panelistas que evaluaron la mermelada

En la Cuadro 16 se reporta los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las mermeladas formuladas. Se evaluaron los atributos de color, olor, sabor y textura, utilizando una escala hedónica de cinco puntos. En cuanto a color, los valores oscilaron entre 3.16 ± 0.08 y 3.27 ± 0.08 , observándose que la mermelada T1 obtuvo la calificación más alta (3.27 ± 0.08), mientras

que la mermelada T3 presentó el menor puntaje (3.16 ± 0.08). Respecto al olor, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las formulaciones. La mermelada T1 obtuvo la mejor aceptación (3.57 ± 0.08), seguida del control (3.43 ± 0.08), mientras que T3 presentó el valor más bajo (3.31 ± 0.08). Esto sugiere que una mayor concentración de xoconostle puede influir en la percepción aromática, posiblemente por el incremento de compuestos ácidos o volátiles característicos del fruto. En el atributo de sabor, las diferencias entre todos los tratamientos fueron significativa ($p \leq 0.05$). La mermelada T1 también fue la mejor evaluada (4.02 ± 0.08), siendo estadísticamente diferente del control (3.58 ± 0.08) y de las muestras con mayor adición de xoconostle ($T2 = 3.77 \pm 0.08$ y $T3 = 3.24 \pm 0.08$). Este resultado indica que concentraciones bajas de xoconostle contribuyen a un sabor más equilibrado. Finalmente, en cuanto a la textura, la mermelada control obtuvo la puntuación más alta (4.02 ± 0.08), seguido de T2 (3.97 ± 0.08) y T1 (3.94 ± 0.08), mientras que la muestra T3 (3.58 ± 0.08) fue la menos preferida. En general, la mermelada T1 fue la mejor evaluada destacando especialmente en olor y sabor, lo que sugiere que la adición baja de xoconostle favorece la aceptación del producto. La mermelada con menor nivel de agrado en sabor (3.24) y textura (3.58) fue T3 con mayor porcentaje (3%) de xoconostle en su formulación, esto puede deberse a que la mermelada T3 arrojó ser el de mayor dureza y adhesividad, ya que la muestra obtuvo valores menores en a_w y humedad que afectan la textura de la mermelada (Badui, 2010).

Cuadro 16. Análisis sensorial de las mermeladas

	Color	Olor	Sabor	Textura
Control	3.21 ± 0.08^b	3.43 ± 0.08^a	3.58 ± 0.08^c	4.02 ± 0.08^a
T1	3.27 ± 0.08^a	3.57 ± 0.08^b	4.02 ± 0.08^a	3.94 ± 0.08^b
T2	3.22 ± 0.08^{ab}	3.37 ± 0.08^{bc}	3.77 ± 0.08^b	3.97 ± 0.08^{ab}
T3	3.16 ± 0.08^b	3.31 ± 0.08^c	3.24 ± 0.08^d	3.58 ± 0.08^c

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

La evaluación sensorial de un estudio de una mermelada de tomate en el que participaron 100 panelistas no entrenados en el cual se evaluaron atributos de color, olor y sabor con una prueba hedónica de 5 puntos, el sabor arrojó una media de 4.04, este valor es similar a la muestra T1 del presente estudio (Mazón Pachacama, 2015). Otro estudio realizado en una mermelada de cebolla con piña donde participaron 60 panelistas no entrenados para la evaluación sensorial arrojó resultados positivos de nivel de agrado (Blandón et al., 2022), esto puede sugerir que las

mermeladas que son formuladas de materias primas poco convencionales son igualmente aceptadas a las mermeladas convencionales de fruta.

7.9 Actividad antioxidante y compuestos fenólicos de mermeladas (Control: 0%, T1: 1%, T2: 2% y T3: 3%)

En el Cuadro 18 se puede observar los resultados de la actividad antioxidante y capacidad fenólica de las mermeladas. En el caso de la determinación por ABTS el tratamiento con menor actividad es la mermelada control, lo que sugiere que la adición de xoconostle incrementa su actividad, el tratamiento con mayor capacidad antioxidante es la muestra T2 con 101.71 mg EAA/100g. Los resultados obtenidos con DPPH indican que la muestra T1 tiene mayor efecto con 686.19 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ mientras que la muestra T3 presentó la menor actividad con 357.85 μmol . La mayor actividad presentada por la determinación FRAP es la muestra control con 4.62 $\mu\text{mol Fe}/100\text{g}$. De igual forma los compuestos fenólicos estuvieron en mayor concentración en la mermelada control, en ambos casos esto puede sugerir que la adición de xoconostle no incrementa esta actividad.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación no son comparables con otros estudios debido a la variabilidad de metodologías y unidades reportadas. Romo Medellín et al. (2022) evaluaron una mermelada funcional con pulpa de xoconostle endulzada con miel de aguamiel y reportaron una capacidad antioxidante de ABTS entre 19.73% a 36.11% de inhibición. Para DPPH obtuvieron valores de 2.8 mgTE/100 mL a 3.2 mgTE/100 mL. Considerando las diferencias metodológicas se puede observar que la adición y uso de ingredientes funcionales puede contribuir a la capacidad antioxidante.

Cuadro 17. Análisis actividad antioxidante y compuestos fenólicos

	ABTS (mg EAA/100g)	DPPH ($\mu\text{mol ET}/100\text{g}$)	FRAP ($\mu\text{mol Fe}/100\text{g}$)	Fenoles (mg EAG/100g)
Control	60.24 $\pm$ 3.22 ^a	457.31 $\pm$ 39.97 ^b	4.62 $\pm$ 0.12 ^c	652.12 $\pm$ 16.17 ^d
T1	88.47 $\pm$ 0.16 ^c	686.19 $\pm$ 8.38 ^c	2.26 $\pm$ 0.07 ^a	531.09 $\pm$ 17.39 ^a
T2	101.71 $\pm$ 1.50 ^d	612.64 $\pm$ 32.89 ^c	2.83 $\pm$ 0.05 ^b	592.68 $\pm$ 17.73 ^c
T3	78.64 $\pm$ 0.42 ^b	357.85 $\pm$ 29.07 ^a	2.45 $\pm$ 0.12 ^a	564.68 $\pm$ 20.75 ^b

(a, b, c, d indicaron que existen diferencias significativas entre las muestras) (Test Tukey $p \leq 0.05$) (Control= 0% xoconostle, T1= 1% xoconostle, T2= 2% xoconostle, T3= 3% xoconostle).

En un estudio realizado Roa Condori y Bolivar Viza (2020) donde evaluaron el contenido fenólico de una mermelada de cerezo, tuvieron resultados de 322,92 mg EAG/100g,

comparando el resultado obtenido con el presente trabajo de investigación se puede observar que los valores obtenidos son superiores con todas las muestras lo cual podría atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos adicionales aportados por el xoconostle, la chía y el aguamiel, así como a las diferencias en el tipo de fruta empleada y las condiciones de procesamiento (Rivera-Pacheco et al., 2024; Rodríguez-Lira et al., 2024).

Los resultados obtenidos indican que la muestra T2 presentó la mayor capacidad antioxidante y los valores más altos en cuanto a contenido nutricional, sin presentar diferencias significativas con la mermelada T1, por lo que pueden considerarse como los tratamientos con mejor desempeño funcional. Además, la muestra T1 fue la que mostró una diferencia significativa en la prueba sensorial, especialmente en el atributo de sabor, siendo el más aceptado por los panelistas. Por ello se consideró que la aceptación del consumidor es un factor determinante para el desarrollo de un alimento funcional viable en el mercado, se eligió la muestra T1 como el tratamiento para continuar con su evaluación.

Se analizó la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP y Fenoles) de la mermelada adicionada con 1% de xoconostle (T1) y la fracción bioaccesible de la mermelada (T1FB) (Figura 7). La capacidad obtenida por ABTS en la mermelada original (T1) dio un resultado de 88.47 mg EAA/100 g mientras que en la mermelada T1FB se obtuvo un resultado de 9.48 mg EAA/100 g lo que indica que la fracción bioaccesible de la mermelada es de 10.7% (Figura 7a). Lo que refleja una pérdida significativa de compuestos antioxidantes disponibles para la absorción. Este comportamiento es consistente con lo reportado en productos derivados de frutas, donde la digestión reduce la disponibilidad de compuestos fenólicos y antioxidantes debido a procesos de degradación y transformación química (Scrob et al., 2022). En la Figura 7b se observa la comparación de la capacidad antioxidante por DPPH de la mermelada T1 y T1FB con resultados de 686.19 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ y 131.43 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ respectivamente, el porcentaje de biaccesibilidad es de 19.1%. Lo que indica que una fracción de los compuestos antioxidantes presentes en la mermelada mantiene su capacidad de neutralizar radicales libres tras la digestión simulada. Este comportamiento depende de la estabilidad de los fenoles y flavonoides frente a las condiciones gastrointestinales. Estudios previos han señalado que la matriz alimentaria y la naturaleza de los compuestos fenólicos influyen en la retención de

actividad antioxidante, siendo los flavonoides y antocianinas particularmente sensibles a la hidrólisis y oxidación (George et al., 2022).

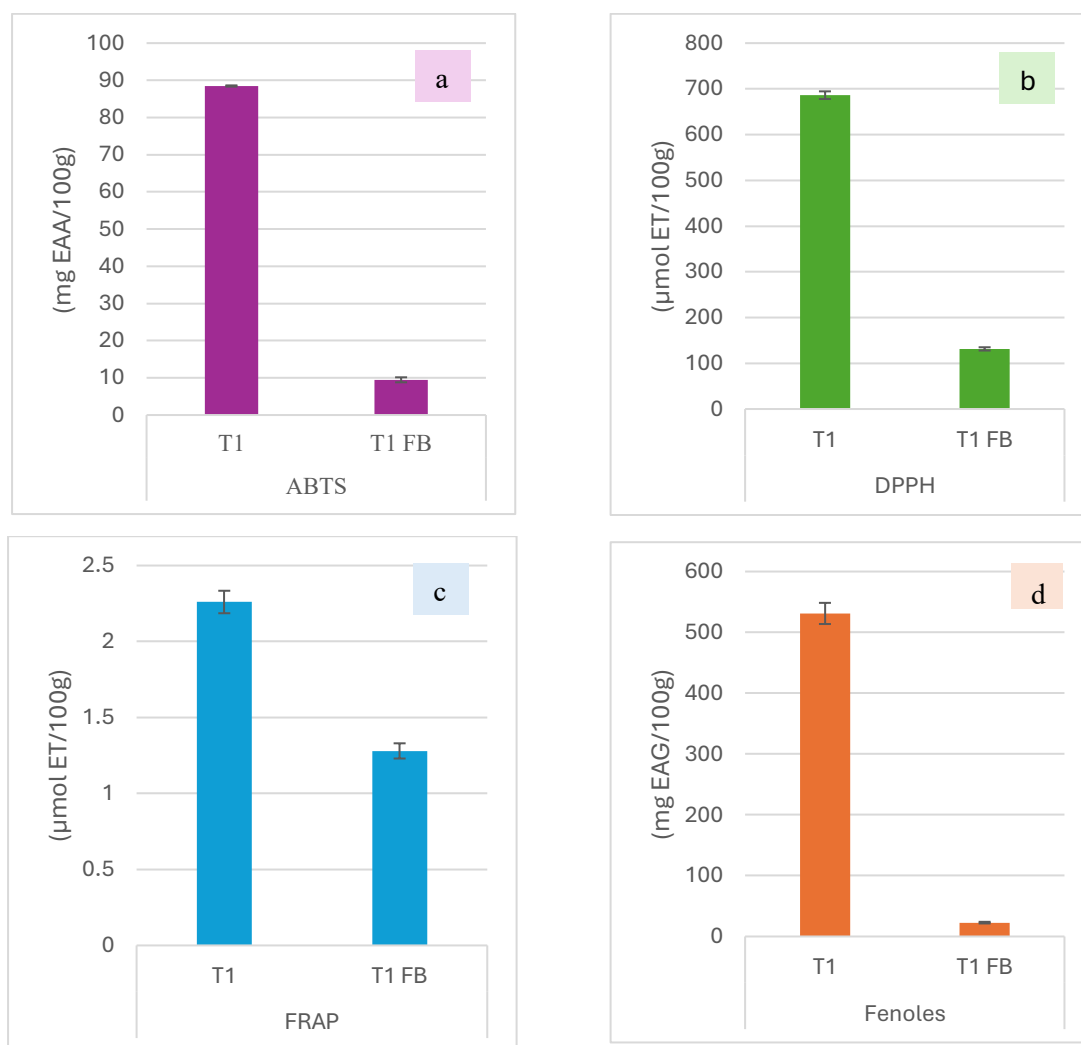


Figura 7. Capacidad antioxidante de T1 y T1FB (Fracción bioaccesible de T1). a) ABTS, b) DPPH, c) FRAP y d) Fenoles

La capacidad obtenida por FRAP en la mermelada original (T1) dio un resultado de 2.26 $\mu\text{mol Fe}/100\text{ g}$ bs mientras que en la mermelada T1FB se obtuvo un resultado de 1.28 $\mu\text{mol Fe}/100\text{ g}$ lo que indica que la fracción bioaccesible de la mermelada es de 56.6% (Figura 7c). Lo que indica que los compuestos con capacidad reductora de hierro presentan mayor estabilidad en condiciones gastrointestinales. Este hallazgo coincide con investigaciones en productos tradicionales mexicanos, donde se ha observado que ciertos compuestos reductores mantienen su funcionalidad tras la digestión (Flores-Chávez et al., 2024). Por último, en la Figura 7d se

observa la comparación de los compuestos fenólicos presentes en las mermeladas T1 y T1FB con resultados de 531.09 mg EAG/100 g bs y 22.79 mgEAG/100 g respectivamente, el porcentaje de biaccesibilidad es de 4.2%. Lo que confirma que la mayoría de los compuestos fenólicos presentes en la mermelada no son liberados o permanecen ligados a la matriz alimentaria. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en alimentos procesados, donde la interacción con polisacáridos y proteínas limita la liberación de fenoles durante la digestión (George et al., 2022; Scrob et al., 2022)

8 CONCLUSIONES

- El uso de ingredientes funcionales como el cladodio de nopal y la chía, en combinación con endulzantes no convencionales como el aguamiel, permitió la elaboración de una mermelada con propiedades adecuadas, lo que confirma la viabilidad de esta formulación
- La incorporación de xoconostle disminuyó la acidez titulable en comparación con la muestra control, mostrando diferencias significativas entre tratamientos. Los valores de pH y a_w se mantuvieron dentro de rangos adecuados para garantizar la estabilidad y seguridad microbiológica del producto. Además, la textura de las mermeladas fueron el resultado de la capacidad del nopal y chía de formar geles y retener humedad para consolidar la matriz viscosa de la mermelada.
- Los resultados indican que la formulación de mermelada con nopal, aguamiel, chía (3%), y xoconostle (2%) destaca entre los tratamientos por su contenido de fibra y proteína.
- Los resultados indicaron que el xoconostle incrementó la actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en las mermeladas, aunque los valores de FRAP permanecieron similares en todas las mermeladas. También se observó que todas las mermeladas conservaron una

carga importante de fenoles totales, garantizando la estabilidad de estos antioxidantes en el alimento.

- La mermelada T1 fue la mejor evaluada por los panelistas, destacando en los atributos de olor y sabor. Su equilibrio sensorial refleja que una baja concentración de xoconostle favorece la aceptación general del producto.
- La fracción bioaccesible de la mermelada T1 mostró una liberación de compuestos antioxidantes, con biaccesibilidades del 10.7% para ABTS, 19.1% para DPPH, 56.6% para FRAP y 4.2% para fenoles totales, lo que evidencia su presencia tras la digestión *in vitro* y su bioaccesibilidad intestinal.

9 REFERENCIAS

Aguilar-Morales, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*.

Alvarado-Raya, H. E., Salinas-Callejas, E., & Ortiz-Huerta, G. (2016). Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca. *Tecnociencia, X*.

Alvídrez-Morales, A., González-Martínez, B. E., & Jiménez Salas, Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: Alimentos funcionales. *RESPYN*, 3(3).
www.medigraphic.org.mx

AOAC. (2016a). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemist International. Method 925.49*.

AOAC. (2016b). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemist International. Method 900.02*.

AOAC. (2016c). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemist International. Method 920.75*.

AOAC. (2018a). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemist International. Method 930.20*.

AOAC. (2018b). *Official Method of the Association of Official Analytical Chemist International. Method 970.22*.

- Ávila-Bastida, M. F. (2025). *Diversificación del uso de jengibre y jarabe de aguamiel en la elaboración de una mermelada*. UAEH.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2005). Chia: Rediscovering a Forgotten Crop of the Aztecs. *Chia*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv29sfps7>
- Badui, S. D. (2010). *Química de los Alimentos* (V).
- Barrios-Silva, I. C., & Bravo-Muños, J. I. (2020). *Biodisponibilidad y bioaccesibilidad de polifenoles y flavonoides* [Facultad de Ciencias de la salud, Escuela Tecnología Médica]. <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/12420>
- Beltrán-Heredia, M. R. (2016). *Alimentos Funcionales*. 30. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-X0213932416546681>
- Berumen-Rodríguez, A. A., González-Mares, M. O., & Nieto-Caraveo, L. M. (2020). Implementación de intervenciones educativas enfocadas en la prevención de enfermedades no transmisibles, para mejorar la salud ambiental de zonas urbanas marginadas de San Luis Potosí, México. *Salud Ambient*.
- Blandón, K., Castillo, M., Rodríguez, D., Broce, K., Quintero, R., Cedeño, C., & Morales, D. (2022). Evaluación de un producto a base de cebolla (*Allium cepa* L.) como materia prima principal adicionando piña o manzana para un mercado artesanal. *RIDTEC*, 18 (2).
- Blüher, M. (2019). Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 288–298. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm-Wiss*, 28, 25–30.
- Brissette, C. E., Jenkins, A. L., Choleva, L., & Vuksan, V. (2013). The Effect of Salvia Hispanica L. Seeds on Weight Loss in Overweight and Obese Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus. *Canadian Journal of Diabetes*, 37, S61. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.08.183>
- Buenrostro-Pérez, F. de M., Herrera-Solís, J. R., & Carrillo-Inungaray, M. L. (2020). Potencial del chicozapote (*Manilkara zapota*) and xoconostle (*Opuntia joconostle*) como ingredientes de alimentos funcionales. *Revista Académica de Investigación*, 16(33).
- Caballero-García, Cristina. (2004). *Efectos de terpenoides naturales y hemisintéticos sobre Leptinotarsa decemilineata (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) y Spodoptera exigua (Hübner)(Lepidoptera:Noctuidae)*.
- Calvache-Álvarez, F., Edwin-Santamaría, D., Edwin-Santamaría, F., & Estefanía-Lara, A. (2016). Análisis del tiempo de vida útil en la elaboración de mermelada de higuierón

- (Cucúrbita Odorífera Vell) con zanahoria (Daucus Carota). *Revista Chilena de Nutricion*, 43(3), 290–295. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000300009>
- Camacho-Morales, J. D., & Núñez-Solano, N. S. (2024). *Aprovechamiento integral de pera y nopal en una mermelada funcional adicionada con chía dirigida a diabéticos*.
- Castañeda-Ovando, A., Moreno-Vilet, L., Jaimez-Ordaz, J., Ramírez-Godínez, J., Pérez-Escalante, E., Cruz-Guerrero, A. E., Contreras-López, E., Alatorre-Santamaría, S. A., Guzmán-Rodríguez, F. J., & González-Olivares, L. G. (2023). Aguamiel syrup as a technological diversification product: Composition, bioactivity and present panorama. *Future Foods*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100249>
- CODEx STAN 296-2009. (2009). *Norma del CONDEX Para las confituras, jaleas y mermeladas*.
- Copado, C. (2020). *Microencapsulación de compuestos bioactivos de chía (Salvia hispanica L.)*.
- Cueva, G., Dionicio, E., Juárez, R., & Ruidias, C. (2023). Aceptabilidad sensorial de mermelada de fresa con un paso de molienda previo al proceso de cocción. *Journal of Neuroscience and Public Health*, 3(2), 367–375. <https://doi.org/10.46363/jnph.v3i2.1>
- Cutia-Chucuri, W. F. (2024). *Elaboración de mermelada de la zanahoria amarilla con diferentes niveles de miel de abeja*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22880/1/27T00772.pdf>
- Derewiaka, D., Stepnowska, N., Bryś, J., Ziarno, M., Ciecierska, M., & Kowalska, J. (2019). Chia seed oil as an additive to yogurt. *Grasas y Aceites*, 70(2). <https://doi.org/10.3989/gya.0705182>
- Escalante, A., López-Soto, D. R., Velázquez-Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., & López-Munguía, A. (2016). Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Filardo-Kerstupp, S., García-Espinoza, G., Ávila, S., Jesús, V., Scheinvar, L., & García-Pérez, Á. (2010). Mermelada horneable de xoconostle, aplicación y su uso en tartas. *La Alimentación Latinoamericana*, 48.
- Flores-Chávez, B., Hernández-León, S., Guzmán-Elizalde, A. L., Espitia-López, J., & Garza-López, P. M. (2024). Methods for determination of antioxidant capacity of traditional and emergent crops of interest in Mexico: An overview. In *Scientia Agropecuaria* (Vol. 15, Number 4, pp. 593–615). Universidad Nacional de Trujillo. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.044>

- Fon, F. M., Héctor, F. V., & Fernández, Z. (2019). *Análisis proximal en alimentos Fundamentos teóricos y técnicas experimentales*.
- García-Hernández, M. (2017). *Evaluación del contenido nutrimental, fibra dietética y propiedades antioxidantes de dos variedades de xoconostle (Opuntia, spp)*.
- George, J., Edwards, D., Pun, S., & Williams, D. (2022). Evaluation of Antioxidant Capacity (ABTS and CUPRAC) and Total Phenolic Content (Folin-Ciocalteu) Assays of Selected Fruit, Vegetables, and Spices. *International Journal of Food Science*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2581470>
- Gómez-Delgado, Y., & Velázquez-Rodríguez, E. B. (2019). Salud y cultura alimentaria en México. *Revista Digital Universitaria*, 20(1). <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a6>
- Gómez-Romero, M. (2010). *Desarrollo y evaluación de estrategias analíticas para la caracterización de compuestos bioactivos en alimentos funcionales*.
- González-Gaona, E., Argentel-Martínez, L., Perales-Aguilar, L., Peñuelas-Rubio, O., García-Munguía, A. M., & De Lira-Ramos, K. V. (2024). El Nopal: ecofisiología del nopal en México. In *El Nopal: ecofisiología del nopal en México* (Pantanal). Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756211>
- González-Lucas, R. (2021). *Potencial tecnológico y digestibilidad in vitro de diferentes extractos ricos en fibra procedentes de coproductos del caqui (Diospyros kaki)*.
- González-Montiel, L., Sánchez-Hernández, C., Campos-Pastelin, J., Vicente-Pinacho, A., Criollo-Martínez G, & Güemes-Vera N. (2019). *Aprovechamiento agroindustrial del nopal. Mermelada baja en calorías*.
- Gutiérrez-Fernández, A. K. (2018). *Elaboración de una mermelada funcional a base de nopal (Opuntia ficus indica) y aguamiel, enriquecida con harina de chía*. <https://doi.org/doi.org/10.29057/icap.v4i7.2964>
- Gutiérrez-Rojas, M., Ruiz-Juárez, D., Vela-Correa, G., Olivares-Orozco, J. L., & Rueda-Puente, E. O. (2022). Physical-chemical quality of xoconostle fruits (Opuntia matudae and O. joconostle) in the Valle del Mezquital, Hidalgo, Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, 96–110. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.50>
- Gutiérrez-Salomón, A. L., Hernández-Hernández, H. M., & Jaimez-Ordaz, J. (2021). Efecto de la deshidratación osmótica y convectiva en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de Opuntia joconostle. *Pädi*, 9(17), 31–38. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.6339>

- Guzmán-Loayza, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio de nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de La Sociedad de Química Perú*, 73(1), 41–45.
- Hernández Becerra, E., Aguilera Barreiro, M. de los A., Contreras Padilla, M., Pérez Torrero, E., & Rodríguez García, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia Ficus Indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*, 95, 105183. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2022.105183>
- IDF. (2019). *IDF Diabetes Atlas 9th edition*. <https://diabetesatlas.org/atlas/ninth-edition/>
- IMSS. (2018). *Diagnóstico y Tratamiento Farmacológico de la Diabetes Mellitus Tipo 2 en el Primer Nivel de Atención*. <http://imss.gob.mx/profesionales-salud/gpc>
- INEGI. (2018). *Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM). Serie 2018*.
- Kuskoski, E. Ma., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(4), 726–732. <https://doi.org/doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Lema-Gonzalez, M. (2022). *Desarrollo, caracterización, evaluación sensorial y la estabilidad de una mermelada reducida en calorías utilizando alulosa y el subproducto de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.)*.
- León-Báez, J., & Márquez-Pallares, L. (2024). Uso del aguamiel como edulcorante en mermeladas a base de frutas de la región de Jalacingo Veracruz. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(3). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2036>
- León-Hernández, R. C., Arriaga-Martínez, J. L., Rodríguez-Pérez, A. C., Peñarrieta-de Córdova, M. I., Cosme-Mendoza, M. F., & Vejarano-Campos, G. (2023). Resultados de “Tomando control de su salud” online, en personas con enfermedades no transmisibles de México y Perú durante COVID-19. *Horizonte de Enfermería*, (NE), 60–76. <https://doi.org/10.7764>
- Manfugás, J. E. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos* (Editorial Universitaria, Ed.).
- Martínez-Alvarez, O., Iriondo-DeHond, A., Gómez-Estaca, J., & Dolores del Castillo, M. (2021). *Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario*. <http://hdl.handle.net/10261/253463>
- Mazón Pachacama, G. E. (2015). *Elaboración de mermelada baja en calorías a partir de tomate de árbol*. Universidad Tecnológica Quinoccial.

- Meléndez-Sosa, M. F., García-Barrales, A. M., & Ventura-García, N. A. (2020). Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutraceuticos en México. *Revista RD*, 6(1), 114–136.
- Meléndez-Sosa, M. F., Montserrat García-Barrales, A., Andrea, N., & Licenciatura En Biotecnología, V.-G. (2020). Perspectives and impact on health from functional food and nutraceutical consumption in Mexico. *Revista RD*, 6(1), 114–136.
- Mesa-Vanegas A., Zapata-Urbe S., Arana L.M. 1, Zapata I.C., Monzalve Z., & Rojano B. (2015). *Actividad antioxidante de extractos de diferente polaridad de Ageratum conyzoides L.*
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Journal of Analytical Chemistry*, 31, 426–428.
<http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72, 119–125.
www.elsevier.com/locate/foodchem
- Morales, P., Ramírez-Moreno, E., Sanchez-Mata, M. de C., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (Opuntia joconostle F.A.C. Weber ex Duguet and Opuntia matudae Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46(1), 279–285.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.031>
- Muñoz-Jáuregui, A. M., Alvarado-Ortíz, U. C., & Encina-Zelada, C. (2011). Fitoesteroles y fitoesteranos: Propiedades saludables Phytosterols and phytosteranols: Health claims. *Revista Horizonte Médico*, 11(2).
- Muñoz-Jáuregui, A. M., Ramos-Escudero, D. F., Alvarado-Ortiz, C., & Castañeda-Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev Soc Quím Perú*, 73(3), 142–149.
- Nazareno, M. A. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. (P. Inglese, C. Mondragon, A. Nefzaoui, & C. Sáenz, Eds.; C. Mondragon, Tran.). FAO, ICARDA.
<https://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
- NMX-F-131-1982. (1982). *NMX-F-131-1982 Alimentos para humanos- frutas y derivados- Mermelada de fresa*.
- NOM-051-SCFI/SSA1-2010. (n.d.). *NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria*.

- NOM-092-SSA1-1994. (1994). *Norma oficial mexicana NOM-092-SSA1-1994 Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.*
- NOM-111-SSA1-1994. (1994). *NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.*
- NOM-112-SSA1-1994. (1994). *NOM-112-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes.*
- OMS. (2025). *Las ENT de un vistazo 2025. Vigilancia y monitoreo de las ENT: Mortalidad por enfermedades no transmisibles y prevalencia de sus factores de riesgo en la Región de las Américas.*
- Ponce-Luna, A., Pérez-Flores, J. G., Pérez-Escalante, E., Portillo-Torres, L. A., García-Curiel, L., & Contreras-López, E. (2024). Potencial del nopal para su incursión en la industria de la confitería. *Pädi*, 11(22), 28–33. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11074>
- Portuguez-Maurtua, A. J., Huamani-Huamani, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., Hernandez-Mavila, J. E., De La Cruz-Quispe, W. H., Trejo-Espinoza, A., & Pariona-Escalante, F. R. (2020). Determinación de la tecnología de extracción del mucílago de la semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) y evaluación de sus propiedades funcionales. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 8148–8166. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-210>
- Quirós-Sauceda, A. E., Velderrain-Rodríguez, G. R., Blancas-Benitez, F. J., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Wall-Medrano, A., Alvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. A. (2016). Bioaccessibilidad, difusión pasiva y capacidad antioxidante de compuestos fenólicos presentes en mango cv. ‘Ataulfo’ (*Mangifera indica* L) y salvado de trigo (*Triticum aestivum*), después de una digestión in vitro. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Ramírez-Moreno, E., Zafra-Rojas, Q. Y., Arias-Rico, J., Ariza-Ortega, J. A., Alanís-García, E., & Cruz-Cansino, N. (2018). Effect of ultrasound on microbiological load and antioxidant properties of blackberry juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13489>
- Rivera-Pacheco, A. R., Chavez-Infantes, J. K., Mamani-Quispe, A. L., & Carpio, E. P. (2024). Capacidad antioxidante total y fenoles totales en una bebida funcional no láctea a base de cáscara de maracuyá y chía. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria*, 44(4), 193–202. <https://doi.org/10.12873/444rivera>
- Roa-Condori, B. P., & Bolivar-Viza, M. S. (2020). *Evaluación de la variabilidad de la capacidad antioxidante y contenido fenólico de fruto maduro de prunus serotonina (cerezo), fruto liofilizado y mermelada.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

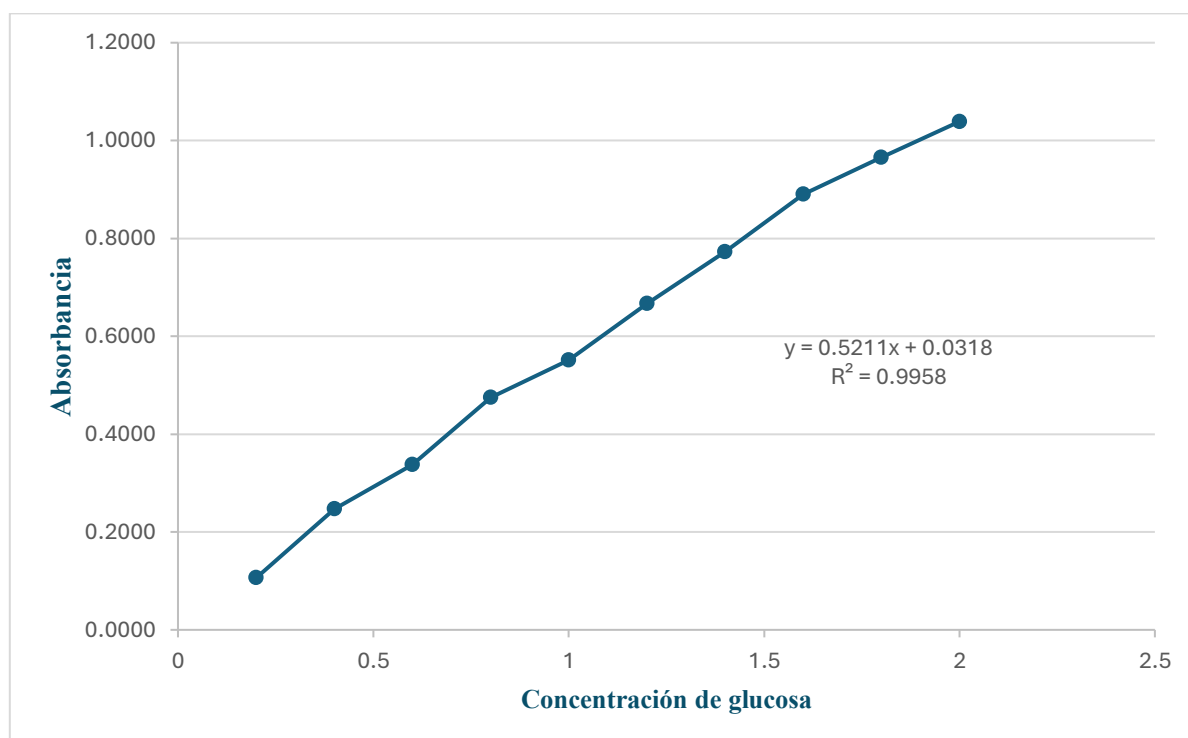
- Rocchetti, G., Pellizzoni, M., Montesano, D., & Lucini, L. (2018). Italian opuntia ficus-indica cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/foods7020024>
- Rodríguez-Arzave, J. A., Florido-Aguilar, A. L., & Hernández-Torres, M. A. (2020). Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 233–238.
- Rodríguez-Lira, B. M., Arriaga-Montiel, N. I., Ariza-Ortega, J. A., & del Socorro Cruz-Cansino, N. (2024). Xoconostle (*Opuntia* spp.) y Capulín (*Prunus serotina* spp.): frutos tradicionales con alto valor nutricional y beneficios a la salud. *South Florida Journal of Development*, 5(12), e4826. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n12-051>
- Romo-Medellín, L. D., Monter-Juárez, F., & Estrada-Fernández, A. G. (2022). *Utilización de frutas endémicas de la región de Apan Hidalgo (tuna-xoconostle) para el desarrollo de alimentos funcionales*.
- Ruiz-Ruiz, J. C., & Campos-Segura, M. R. (2019). Development of nopal-pineapple marmalade formulated with stevia aqueous extract: Effect on physicochemical properties, inhibition of α -amylase, and glycemic response. *Nutricion Hospitalaria*, 36(5), 1081–1086. <https://doi.org/10.20960/nh.02048>
- Sánchez-Nuño, Y. A., & Villarruel-López, A. (2025). Moléculas provenientes de alimentos con posibilidad de uso en el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos para el adulto mayor: una revisión narrativa. *Alimentación y Ciencia de Los Alimentos*, 6(6), 22–42. <https://doi.org/10.32870/rayca.v0i0.107>
- Santos, D. I., Alexandre-Saraiva, J. M., Vicente, A. A., & Moldão-Martins, M. (2019). Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients. In *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds* (pp. 23–54). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814174-8.00002-0>
- Scrob, T., Hosu, A., & Cimpoi, C. (2022). Sweeteners from Different Lingonberry Jams Influence on Bioaccessibility of Vitamin C, Anthocyanins and Antioxidant Capacity under In Vitro Gastrointestinal Digestion. *Antioxidants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/antiox11030442>
- Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *INTER DISCIPLINA*, 7(19), 47. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties

- of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442–451. <https://doi.org/10.1021/jf048751y>
- Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA*, 50(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223148420004>
- Talens-Oliag, P. (n.d.). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Trinidad, P. T., Wolever, T. M. S., & Thompson, L. U. (1996). Availability of calcium for absorption in the small intestine and colon from diets containing available and unavailable carbohydrates: an in vitro assessment. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 47, 83–88.
- UNAM. (2011). *Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas*.
- Urango-Marchena, L. A., Montoya-Parra, G. A., Cuadro-Quiroz, M. A., Henao, D. C., Zapata, P. A., López-Mira, L., Castaño, E., Serna-López, Á. M., Vanesa-Vanegas, C., Loaiza, M. C., & Gómez, B. D. (2009). Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud. *Perspect Nutr Humana*, 11(1), 27–38.
- Uribe-Wandurraga, Z. N., Bravo-Villar, M., Igual, M., Savall, C., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2021). Sugar and no sugar added fruit microalgae-enriched jams: a study about their physicochemical, rheological, and textural properties. *European Food Research and Technology*, 247(10), 2565–2578. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03819-6>
- Valdez-Herrera, D. C., Bermejo-Mallea, L. C., Huayna-Marin, A. C., & Fuster-Crisosto, A. D. R. (2022). Estabilidad de bebida funcional de suero deslactosado con *Passiflora mollissima* en condiciones termales: un estudio de vida útil. *Ingeniería Investiga*, 4, 2022. <https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.648>
- Valdivieso-Solís, D. G., Vargas-Escamilla, C. A., Mondragón-Contreras, N., Galván-Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., & Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>
- Vega, R. (2018). *Estudio preliminar del comportamiento de azúcares reductores en las etapas de cocimiento y su impacto en la recuperación de sacarosa*.

Yu, L., Zhou, H., Zheng, F., Song, J., Lu, Y., Yu, X., & Zhao, C. (2022). Sugar Is the Key Cause of Overweight/Obesity in Sugar-Sweetened Beverages (SSB). *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.885704>

Zare, T., Fournier-Level, A., Ebert, B., & Roessner, U. (2024). Chia (*Salvia hispanica* L.), a functional ‘superfood’: new insights into its botanical, genetic and nutraceutical characteristics. *Annals of Botany*, 134, 725–746. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae123>

10 ANEXOS



Anexo 1. Curva de calibración azúcares reductores



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Ciencia de los Alimentos
Prueba de agrado de una mermelada de nopal



Nombre: _____

Fecha _____ Edad: _____ Sexo: F ☐ M ☐ Lugar de procedencia: _____

Escolaridad: Nivel medio superior ☐ Nivel superior ☐ Otro: _____

Instrucciones: Frente a usted, se encuentran 4 muestras previamente codificadas, comience a evaluar (de izquierda a derecha). Por favor tome agua entre cada muestra. Posteriormente indique con una x que tanto le gusta la muestra.

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Código: _____

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura	¿Por qué?
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

¡Gracias por su participación!

Anexo 2. Formato de análisis sensorial

Consentimiento informado

Título de la Investigación: Evaluación nutricional y digestibilidad *in vitro* de una mermelada funcional a base de nopal

Nombre de los investigadores: Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez,

Nombre del estudiante: Ing. Magdalena Bravo Cruz

Información previa:

El propósito de este consentimiento informado es proveer a los participantes en esta investigación una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como el rol que desempeña en esta.

La presente investigación es conducida por la estudiante Magdalena Bravo Cruz de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y asesorada por la Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez de la misma institución. El objetivo general de esta investigación es evaluar las características sensoriales que confieren las mermeladas a base de nopal, aguamiel, harina de chíla con diferentes concentraciones de xocoostle.

Si usted accede a participar en este estudio, se le pedirá probar muestras de mermelada con distintos porcentajes de xocoostle realizados en esta investigación y se evaluará la percepción sensorial que tiene de estos por medio de una prueba de nivel de agrado. Los ingredientes empleados para la elaboración de los productos a evaluar se encuentran listados a continuación:

Ingredientes/Componentes

Nopal

Aguamiel

Harina de chíla

Xocoostle

La actividad consiste en el desarrollo de una prueba hedónica de 5 puntos. Esto tomará aproximadamente 10 minutos de su tiempo. Todo dato personal recolectado que permita identificarlo será tomado de forma anónima y estos no serán utilizados en ninguna circunstancia para el desarrollo de la investigación, guardando completa confidencialidad de usted. Asimismo, los datos recolectados en la encuesta serán utilizados para completar los objetivos de esta investigación y estos serán incluidos en el documento de tesis al cual la comunidad de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo tendrá acceso.

Tenga presente que los productos que usted va a probar son aptos para el consumo humano y se han desarrollado garantizando su higiene e inocuidad. Durante el desarrollo de este estudio cabe la posibilidad que incurra en daños físicos leves como malestar en caso de que usted ingiera incorrectamente los productos. Si dichos síntomas se producen durante la evaluación sensorial, coméntele de inmediato al responsable de la investigación. Si, por el contrario, los síntomas se presentan en las horas (3-4 h) posteriores a la prueba sensorial comuníquese con el Servicio Médico de la Institución y ponga en conocimiento al médico que lo atienda, de su participación en la evaluación sensorial.

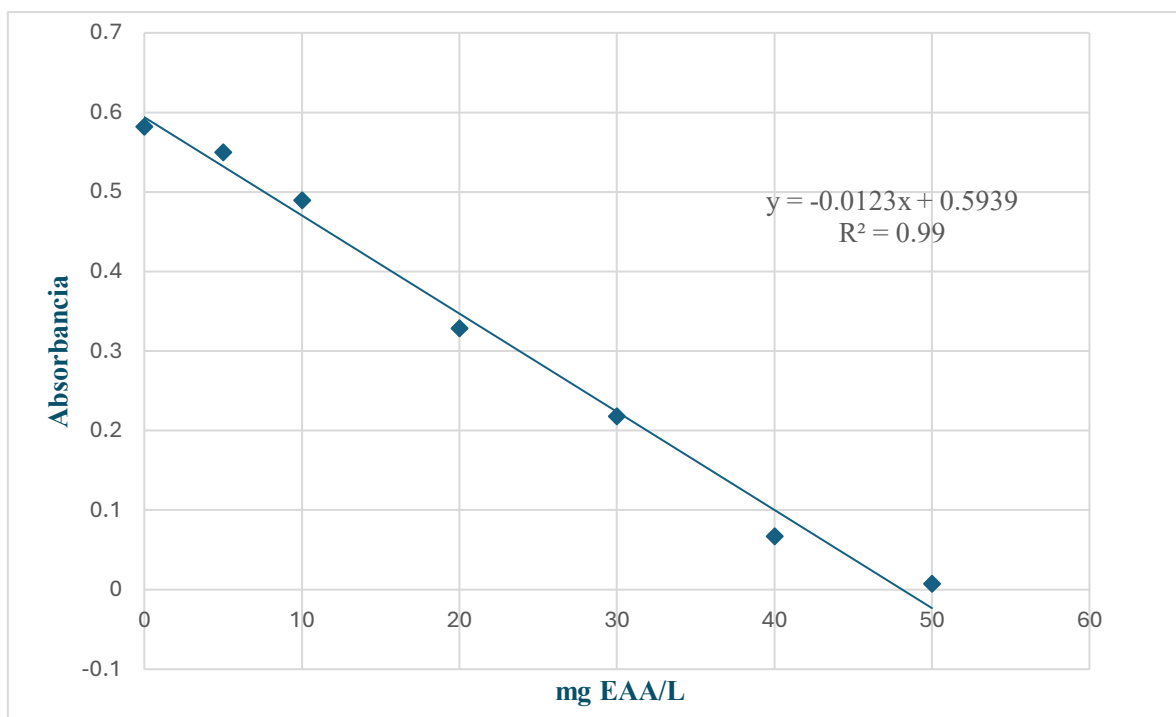
Por otro lado, tenga presente que durante todo el estudio se va a respetar su bienestar, reconocimiento, dignidad e integridad corporal con la finalidad de que no sufra ningún daño moral o psicológico.

Asimismo, usted es libre de participar o no en este estudio, en caso de hacerlo también tiene la posibilidad de abandonar el estudio durante cualquier momento en el caso que usted lo desee.

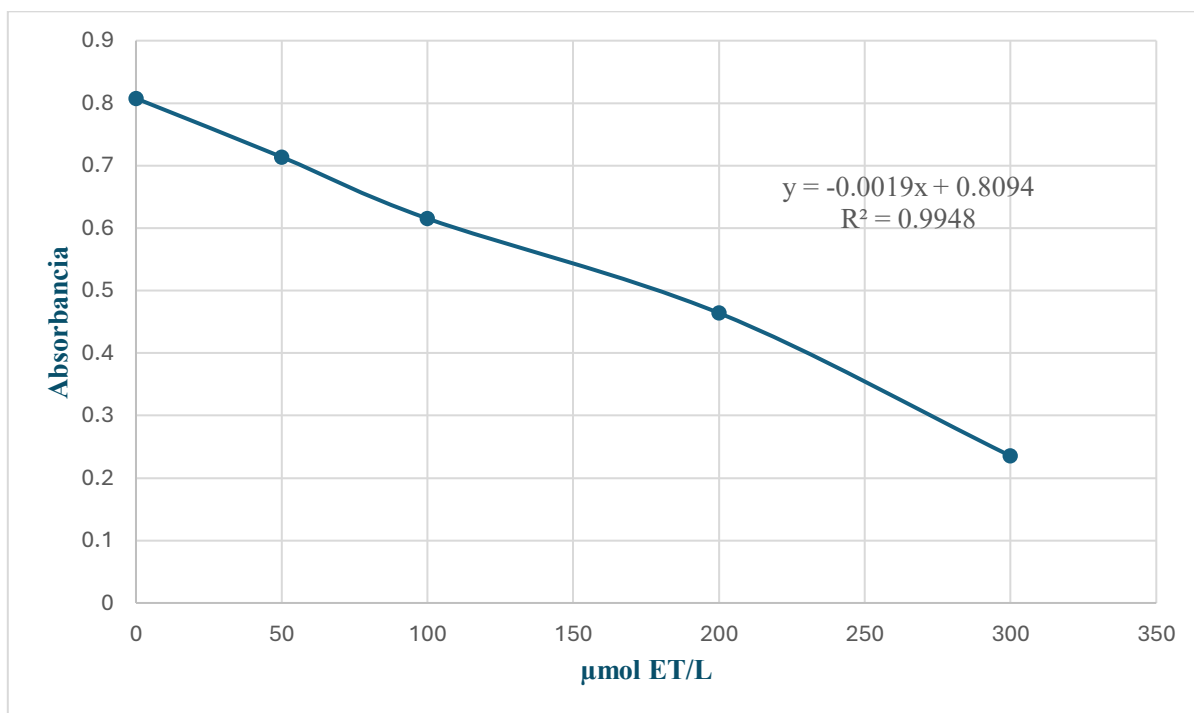
Firme en caso de estar de acuerdo con este consentimiento informado y desee participar durante el desarrollo del estudio.

Fecha: _____

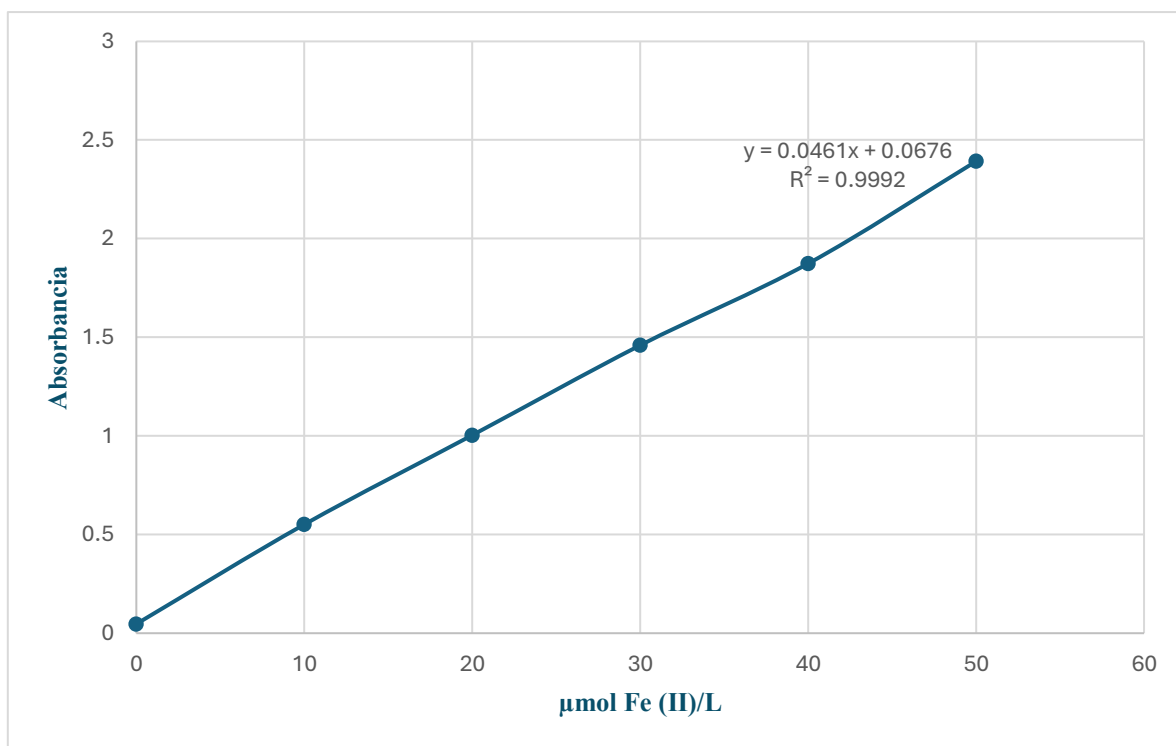
	Nombre de la persona que participará en la Investigación	Firma	¿Tiene algún tipo de alergia a los ingredientes del producto que probará en el ensayo?
			() SI () NO
			() SI () NO
			() SI () NO



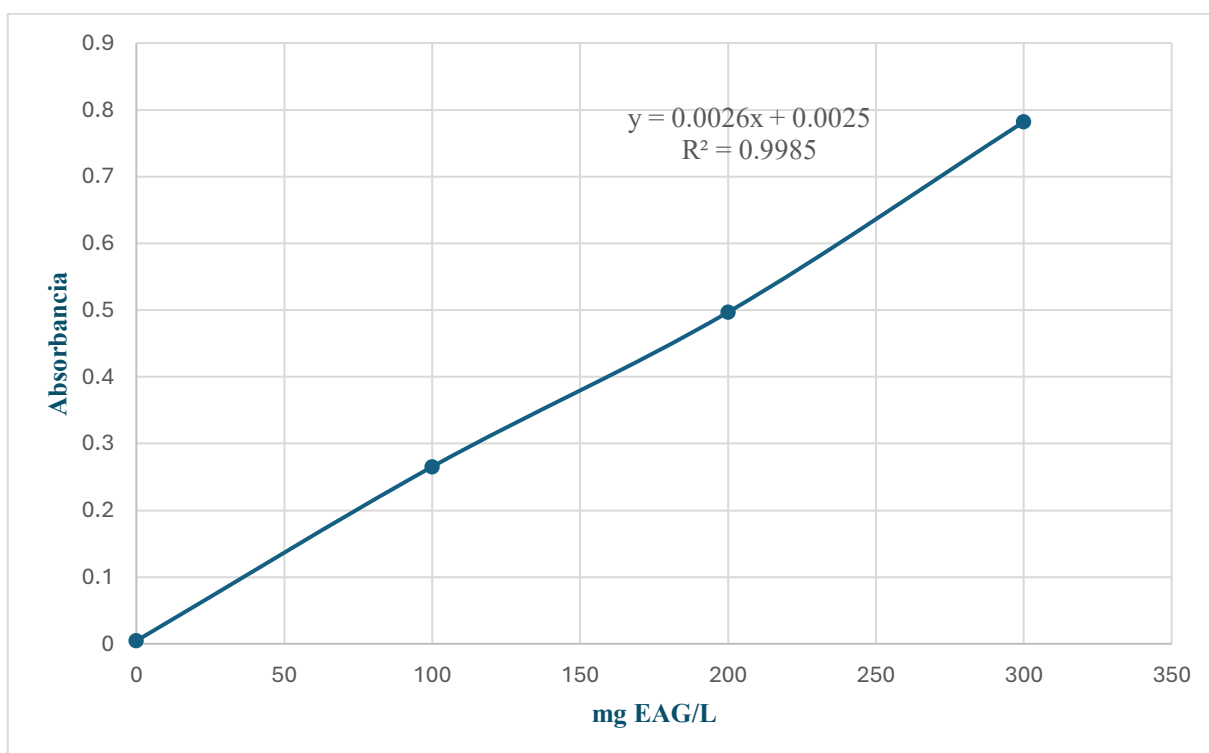
Anexo 4. Curva de calibración de ácido ascórbico para la capacidad antioxidante por ABTS.



Anexo 5. Curva de calibración de Trolox para la capacidad antioxidante por DPPH.



Anexo 6. Curva de calibración de sulfato ferroso para la capacidad antioxidante por FRAP.



Anexo 7. Curva de calibración de ácido gálico para los compuestos fenólicos totales

CMII-FMI
2024

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



A través del Campus de Celaya Salvatierra, de la División de Ciencias de la Salud e Ingenierías y del Departamento de Ingeniería Agroindustrial

Otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Magdalena Bravo Cruz, Aurora Quintero Lira, Javier Piloni Martini, Cesar Uriel López Palestina y Esther Ramírez Moreno

por haber presentado el trabajo en modalidad oral

Análisis químico-proximal de mermeladas elaboradas a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*), chía (*Salvia hispánica*), aguamiel y xoconostle (*Opuntia spp.*) a diferentes concentraciones

en el marco del

**1er. FORO MULTIDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
"DESARROLLO E INNOVACIÓN"**

y CONGRESO MULTIDISCIPLINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS 2024, realizado en el Campus Celaya-Salvatierra en la Ciudad de Celaya, Guanajuato del 14 al 18 de octubre. Esta constancia avala 25 horas crédito.

"La Verdad Os Hará Libres"

Celaya, Guanajuato 14 de octubre del 2024


Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos
Director de Departamento de
Ingeniería Agroindustrial



Noche de las Estrellas hace entrega del siguiente **Reconocimiento**

A:

Arelly Vega Domínguez , Ernesto Guzmán Zárate, Magdalena Bravo Cruz

Por su invaluable participación en la impartición del Taller **Plasti-Lab " Modelando Ciencia "** desarrollado en la noche de Estrellas 2024

Estación Terrena de Tulancingo Hgo., realizado el 9 de Noviembre 2024.

SEDE TULANCINGO, Hgo.

Dr. David M. Gale, INAOE
Comité organizador local.

