



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

“Desarrollo, caracterización, evaluación sensorial y la estabilidad de una mermelada reducida en calorías utilizando alulosa y el subproducto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I. en AL. Mariana Lema Gonzalez

Dirigido por:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Querétaro, Qro. a 25 de noviembre, 2022



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Desarrollo, caracterización, evaluación sensorial y la
estabilidad de una mermelada reducida en calorías
utilizando alulosa y el subproducto de jamaica
(Hibiscus sabdariffa L.)

por

Mariana Lema González

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: FQMAC-300235



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Desarrollo, caracterización, evaluación sensorial y la estabilidad de una mermelada reducida en calorías utilizando alulosa y el subproducto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I. en AL. Mariana Lema Gonzalez

Dirigido por:

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios
Presidente

Firma

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Secretario

Firma

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Vocal

Firma

Dra. Encarna Aguayo Giménez
Suplente

Firma

Dr. Gerardo Nava Morales
Suplente

Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro
Noviembre, 2022
México

Agradecimientos

Expreso total agradecimiento a México, Querétaro, la Universidad Autónoma de Querétaro y la Facultad de Química que permitieron formarme y ser parte de la comunidad.

A mi directora de tesis Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios por su orientación académica, ayuda y compromiso brindado para la realización de este proyecto.

A los miembros de mi comité y profesores por su valiosa colaboración y guía teórico/práctico, compartiendo sus conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado durante toda mi estancia en el posgrado.

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro (CICATA); el Dr. Eduardo Morales Sánchez por permitirme hacer uso de sus instalaciones y equipos.

A la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro por el financiamiento del fondo “Química Somos Todos” 2021 (JPQ-OFIC 167/2021)

Finalmente, a todos aquellos que contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE ANEXOS	v
Declaración de Responsabilidad del Estudiante	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Tendencias de consumo de alimentos con contenido reducido de azúcares	3
2.1.1 Edulcorantes no calóricos como herramientas para reducir el azúcar en productos procesados	5
2.1.2 Reformulación de productos: reducción de azúcar en mermeladas	7
2.2 Desarrollo de alimentos a base de subproductos.....	10
2.2.1 Uso de subproductos alimentarios.....	10
2.2.2 características generales, composición nutricional y fitoquímica de los cálices de jamaica	13
2.2.3 Composición fitoquímica del subproducto de jamaica	15
2.2.3 Productos derivados de la manzana.....	16
2.3 Estabilidad de las mermeladas.....	19
III. OBJETIVOS.....	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos.....	21
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1. Materiales.....	22
4.2. Métodos	23
4.2.1 Deshidratación de los cálices de jamaica	23
4.2.2 Determinación de la relación de sacarosa:slulosa en geles de pectina	23
4.2.2.1 Análisis de perfil de textura (TPA) de geles de pectina.....	25

4.2.3. Elaboración de mermelada de jamaica-manzana.....	25
4.2.3.1 Elaboración de la mermelada de jamaica-manzana con sacarosa (MR)	25
4.2.3.2. Elaboración de las mermeladas de jamaica-manzana reducidas en calorías con extracto de jamaica (MCE) y subproducto de jamaica (MSE).....	27
4.2.4. Análisis fisicoquímicos	27
4.2.4.1. Determinación de la actividad de agua (Aa).....	27
4.2.4.2 Determinación de sólidos solubles totales (° Bx).....	27
4.2.4.3 Determinación de pH	28
4.2.4.4 Determinación de acidez titulable	28
4.2.4.5. Análisis de color.....	28
4.2.4.6 Análisis de reología.....	29
4.2.4.7 Análisis de perfil de textura (TPA)	30
4.2.4.8. Medición de sinéresis.....	30
4.2.5 Análisis bromatológicos	30
4.2.5.1 Determinación del contenido de humedad	31
4.2.5.2 Determinación del contenido de cenizas.....	31
4.2.5.3 Determinación del extracto etéreo	32
4.2.5.4 Determinación del contenido de proteína.....	33
4.2.5.5 Determinación de azúcares reductores.....	33
4.2.6 Análisis fitoquímicos	34
4.2.6.1 Contenido de fibra dietética total	34
4.2.6.2 Extracción de los compuestos fitoquímicos de las mermeladas.....	34
4.2.6.3 Determinación del contenido total de compuestos fenólicos (CTF).....	35
4.2.6.3 Cuantificación de proantocianidinas extraíbles	35
4.2.6.4 Cuantificación de antocianinas monoméricas (AM).....	36
4.2.6.5 Capacidad Antioxidante	37
4.2.6.5.1 Actividad captadora de radicales DPPH.....	37
4.2.6.5.2 Actividad captadora de radicales ABTS ⁺	37
4.2.7 Análisis microbiológico y sensorial	38
4.2.7.1 Análisis microbiológico.....	38
4.2.7.2 Evaluación sensorial	38

4.8	Análisis de estabilidad en almacenamiento	39
4.3	Diseño experimental y análisis estadístico.....	40
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1	Relación de sacarosa: alulosa en geles de pectina.....	41
5.3	Análisis fisicoquímicos	51
5.4	Análisis Bromatológicos.....	62
5.5	Análisis fitoquímicos	65
5.6	Análisis microbiológico y sensorial	68
5.7	Análisis de estabilidad en almacenamiento de mermeladas de jamaica-manzana.....	71
VI.	CONCLUSIONES	89
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
VII.	ANEXOS.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades químicas de la alulosa (CAS 551-68-8).....	5
Tabla 2. Composición nutricional de cálices de Jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) .	14
Tabla 3. Compuestos fitoquímicos más representativos de los cálices de jamaica secos (Hibiscus sabdariffa L.)	15
Tabla 4. Proporción de sacarosa y alulosa en geles de pectina en relación con el poder edulcorante (PE).	24
Tabla 5. Formulación base de mermelada de jamaica-manzana (MR)	26
Tabla 6. Análisis de perfil de textura (TPA) y características fisicoquímicas de geles de pectina.	48
Tabla 7. Formulaciones de mermeladas de jamaica-manzana.....	51
Tabla 8. Análisis fisicoquímico de las mermeladas de jamaica-manzana	52
Tabla 9. Parámetros de color de las mermeladas de jamaica-manzana	54
Tabla 10. Propiedades reológicas de las mermeladas de jamaica-manzana a 25°C	56
Tabla 11. Perfil de textura (TPA) de las mermeladas de jamaica-manzana	61
Tabla 12. Análisis bromatológico de las mermeladas de jamaica-manzana.	63
Tabla 13. Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de mermeladas de jamaica-manzana.....	66
Tabla 14. Calidad microbiológica de las mermeladas de jamaica-manzana.....	68
Tabla 15. Calidad microbiológica de las mermeladas de jamaica-manzana durante almacenamiento.....	74
Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del almacenamiento.	76
Tabla 17. Parámetros del perfil de textura (TPA) de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del almacenamiento.	77

Tabla 18. Parámetros de color, antocianinas y proantocianidinas de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del tiempo de almacenamiento.....	84
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) planta de Jamaica en floración, B) flor de jamaica C) cálices de Jamaica en cosecha (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	13
Figura 2. Frecuencia en la escala JAR de la percepción de dulzor en geles de pectina 1 %.	42
Figura 3. Probabilidad de rechazo de los geles en la percepción del dulzor de acuerdo con el reemplazo de sacarosa. a) Rechazo menos dulce que R y b) Rechazo más dulce que R.	45
Figura 4. Dulzor óptimo (suma de rechazo “menos dulce que R” + rechazo de “más dulce que R”).	46
Figura 5. Reogramas de mermeladas de jamaica-manzana a 25 °C.....	55
Figura 6. Curva de viscosidad aparente de mermeladas de jamaica-manzana a 25°C;	57
Figura 7. Dependencia de la frecuencia del módulo de almacenamiento o elástico a) y módulo de pérdida o viscoso b) a 25 °C de las mermeladas de jamaica-manzana	59
Figura 8. Evaluación sensorial de MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 24 % de sacarosa; MSE: Mermelada sin extracto de jamaica con 24 % de sacarosa.	70
Figura 9. Actividad de agua (Aa) de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	72
Figura 10. Ángulo de matiz (Hue) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	79
Figura 11. Intensidad de color representado por croma (C*) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	80
Figura 12. Luminosidad (L*) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	80

Figura 13. Capacidad antioxidante por DPPH de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	86
Figura 14. Capacidad antioxidante por ABTS ⁺ de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) a) y oscuridad b)	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de evaluación sensorial de la escala JAR	108
Anexo 2. Ficha de evaluación sensorial de la prueba hedónica de aceptación y preferencia.	109
Anexo 3. Consentimiento informado de la evaluación sensorial.	110

Declaración de Responsabilidad del Estudiante

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.

Mariana Lema G.

I en AL. MARIANA LEMA GONZÁLEZ

RESUMEN

El alto consumo de azúcares añadidos está relacionado con la obesidad y enfermedades como el síndrome metabólico, por lo tanto, la reformulación es una estrategia que promueve un menor consumo de estos azúcares en alimentos procesados mediante el uso de edulcorante naturales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar fisicoquímica, fitoquímica y sensorialmente mermeladas reducidas en calorías utilizando alulosa y el subproducto de jamaica, además evaluar su estabilidad durante 150 días de almacenamiento a 25 °C en condiciones de luz blanca y oscuridad. Se implementó la metodología Just-About-Right (JAR) para encontrar la relación de sacarosa-alulosa con la que se percibiera el dulzor similar a la sacarosa. Se desarrollaron tres formulaciones de mermelada de jamaica-manzana, mermelada referencia con 50% de sacarosa, subproducto y extracto de jamaica (MR). La sacarosa fue sustituida por alulosa (25%) en la mermelada con subproducto y extracto de jamaica (MCE) y en la mermelada con subproducto sin extracto de jamaica (MSE). Se añadió a las tres formulaciones manzana para mejorar la textura. La sustitución de sacarosa por alulosa en MCE y MSE no afectó significativamente la actividad de agua (≤ 0.79). Además, las pruebas reológicas indican un comportamiento similar a un gel ($G' > G''$). Las mermeladas reducidas en calorías se caracterizaron por un contenido total de carbohidratos más bajo (42.40 – 44.14%) y una disminución del contenido calórico del 40% en comparación con MR. La ausencia de extracto de jamaica en MSE no se afectó el color, pero sí presentó una disminución en la capacidad antioxidante del 30 y 17% (DPPH y ABTS⁺). La reducción de sacarosa no afectó la aceptación sensorial de las mermeladas. La estabilidad del color y los compuestos polifenólicos fue mayor en condiciones de oscuridad, contando con reducciones en la capacidad antioxidante alrededor del 50%, mientras que en exposición a la luz las reducciones fueron del 60%. Por lo tanto, el uso del subproducto de jamaica en alimentos procesados representa una alternativa sustentable con potencial fitoquímico y la sustitución parcial de sacarosa por alulosa aporta a las mermeladas una reducción calórica conservando las propiedades fisicoquímicas y sensoriales similares a una mermelada con 50% de sacarosa; estables durante al menos 5 meses de almacenamiento en oscuridad a 25 °C.

Palabras Claves: Reducción de calorías, subproducto, mermelada, estabilidad.

ABSTRACT

Excessive intake of free sugars is associated with obesity and diseases such as metabolic syndrome, therefore, product reformulation is a strategy that promotes a lower consumption of these sugars in processed foods through the use of natural sweeteners. The objective of this work was to develop and characterize physicochemically, phytochemically and sensorially reduced calorie jams using allulose and roselle by-product, and to evaluate their stability during 150 days of storage at 25 °C under white light and dark conditions. The Just-About-Right (JAR) methodology was implemented to find the sucrose-allulose ratio at which sucrose-like sweetness was perceived. Three jams formulations were developed, reference jam with 50% sucrose, by-product and roselle extract (RJ). Sucrose was partially (25%) replaced by allulose in jam with by-product and roselle extract (JBE) and in the jam with by-product without roselle extract (JB). Apple was added to three jams formulations to improve texture. Substitution of sucrose for allulose in JBE and JB did not significantly affect water activity (≤ 0.79). The dynamic rheological testing indicated gel-like behavior ($G' > G''$) in jams. The reduced-calorie jams were characterized by a lower total carbohydrate content (42.40 - 44.14%) and a 40% decrease in caloric content compared to RJ. The absence of roselle extract in JB did not affect color but did present a decrease in antioxidant capacity of 30 and 17% (DPPH and ABTS+). Sucrose reduction did not affect the sensory acceptance of the jams. The stability of color and polyphenolic compounds was higher in dark conditions, with reductions in antioxidant capacity about 50%, while in light exposure the reductions were 60%. Therefore, the use of roselle by-product in processed foods represents a sustainable alternative with phytochemical potential and the partial substitution of sucrose by allulose provides jams with a caloric reduction while preserving the physicochemical and sensory properties similar to a jam with 50% sucrose; stable for at least 5 months of storage in the dark at 25 °C.

Keywords: Calorie reduction, by-product, jam, stability.

I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento agroalimentario genera grandes cantidades de residuos o desechos que se conocen actualmente como subproductos, considerados como contaminantes ambientales, aunando a una mala disposición y gestión deficiente afectan el entorno social y económico. Desde el concepto de economía circular se tiene por finalidad valorizar biorresiduos alimentarios como cáscaras, semillas, tallos, raíces, restos de pulpa, bagazos, ya que conservan un alto contenido de moléculas bioactivas. Por lo tanto, estos subproductos podrían ser utilizados como materias primas industriales (Gómez-García et al., 2021). En este sentido, los cálices secos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) se utilizan comúnmente en la elaboración de bebidas, generando un extracto con abundantes ácidos orgánicos, polisacáridos, compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas con diversas actividades farmacológicas y antioxidantes; también, se genera un residuo conocido como subproducto que conserva hasta en un 50% los mismo compuestos biológicamente activos del extracto, así como, un alto contenido de fibra dietaria (14.6 %) (Amaya-Cruz et al., 2017a). Dicho subproducto por sus características podría ser utilizado como ingrediente alimentario, representando una alternativa en la elaboración de jaleas o mermeladas.

Las mermeladas son conservas de frutas con un alto contenido de azúcar. Se elaboran concentrando pulpa de la fruta y sacarosa (50:50 p/p), puede añadirse pectina y otros aditivos, hasta obtener un contenido total de sólidos solubles entre 60 y 70% (CXS 296-2009). Sin embargo, una de las principales tendencias es la atención a los problemas de salud asociado con el consumo excesivo de azúcar añadido, que está relacionado con la obesidad, la diabetes tipo II y el síndrome metabólico (Deliza et al., 2021). De hecho, la Organización Mundial de la Salud recomienda una ingesta de azúcar libre menor del 10% de la ingesta total de energía (World Health Organization, 2015) como resultado, la reformulación de alimentos es una estrategia que tiene por finalidad reducir la ingesta de azúcares

añadidos. En Latinoamérica se han implementado políticas que ejercen un efecto sinérgico con la reformulación de alimentos, tales como el etiquetado nutricional en frente del producto, impuestos y regulaciones de mercadeo (Deliza et al., 2021). En México, se ordenó el etiquetado nutricional de los alimentos envasados a través de la Ley Nacional Mexicana NOM-051, llevando a la industria a reformular alimentos como las mermeladas, reduciendo el contenido de azúcar añadido, pero conservando características sensoriales y fisicoquímicas, por ello, una de las estrategias aplicadas en la reducción de sacarosa, pero no del dulzor es la incorporación de edulcorantes no calóricos que a su vez no comprometa el sabor y la estabilidad del producto (Oliveira et al., 2021).

Si bien, las mermeladas son un producto de humedad intermedia (semisólido) que se someten a un proceso de cocción con una temperatura superior a los 70 °C para prolongar su vida útil, la pérdida de nutrientes termolábiles es inminente donde la velocidad de deterioro varía por las condiciones del proceso. Sin embargo, cualquier modificación en su composición puede elevar o retardar la pérdida de estos compuestos durante el almacenamiento y afectar negativamente las propiedades organolépticas, ya sea la textura, sensación en boca, el color o el sabor. Este tipo de alimentos no perecederos listos para consumo, que además se pueden transportar a cualquier parte, son muy consumidos, por lo tanto, controlar factores composicionales como el tipo de materia prima, el pH, contenido de azúcar, tipo y concentración de pectina, así como condiciones de almacenamiento, tales como la temperatura y exposición a la luz son factores que determinan la vida útil del producto (Shinwari & Rao, 2018). En este sentido, tanto la valorización de subproductos alimentarios, como la creciente demanda de productos con contenido reducido en azúcar y calorías es una tendencia que se puede abordar mediante el desarrollo de una mermelada con el subproducto de jamaica reducida en calorías.

II. ANTECEDENTES

2.1 Tendencias de consumo de alimentos con contenido reducido de azúcares

Los azúcares agregados son aquellos que se adicionan a los alimentos procesados que además de proporcionar dulzura, contribuye a una mejor textura, realza el sabor, el color e incluso actúan como conservantes mediante la retención de humedad, sin embargo, a nivel metabólico aporta pocos o nulos beneficios nutricionales, lo que contribuye a un consumo calórico excesivo (Yeung et al., 2017). Paralelamente, el alto consumo de estos mono y disacáridos añadidos se asocian con resultados adversos para la salud. Por su lado, México se encuentra en una crisis de salud pública relacionada con su cambiante sistema alimentario, atribuido tanto a estilos de vida senderaría como a hábitos alimentarios inadecuados, lo cual ha llevado a un aumento en la prevaencia de enfermedades crónicas como la diabetes tipo II, enfermedades cardíacas y síndrome metabólico (Denham & Gladstone, 2020). Por lo cual, las personas con enfermedades relacionadas con la nutrición se consideran grupos vulnerables que necesitan una dieta que no exceda los límites calóricos

La organización mundial de la salud (OMS) sugiere limitar la ingesta de azúcares añadidos y que estos no representen más del 10% de la ingesta calórica diaria (World Health Organization, 2015). En este sentido, se ha sugerido que la reformulación de alimentos es una opción potencialmente útil para reducir la ingesta de azúcares añadidos, por lo tanto, se han introducido políticas públicas que ejercen un efecto sinérgico con la reformulación de alimentos, tales como el etiquetado nutricional en frente del producto, impuestos y regulaciones de mercadeo. El etiquetado frontal del paquete que informe sobre el contenido de azúcar ha sido ampliamente reconocido como una herramienta eficaz que disuade a los consumidores a elegir productos con bajo contenido de azúcar (Nieto et al.,

2020). En 2010, el gobierno mexicano ordenó el etiquetado nutricional de los alimentos envasados a través de la Ley Nacional Mexicana, NOM-051-SCFI/SSA1-2010 y en marzo del 2020 se hizo una modificación a la norma, la cual incluye letreros octogonales negros con la expresión “exceso” en frente del paquete para aquellos alimentos que se consideran con un contenido excesivo de calorías y azúcares libres.

En contraste, en 2018 la fundación del consejo internacional de información alimentaria (IFIC) (Food and Health Survey, 2018) realizó una encuesta para conocer las percepciones, creencias y comportamientos entorno a los alimentos, resaltando la exploración de temas como las pautas y tendencias alimentarias, en este contexto, el informe evidencia que el 77% de los encuestados están tomando acciones para limitar el consumo de azúcar añadido, donde al menos el 30% utiliza la etiqueta nutricional para elegir alimentos con menos azúcar y un 20% usa edulcorantes no calóricos en lugar de azúcar como endulzante, destacando que 6 de cada 10 consumidores ven negativamente los azucares añadidos. Por otro lado, dentro de las principales motivaciones que tienen los consumidores por adoptar un patrón alimentario entorno a la reducción de azúcar añadido se basa en la pérdida de peso, cuidar su salud a largo plazo/ prevenir futuros problemas de salud. Por lo tanto, la demanda creciente de productos alimenticios con contenido reducido de azúcar es una tendencia que invita y desafía a la industria a reformular los productos alimenticios eliminando o sustituyendo de forma parcial o total el azúcar sin afectar las propiedades sensoriales (Muñoz-Almagro et al., 2021a).

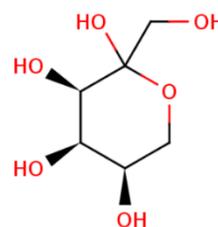
2.1.1 Edulcorantes no calóricos como herramientas para reducir el azúcar en productos procesados

La reducción del contenido de azúcar conlleva a la sustitución parcial o total por edulcorantes no calóricos sin alterar las características sensoriales y la calidad del producto final. Entre los edulcorantes no calóricos más utilizados se encuentra el ciclamato, la sacarina, el acesulfamo, la sucralosa, el aspartame, el neotame y la neoheperidina; siendo el aspartame el edulcorante más consumido (Li et al., 2021). No obstante, aunque los edulcorantes no calóricos se utilizan ampliamente, han sido objeto de investigaciones y controversias asociadas a la salud humana (Christiansen et al., 2023).

En contraste, la creciente demanda de edulcorantes bajos en calorías ha llevado a los investigadores a explorar nuevos edulcorantes naturales como alternativas a la sacarosa. Entre ellos, la alulosa, que ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial papel como edulcorante bajo en calorías proveniente de fuentes naturales (Castro-Muñoz et al., 2022). La D-alulosa (D-ribo-2-hexulosa o D-psicosa) se obtiene de la epimerización de la D-fructosa en la posición C-3 aun con un poder edulcorante menor (0.7) respecto a la sacarosa (1) tiene potencial para ser utilizado en los alimentos debido a su palatabilidad, ausencia de sabor desagradable y falta de calorías significativas debido a que el cuerpo no lo metaboliza o lo metaboliza en un menor grado que los azúcares naturales (Mooradian et al., 2017).

Tabla 1. Propiedades químicas de la alulosa (CAS 551-68-8)

Propiedad	D-alulosa
Poder edulcorante	0.7
Contenido energético (Kcal/g)	0.2
Formula molecular	C ₆ H ₁₂ O ₆
Peso molecular (g/mol)	180.16
Indice glucémico (%)	0
Solubilidad en agua a 25 °C (% en peso)	74



Fuente: (Bolger et al. 2021; Zhang et al. 2016).

En 2014, la alulosa fue reconocida como seguro por Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, GRN No. 498), permitiendo su utilización como ingrediente alimentario. Por su lado, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) mediante el oficio N° CEMAR/236/2020 considera que el consumo de Alulosa en todas las categorías de alimentos y bebidas en una concentración de uso en Buenas prácticas de fabricación (BPF), representa un riesgo aceptable y se clasifica como un ingrediente en las formulaciones alimentarias.

Tan et al. (2019) compararon los perfiles de sabor dulce en 16 edulcorantes destacando la fructosa, alulosa (D-psicosa), mezcla de sacarosa-alulosa e incluyendo la sacarosa como control. Los autores reportan que la fructosa, manitol y la mezcla de sacarosa-alulosa tienen perfiles de dulzor, dulzor residual y perfiles de sabores secundarios similar a la sacarosa, destacando que la mezcla sacarosa-alulosa ofrece la oportunidad de reducir calorías y respaldar una reducción de la glucosa posprandial cuando es incorporada a las formulaciones alimentarias. Natsume et al. (2021) evaluaron el efecto de la D-alulosa en la resistencia a la insulina en un modelo *in vivo* inducido por una dieta alta en sacarosa. En particular, los resultados indicaron que la D-alulosa estimuló la vía de señalización de la insulina, donde Akt es un regulador necesario para promover el transporte de glucosa, así mismo la D-alulosa aumentó la fosforilación de Akt en la grasa del epidídimo concluyendo, que el efecto anti-resistencia a la insulina de la D-alulosa puede ser beneficioso para la prevención de problemas metabólicos relacionados con la obesidad y la diabetes. Kimura et al. (2017) estudiaron los efectos de una sola ingesta de D-alulosa (5 g/día) sobre el metabolismo energético posprandial en participantes sanos; entre los resultados a destacar se encuentra una oxidación de grasas significativamente mayor (10.5 ± 0.4 frente a 9.6 ± 0.3 kJ·kg⁻¹ de peso corporal en el grupo tratado con alulosa respecto al control (10 mg de aspartame), respectivamente. Los niveles de glucosa en plasma fueron

significativamente más bajos en el grupo que consumió alulosa respecto al control; por lo tanto, se concluye, que la D-alulosa podría ser un edulcorante para controlar y mantener el peso corporal saludable probablemente a través de un metabolismo energético mejorado.

Por otro lado, el tipo de azúcar y los agentes gelificantes utilizados en las conservas jaleas y mermeladas tienen una gran relevancia, puesto que, influyen directamente en las propiedades fisicoquímicas durante almacenamiento. En este sentido, se ha reportado que la alulosa mejora las propiedades gelificantes de los alimentos, aumenta el grado del sabor y reduce el grado de oxidación (Zhang et al., 2016). Ilhan et al. (2020) estudiaron el efecto de la D-alulosa en los geles de confitería a base de almidón en presencia y ausencia de aislado de proteína de soja; teniendo como resultados relevantes que las formulaciones que contenían D-alulosa (30 % con 2 % de proteína de soja) eran menos propensas a la retrogradación, además de un aumento en la firmeza, debido al aumento de los enlaces cruzados covalentes dentro de la red de proteínas en presencia de la D-alulosa, conduciendo a una mayor rigidez de la red del gel proteico. Finalmente, los espectros de resonancia magnética nuclear mostraron picos de relajación más largos en las formulaciones con alulosa, indicando menor cantidad de agua móvil, atrapada en la red del gel.

En síntesis, la alulosa, como edulcorante artificial bajo en calorías representa una oportunidad tanto para los consumidores como para los fabricantes de alimentos, en base a la evidencia disponible sobre sus implicaciones para la salud, sus beneficios tecnológicos y sobre todo las tendencias predominantes en el mercado que recomiendan productos alimenticios atractivos al consumidor los cuales están dispuestos a probar nuevos edulcorantes alternativos a la sacarosa (azúcar).

2.1.2 Reformulación de productos: reducción de azúcar en mermeladas

México reportó una producción de mermeladas de 68.700 toneladas en el año 2020 representando un valor global del mercado mexicano de 3.1% CANAICA

(2019), asimismo, la Organización Panamericana de la Salud OPS (2019) señala que los patrones de consumo alimentarios han cambiado en las últimas tres décadas a nivel mundial, donde México entre el año 2015 y 2019 evidenció un consumo *per cápita* de mermeladas, jaleas y miel de aproximadamente un 8%. En tanto que, García de la Cadena et al. (2017) informan que las mermeladas se clasifican entre los alimentos más demandados como alimento complementario.

La norma CXS 296-2009 del *Codex alimentarius* define la mermelada como un producto preparado con una fruta o mezcla (frutas enteras, trozos, pulpa, zumo, extractos acuosos y toda o parte de la cascara), azúcar, pectina de la misma fruta o adicionada, ácido cítrico y otros aditivos alimentarios (colorantes, conservantes y aromatizantes). Se procesa hasta adquirir un contenido de sólidos solubles totales (SST) entre 60 y 70%. Las mermeladas no requieren condiciones especiales de almacenamiento; sin embargo, se recomienda que sea a temperatura aproximada de 25 °C, puesto que, si se almacena a temperaturas más altas de la recomendada se conduce a una disminución significativa de las propiedades sensoriales principalmente (Touati et al., 2014). De este modo, uno de los requisitos de calidad que el producto final debe tener es una consistencia gelatinosa, apariencia, color y sabor propia de una mermelada, en este sentido, los hidrocoloides y las concentraciones altas de azúcar en estos productos favorecen la transición de sólido a gel mediante interacciones de iones multivalentes formando un gel tridimensional a través de enlaces covalentes, puentes de hidrógeno, interacciones electroestáticas o interacciones hidrofóbicas (Moslemi, 2021). La red formada entre la pectina y el azúcar se favorece en parte por la aplicación de calor, teniendo como aspectos críticos la estabilidad física, química, sensorial y microbiológica.

En relación con el uso de etiquetas nutricionales en frente del paquete y las tendencias actuales de consumo disminuido de azúcares añadidos, la sustitución parcial de la sacarosa en las mermeladas es una alternativa para reducir la ingesta de azúcares libres por parte de algunos consumidores. Sin embargo, esta

sustitución trae consigo algunos cambios en la vida útil del producto y en las características sensoriales; esta última es de gran relevancia dado que la sacarosa cumple un papel importante en el sabor dulce, el cual a su vez es un factor crítico para la reformulación de alimentos con alto contenido de azúcar (Deliza et al., 2021).

Basu et al.(2013) concluyen que el reemplazo óptimo de sacarosa en mermeladas de mango debe ser hasta un 25 %, puesto que, el índice de consistencia y los valores de tensión de fluencia disminuyeron al aumentar la sustitución en un 50, 75 y 100 % por edulcorantes no calóricos, indicando la formación de un gel débil, por ende, el comportamiento de estas mermeladas será similar a un líquido espeso. Por otro lado, Jribi et al. (2021) estudiaron el efecto en las propiedades sensoriales y nutricionales de un reemplazo parcial de sacarosa por edulcorantes no calóricos (sucralosa, fructosa y estevia) en una mermelada de fresa. Sensorialmente no encontraron diferencias significativas en el sabor de la muestra control (50% sacarosa) respecto al sabor de la mermelada elaborada con fructosa y estevia, sin embargo, la incorporación parcial de sucralosa disminuyó significativamente la puntuación de aceptación de la mermelada ya que los panelistas percibían un sabor dulce menos intenso, de hecho, los autores encontraron una fuerte relación entre la aceptación global y la intensidad del sabor. Brevemente, Cervera-Chiner et al. (2021) mencionan que el uso de azúcares de caña no refinados en la formulación de alimentos parece una opción interesante ya que aportan antioxidantes naturales siendo la sacarosa el principal azúcar presente, minimizando la pérdida de propiedades tecnológicas. Sin embargo, la sustitución del azúcar refinado podría implicar un impacto no deseado en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, condicionando la aceptación del consumidor.

En consecuencia, la elaboración de estos productos con contenido reducido de azúcar en los que hay una sustitución por edulcorantes no calóricos podría requerir un ajuste de varios ingredientes, en el que la apariencia, gusto, sabor,

color, textura y estabilidad del producto final no se vea afectado. Dentro de los ingredientes que se han propuesto se encuentran los agentes gelificantes diferentes a la pectina cítrica, edulcorantes con propiedades tecnológicas, que aporten mayor viscosidad y brillo o mediante la utilización de subproductos alimentarios ricos en fibra dietaria, la cual, presenta atributos tecnológicos como una mayor capacidad de retención de agua, reforzando las propiedades viscoelásticas y mecánicas en un producto alimentario (Figuroa & Genovese, 2019).

2.2 Desarrollo de alimentos a base de subproductos

Durante las diferentes etapas de la cadena de suministro de alimentos casi el 30% de estos se desperdician, esto ocurre desde la producción, manipulación, procesamiento, distribución, hasta el consumo de los alimentos (M. M. de Oliveira et al., 2021). Es bien sabido que las industrias alimentarias generan grandes cantidades de residuos, los cuales son considerados desperdicios o contaminantes ambientales llamados subproductos; estos incluyen cascara, semillas, tallos, raíces, restos de pulpa y bagazos, que a pesar de su valor nutricional, aún son considerados desechos (Gómez-García et al., 2021). No obstante, en los últimos años, el sector alimentario ha estado tomando varias medidas para reducir el desperdicio de alimentos, respaldados en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y más recientemente en el concepto de economía circular, la cual centra sus principios en la reutilización, reducción y reciclaje de subproductos (Zhang et al., 2022). Este proceso de recuperación del valor integral consiste en producir productos de valor agregado a partir de subproductos que podrían considerarse como nuevas materias primas industriales con funcionalidades nutricionales, biológicas y tecnológicas (Gemechu, 2020).

2.2.1 Uso de subproductos alimentarios

El uso de subproductos como materia prima o ingrediente alimentario, además de presentar reconocidos beneficios a la salud, podría generar ganancias económicas para la industria, así como reducir el impacto ambiental de los mismos (Gómez-García et al., 2021). En relación con esto, la dinámica de los consumidores entorno al consumo de productos con ingredientes incorporados que presenten beneficios a la salud así como, alimentos que vayan de la mano con criterios de consumo sostenible ha venido en aumento, por lo que el uso de subproductos vegetales es una de las tendencias mundiales para abordar la sostenibilidad en la producción de alimentos (Chamorro et al., 2022). Como se ha venido expresando, muchos de los subproductos se generan tras el procesado de algunos productos particularmente, la industria de las bebidas genera grandes volúmenes de residuos en forma de cascara conocido como orujo, los cuales se han propuesto como ingredientes en la formulación de productos lácteos y de panadería para potenciar el contenido de antioxidantes naturales y fibras dietarías (Socas-Rodríguez et al., 2021).

Jose et al. (2022) desarrollaron galletas enriquecidas con el subproducto de piña, resultado de la extracción de jugo. En este estudio, incorporaron polvo de orujo de piña en diferentes tamaños de partícula (<149, 150-250 y 251-400 μm) y en diferentes concentraciones (5,10 y 15%) con harina refinada. Como resultados relevantes, se evidenció en primer lugar una disminución en el contenido de gluten, mayor capacidad antioxidante, mayor contenido de fibra dietaria y menor contenido de grasa. En cuanto a las propiedades de textura de las galletas, la formulación con 10% de orujo de piña y un tamaño de partícula entre 150-250 μm presento una dureza y fracturabilidad similar a un control sin orujo de piña, lo cual sugiere que este subproducto es un ingrediente prometedor para el desarrollo de alimentos de panadería. Pérez-Herrera et al (2020) elaboraron mermeladas de tomate verde (*Physalis spp*) con adición de semillas, encontrando que la presencia de las semillas además de incrementar el contenido de fibra afecto directamente es estrés de fluencia, viscosidad aparente y parámetros viscoelásticos, exhibiendo

consistencias de geles rígidos, altamente estables durante almacenamiento. Hernández-Hernández et al. (2019) tuvieron por objetivo utilizar cascara del grano de cacao considerados un desecho agroindustrial con importantes compuestos fitoquímicos tales como epicatequina, teobromina y fibra dietaria, los cuales destacan por su alto potencial beneficio a la salud. La finalidad de este estudio consistió en evaluar el efecto protector que pueda aportar este subproducto en la peroxidación lipídica de una mermelada con aceite de oliva extra virgen. Se añadió a la mermelada el subproducto del cacao en forma liofilizada y encapsulada y los autores encontraron que la encapsulación con maltodextrina puede ser una buena opción para conservar los compuestos bioactivos y así este subproducto podría mejorar la vida útil de las mermeladas mediante una sinergia con el aceite oliva.

Figuroa and Genovese (2019) desarrollaron gelatinas de frutas enriquecidas con fibra dietaria, empleando fibras de manzana, trigo, bambú y pétalos de psyllium, estudiando los efectos de esta adición sobre el color, sinéresis, propiedades reológicas y mecánicas del producto. La adición de las fibras tuvo un efecto reforzador sobre las propiedades viscoelásticas y mecánicas de las gelatinas, así mismo, la fibra de psyllium evitó por completo la liberación de agua (sinéresis).

Su duda, el pasado, presente y futuro en torno a soluciones sostenibles para el reciclaje y valorización de los subproductos alimentarios para su incorporación en la cadena de alimentos representa un reto científico y tecnológico. De ahí que, se están aplicando nuevos procesos y metodologías para reducir el impacto y aumentar la valorización de los subproductos alimentarios, en este sentido, los reportes científicos evidencian el potencial uso de los subproductos para el desarrollo de nuevos productos o ingredientes alimentarios funcionales de tal forma que se contribuya a una diversificación de alimentos enfocados en la promoción de la bioeconomía circular contribuyendo al desarrollo sostenible.

2.2.2 características generales, composición nutricional y fitoquímica de los cálices de jamaica



Figura 1. A) planta de Jamaica en floración, B) flor de jamaica C) cálices de Jamaica en cosecha (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER 2016; Riaz & Chopra, 2018.

La planta de jamaica *Hibiscus sabdariffa* L. también conocida como roselle, es un subarbusto perteneciente a la familia Malvaceae que crece en zonas tropicales y subtropicales. Muchas partes de la planta, incluidas hojas, semillas, frutos y raíces, se utilizan en industrias medicinales o alimentarias. Sin embargo, la parte económicamente más importante de esta planta es su estructura exterior carnosa, de color rojo brillante, similar a una copa, que se denomina cáliz (Meftahizadeh et al., 2021). En la industria alimentaria, los cálices secos se utilizan principalmente para la elaboración de bebidas (té, vinos y aguas de jamaica).

Los cálices de jamaica secos, se caracterizan por su alto contenido de compuestos fitoquímicos junto con nutrientes como carbohidratos que representan el macronutriente más abundante, seguido por la proteína y grasa (**Tabla 2**). De igual forma, se reporta la presencia de minerales como fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg) y zinc (Zn); vitaminas como ácido ascórbico, riboflavina, niacina, así como α y β -tocoferol. Cabe resaltar que, tanto la composición nutricional como el nivel de fitoquímicos varía en función de la fuente y procesamiento de los cálices, teniendo una mayor aplicación industrial y reportes científicos los cálices secos (Riaz & Chopra, 2018; Da-Costa-Rocha et al., 2014).

Tabla 2. Composición nutricional de cálices de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Composición nutricional	Cáliz de jamaica seco	
	Mínimo (%)	Máximo (%)
Macronutrientes		
Carbohidratos	68.75	79.25
Fibra dietética	36.00	41.37
Fibra soluble	13.34	---
Fibra insoluble	28.99	---
Proteína	5.50	9.08
Grasa	1.01	5.13
Micronutrientes		
Minerales	6.52	12.81
Fosforo	0.22	0.36
Potasio	0.21	-----
Hierro	0.06	-----
Calcio	0.33	9.12
Magnesio	0.01	3.15
Zinc	0.01	0.06

Adoptado de Riaz and Chopra (2018); Jabeur et al. (2017); Da-Costa-Rocha et al. (2014); Abou-Arab et al. (2011)

Además, los cálices de jamaica contienen ácidos orgánicos; tales como el ácido cítrico, ácido hidroxícítrico, ácido de hibisco, ácido protocatecuico y ácido málico. También, contienen compuestos fenólicos y flavonoides; de estos últimos se destacan el ácido clorogénico, el ácido cafeiolquínico y la quercetina. Tanto los compuestos fenólicos como los flavonoides se caracterizan por su actividad captadora de radicales libres con efecto beneficioso a la salud. Por su lado, las antocianinas detectadas en los cálices son delfinidina-3-sambubiósido y cianidina-3-sambubiósido, responsables del color rojo característico (Borrás-Linares et al., 2015).

Tabla 3. Compuestos fitoquímicos más representativos de los cálices de jamaica secos (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Compuestos bioactivos	Concentración (mg/100g)	Referencia
Ácidos orgánicos		
Ácido málico	90	(Jabeur et al., 2017)
Ácido oxálico	181	(Jabeur et al., 2017)
Ácido protocatecuico	86.2	(Valduga, et al., 2019)
Ácido shikimico	3.56	(Jabeur et al., 2017)
Ácido cítrico	200	(Valduga, et al., 2019)
Ácido hidroxicítrico	8.28	(Herranz-López et al., 2012)
Ácido hibisco	240	(Herranz-López et al., 2012)
Flavonoides y ácidos fenólicos		
Ácido clorogénico	5.72	(Herranz-López et al., 2012)
Quercetina	3.2	(Borrás-Linares et al., 2015)
Ácido-3-cafeilquínico	2.88	(Jabeur et al., 2017)
Antocianinas		
Cianidina-3-sambubiósido	4.08	(Jabeur et al., 2017)
Delfinidina-3-sambubiósido	7.00	(Jabeur et al., 2017)

Cabe destacar, que los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante también presentan capacidad antimicrobiana, como lo reporta Borrás-Linares et al. (2015) en extractos etanólicos de una colección de 25 variedades mexicanas de flor de Jamaica *Hibiscus sabdariffa* con diferentes intensidades de color. Se presentó una variación tanto del contenido total de ácidos fenólicos de 2400 ± 300 a 10000 ± 400 mg equivalentes de ácido gálico/100g de cáliz seco, así como la capacidad antioxidante que varió de $27,4 \pm 0,3$ a 112 ± 8 mol equivalente trolox/100 g de cáliz seco. En relación con esta capacidad antioxidante, los cálices presentaron actividad antimicrobiana frente a patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* y *Staphylococcus aureus*

2.2.3 Composición fitoquímica del subproducto de jamaica

Los cálices enteros secos de jamaica generalmente se les realiza un proceso de decocción en el que utilizan el extracto acuoso para producir una bebida que es

consumida fría o caliente por una gran cantidad de la población mexicana, incluidos los niños y los ancianos (Mercado-Mercado et al., 2015), generándose un subproducto con características especiales, el cual se reconoce como una buena fuente de fibra dietética y polifenoles con capacidad antioxidante (Sáyago-Ayerdi et al., 2014). Asimismo, Kalla et al. (2015) resaltan que la mayoría de veces el proceso de extracción o decocción se realiza una vez, por lo que el residuo puede ser una fuente prometedora de antocianinas y otros flavonoides.

Por su lado, Amaya-Cruz et al. (2017a) proponen que el subproducto proveniente de la producción de bebidas de jamaica podría ser un ingrediente funcional, ya que luego de la decocción los cálices retuvieron hasta un 65 % de compuestos polifenólicos, 54 % de flavonoides y 44 % de antocianinas (delfinidin 3,5-O-diglucósido), además de presentar una mayor contenido de fibra dietaria total (26 %) respecto al cáliz de jamaica seco. Adicionalmente, los autores reportan que este subproducto presenta una mayor capacidad de absorción de agua (8.61 ml/g), hinchazón (9.98 ml/g) y viscosidad (52.00 μ Pa.s) respecto al cáliz seco con valores de 4,57 ml/g, 4.97 ml/g y 3.11 μ Pa.s, respectivamente.

También, Se ha reportado que los cálices dependiendo del manejo y tratamiento de extracción de los compuestos bioactivos en solución presentan diferente contenido tanto de fibra dietaria como polifenoles. Amaya-Cruz et al. (2019b) reportaron que el subproducto de jamaica tiene alto contenido de fibra dietaria insoluble (48.43 %) y fibra dietaria soluble (18.44 %), así mismo reportan polifenoles no extraíbles, es decir, adheridos a la fibra dietética con un contenido de 6.18 GAE mg/g y proantocianidinas no extraíbles (6.67 mg C₃G/g); a pesar de mostrar un bajo contenido de polifenoles extraíbles el subproducto de jamaica tiene potencial como ingrediente funcional con valor nutracéutico.

2.2.3 Productos derivados de la manzana.

Por otro lado, una de las principales características de las manzanas es que pueden almacenarse y estar disponibles durante todo el año. Por lo cual, el mayor

consumo de esta fruta es en fresco, sin embargo, se estima que el 25 – 30 % de la producción total se convierte en productos procesados, siendo el concentrado de jugo de manzana el principal producto (Cruz et al., 2018). En menor proporción se elaboran otros productos como mermeladas, compotas, té, vino o manzanas secas (Ullah et al., 2021).

A nivel mundial, el jugo de manzana es el segundo producto más popular y consumido. Después de la extracción del zumo de manzana, se generan grandes cantidades de subproductos, los cuales tienen aplicaciones tradicionalmente como alimento crudo o para compostaje, sin embargo este subproducto, orujo de manzana, también se utiliza para producir pectina, lo cual representa uno de los enfoques más prácticos y más extendidos para la valorización (Cruz et al., 2018; Vidović et al., 2020)

De este modo, aproximadamente el 14% de la producción mundial de pectina corresponde al orujo de manzana, además se estima que para el 2023 el mercado mundial de pectina aumente anualmente 8.56%, en consecuencia, la manzana utilizada como materia prima de la pectina es fundamental para contribuir a la oferta global sostenible (Morales-Contreras et al., 2020). Continuando, la función principal de la pectina en la mermelada es formar un hidrogel que, en presencia de azúcar y de iones multivalentes se puede formar un gel tridimensional mediante reacciones químicas a través de enlaces covalentes, puentes de hidrogeno, interacciones electroestáticas o interacciones hidrofóbicas (Moslemi, 2021).

En este orden de ideas, Rascón-Chu et al.(2009) evaluaron las propiedades funcionales y fisicoquímicas de la pectina extraída de la manzana “Golden Delicious”; la cual presentó un contenido de ácido galacturónico del 65%, un grado de esterificación de 57%, una peso molecular de 112 kDa, correlacionado con una viscosidad intrínseca de 307 ml/g, así mismo, presentó una dureza en el gel de 10.2 g, donde la formación del gel se generó después de 12h. Estos resultados demuestran que la pectina proveniente de esta fruta podría utilizarse como aditivo alimentario para texturizar o estabilizar diferentes productos alimenticios.

La diversificación de alimentos es un factor clave para mejorar las propiedades fisicoquímicas, estado nutricional y satisfacción del consumidor; Rana et al. (2021) propusieron la elaboración de una mermelada mixta con pulpa de coco y piña con la finalidad de asociar características de dos frutas para mejorar el perfil sensorial. Como resultados relevantes las mermeladas con una relación 3:1 de piña: coco mostró buena aceptación sensorial, particularmente en el color, sabor y textura. Por otro lado, Ferreira et al. (2021) caracterizaron física, química, microbiológica y sensorialmente mermeladas de manzana (*Malus communis*) y papaya (*Carica papaya*) utilizando una proporción de pulpa: sacarosa 50:50; con la finalidad de promover la producción de mermeladas con altos parámetros de calidad y valor nutricional, así como, presentar una alternativa para aprovechar al máximo los excedentes de producción de frutas.

Tradicionalmente, las mermeladas de jamaica se elaboran a partir de manzana y extracto de jamaica; ya que el principal uso de los cálices de jamaica reca en la extracción de sus compuestos en medios acuosos o etanólicos con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de compuestos fenólicos incluidas las antocianinas (Singh et al., 2021). De hecho, la planta de Jamaica (*H. sabdariffa*) produce hasta 500 kg de cálices comestible por hectárea, reportado en los cálices una proporción de hasta 1.5 g/kg de materia seca de antocianinas (Fann et al., 2008). Como ya se ha mencionado, las antocianinas son compuestos bioactivos naturales solubles en agua; son glucósidos de derivados polihidroxi y polimetoxi de las sales de 2-fenilbenzopirilio o flavilio (Kopjar & Piližota, 2011) y son responsables del color de las especies que las contengan, generalmente se aprecian de color rojo, morado o azul según el pH del medio (Kang et al., 2019). Asimismo, una propiedad importante de las antocianinas es su actividad antioxidante. Si embargo, mantener la funcionalidad de este compuesto es los alimentos representa un desafío debido a su inestabilidad molecular, consecuentemente alta susceptibilidad a la degradación en condiciones ambientales, de igual forma, factores como las condiciones de procesamiento y almacenamiento pueden afectar su estabilidad,

por lo cual se requieren de estrategias tecnológicas para preservar las propiedades de estos compuestos.

2.3 Estabilidad de las mermeladas

Como se ha expresado, las mermeladas son conservas de frutas con alto contenido de azúcar, las cuales se elaboran concentrando la pulpa de fruta con el azúcar, pectina, ácido cítrico y otros conservantes o colorantes. La principal característica de la materia prima con la que se elaboran este tipo de productos recae en el alto contenido de nutrientes como fitoquímicos, antioxidantes y vitaminas a los cuales se les atribuyen beneficios a la salud (Bajramova & Spégel, 2022). Además de los factores genéticos y ambientales, la madurez y las condiciones de almacenamiento afectan la calidad general de las frutas, aumentando o disminuyendo el contenido de estos metabolitos secundarios. En este sentido, recientemente ha habido un mayor interés científico y de por parte de la industria de alimentos en frutos, flores o matriz vegetal rica en compuestos polifenólicos, tanto antocianinas como flavonoles (Borowiec et al., 2022). En efecto, muchos alimentos que contienen antocianinas se procesan térmicamente antes de su consumo y este proceso puede influir en gran medida en el contenido final de antocianinas en el producto, en este sentido, la estabilidad química de las antocianinas es el foco principal de muchos estudios recientes debido a sus abundantes aplicaciones potenciales, sus efectos beneficiosos y su uso como alternativa a los colorantes artificiales en los alimentos (Patras et al., 2010)

Shinwari and Rao (2018) reportaron que la pérdida de compuestos bioactivos en mermeladas está determinada en gran medida tanto por la composición del producto como la cantidad de azúcar, tipo y concentración de pectina; fruta, variedad de esta; pH e incluso las condiciones de almacenamiento del producto final pudieran acelerar o retardar la pérdida de estos compuestos. Así mismo, se menciona que las antocianinas tienden a la inestabilidad debido al núcleo de

flavylium, que tiene deficiencia de electrones, por lo cual, la pectina y el azúcar de las mermeladas o jaleas la estabilizan al absorber el catión flavilio, donde el azúcar y la baja actividad de agua evitan un ataque nucleófilo en la posición C-2 por el agua.

Diferentes estudios mencionan que entre mayor sea el contenido de sólidos totales, es decir, mermeladas de altas en calorías, así como pectinas de alto metoxilo favorece la estabilidad de las antocianinas. No obstante, hay otras investigaciones como Holzwarth et al. (2013) que no reportaron efectos significativos sobre la retención de antocianinas usando diferentes tipos de pectinas en mermelada de fresa. Si bien, la pérdida de compuestos bioactivos es más notorio durante el procesamiento de la mermelada, cierto porcentaje se retiene, el cual puede disminuir hasta perderse definitivamente durante almacenamiento, sin embargo, esta tasa de degradación varía debido a la composición del producto como ya se mencionó, al igual que condiciones de almacenamiento.

Brevemente, Cervera-Chiner et al. (2021) mencionan que el uso de azúcares de caña no refinados en la formulación de alimentos parece una opción interesante ya que aportan antioxidantes naturales siendo la sacarosa el principal azúcar presente, minimizando la pérdida de propiedades tecnológicas. Sin embargo, la sustitución del azúcar refinado podría implicar un impacto no deseado en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, condicionando la aceptación del consumidor.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar, caracterizar fisicoquímica y fitoquímicamente una mermelada reducida en calorías utilizando alulosa y el subproducto de jamaica y evaluar su aceptabilidad sensorial y estabilidad.

Objetivos específicos

- Encontrar la relación óptima de la sustitución de sacarosa por alulosa en geles de pectina, mediante un método de evaluación sensorial basado en la percepción de dulzor.
- Evaluar el impacto de la sustitución de sacarosa por alulosa, el uso del subproducto y el extracto de jamaica en las características fisicoquímicas, fitoquímicas, bromatológicas, microbiológicas y sensoriales en mermeladas de jamaica-manzana.
- Evaluar la estabilidad fisicoquímica y fitoquímica de las mermeladas desarrolladas durante 150 días de almacenamiento a 25 °C en condiciones de luz blanca y oscuridad.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Semillas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad “criolla” se sembraron en el mes de agosto de 2021 en la zona de pueblo Madero, El Playón en el estado de Guerrero, México (17.132004° N, 99.6791° O). En el mes de diciembre de 2021 se cosecharon los cálices frescos según las operaciones de los agricultores y se transportaron a la planta piloto de alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro donde se almacenaron a 4 °C durante un máximo de 3 días, tiempo en el cual los cálices se sometieron a un proceso de secado en condiciones controladas. Se adquirió manzana criolla Golden Delicious (*Malus domestica*) en la central de abastos de Querétaro. Además, se utilizó sacarosa, alulosa y pectina cítrica, todo grado alimenticio y fueron adquiridos en una casa comercial. Todos los reactivos químicos utilizados en este estudio fueron de grado analítico. NaOH, CuSO₄, Na₂SO₄, H₂SO₄, kit comercial TDF-100A, ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), tartrato de sodio y potasio, etanol 90%, reactivo de Folin-Ciocalteu, Na₂CO₃, C₇H₆O₅, n-BuOH/ HCl, Fe₂(SO₄)₃, KCl, CH₃COONa, 2,2-Difenil-1-(2,4,6-trinitrofenil)hidracin-1-il (DPPH), metanol 80%, 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS), K₂S₂O₈, ácido ascórbico, HCl (0.1N) se adquirieron de Sigma-Aldrich (México).

Los experimentos correspondientes a esta investigación fueron realizados en la planta piloto de alimentos, en el laboratorio de análisis sensorial y en el Laboratorio de bioquímica y fisiología postcosecha de frutas y hortalizas del Posgrado de Alimentos; todos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

4.2. Métodos

4.2.1 Deshidratación de los cálices de jamaica

Se seleccionaron los cálices de jamaica frescos, retirando la materia extraña y aquellos cálices que presentaron daños físicos o signos de deterioro. Los calices seleccionados se deshidrataron a 45 °C en dos secadores de aire forzado (Memmert® y BINDER®); hasta lograr una humedad final de 12.5% (1.25 g H₂O/g MS) (Ledezma-Valladolid, 2017). Finalizado este proceso se empacaron los calices secos en bolsas de celofán (1 kg en cada bolsa) y se almacenaron en un lugar seco a temperatura ambiente hasta su uso.

4.2.2 Determinación de la relación de sacarosa:alulosa en geles de pectina

Para encontrar la relación de sacarosa:alulosa con la que se percibiera el dulzor similar a la sacarosa, se llevó a cabo una evaluación sensorial utilizando la metodología Just-about-Right (JAR) (Kongstad & Giacalone, 2020), usando como modelo alimenticio un gel de pectina, el cual, se preparó usando pectina cítrica (1%), extracto de jamaica (49 mL; pH = 2.4 ± 0.04) y variando las concentraciones de sacarosa y alulosa (**Tabla 4**) considerando su poder edulcorante (PE). La sacarosa tiene un PE de 1.0, mientras que la alulosa de 0.70, por esa razón para obtener un gel con 50% de edulcorante usando solo alulosa se requirieron 71 g de esta. Las mezclas se calentaron de manera independiente a 85 °C hasta alcanzar una concentración final de sólidos solubles totales de 65 % o °Bx considerando este valor como control en las mermeladas tradicionales en base al CXS 296-2009. Las mezclas de dejaron enfriar para permitir la formación del gel.

Tabla 4. Proporción de sacarosa y alulosa en geles de pectina en relación con el poder edulcorante (PE).

Geles	Sacarosa (g/100g)	Alulosa (g/100g)
1*	0	71
2	5	64
3	10	57
4*	15	48
5	20	43
6*	25	36
7	30	28
8*	35	21
9	40	14
10	45	7
Referencia (R)*	50	0

Nota: PE sacarosa: 1; PE alulosa 0.70

*Geles seleccionados para el análisis de textura (TPA)

Previa aprobación del comité de Bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (No. de oficio. CBQ21/054). Se reclutó un panel de 25 consumidores con previo conocimiento sobre evaluación sensorial. La evaluación se realizó en cabinas individuales con una temperatura ambiente de 25 ± 2 °C, los consumidores fueron instruidos antes de la evaluación, en la cual se les solicitó evaluar la percepción del dulzor de geles de pectina con diferentes proporciones de sacarosa y alulosa.

Se proporcionaron 10 g de cada gel en vasos de plástico blanco etiquetados de acuerdo con la práctica internacional utilizando números aleatorios de 3 dígitos; se aplicó un diseño de bloques balanceados para evitar el sesgo de respuesta potencial y los efectos de arrastre debido al orden de presentación según la norma ISO 6658:2019. A los panelistas se les proporcionó agua y galletas para neutralizar el sabor dulce entre muestras. La percepción del dulzor se evaluó usando la escala JAR bimodal con dos puntos extremos y un punto medio, correspondientes a los niveles “más dulce que R”, “menos dulce que R” e “igual de dulce que R”, teniendo como referencia (R) un gel de pectina y extracto de jamaica con sacarosa al 50%. La hoja de respuesta utilizada en la evaluación

sensorial se muestra en el (**Anexo 1**). La relación de sacarosa:alulosa se determinó de acuerdo a los criterios sensoriales con el gusto medio de los consumidores mediante un análisis de sobrevivencia (Hough, 2010).

4.2.2.1 Análisis de perfil de textura (TPA) de geles de pectina

Con la finalidad de evaluar la textura de los geles se determinó el perfil de textura (TPA) siguiendo la metodología propuesta por Jia et al. (2022) con algunas modificaciones. Firmeza (N), gomosidad (N) y masticabilidad (N) se determinaron mediante una prueba de compresión de dos mordidas usando un analizador de textura (Brookfield CT3, AMETEK) con una celda de carga de 0.05 N y equipado con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro (TA 36). Los parámetros establecidos para la medición fueron una distancia de 10 mm y una velocidad de prensado de 1.0 m/s.

4.2.3. Elaboración de mermelada de jamaica-manzana

4.2.3.1 Elaboración de la mermelada de jamaica-manzana con sacarosa (MR)

Se elaboró una mermelada tradicional con cálices de jamaica y sacarosa; para esta formulación se usó también manzana criolla Golden Delicious con la finalidad de aportar consistencia. El proceso de desinfección de los cálices secos de jamaica consistió en sumergirlos durante 10 min en una solución de ácido peracético al 5% (v/v), los cálices fueron decantados y centrifugados manualmente. Por otro lado, las manzanas enteras se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 50 ppm por 5 min (Suslow, 1997). Se utilizó sacarosa (azúcar estándar) y pectina cítrica (CXS 296-2009; CXS 192-1995). Todos los utensilios y recipientes se desinfectaron con una solución de NaClO a 250 ppm por 10 min (Suslow, 2005). Para elaborar la mermelada referencia, primeramente los cálices de jamaica sanitizados se les agregó agua potable en una relación 1:9, para llevarlos a un proceso de cocción por 15 min a temperatura de ebullición con la finalidad de hidratar y suavizarlos (Amaya-Cruz et

al., 2019b), una vez a temperatura ambiente se filtró para obtener los cálices hidratados y el extracto correspondiente. La **Tabla 5** detalla los ingredientes de la formulación base; a esta mermelada se le denominó mermelada Referencia (MR).

Tabla 5. Formulación base de mermelada de jamaica-manzana (MR)

Ingredientes (g/100g)	MR
Jamaica*	35.00
Manzana	7.50
Sacarosa	49.00
Pectina cítrica	0.50

*subproducto + extracto de jamaica

Una vez pesados los ingredientes, en una licuadora semiindustrial se molieron los cálices hidratados con el extracto de su decocción, las manzanas con piel y cortadas en cubos; a esta mezcla se le determinaron los parámetros de calidad inicial; sólidos solubles totales (SST) expresados en porcentaje (% o °Bx) (AOAC 932.12), el potencial de hidrógenos (pH; AOAC 981.12) y la acidez titulable (AOAC 942.15). La mezcla se colocó en la marmita y se agregó 2/3 del azúcar total, después de mezclar comenzó el proceso térmico monitoreando los SST, el pH y la acidez titulable de la pasta, así como la presión de vapor de la marmita, la temperatura de la pasta y de la marmita. Como el pH fue de 2.2 ± 0.09 no hubo necesidad de agregar ácido cítrico. Cuando la pasta se concentró a 20% SST se adicionó el resto de azúcar (1/3) junto con la pectina y se continuó el proceso de concentración hasta obtener 65 % SST (Cervera-Chiner et al., 2021).

La mermelada caliente (80 °C) se vertió en frascos de vidrio previamente desinfectados. Una vez cerrados, se voltearon para permitir la esterilización de la tapa de metal y la generación de vacío. Después de 5 min, los frascos se voltearon de nuevo y se dejaron enfriar por 24 h para permitir la gelificación de la pectina (Cervera-Chiner et al. 2021); el producto final se almacenó en oscuridad y a temperatura ambiente (25 °C) hasta sus posteriores análisis.

4.2.3.2. Elaboración de las mermeladas de jamaica-manzana reducidas en calorías con extracto de jamaica (MCE) y subproducto de jamaica (MSE).

Partiendo de cálices hidratados y del extracto de jamaica como se menciona en el apartado 4.2.3.1 (Amaya-Cruz et al., 2019b), se elaboraron dos formulaciones reducidas en calóricas usando la mezcla de sacarosa:alulosa resultado de la sección 4.2.2 y usando extracto de Jamaica (MCE) y mermelada sin extracto (MSE). Para compensar el volumen del extracto a la segunda mermelada se reemplazó el mismo por agua potable siguiendo el mismo procedimiento descrito en la sección 4.2.3.1.

4.2.4. Análisis fisicoquímicos

4.2.4.1. Determinación de la actividad de agua (Aa)

El valor de la actividad de agua se midió en un AquaLab Water Activity Meter serie 3 (Decagon Devices®). El método se basa en el punto de rocío; en donde en el punto de equilibrio, la humedad relativa del aire en la cámara es el valor de la actividad de agua de la muestra analizada. El equipo se calibró con la solución estándar de LiCl 13.3 M que proporciona un valor de Aa de $0.250 \pm .003$ y una solución de NaCl 6.0 M que proporciona un valor de actividad de agua de 0.75 ± 0.001 (Cervera-Chiner et al., 2021). Las muestras se colocaron en la celda correspondiente a $\frac{3}{4}$ de su capacidad para ser analizadas. El análisis se realizó por triplicado.

4.2.4.2 Determinación de sólidos solubles totales (° Bx)

Los sólidos solubles totales se determinaron según el método 932.12 de la AOAC, usando un refractómetro digital (Hanna instruments Inc. HI 96801) calibrado con agua destilada. Se tomó 1 g de mermelada a 25 °C y se colocó en la celda del

refractómetro calibrado. Una vez estabilizada la lectura se registró el valor, la determinación se realizó por triplicado.

4.2.4.3 Determinación de pH

El potencial de hidrógenos (pH) se midió según el método 981.12 de la AOAC a 25 °C usando un medidor básico pH/ORP (Hanna instruments Inc HI2213 pH/ORP Meter). Para ello se calibró el electrodo de vidrio en soluciones tampón pH = 4.0; pH = 7.0 y pH = 10.0. Para la preparación de muestra, se diluyó 1 g de la mermelada (MR, MCE, y MSE) en 10 mL de agua destilada. Se sumergió el electrodo para realizar la lectura del valor de pH cuando llegó a un valor constante.

4.2.4.4 Determinación de acidez titulable

La acidez titulable se realizó mediante el método potenciométrico de acuerdo con la AOAC 942.15, se tomó una alícuota de 5 mL de la solución del paso 4.2.4.3 y se tituló con NaOH 0.1 N hasta un pH aproximado de 7.00 ± 0.2 y después, lentamente se continuó la titulación hasta un pH de 8.1 ± 0.2 . Los resultados se expresaron en mg de ácido cítrico (0.064) (Ecuación 1).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V \times N \times E \times 10}{W} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

W, es el volumen (ml) de muestra.

V, es el volumen (ml) de la solución de hidróxido de sodio (NaOH) consumido en la titulación.

N, es la normalidad de la solución de hidróxido de sodio (0.1 N, NaOH)

E, constante del ácido predominante en la mermelada (ácido cítrico = 0.064)

4.2.4.5. Análisis de color

El color de las mermeladas se determinó según la metodología planteada por Santos et al. (2021) con algunas modificaciones, para la medición se usaron viales de vidrio de capacidad de 5 mL y con fondo plano donde se colocaron

muestras de MR, MCE y MSE y se determinaron los valores de las coordenadas CIEL*a*b*. El análisis se realizó con un colorímetro CM-600D portátil (Konica Minolta, Japón) como referencia en el espacio CIEL*a*b*. Los resultados se expresaron en función de L* luminosidad (0: negro, 100: blanco), a* (a+: enrojecimiento, a-: verde) y b* (b+: amarillez, b-: azul). Los valores correspondientes al Angulo de matiz (°Hue) y Croma (C*) se calcularon utilizando las Ecuaciones 2 y 3, respectivamente. Las diferencias de color total (ΔE^*) se calcularon usando la ecuación 4, es una medida de diferencia de color entre la mermelada referencia (MR) y las mermeladas reducida en calorías (MCE y MSE)

$$^{\circ}Hue = \tan^{-1}(a^*/b^*) \quad \text{Ecuación 2} \quad Cr^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_{MR}^* - L_{MCE \text{ o } MSE}^*)^2 + (a_{MR}^* - a_{MCE \text{ o } MSE}^*)^2 + (b_{MR}^* - b_{MCE \text{ o } MSE}^*)^2}$$

Ecuación 4.

4.2.4.6 Análisis de reología

Las propiedades reológicas de las mermeladas se midieron siguiendo la metodología descrita por Figueroa and Genovese,(2019) en un reómetro Anton Paar Physica MCR 101 (Anton Paar, Austria), utilizando una geometría placa-placa (diámetro d = 25 mm, espacio = 1 mm). Se colocó una alícuota de cada muestra en la placa del reómetro a $25 \pm 0,1$ °C. A continuación, se bajó la placa a la posición de medición y se eliminó el exceso de muestra.

El comportamiento viscoelástico lineal de las mermeladas se determinó variando logarítmicamente la tensión de corte en un rango de 0.01-100% a una frecuencia angular de 10 rad/s registrando 16 puntos de medida. La relación del estado estacionario entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte se pudo describir ajustando los datos al modelo de Herschel-Bulkley (Ecuación 5) se obtuvieron para metros tales como el índice de flujo (n, adimensional), índice de consistencia (K, Pa*sⁿ) y el Umbral de fluencia (τ_0)

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad \text{Ecuación 5}$$

Los módulos elásticos (G') y viscosos (G'') se determinaron a partir de medidas oscilatorias dinámicas a frecuencias angulares (ω) de 0,1 a 100 rad/s, y a una deformación del 0.4 % correspondiente al rango viscoelástico lineal de todas las muestras.

4.2.4.7 Análisis de perfil de textura (TPA)

El perfil de textura de las mermeladas se analizó siguiendo la metodología propuesta por Jia et al. (2022) con algunas modificaciones. Firmeza (N); adhesividad(J); elasticidad, relación adimensional entre distancias (L_2/L_1); cohesión, relación adimensional entre áreas (A_2/A_1); gomosidad (N) y masticabilidad (N). El procedimiento es el descrito en la sección 4.2.2.1

4.2.4.8. Medición de sinéresis

La sinéresis se determinó siguiendo el procedimiento reportado por Ramírez-Sucre and Vélez-Ruiz (2014). Se tomaron muestras de 10 g (W_0) de mermelada, las cuales se pusieron en tubos de centrifuga de 50 ml y se centrifugaron durante 10 min a 1,200 g. Después se retiró el líquido separado por decantación y se pesó (W_1). La sinéresis se expresó como porcentaje en peso de la fase líquida decantada (Ecuación 6)

$$\text{Sinéresis (\%)} = \frac{W_1}{W_0} * 100\% \quad \text{Ecuación 6}$$

W_0 , peso de la muestra (g)

W_1 , líquido separado de la muestra (g)

4.2.5 Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos de las 3 formulaciones desarrolladas se llevaron a cabo usando métodos estándar de referencia. Todos los análisis se realizaron por triplicado

4.2.5.1 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad de las muestras se determinó gravimétricamente de acuerdo con el método 934.06 de la AOAC. Se calibró una capsula en un horno de aire forzado a 103 °C durante 30 min, posteriormente, se retiró del mismo y se dejó a temperatura ambiente en un desecador, se pesó la capsula (m1). Se pesaron de 5-10 g de muestra (m2). Las condiciones de secado fueron 65 °C por 24 h, seguidamente las capsulas con las muestras se llevaron a un desecador durante 1 h hasta que alcanzaron la temperatura ambiente y se pesaron nuevamente (m3) hasta obtener un peso constante. La pérdida de peso se considera como el contenido de humedad y el residuo desecado del alimento se considera la materia seca. Los resultados se expresaron porcentualmente, mediante la ecuación 7.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m2 - (m3 - m1)}{m2} * 100\% \text{ Ecuación 7}$$

Donde:

m2, es la masa en gramos de la muestra (mermelada)

m1, es la masa en gramos de la capsula.

m3, es la masa en gramos de la capsula y la muestra de ensayo seca.

4.2.5.2 Determinación del contenido de cenizas

La determinación de cenizas se llevó a cabo siguiendo el método 942.05 de la AOAC, primero se llevó a pesos constante un crisol (c1) por 2h aproximadamente en la mufla a 550 °C o 600 °C. en el crisol a temperatura ambiente se pesó en el de 3-5 g de muestra seca del punto 4.2.5.1 (c2; la muestra no sobrepasó la mitad del crisol). La muestra se quemó a 250 °C hasta que no se desprendieran humos y posteriormente se aumentó la temperatura hasta 550 °C, donde se dejó hasta conseguir cenizas blancas o ligeramente grises. De dejó enfriar el crisol con las

cenizas dentro de desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se pesaron (c3). Con los diferentes pesos se calculó el porcentaje de cenizas con la ecuación 8.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{c2-(c3-c1)}{c2} * 100\% \text{ Ecuación 8}$$

Donde:

c2, es la masa en gramos de la muestra seca

c1, es la masa en gramos del crisol.

c3, es la masa en gramos del crisol y la muestra de ensayo incinerada.

4.2.5.3 Determinación del extracto etéreo

La determinación del extracto etéreo se realizó siguiendo el método 948.22 descrito por la AOAC., para esto se pesó 5 g de muestra seca (g2) la cual se dispuso de un cartucho de celulosa, para proceder a la extracción en un equipo Soxhlet usando éter de petróleo anhidro. El proceso consistió en calentar sobre un disco eléctrico el matraz que contenía el solvente de tal forma que se evaporará y se condensará para gotear sobre la muestra contenida en el cartucho, se controló la velocidad goteo a 300 gotas por minuto, aproximadamente. La extracción se mantuvo durante 3 h donde se verificó el volumen del disolvente. Finalmente, se dejó enfriar el sistema para poder separar el matraz de extracción, donde se encontraba la materia grasa extraída disuelta en el disolvente; el cual se evaporó totalmente en una estufa de aire forzado. El matraz con la grasa y el cartucho sin grasa se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron en balanza analítica; para determinar el peso de la materia grasa (g1). Los resultados se expresaron en porcentaje de materia grasa según la siguiente ecuación.

$$Mg = \frac{g1}{g2} * 100 \text{ Ecuación 9}$$

Mg, contenido de materia grasa (%)

g1, peso de la materia grasa extraída (g)

g2, peso de la muestra (g)

4.2.5.4 Determinación del contenido de proteína

El contenido de proteína total se determinó mediante el método Kjeldahl con un factor de conversión de nitrógeno-proteína de 6.25 de acuerdo con el método 981.10 de la AOAC. Se empleó un digestor Kjel-Digester K-446 / K-449 y la unidad de destilación Kjeldahl de Büchi. La muestra pasó primero por un proceso de digestión con ácido sulfúrico en presencia de un agente reductor catalizador (sulfato de cobre y sulfato de sodio) aumentando la temperatura gradualmente hasta llegar a 380 °C, la cual favoreció la descomposición de la materia orgánica. Una vez que los tubos de digestión estuvieron a temperatura ambiente se procedió a destilar la solución de digestión, en este punto se adicionó una base fuerte (NaOH al 40%) que liberó el NH₃ que fue arrastrado por destilación con vapor de agua a un matraz Erlen Meyer colector y finalmente, se valoró el destilado con HCl al 0.1N hasta llegar a una pH de 4.5. Con el volumen gastado del HCl se calculó el porcentaje de proteína con la siguiente ecuación (Ecuación 10)

$$\% N = \frac{N_{HCl} * (V_m - V_b) * 14 g}{g \text{ de muestra}} * 100\% \quad \text{Ecuación 10} \quad \%N * 6.25 = \% \text{ proteína}$$

Donde:

% N = nitrógeno total

V_m = volumen de HCl gastado en la muestra

V_b = volumen de HCl gastado en el blanco

N = normalidad del HCl

4.2.5.5 Determinación de azúcares reductores

La reducción del contenido de azúcares (AR) se determinó mediante el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959). Primeramente, se preparó el reactivo DNS se mezclando NaOH (1.6 g), tartrato de sodio y potasio (43.8 g) y DNS (1 g) en agua destilada. Seguidamente, la solución se aforó a 100 mL con agua destilada; se dejó agitando por 12 horas en un frasco ámbar. Por otro lado, se adicionó 0.25 mL de muestra y 0.25 mL del reactivo DNS en tubos de ensayo.

Los tubos se colocaron en baño de agua a 100 °C por 5 minutos. La reacción se detuvo enfriando en agua con hielo por 5 min, finalmente, se añadió ó a los tubos 2.5 mL de agua destilada. Se agitaron y se realizó la lectura a 540 nm en espectrofotómetro (Lamba 365, Perkin Elmer, Inc., USA). La concentración de AR se realizó con la ecuación de la recta de una curva de calibración usando glucosa como estándar con una concentración de 0.4 a 2.0 mg/mL.

4.2.6 Análisis fitoquímicos

4.2.6.1 Contenido de fibra dietética total

El contenido de fibra dietética total (FDT) y sus fracciones, soluble (FDS) e insoluble (FDI), se determinaron de acuerdo con el método AOAC 985.29 (2002). Usando un kit comercial TDF-100A (Sigma-Aldrich). Se pesó 1 g de mermelada, la cual se incubo a 95 °C/15 min con una solución tampón fosfato (0.08M pH=6) y α -amilasa. Se digirió con proteasa ajustando el pH= 7.5 y se incubo a 60 °C/30 min. Se adicionó amiloglucosidasa, se ajustó el pH=4.6 y se incubo a 60 °C/30 min. Finalmente, se realizaron lavados con etanol al 95% y se filtró al vacío en un papal Whatman N° 42, el cual se secó en una estufa de circulación forzada a 45 °C hasta peso constante (FDS). Por otro lado, el precipitado se dejó reposar por 12 h y nuevamente se procedió a filtrar al vacío, obteniendo un filtrado que igualmente se secó en estufa y se registró el peso final correspondiente a FDI. Se determinó el % de fibra dietaría total mediante las ecuaciones 11, 12 y 13

$$\% FDS = \frac{\text{peso papel seco+muestra}-\text{peso papel solo}}{\text{peso de muestra}} * 100\% \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\% FDI = \frac{\text{peso papel seco+muestra}-\text{peso papel solo}}{\text{peso de muestra}} * 100\% \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\%FD = \% FDS + \% FDI \quad \text{Ecuación 13}$$

4.2.6.2 Extracción de los compuestos fitoquímicos de las mermeladas

Para la determinación del contenido fenólico, antocianinas, proantocianidinas extraíbles y capacidad antioxidante se hizo una extracción etanólica de las tres mermeladas (MC, MSE, MCE). La mermelada (2 g) se disolvió en 10 mL de disolvente de extracción de etanol al 90 % según lo reportado por Wang et al. (2020). Las muestras se homogeneizaron con un Ultra-Turrax (IKA, T 25 digital) a una velocidad de 16 rpm por 1 min. La muestra homogenizada se separó mediante centrifugación a 4000 g durante 20 min (HERMLE Z 326 K); el sedimento se volvió a extraer en dos ocasiones utilizando el mismo método y los sobrenadantes de la misma muestra se mezclaron y almacenaron a -20 ° C durante un máximo de 1 semana.

4.2.6.3 Determinación del contenido total de compuestos fenólicos (CTF)

Para la determinación de CTF, se usó el extracto descrito en el apartado 4.2.6.2 y el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu como lo reporta Wang et al.(2020) con algunas modificaciones. Brevemente, se mezcló 0.4 mL del extracto con 2.0 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% (v / v) y 1.0 mL de agua, luego se mantuvieron en la oscuridad a 25 °C durante 5 min. Posteriormente se mezcló con 2.0 mL de una solución de carbonato de sodio (70 g/L) y 1.4 mL de agua, la cual se incubó en la oscuridad durante 60 min. La absorbancia se midió a 750 nm usando un espectrofotómetro (Lamba 365, Perkin Elmer, Inc., USA). Los resultados se obtuvieron de una curva de calibración usando como estándar ácido gálico (0.02 a 0.16 mg/mL). El contenido de fenoles totales se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de mermelada en peso húmedo.

4.6.3 Cuantificación de proantocianidinas extraíbles

La cuantificación de proantocianidinas extraíbles se realizó hidrolizando el extracto de la sección 4.2.6.2. mediante el método de butanol-HCl reportado por Bordiga et al. (2019). La reacción consistió en añadir 1.0 mL del extracto a un tubo de ensayo con 3 ml de n-BuOH/ HCl (95:5 v/v) con una concentración de 0.37 mM Fe₂ (SO₄)₃. La mezcla se calentó en baño de agua a 95 °C durante 60 min con los tubos de

ensayo cerrados y luego se enfriaron en agua con hielo. La absorbancia se midió a 550 nm usando un espectrofotómetro Lambda 365 (Perkin Elmer, Inc., USA). Se tomó como blanco la misma mezcla reemplazando la muestra por etanol al 90%. El contenido de proantocianidinas se calculó en base a la curva estándar de catequina (0.2 – 09 mg/L). Los resultados se expresaron como mg de proantocianidina (mg PA)/g de mermelada.

4.6.4 Cuantificación de antocianinas monoméricas (AM)

El contenido de antocianinas monoméricas se cuantificó siguiendo el método descrito por Pérez-Herrera et al. (2020) con ligeras modificaciones según el método diferencial de pH. Se tomaron dos volúmenes de 60 µL de extracto y se mezcló individualmente con 240 µL de una solución tampón de cloruro de potasio (0.025 M, pH 1.0) y con 240 µL de una solución tampón de acetato de sodio (0.4 M, pH 4.5) en una microplaca (Bio-RAD, iMark Microplate Absorbance Reader). Se registró la absorbancia a 520 nm y a 655 nm. El contenido de antocianinas se calculó como equivalentes de cianidina-3-glucósido (mg C₃G)/g de mermeladas mediante la siguiente ecuación (Ecuación 14).

$$\text{Antocianinas monomericas} = A * \frac{(MW * DF)}{(\epsilon * D)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$A = [(Abs_{520nm} - Abs_{655nm})_{pH1} - (Abs_{520nm} - Abs_{655nm})_{pH4.5}]$$

Donde:

A, es la diferencia de absorbancia entre los valores de pH y las longitudes de onda

MW, es el peso molecular de C₃G (484,8 g/mol)

DF, es el factor de dilución

ε es la absortividad molar (26.900 M⁻¹*cm⁻¹)

D, es para una longitud de camino estándar de 1 cm.

4.2.6.5 capacidad Antioxidante

4.2.6.5.1 Actividad captadora de radicales DPPH

La capacidad antioxidante se determinó según lo reportado por Maciel et al. (2018) con algunas modificaciones. La solución de DPPH (1.115×10^{-4} mol. L⁻¹) se preparó y se ajustó la absorbancia a 1.25 con metanol al 80%;. La reacción se inició cuando se añadió 100 µL de los extractos (4.2.6.2) en un vial ámbar que contenía 2900 µL de la solución de DPPH previamente ajustada. Después de 30 min a 25 °C, la capacidad antioxidante se determinó mediante absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro Lambda 365 (Perkin Elmer, Inc., USA.). Se utilizó una solución de ácido ascórbico (AA) como estándar usando una curva de calibración (0.05 a 0.25 mg/mL). Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de acuerdo con la ecuación 15.

$$\text{Porcentaje de inhibición (\%)} = \frac{B-(S-SC)}{B} * 100\% \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

B^o: Absorbancia del blanco

S^o: Absorbancia de la solución de muestra

Sc: Absorbancia de la muestra de control que se obtendrá mediante la prueba de sustitución de la solución de DPPH por etanol.

4.2.6.5.2 Actividad captadora de radicales ABTS⁺

La capacidad antioxidante total se evaluó mediante el mediador químico ABTS⁺. El procedimiento se realizó de acuerdo con lo descrito por Wang et al. (2020). La solución de ABTS (7 mM) se mezcló con persulfato de potasio (2.45 mM) se mantuvo en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h. Después, la solución de ABTS⁺ se diluyó y se ajustó a una absorbancia de 0.7 con etanol al 90%. La reacción se llevó a cabo mezclando 2.4 mL de solución de reacción ABTS⁺ con 0.4 mL de extracto (apartado 4.2.6.2) y se incubaron en la oscuridad a temperatura ambiente durante 5 min, se midió la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro Lambda 365 (Perkin Elmer, Inc., USA). Se utilizó ácido ascórbico (A.A) como estándar con el que se preparó una curva de calibración (0.01- 0,12

mg/mL) y los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición (Ecuación 14.).

4.2.7 Análisis microbiológico y sensorial

4.2.7.1 Análisis microbiológico

Se evaluó la presencia de mohos, levaduras, bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales en las formulaciones recién preparadas (24 h) y en mermeladas almacenadas durante 45 y 90 días a temperatura ambiente (25 °C) según la NOM-130-SSA-1995. Se mezclaron 2 g de mermelada con 18 mL de agua de peptona esterilizada a temperatura ambiente en un Stomacher, se mezcló por 2 min a una velocidad media, la solución se dejó reposar y se tomó 1 ml que se diluyó en serie a 10^{-3} . Se colocó 0.1 mL de las dos últimas diluciones se agregó 15 mL de agar plate count (Scharlab), se homogenizó adecuadamente y se incubaron las cajas Petri ya sólidas boca abajo a 30 °C por 72 h para el recuento de mesófilos aeróbicos, para esto se seleccionaron las placas que presentaron de 25 a 250 colonias según la norma. Los resultados se expresaron tomando los criterios establecidos en la NOM-092-SSA-1994. Se realizó el mismo procedimiento usando agar Sabouraud para el recuento de mohos y levaduras incubando las placas por 3-5 días; o usando agar bilis rojo violeta (RVBA) para el recuento de coliformes totales incubando las placas a 35 °C por 24 h.

4.2.7.2 Evaluación sensorial

Antes de realizar la evaluación sensorial, se aseguró que las mermeladas MR, MCE y MSE no representaran algún riesgo microbiológico a los panelistas. Los voluntarios reclutados fueron completamente informados con el fin de tomar una decisión informada sobre su participación y dar su consentimiento informado (Anexo 1. Consentimiento informado). La evaluación sensorial se realizó en cabinas individuales con una temperatura ambiente de 25 ± 2 °C, ubicadas en una sala de cata del laboratorio de análisis sensorial, Parque biotecnológico, Facultad

de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. El estudio recibió la aprobación del comité de Bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (No. de oficio. CBQ21/054).

Los atributos sensoriales de las mermeladas se evaluaron 24 h después de su elaboración. La evaluación hedónica se realizó por un panel semientrenados conformado por 30 personas. Sus edades oscilaron entre 20 y 26 años (media: 23). Se siguió la metodología descrita por Cervera-Chiner et al. (2021) con algunas modificaciones. Las mermeladas (10 g) se proporcionaron en vasos de plástico blanco etiquetados de acuerdo con la práctica internacional utilizando números aleatorios de 3 dígitos y se aplicó un diseño de bloques balanceados para evitar el sesgo de respuesta potencial y los efectos de arrastre debido al orden de presentación (ISO 6658:2019). Se les solicitó a los panelistas que evaluaran las muestras de mermelada en función del color, olor, la textura (capacidad de untar), el sabor y la aceptación global utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta mucho; 9 = me gusta mucho). Además, se incluyó una sección de comentarios en la hoja de análisis sensorial (**Anexo 2**). Los panelistas recibieron agua a temperatura ambiente y galletas como limpiador entre muestras.

4.8 Análisis de estabilidad en almacenamiento

Las mermeladas desarrolladas MR, MCE y MSE se almacenaron en condiciones controladas de temperatura (25 ± 2 °C) en oscuridad y expuestas a 8 Watts de luz blanca usando una Cámara climática, Ecoshel modelo C8000D durante 150 días. El diseño para evaluar la estabilidad de las mermeladas fue un diseño básico, los días de muestreo (frascos por duplicado) se realizaron a los 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 150 días en los cuales se analizaron los siguientes parámetros de calidad: actividad de agua, color y capacidad antioxidante. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos y de textura (TPA) (sección 4.2.2.1) en el día 90 y 150 del

almacenamiento, Además se realizaron análisis microbiológicos en los días 0, 45 y 90 días de almacenamiento como se describió en la sección 4.2.7.1 basados en la NOM-130-SSA-1995.

4.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Dado el enfoque presentado de la escala JAR, basado en la percepción de dulzor sensorialmente, se utilizó el análisis de supervivencia estimando curvas de probabilidad de rechazo de dulzor y determinar el punto óptimo de la sustitución de sacarosa por alulosa. Así mismo, mediante un diseño factorial se evaluó el impacto de la sustitución de sacarosa por alulosa, con el interés de estudiar la firmeza de los geles con cinco porcentajes de sustitución (0, 15, 25, 35 y 50%) se aplicó un análisis de varianza y una comparación de medias por la prueba de Tukey.

Por otro lado, el diseño estadístico aplicado para evaluar el impacto de la alulosa y el extracto de jamaica en las mermeladas sobre los diferentes parámetros fisicoquímicos, bromatológicos y fitoquímicos fue un diseño factorial, contando con dos factores: el uso o no de extracto de jamaica y la sustitución de sacarosa por alulosa; la sacarosa se manejó en dos niveles (24 y 50%). La estabilidad en almacenamiento de las mermeladas se evaluó analizando en cada intervalo de almacenamiento (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 150 días) en condiciones de luz blanca y oscuridad el efecto de la formulación (MR, MCE y MSE) sobre los diferentes parámetros fisicoquímicos y fitoquímicos. Para los datos que suponían normalidad y varianza constante de la variable respuesta el análisis estadístico que se aplicó fue el análisis de varianza y una comparación de medias por la prueba de Tukey. Los resultados experimentales se expresaron como valores medios \pm desviación estándar para dos experimentos independientes y tres repeticiones. Para comparar las mermeladas sensorialmente se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico Rstudio (versión 3.6.3).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar una mermelada de jamaica-manzana con un menor contenido de sacarosa y conservar la misma intensidad de dulzor usando la alulosa como edulcorante bajo en calorías, el cual tiene un aporte calórico de 0.2 Kcal/g y un poder edulcorante de 0.7 (Zhang et al., 2016) primeramente, se determinó el nivel óptimo de dulzor mediante la escala just-about-right (JAR), usando un gel de pectina como alimento modelo. Asimismo, se evaluó fisicoquímicamente el efecto de la sustitución de este edulcorante en geles de pectina. Posteriormente, se desarrollaron mermeladas de jamaica-manzana con la concentración definida del edulcorante y el subproducto de jamaica, evaluando el impacto de esta sustitución y la utilización del subproducto de jamaica en las características fisicoquímicas, fitoquímicas, microbiológicas, sensoriales y su estabilidad en almacenamiento. Sobre esta base, los resultados se presentan a continuación.

5.1 Relación de sacarosa: alulosa en geles de pectina

La **Figura 2** muestra los resultados de la escala JAR de la percepción del dulzor en forma de histograma que evidencia la frecuencia de respuesta, expresada en porcentaje de consumidores, para cada uno de los puntos JAR (menos dulce que R; igual de dulce que R; más dulce que R) evaluados en 10 formulaciones de geles de pectina al 1% con 50% de edulcorante; variando las proporciones entre sacarosa y alulosa. Siendo R, un gel de pectina al 1% con 50% de sacarosa.

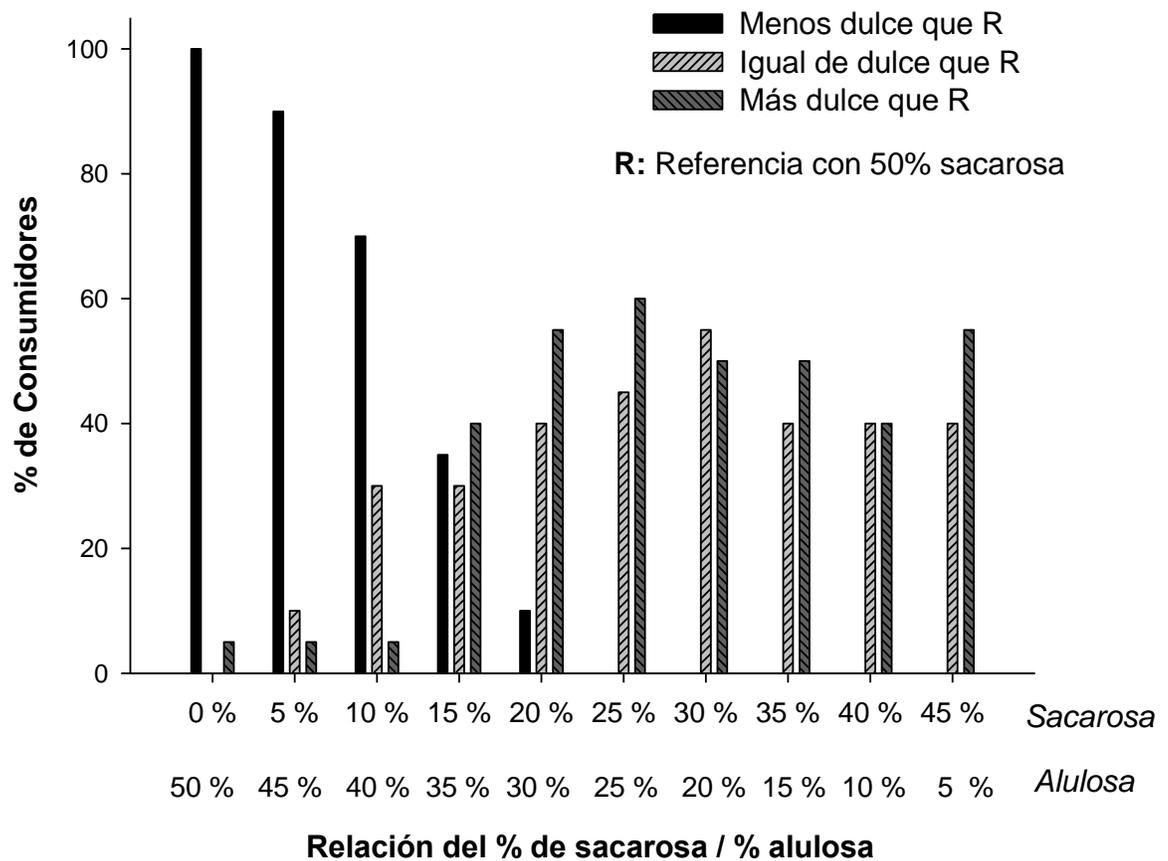


Figura 2. Frecuencia en la escala JAR de la percepción de dulzor en geles de pectina al 1%.

De manera general, los panelista percibieron un cambio en la intensidad del dulzor a partir de 35% de alulosa y 15% de sacarosa, desencadenando una respuesta con tendencia hacia la izquierda (menos dulce que R) en la respuesta JAR. Estos resultados evidencian una preferencia innata de los panelistas a un alto grado de dulzura como lo sugiere Deliza et al.(2021). Asimismo, estos autores resaltan que la exposición repetida a los alimentos con alto grado de dulzura conlleva, a que los consumidores tengan una mayor preferencia por lo dulce, así como a detectar cambios en la intensidad del dulzor cuando la sustitución de sacarosa es superior al 30%, como se encontró en este trabajo.

En concordancia, conforme aumentaba el porcentaje de sacarosa (por encima del 15%) se evidenció una tendencia hacia la derecha (igual de dulce que R y más dulce que R); estos resultados muestran que los panelistas no percibieron cambios en el dulzor a concentraciones de alulosa entre el 5 y 25%. Por otro lado, la frecuencia de las respuestas JAR con concentraciones de sacarosa entre el 20 y 25% estuvieron más cercanas de la muestra referencia (R). Este hecho coincide con lo reportado por Tan et al.(2019) en el que encontraron que el perfil de sabor temporal de la sacarosa se caracteriza por un inicio y fin de dulzura de aproximadamente 60 s en boca, por su parte, la alulosa presenta el mismo perfil temporal que la sacarosa a pesar de que su poder edulcorante es de 0.70. En este sentido, la persistencia similar entre la sacarosa (disacárido) y la alulosa (monosacárido) puede deberse a una alta solubilidad de este último, ya que se cree que esta característica le permite una mayor afinidad con los quimiorreceptores del sabor dulce en la cavidad oral (Karl et al., 2020).

En el actual escenario relacionado a la salud por el alto consumo de sacarosa, es necesario buscar alternativas para reducir el contenido de este disacárido, consecuentemente reducir el aporte calórico, en este sentido la alulosa presenta un bajo contenido energético (0.2Kcal/g) (Yermek et al., 2022), se absorbe en el intestino delgado y se libera al torrente sanguíneo transportada por GLUT5, además, no está involucrada en el metabolismo relacionado con la glucosa, por lo tanto, la alulosa no se metaboliza en el hígado, consecuentemente, no contribuye a la producción de energía hepática. Paralelamente, la alulosa regula los lípidos sanguíneos al cambiar las actividad de las enzimas reguladoras de lípidos disminuyendo su actividad con lo cual se reduce el peso del tejido adiposo hepático y abdominal e inhibe la acumulación de grasa (Jiang et al., 2020). En síntesis, la actividad biológica de la alulosa recae en inhibir la glucosa en sangre, reducir la grasa abdominal y prevenir la diabetes tipo II.

Por otro lado, dentro de las pruebas sensoriales de consumo, la escala JAR al registrar un punto medio que representa un punto óptimo de un atributo y dos

puntos finales opuestos semánticamente, los enfoques paramétricos tradicionales de análisis no se deben utilizar, por lo cual se necesita una transformación de datos. En este sentido, Hough (2010) aplicó conceptos de análisis de supervivencia que permiten modelar dos eventos de interés y así predecir la concentración óptima de un ingrediente. En este orden de ideas, se ejecutó el método de análisis de supervivencia tomando en cuenta la presencia de datos censurados con los que se obtuvieron modelos paramétricos que permitieron la estimación óptima del dulzor como se presenta en las siguientes figuras.

Rechazo más dulce que JAR

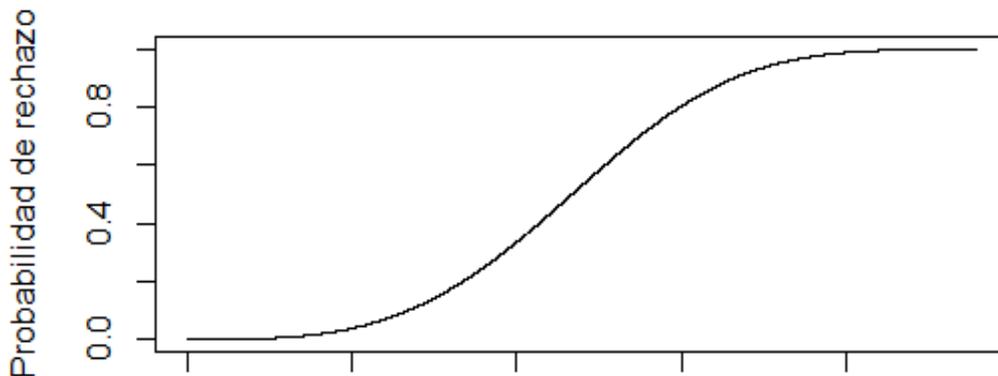


Figura 3a y **3b** muestran la probabilidad de rechazo para los geles de pectina menos dulces y más dulces respecto a la referencia (R) utilizando la función normal. A partir de ellas, se puede reducir el rechazo debido a una percepción menos y más dulce que R. Por ejemplo, un gel con 12.5% de sacarosa y 37.5% Alulosa (**Figura 3a**) corresponde a una probabilidad de rechazo de 0.4; análogamente, el rechazo por los panelistas debido a un exceso en la percepción dulce con una probabilidad de rechazo igual (0.4) se presenta en geles con un 22% de sacarosa y 28 % Alulosa (**Figura 3b**). Tomando en cuenta diferentes probabilidades de rechazo se evidencia la necesidad de obtener un valor óptimo de sustitución de sacarosa por alulosa, de tal forma que la percepción de dulzor similar a solo sacarosa no se afecte. Por lo tanto, sumando la probabilidad de

rechazo cuando la percepción es menos dulce que R y la probabilidad de rechazo cuando la percepción de dulzor es más dulce que R se puede obtener la mínima probabilidad de rechazo.

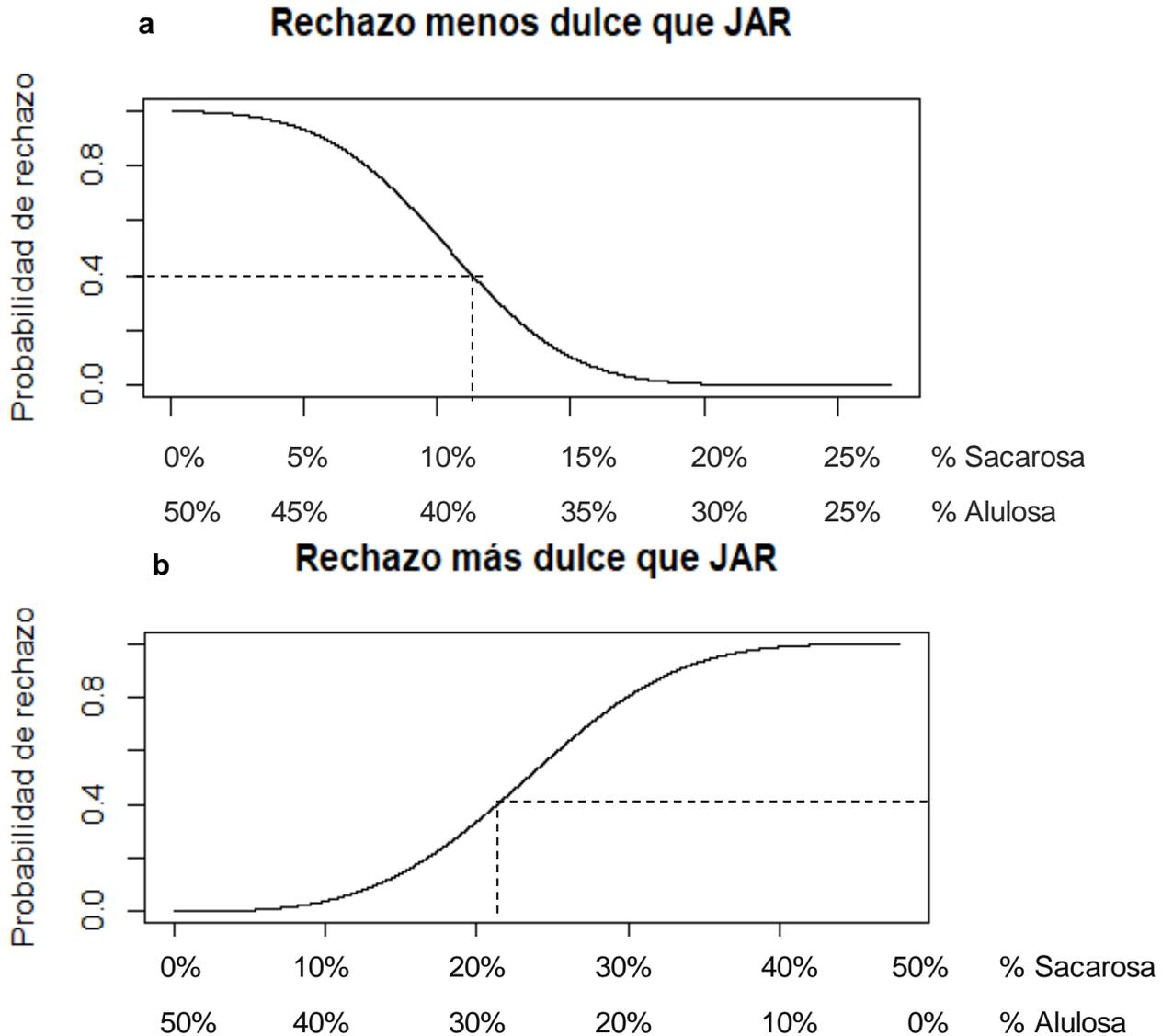


Figura 3. Probabilidad de rechazo de los geles en la percepción del dulzor de acuerdo con el reemplazo de sacarosa. **a)** Rechazo menos dulce que R y **b)** Rechazo más dulce que R.

La **Figura 4** muestra el valor óptimo de dulzor deseado sensorialmente, el cual se logra con un porcentaje de sacarosa del 18% y 32% de alulosa, coincidiendo con

las estrategias dirigidas en la reducción de sacarosa, que están centradas en encontrar un sustituto de esta que minimice cambios sensoriales asociados al sabor dulce. Sobre la base de estos resultados, la proporción encontrada de sacarosa y alulosa en la que no se altera la percepción de dulzor es de 1:1.7. En relación a otros estudios Tan et al. (2019) concluyeron en su investigación que una mezcla de sacarosa y alulosa en una proporción 1:1 presenta un perfil de dulzor similar a la sacarosa, de ahí que, la proporción encontrada en este trabajo ofrece la oportunidad de reducir calorías contando con un aporte calórico de 0.2 Kcal/g de la alulosa (Jiang et al., 2020) a diferencia de la sacarosa que aporta 3.9 Kcal/g (Ozkan & Yakan, 2019).

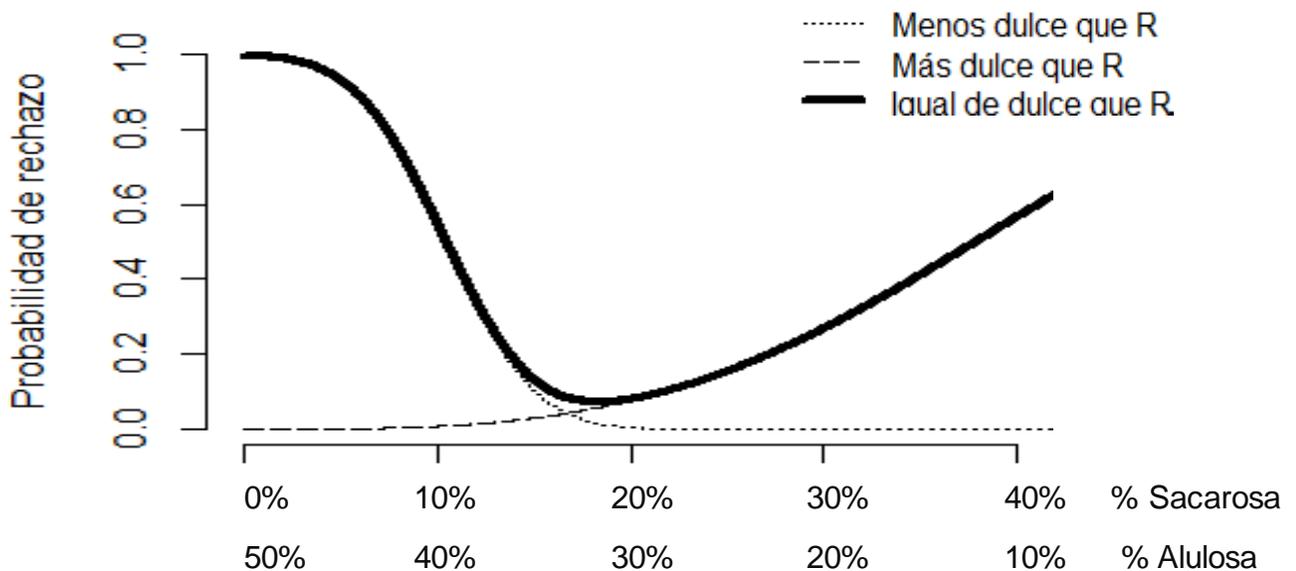


Figura 4. Dulzor óptimo (suma de rechazo “menos dulce que R” + rechazo de “más dulce que R”).

Reducir el contenido de sacarosa en productos procesados es uno de los principales desafíos que enfrenta la industria de alimentos debido a los cambios en las características sensoriales que puede llevar al consumidor a rechazar el producto (Oliveira et al., 2021). No obstante, los resultados de este estudio muestran que la reducción de sacarosa hasta un 32% no comprometió la

aceptabilidad en el dulzor. No obstante, las estrategias enfocadas en la percepción del sabor dulce relacionan la aceptación del producto. Deliza et al.(2021) resaltan que hace falta mayor investigación en la aceptación sensorial a largo plazo en productos donde la sacarosa juega otro papel además de conferir dulzura y que dichas reducciones oscilan entre el 25 y 30%, de tal forma que no se provoquen cambios significativos en el gusto. Por otro lado, los sabores pueden enmascarar o aumentar la percepción del gusto, particularmente, en las mermeladas las interacciones entre el sabor dulce y ácido depende del evaluador, en relación, Jribi et al. (2021) sustituyeron hasta en un 25% sacarosa por edulcorantes naturales (estevia y fructosa) y un edulcorante artificial (sucralosa) en mermeladas de fresa, evidenciando que la sustitución de fructosa y estevia no alteró la percepción de dulzor, sin embargo, las mermeladas presentaron una disminución en la firmeza y adhesividad, atributos de textura importantes para la aceptación sensorial del producto.

La sustitución de sacarosa en mermeladas, jaleas y dulces con la intención de reducir el contenido calórico puede afectar parámetros fisicoquímicos como el color y la textura, los cuales cambian de manera importante (Jribi et al., 2021). En este sentido, se ha informado que la sustitución de la sacarosa por otros edulcorantes ocasiona pérdida en la fuerza máxima del gel, dado que los geles se estabilizan por enlaces de hidrógeno y por interacciones hidrofóbicas (Yang et al., 2022). Entre los descriptores más relevantes para dulces gelificados como los geles de pectina son la dureza, gomosidad y masticabilidad; los cuales se relacionan con la fuerza máxima o energía requerida para desintegrar el alimento semisólido en el primer bocado, estas propiedades se pueden medir a través de un análisis de perfil de textura (TPA) en el cual se comprime la muestra dos veces, en un movimiento que imita la acción de la mandíbula (Garrido et al., 2015).

En base a los resultados de la percepción de dulzor, se seleccionaron geles de pectina con las siguientes concentraciones de alulosa: 0, 15, 25, 35 y 50% correspondientes a los Geles R (50% sacarosa), Gel 8, Gel 6, Gel 4 y Gel 1,

respectivamente (**Tabla 4**) esto con la finalidad de evaluar si un aumento en el porcentaje de alulosa y una disminución de la sacarosa afectaba la firmeza y el contenido de sólidos solubles totales (SST) del gel. En la **Tabla 6**. se muestran los valores correspondientes al análisis de perfil de textura, sólidos solubles, actividad de agua y color.

Tabla 6. Análisis de perfil de textura (TPA) y características fisicoquímicas de geles de pectina.

Parámetro fisicoquímico	Geles de pectina				
	Gel R	Gel 8	Gel 6	Gel 4	Gel 1
	 50% S:0%A	 35% S:15% A	 25% S:25 % A	 15% S: 35 % A	 0% S: 50% A
Firmeza (N)	36.62 ± 0.15 ^a	35.11 ± 0.51 ^b	35.15 ± 0.12 ^b	33.04 ± 0.67 ^c	32.62 ± 0.41 ^c
Gomosidad (N)	12.94 ± 0.34 ^a	11.82 ± 0.10 ^b	8.79 ± 0.31 ^c	8.59 ± 0.21 ^c	7.50 ± 0.69 ^d
Masticabilidad (N)	191.83 ± 4.42 ^c	298.62 ± 1.21 ^b	301.81 ± 0.58 ^b	310.35 ± 0.27 ^a	318.04 ± 1.60 ^a
SST (%)	63.68 ± 0.47 ^b	66.11 ± 0.26 ^a	64.46 ± 1.10 ^b	64.06 ± 0.67 ^b	65.79 ± 0.27 ^a
Aa	0.79 ± 0.05 ^a	0.77 ± 0.04 ^a	0.78 ± 0.05 ^a	0.78 ± 0.05 ^a	0.78 ± 0.05 ^a
L*	27.52 ± 0.44 ^a	27.31 ± 0.29 ^a	27.88 ± 1.73 ^a	28.04 ± 0.55 ^a	28.43 ± 1.13 ^a
C*	9.12 ± 0.40 ^{ab}	9.45 ± 0.32 ^a	8.13 ± 0.17 ^{abc}	7.71 ± 1.12 ^{bc}	7.41 ± 1.41 ^c
Hue	20.71 ± 3.12 ^a	19.20 ± 1.02 ^{ab}	15.38 ± 2.94 ^c	15.69 ± 0.40 ^{bc}	15.67 ± 1.66 ^{bc}

Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey. S: sacarosa; A: alulosa

Los resultados de textura de los geles de pectina muestran diferencias significativas en todos los parámetros; de manera general se observa que a menor concentración de sacarosa y mayor concentración de alulosa, la firmeza disminuye de manera discreta, mientras que la masticabilidad aumenta debido a una mayor elasticidad. Por su lado, la gomosidad disminuye drásticamente (12.94 a 7.50 N).

Al respecto, los geles de pectina de alto metoxilo se obtienen a pH bajo en presencia de una alta concentración de sacarosa (> 55%) (Chan et al., 2017). La “hidratación” de la sacarosa elimina las moléculas de agua que se unen a los grupos hidroxilo de las cadenas de la pectina, reduciendo la actividad de agua y mejorando la fuerza o rigidez del gel mediante el fortalecimiento de las interacciones hidrofóbicas o los enlaces de hidrogeno (Li et al., 2020). No obstante, con la intención de sustituir el contenido de sacarosa por edulcorantes naturales como la estevia con un sabor de 200-400 veces más dulce que la sacarosa, permite que pequeñas concentraciones del edulcorante produzca una dulzura similar a la sacarosa, sin embargo las propiedades mecánicas como la firmeza se ven reducidas (Muñoz-Almagro, et al., 2021b).

Ilhan et al. (2020) reportan que la alulosa, edulcorante natural, es un sustituto ideal de la sacarosa con un sabor limpio, características mecánicas y reológicas mejoradas, lo que concuerda con los resultados en las pruebas mecánicas reportadas en este trabajo, donde se observa que la firmeza y gomosidad del Gel 6 (25%S : 25%A) no presenta diferencia significativas respecto al gel R (50% S) a pesar de tener una sustitución de sacarosa por alulosa del 25%. Por lo tanto, se puede inferir que el número de enlaces de hidrógeno formados en el gel de pectina con sacarosa:alulosa (25%) es similar al del gel de pectina con 50% de sacarosa permitiendo una formación de gel con igual firmeza, gomosidad e incluso masticabilidad (Ilhan et al., 2020).

En consecuencia, fisicoquímicamente, una sustitución del 25% de alulosa y una concentración final de sólidos solubles del 64% en un gel de confitería con pectina al 1% permitiría una formación de gel rígido firme, gomoso y masticable; atributos de textura importantes para geles de confitería (Su et al., 2021); considerando además que los consumidores no perciben sensorialmente un cambio en el dulzor con una sustitución de sacarosa menor al 10%. En este sentido, como alimento modelo el gel de pectina óptimo en dulzor y firmeza es el Gel 6 con un porcentaje de sustitución de sacarosa por alulosa del 25%, esto sugiere, que manejar una

relación de sacarosa y alulosa de 1:1 en la elaboración de mermeladas podría obtenerse un producto con una intensidad de dulzor igual a una mermelada tradicional con 50% de sacarosa, pero con una reducción calórica. Así mismo, aunque se tiene evidencia en otras investigaciones que los edulcorantes bajos en calorías no son esenciales en la formación de gel (Muñoz-Almagro, et al., 2021b), con los resultados obtenidos en los parámetros de textura se evidencia la contribución de la alulosa y la posible sinergia con la pectina en concentraciones de sólidos solubles entre el 63 y 66%.

Por otra parte, el análisis de color mostró que la luminosidad (L^*) de los geles aumentó ligeramente en las formulaciones a medida que aumentaba la sustitución de alulosa, acompañada visualmente de un aspecto menos firme, más brillante y traslucida. Además, Se observa un comportamiento inverso en croma (C^*) y el ángulo de matiz (Hue) (**Tabla 6**), ya que a medida que aumentaba la sustitución de alulosa estos dos parámetros disminuyeron. Estos resultados coinciden con la observación visual, donde geles menos firmes y más luminosos muestran una menor dispersión de la luz por lo que se aprecian menos rojos; cabe resaltar que no hay una relación clara entre las diferencias de color de los geles y la percepción del dulzor (Su et al., 2021).

5.2 Desarrollo de las formulaciones de mermeladas

La formulación base de mermelada de jamaica-manzana descrita en la sección de materiales y métodos (**4.2.3.1**) se reformuló para elaborar mermeladas con menor cantidad de sacarosa y calorías. Estas formulaciones se presentan en la **Tabla 7**.

En primer lugar, los cálices de jamaica de variedad “criolla” frescos, presentaban una humedad promedio inicial de $88.18\% \pm 1.37$, se secaron en condiciones controladas (**4.2.1**) hasta llegar a una humedad final promedio de $10.02\% \pm 2.09$, lo cual garantizó un buen almacenamiento, así como una mayor estabilidad de los compuestos fitoquímicos. Habitualmente, los cálices secos de jamaica en México

se usan para la elaboración de bebidas (Riaz & Chopra, 2018), donde el procedimiento tradicional radica en hacer una decocción de los calices secos de jamaica en agua, de este proceso se obtiene un extracto, usado en las bebidas y un subproducto de jamaica, sin utilización industrial hasta el momento. Cabe destacar que este subproducto conserva un importante contenido de antioxidantes naturales y fibra dietaria (Amaya-Cruz et al., 2019b) por lo cual, se propuso usarlo como ingrediente en la formulación de las mermeladas. En este sentido, las mermeladas desarrolladas contenían 7% de pulpa de manzana como agente gelificante y texturizante por su contenido de pectina de alto metoxilo; pectina cítrica al 1% igualmente de alto metoxilo; extracto y subproducto de jamaica. Se tomó la cantidad de sustitución de sacarosa por alulosa encontrada en el apartado 5.1.

Se desarrollaron tres formulaciones de mermelada siendo la primera denominada mermelada referencia (MR) la cual contenía extracto, subproducto de jamaica y sacarosa al 50%. Debido a que el objetivo del trabajo era obtener una mermelada con similar consistencia a MR pero con un menor contenido de sacarosa y valorizar el subproducto de jamaica, se desarrolló una mermelada con extracto, subproducto de jamaica y sacarosa:alulosa (MCE) y una mermelada con el subproducto de jamaica pero sin extracto y sacarosa:alulosa (MSE). Todas las formulaciones tuvieron el mismo proceso de elaboración que MR considerando el punto final del proceso un contenido de sólidos solubles totales alrededor del 65%.

Tabla 7. Formulaciones de mermeladas de jamaica-manzana.

Ingredientes	Cantidad (g/g)		
	MR	MCE	MSE
Pulpa de manzana	7.00	7.00	7.00
Subproducto de jamaica	25.00	25.00	25.00
Extracto de jamaica	8.00	8.00	---
Agua	10.00	10.00	18.00
Sacarosa	49.00	24.00	24.00
Alulosa	-----	25.00	25.00
Pectina cítrica	1.00	1.00	1.00

Manzana y jamaica en base húmeda. **MR**: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE**: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE**: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa

5.3 Análisis fisicoquímicos

El contenido de sólidos solubles totales de las tres mermeladas estuvo dentro del rango medio (66%) de acuerdo con los valores informados por el Codex-Stan 296 para confituras, jaleas y mermeladas (**Tabla 8**). La acidez y pH tienen un papel clave en la gelificación de la pectina en las mermeladas y posteriormente en su estabilidad; el pH en las mermeladas osciló entre 2.44 y 2.51, a pesar de la ausencia de ácido cítrico. Aún en este medio ácido no hubo un efecto negativo en la gelificación de la pectina en las mermeladas. Estos valores de acidez y pH podrían explicarse por el hecho de que el cáliz de jamaica contiene abundantes ácidos orgánicos como el ácido hibiscus y el ácido ascórbico (Huang et al., 2022).

Tabla 8. Análisis fisicoquímico de las mermeladas de jamaica-manzana

Parámetro	Referencia CXS 296- 2009	MR	MCE	MSE
Sólidos solubles totales (%)	60% - 65 %	66.3 ± 1.27 ^{ab}	65.2 ± 0.77 ^b	66.5 ± 0.28 ^a
Acidez titulable en ácido cítrico (%)	-----	0.71 ± 0.01 ^a	0.74 ± 0.04 ^a	0.62 ± 0.09 ^b
Valor de pH	3.00 – 3.50	2.44 ± 0.04 ^b	2.45 ± 0.03 ^b	2.51 ± 0.01 ^a
Actividad de agua (Aa)	-----	0.77 ± 0.01 ^a	0.79 ± 0.01 ^a	0.79 ± 0.01 ^a
Sinéresis (%)		0.91 ± 0.40 ^b	1.42 ± 0.08 ^b	2.60 ± 0.60 ^a

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE**: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE**: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

Productos como las mermeladas, se caracterizan por mantener valores de actividad de agua (Aa) en un rango de 0.70 a 0.85, considerándose como productos de humedad intermedia (Qiu et al., 2019). Los valores de Aa en las tres formulaciones (**Tabla 8**) están dentro de los valores reportados, lo cual está relacionado con el alto contenido de sólidos solubles (66%), debido a que la

sacarosa interactúa con el agua y la pectina reduciendo la disponibilidad de agua libre (Bekele et al., 2020); en este sentido, la alulosa mediante enlaces de puente de hidrógeno pudo contribuir a la retención del agua libre (Ilhan et al., 2020), dando como resultado una disminución en el valor de Aa. Por lo tanto, valores por debajo de 0.80 acompañadas de una alta acidez (0.62 -0.71% ácido cítrico) en las mermeladas desarrolladas las haría menos susceptibles a la contaminación microbiana, así como, presidir de la adición de conservantes químicos.

Por su lado, la sinéresis se determinó como el porcentaje de agua liberada de las mermeladas. El análisis estadístico no indicó diferencias ($p < 0.05$) entre MR y MCE, sin embargo, si hay diferencias estadísticas respecto a MSE (**Tabla 8**). Estos resultados evidencian que una alta concentración de sacarosa ejerce una retención significativa del agua libre (actividad de agua), promoviendo interacciones pectina-pectina (Belović et al., 2017). Por el contrario, MCE y MSE que presentan una sustitución de sacarosa por alulosa (25%) mostraron un ablandamiento del sistema, como consecuencia una mayor liberación de agua a la superficie ya que se dispone de una menor cantidad de sacarosa para la gelificación de las sustancias pectinas aportadas por la pulpa de manzana y la pectina cítrica que rodean el subproducto de jamaica.

Aunque la liberación de agua a la superficie del alimento es generalmente indeseable, hasta el momento no se ha reportado un valor de referencia para la sinéresis en mermeladas; no obstante, Figueroa and Genovese, (2018) reportan un valor límite superior de sinéresis de 10 g/100 g (10%) en geles de pectina, en el que si se supera este valor se considerarían inadecuados desde el punto de vista organoléptico, aplicable también para mermeladas. Los valores de sinéresis presentados en las mermeladas fueron menores a 3% los cuales están por debajo del límite reportado.

El color es el principal atributo que se observa en un alimento y con frecuencia, predetermina las expectativas de sabor y calidad por parte del consumidor

(Aggarwal et al., 2022). La **Tabla 9** muestra los resultados de los parámetros de color de las mermeladas después de 24 h de su elaboración a temperatura ambiente (25 °C).

Tabla 9. Parámetros de color de las mermeladas de jamaica-manzana

Parámetro	MR	MCE	MSE
L*	23.40 ± 0.24 ^a	23.30 ± 0.08 ^a	23.48 ± 0.19 ^a
Hue	349.04 ± 0.45 ^a	352.09 ± 2.70 ^a	344.75 ± 1.59 ^a
C*	1.68 ± 0.03 ^a	1.67 ± 0.01 ^a	1.84 ± 0.01 ^a
ΔE	-----	0.39 ± 0.17 ^b	0.20 ± 0.04 ^a

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

Los valores de luminosidad (L*) en las tres formulaciones oscilaron entre 23.30 y 23.48 sin diferencias significativas. Estos valores indican una luminosidad baja considerando una escala de 0 a 100 en las coordenadas CIEL*a*b* en la que 0 denota oscuridad y 100 blanco puro. Los valores del ángulo de matiz (Hue) oscilaron entre 344.75 a 352.09, donde valores de Hue en el extremo derecho de en un ángulo de 0° o 360° se asocia con colores como el púrpura y rojo (Kamiloglu et al., 2015). Por su lado, Cromo (C*) representa la saturación que es la distancia desde el eje de luminosidad, oscila entre 0 y 60, en este sentido, valores entre 1.68 a 1.84 acompañados de una luminosidad baja indican una alta saturación del color (Berns, 2014).

El pH del medio de las tres formulaciones pudiera haber tenido influencia en la estructura y color de las antocianinas, donde el color predominante es el rojo (Rosales & Fabi, 2022); mientras que el proceso de cocción/concentración puede tener un efecto sobre el color, ya que el tiempo y la temperatura de concentración en la marmita, así como, la presencia de sacarosa conduce a obtener un producto más oscuro. Por otro lado, las diferencias de color (ΔE) entre MCE y MSE se relacionan con una tonalidad más parda en MSE, lo cual se relaciona con la falta de extracto, Sin embargo, las diferencias de color total (ΔE) fue inferior a 1, lo que

significa que las diferencias de color no son reconocibles por un observador estándar (Jribi et al., 2021).

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las mediciones de corte en estado estacionario y de corte dinámico de tensión oscilatoria en las mermeladas, determinadas a 25 °C. En las tres formulaciones de mermeladas se evidenció un aumento en la velocidad de cizallamiento, con una fluencia mínima de aproximadamente 8.53 Pa indicando que son cuerpos rígidos a esfuerzos bajos, pero líquidos bajo esfuerzos grandes (

Figura 5), de ahí que la pendiente de la curva sea alta a bajas velocidades de deformación y decrece conforme se incrementa el esfuerzo hasta alcanzar un valor asintótico; Este comportamiento describe los fluidos no newtonianos independientes del tiempo característico de los fluidos pseudoplásticos (Barbieri et al., 2018) donde la curva de esfuerzo cortante no comienza en el origen del gráfico.

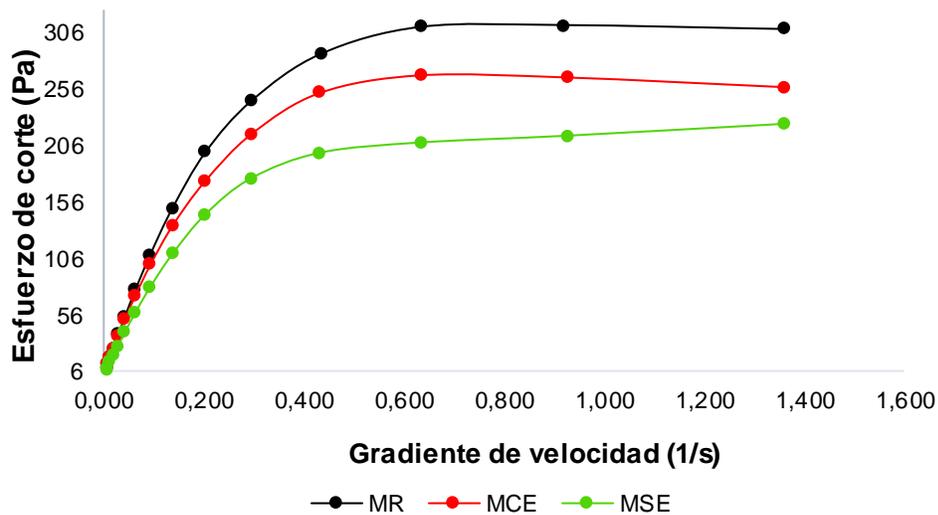


Figura 5. Reogramas de mermeladas de jamaica-manzana a 25 °C; **MR:** Mermelada referencia con 50% de sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa.

En este sentido, los modelos reológicos son una relación matemática que permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, en relación con el comportamiento previamente descrito de las mermeladas, los valores se podrían ajustar a modelos como el de Bingham, Casson o Herschel-Bulkley. No obstante, los fluidos pseudoplásticos que se caracterizan por presentar esfuerzos de corte superiores al umbral, se ajustan mejor al modelo de Herschel-Bulkley, en relación, las características reológicas de las tres mermeladas fueron bien descritas con el modelo mencionado, presentando un R^2 entre 0.97 y 0.98 (**Tabla 10.**). Así mismo, mediante este modelo se pueden determinar parámetros como umbral de fluencia (T_0), índice de consistencia (K) e índice de flujo (n) que indican el grado de desviación con un fluido que presenta un comportamiento newtoniano como el agua.

Tabla 10. Propiedades reológicas de las mermeladas de jamaica-manzana a 25°C

Parámetro	MR	MCE	MSE
Umbral de fluencia τ_0 (Pa)	8.535 ± 0.78 ^a	8.235 ± 1.13 ^a	6.415 ± 0.89 ^b
Índice de consistencia K (Pa. s ⁿ)	6.932 ± 0.10 ^a	6.743 ± 0.13 ^a	5.336 ± 0.13 ^b
Índice de flujo n	1.027 ± 0.01 ^b	0.987 ± 0.01 ^c	1.253 ± 0.01 ^a
Coefficiente de determinación R^2	0.982 ± 0.00	0.979 ± 0.00	0.973 ± 0.00
Viscosidad aparente (Pa)	1361 ± 125 ^a	1321 ± 181 ^a	1028 ± 145 ^b

MR: Mermelada referencia 50% sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; MSE: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

El índice de consistencia (K) de MSE fue significativamente más bajo que MR y MCE, así como el umbral de fluencia (T_0), lo que está relacionado con un límite de fuerza gravitacional menor requerido para que la muestra fluya, resultado que se relaciona con un mayor porcentaje de sinéresis y probablemente con la alta actividad de agua. Por su parte, MR y MCE al presentar un índice de consistencia (K) significativamente más alto, se podría atribuir a una formación de red más fuerte. Valores similares fueron reportados por Cervera-Chiner et al. (2021) en

mermeladas de fresa con un umbral de fluencia entre 6.3 a 9.3 Pa y un índice de consistencia entre 5 a 21.8 Pa.Sⁿ .

Si bien el índice de flujo (n) de las tres mermeladas fue igual o mayor a 1, los otros parámetros indican que las mermeladas de jamaica-manzana desarrolladas tienen un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento, característico de los materiales pseudoplásticos, este hecho también se confirma con la disminución de la viscosidad aparente a medida que aumentaba la velocidad de cizallamiento (**Figura 6**), contando con una viscosidad aparente inicial de MR, MCE y MSE de 1,361, 1,321 y 1,028 Pa, respectivamente, estos resultados confirman la dependencia de la sacarosa en la formación de un gel más fuerte, ya que da lugar a una mayor resistencia a la deformación y a fluir (Basu et al., 2013). En contraste, Belović et al. (2017) reportan en mermeladas elaboradas con el subproducto de tomate reducidas en calorías viscosidades aparentes entre 2,040 a 3,275 Pa correspondiendo el valor más alto a aquella formulación con 20% de sacarosa y 1.44% de pectina. Por lo tanto, se puede lograr una reducción de sacarosa del 25% mediante la sustitución parcial por alulosa sin alterar mucho las propiedades reológicas de las mermeladas, a su vez, estas mediciones supondrían una relación con la percepción del consumidor en las propiedades texturales de las tres mermeladas mediante el análisis sensorial.

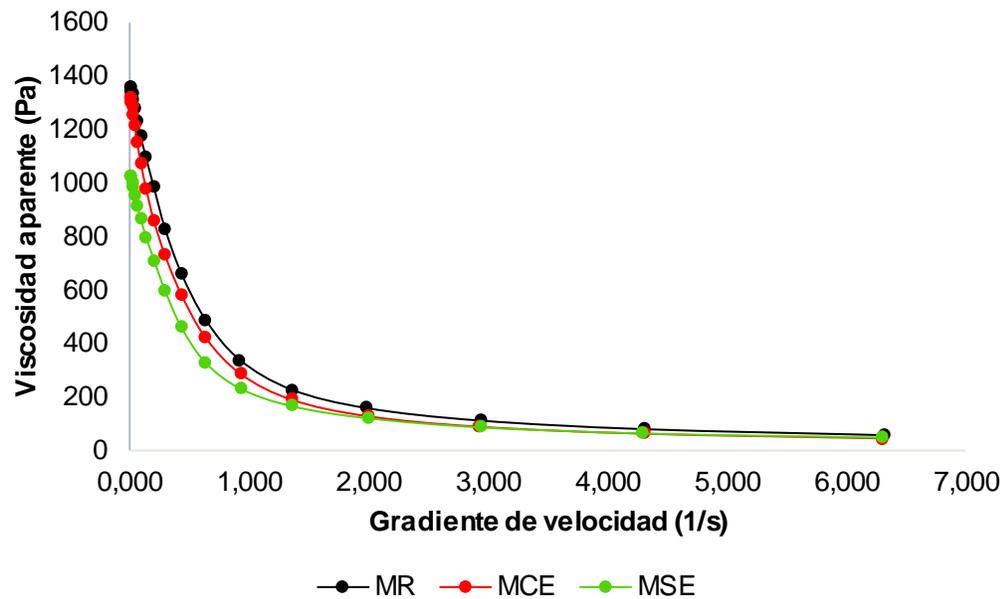


Figura 6. Curva de viscosidad aparente de mermeladas de jamaica-manzana a 25 °C; MR: Mermelada referencia con 50% de sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; MSE: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa.

Por otro lado, en la **Figura 7.** Dependencia de la frecuencia del módulo de almacenamiento o elástico **a)** y módulo de pérdida o viscoso **b)** a 25 °C de las mermeladas de jamaica-manzana **Figura 7** se muestran las propiedades reológicas de oscilación dinámica de las mermeladas; donde el módulo de almacenamiento o elástico (G') y el módulo de pérdida o viscoso (G'') están relacionados con propiedades “sólidas” y “líquidas” respectivamente; de manera general ambos módulos aumentaron con el aumento de la frecuencia, evidenciando una dependencia de esta. Las tres formulaciones presentaron valores de G' superiores a G'' siendo este un comportamiento típico de los alimentos con carácter elástico predominante (Igual et al., 2014), este comportamiento exhibe una consistencia más rígida, altamente estable en el rango de frecuencia estudiado, además, son dependientes del tiempo de cizallamiento.

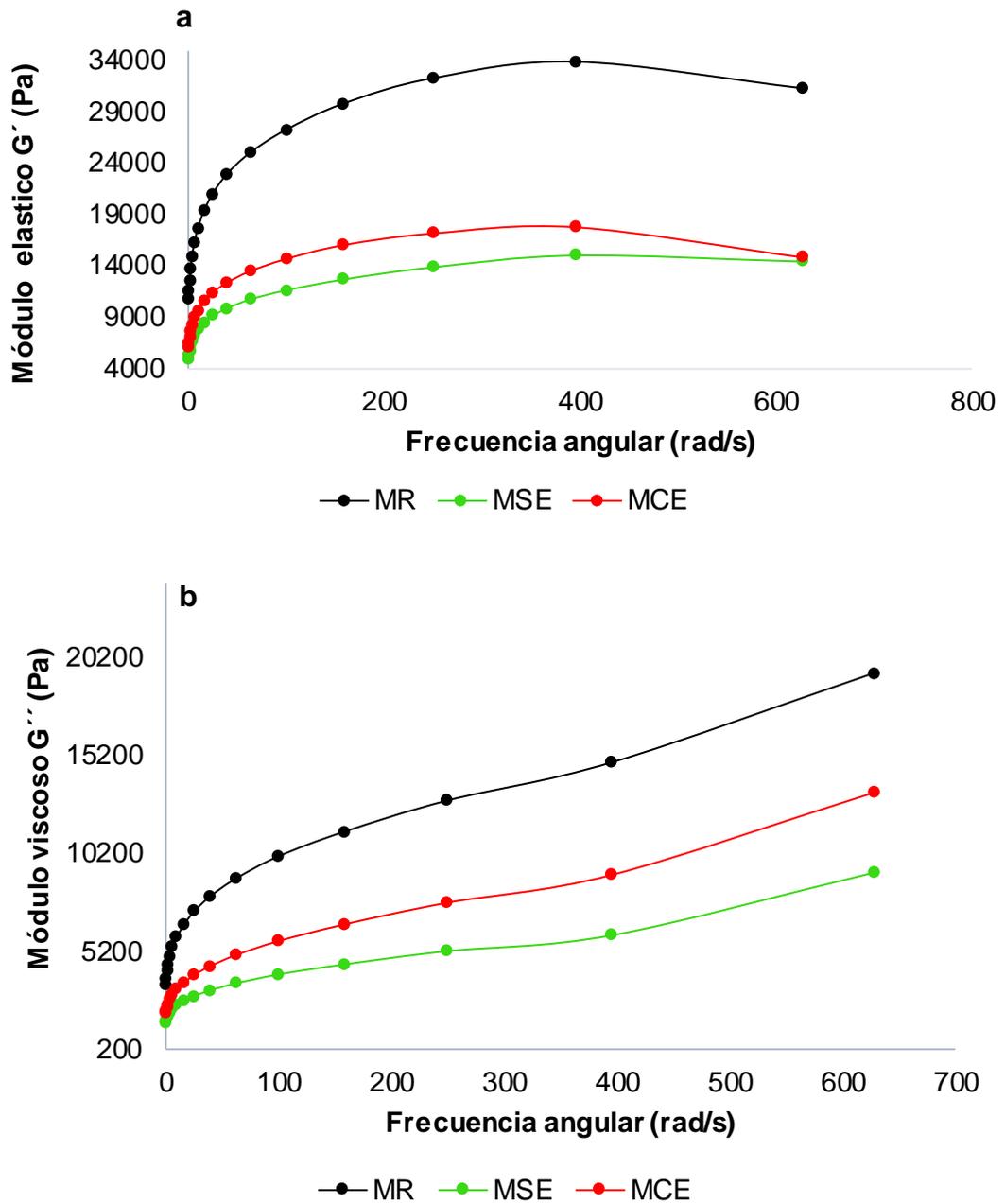


Figura 7. Dependencia de la frecuencia del módulo de almacenamiento o elástico **a)** y módulo de pérdida o viscoso **b)** a 25 °C de las mermeladas de jamaica-manzana. MR: Mermelada referencia con 50% de sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; MSE: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa.

En este orden de ideas, MR presentó un valor mayor en el módulo elástico (31,350 Pa) en comparación con MCE (14,850 Pa) y MSE (14,450 Pa), lo que indica un gel

más rígido, debido a la sacarosa que forma enlaces intermoleculares de puentes de hidrogeno con las cadenas poliméricas de la pectina cítrica y la pectina aportada por la pulpa de manzana, dando como resultado un gel más firme, así mismo, la fibra soluble aportada por la jamaica tiene la capacidad de retener agua contribuyendo a una mayor viscosidad e incluso a la formación de gel (Dong et al., 2020). Este hecho, está relacionado a su vez con el bajo valor de sinéresis y de actividad de agua.

Por su parte MCE y MSE que presentaron una menor variación en el módulo elástico con valores de 14,850 y 14,450 Pa, respectivamente y el módulo viscoso con valores de 13,300 y 9215 Pa, respectivamente; lo cual sugiere una unión intermolecular diferente debido al reemplazo de sacarosa por alulosa; no obstante, las mermeladas reducidas en sacarosa presentaron valores más altos en las características dinámicas comparado a lo reportado por Basu et al. (2013) en mermeladas de mango con un reemplazo del 25% de sacarosa por esteviósido. Sobre la base de estos resultados, es factible utilizar el subproducto de jamaica para elaborar mermeladas, ya que estas tienen la consistencia de geles rígidos presentando comportamientos idénticos a otras mermeladas de frutas. Además, la alulosa contribuye a la formación de gel, en el que las mermeladas reducidas en calorías exhibieron un carácter dominado por el componente elástico, el cual supondría una mejor untabilidad.

Por otra parte, el análisis del perfil de textura (TPA) permite identificar y cuantificar todas las propiedades de textura de un alimento imitando la acción de masticación de la mandíbula humana (Jia et al., 2022) (**Tabla 11**). Dentro de los parámetros de textura obtenidos a partir de la curva de fuerza-tiempo destacan la firmeza (N) que se define como la fuerza necesaria para lograr una deformación; la adhesividad (J) que representa el trabajo necesario para vencer las fuerza de atracción entre la superficie del alimento y la superficie del material con el que entra en contacto; la cohesividad que representa la fuerza de los enlaces internos entre los componentes que forman el producto; la elasticidad relaciona la distancia (altura)

que recupera el alimento durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera compresión y el inicio de la segunda compresión o bocado; finalmente, la gomosidad (N) y masticabilidad (N) representan la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido (Garrido et al., 2015).

Tabla 11. Perfil de textura (TPA) de las mermeladas de jamaica-manzana.

Parámetro	MR	MCE	MSE
Firmeza (N)	28.21 ± 6.59 ^a	23.09 ± 0.76 ^a	16.52 ± 0.73 ^b
Cohesividad	0.26 ± 0.08 ^b	0.27 ± 0.05 ^b	0.31 ± 0.07 ^a
Gomosidad (N)	7.45 ± 1.51 ^a	6.39 ± 0.34 ^a	4.95 ± 0.67 ^b
Adhesividad (J)	0.0174 ± 0.004 ^a	0.0150 ± 0.001 ^a	0.0078 ± 0.001 ^b
Elasticidad (mm)	11.21 ± 0.39 ^b	11.52 ± 1.21 ^b	13.87 ± 0.64 ^a
Masticabilidad (N)	83.45 ± 1.51 ^a	73.45 ± 4.75 ^a	68.34 ± 6.01 ^a

MC: Mermelada control 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

La firmeza en MSE disminuyó en un 41.43 y un 28.41% respecto a MR y MCE, respectivamente. Asimismo, la cohesividad, gomosidad y adhesividad de MSE fue significativamente menor respecto a MR y MCE. Este último parámetro indica que el esfuerzo requerido del alimento para separarse de los dientes y el paladar durante la etapa de masticación es menor, lo que concuerda con una mayor elasticidad y menor masticabilidad, evidenciando una menor energía requerida para desintegrar el alimento. Este hecho no se atribuye al porcentaje de sólidos solubles totales de las mermeladas, ya que este valor osciló entre 65 y 66% en las tres formulaciones, sin embargo, esta disminución si se puede atribuir a la menor

cantidad de sacarosa, ya que MSE y MCE tienen una sustitución del 25% de sacarosa por alulosa. Cabe resaltar que, MSE presenta una diferencia de 6.57 N en la firmeza respecto a MCE; esto indica que la falta de extracto de jamaica (8%) en MSE podría ser la causa de la pérdida de firmeza, ya que este aportaría fibra soluble que refuerza las interacciones en la red estructural para formación de gel (Barbieri et al., 2018).

Sobre la base de estos resultados, la sustitución de sacarosa y la falta de extracto de jamaica en MSE afectó los parámetros texturales, promoviendo una separación de fases y liberación de agua de la red del gel debido a que la sacarosa en sinergia con la pectina juega un papel importante en la formación de una red estructural fuerte mediante enlaces hidrofóbicos (Muñoz-Almagro et al., 2021a). Estos resultados se apoyan con los parámetros reológicos en estado estacionario y dinámico donde los valores de cohesividad, elasticidad y masticabilidad de MSE se relacionan con un valor menor del umbral de fluencia, índice de consistencia y viscosidad aparente, así como, el módulo de elasticidad (G') y el módulo viscoso (G'') teniendo una textura más suave y de carácter elástico predominante característico de las mermeladas. Al mismo tiempo, una menor firmeza y masticabilidad, pero una gomosidad significativamente mayor respecto a MR y MCE que indica una textura más suave en MSE. Estos resultados indican que las mermeladas con 25% de alulosa tienden a formar un gel con propiedades similares a la mermelada con 50% de sacarosa. Esto podría causar un cambio en la proporción de sacarosa necesaria para la gelificación, reduciendo su contenido en productos procesados.

5.4 Análisis Bromatológicos

Los valores del análisis bromatológico de las tres formulaciones de mermeladas de jamaica-manzana se muestran en la **Tabla 12**. Los valores de humedad de las tres mermeladas se encuentran en un rango de 25.27% a 29.68%, lo que está de acuerdo con el rango (20 a 30%) para alimentos de humedad intermedia

(Aggarwal et al., 2022). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de cenizas, mientras que en grasa y proteína no se presentaron diferencias significativas entre las mermeladas. Es importante señalar, que un contenido de humedad bajo ($< 30\%$) acompañado de una baja actividad de agua está directamente relacionado con una mayor conservación del producto en almacenamiento (De Souza Viana et al., 2014) En contraste, los valores reportados en este trabajo se encuentran en un rango por debajo de lo publicado por Cervera-Chiner et al. (2021) para mermeladas reducidas en sacarosa (45 - 51%). Por otro lado, según las tablas de composición de alimentos y productos alimenticios mexicanos (Morales et al., 2016) las mermeladas de frutas contienen 1.72% de proteína, 0.32% de grasa y 0.47% de cenizas, en relación las tres mermeladas presentan valores similares.

Tabla 12. Análisis bromatológico de las mermeladas de jamaica-manzana.

Parámetro	MR	MCE	MSE
Humedad (%)	25.27 ± 1.14 ^c	29.68 ± 0.70 ^b	28.06 ± 0.55 ^a
Cenizas (%)	0.54 ± 0.09 ^a	0.49 ± 0.00 ^a	0.37 ± 0.00 ^b
Grasa (%)	0.06 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.04 ^a	0.07 ± 0.02 ^a
Proteína (%)	1.40 ± 0.01 ^a	1.38 ± 0.06 ^a	1.35 ± 0.39 ^a
Azúcares reductores (%)	59.69 ± 2.10 ^a	41.53 ± 1.12 ^b	41.54 ± 2.09 ^b
Carbohidratos (%)	72.46 ± 0.80 ^a	42.40 ± 0.74 ^b	44.14 ± 0.50 ^b
Fibra dietaria (%)	5.05 ± 0.22 ^a	4.97 ± 0.10 ^a	5.18 ± 0.08 ^a
Calorías (Kcal /g)	307.58 ± 3.17 ^a	185.67 ± 2.71 ^c	192.67 ± 1.82 ^b

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; MSE: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

Los valores de azúcares reductores de las mermeladas mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Las mermeladas MCE y MSE con una sustitución del 25% de sacarosa por alulosa presentaron una reducción en el contenido de azúcares reductores de 30.41% respecto a MR. Dentro de este marco, no se ha reportado un valor referencia que las mermeladas deban contener, pero se requiere un alto contenido de azúcares reductores, ya que estos azúcares minimizan cristalización

de la sacarosa, brindan una apariencia más brillante favoreciendo la estabilidad del producto en almacenamiento y brindan un sabor más dulce por la hidrólisis de la sacarosa en sus monómeros fructosa y glucosa (Bekele et al., 2020). Esta hidrólisis es causada por la alta acidez del medio (0.62 a 0.74% AT). Valores similares a los presentados en este trabajo en el contenido de azúcares reductores lo reportan De Souza Viana et al. (2014) en mermeladas mixtas de plátano y araçá-boi con valores entre 39.02 y 50.89% donde la formulación con mayor contenido de sacarosa (50.89%) presentaba una mayor acidez, lo que provocó la inversión de la sacarosa.

Por su parte el contenido de fibra dietaria de las mermeladas estuvo alrededor del 5%. Estos contenidos nutricionales se deben principalmente a la materia prima utilizada, resaltando el porcentaje de fibra dietaria aportado principalmente por el cáliz de jamaica. Además, de los efectos beneficiosos a la salud que se le atribuyen a su consumo, este polisacárido puede mejorar características en el producto final como una menor sinéresis (0.90, 1.42 y 2.60% < 10%), debido a la capacidad de retener agua, aumentar la viscosidad y consecuentemente mejorar la textura (Pérez-Herrera et al., 2020).

Para la mermeladas reducidas en sacarosa MCE y MSE, el porcentaje de carbohidratos se redujo significativamente, respecto a MR. Estos resultados eran esperados ya que la sacarosa es un disacárido formado por glucosa y fructosa mientras que la alulosa es un monosacárido. En relación, es conveniente acotar que el aporte calórico de la sacarosa es de 4 Kcal/g, mientras que la alulosa aporta 0.2 Kcal/g, de esta manera la sustitución de sacarosa por alulosa disminuyó el contenido de energía en un 40% aproximadamente para MCE y MSE.

Dado que el objetivo principal del estudio, es la mejora en el perfil nutricional mediante la reformulación de una mermelada de jamaica-manzana con reducción en el contenido energético acompañado de una reducción en la cantidad de azúcares añadidos, una de las políticas que tienen efecto sinérgico con la reformulación de productos altos en azúcar añadido es el etiquetado frontal del

producto (Deliza et al., 2021), esta es una estrategia que tiene por intención disuadir al consumidor a elegir productos con bajo contenido de azúcar añadido o bajo en calorías. Recientemente la regulación de etiquetado nutricional frontal aprobado en México mediante la NOM-051-SCF/SSA-2010 permite a este producto estar exento del sello “exceso de calorías” mientras que, en base a la NOM-086-SSA-1994 que aborda especificaciones nutricionales en reformulaciones alimentarias, MCE y MSE estarían clasificadas como mermeladas reducidas en azúcares añadidos debido a la reducción de sacarosa en un 25% respecto al alimento original (MR) y reducidas en calorías.

En relación con lo expuesto, la tendencia de los consumidores se inclina hacia el consumo de alimentos, ya sea procesados o no, pero que sean más naturales, es decir, alimentos con ausencia de ciertos ingredientes como aditivos, conservantes y edulcorantes artificiales (Milner et al., 2020) aunando, a una mayor atención a la sostenibilidad ambiental, en el contexto de la economía circular y el aprovechamiento de los subproductos con potencial fitoquímico (Panwar et al., 2021). Hasta ahora, la sustitución de azúcar (sacarosa) por edulcorantes ha sido el enfoque más utilizado en la industria alimentaria, representando en México al menos un 11% de todos los productos comercializados con tendencia a un aumento de este tipo de productos reducido en sacarosa (Deliza et al., 2021). En este sentido, las tres mermeladas carecen de aditivos alimentarios, tales como conservantes, saborizantes y colorantes artificiales. Además, MSE que está elaborada con el subproducto de jamaica presenta características fisicoquímicas iguales a las de un producto tradicional con 50% de sacarosa en su formulación; de ahí que la utilización del subproducto de jamaica impulsa el desarrollo de alimentos con alto valor nutricional y propiedades tecnológicas.

5.5 Análisis fitoquímicos

los fitoquímicos son compuestos biológicamente activos que se han asociado con propiedades protectoras en los seres humanos (Pérez-Herrera et al., 2020). El cáliz

de jamaica y su extracto producto de la decocción con uso potencial en la elaboración de bebidas son ricos en compuestos bioactivos, representando una fuente natural de compuestos bioactivos para la industria alimentaria, así como farmacéutica y cosmética (Riaz & Chopra, 2018).

Particularmente, el cáliz de jamaica es reconocido por sus compuestos fitoquímicos tales como antocianinas, proantocianidinas y de forma general los compuestos fenólicos, todos estos son metabolitos secundarios que se caracterizan por actuar como captadores de radicales libres; asimismo, se ha identificado una relación directa entre estos compuestos y su capacidad antioxidante (Sultanbawa & Sivakumar, 2022). Las mermeladas con extracto de jamaica, MR y MCE presentaron un contenido significativamente mayor ($p < 0.05$) respecto a MSE en los compuestos antes mencionados y consecuentemente en la capacidad antioxidante (**Tabla 13**). Brevemente, las mermeladas MR y MCE presentaron un mayor contenido en los compuestos fenólicos contando con 32% y 24% más respecto a MSE. La concentración de antocianinas y proantocianidinas tanto en MR como en MCE fue de 69% y 22% más alta respecto a MSE. El extracto de jamaica es rico en compuestos fitoquímicos, sin embargo, en el subproducto de jamaica se reporta la presencia polifenoles ligados a la fibra dietaria (Amaya-Cruz et al., 2019b), por lo cual se puede utilizar en productos alimentarios con un aporte alrededor del 30% de compuestos fitoquímicos.

Tabla 13. Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de mermeladas de jamaica-manzana.

Compuesto	MR	MCE	MSE
Compuestos fenólicos totales (mg GAE /g BH)	1.96 ± 0.10 ^a	1.75 ± 0.01 ^b	1.33 ± 0.10 ^c
Antocianinas (mg C₃G / g BH)	0.016 ± 0.02 ^a	0.016 ± 0.01 ^a	0.005 ± 0.02 ^b
Proantocianidinas (mg CE /g BH)	28.26 ± 0.60 ^a	28.02 ± 0.30 ^a	22.14 ± 0.90 ^b
Capacidad Antioxidante			
DPPH (% de inhibición)	32.61 ± 1.18 ^a	32.49 ± 0.80 ^a	23.24 ± 0.48 ^b
ABTS (% de inhibición)	58.89 ± 2.14 ^a	59.40 ± 2.81 ^a	48.72 ± 2.89 ^b

MR: Mermelada referencia 50% sacarosa; MCE: Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; MSE: Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor

representa la media de duplicados \pm DE. Las filas con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0.05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey. GAE: equivalentes de ácido gálico, C₃G: equivalentes de cianidina-3-glucósido, CE: equivalentes de catequina.

Las mermeladas con extracto de jamaica, MR y MCE, presentaron un contenido significativamente más alto en los compuestos fenólicos respecto a MSE, reafirmando que el extracto de jamaica ofrece cantidades significativas de compuestos fenólicos. De hecho, otras mermeladas como la de tomate, fresa y kiwi tienen concentraciones de compuestos fenólicos de 0.128 mg GAE/g, 1.000 mg GAE/g y 0.49 mg GAE/g, respectivamente (Pérez-Herrera et al., 2020; Mazur et al., 2014; Cervera-Chiner et al., 2021).

Las antocianinas, son pigmentos polifenólicos con funciones biológicas responsables de una amplia gama de colores que va desde el púrpura, rojo y azul en muchas frutas, flores y hojas. Estos pigmentos son altamente inestables y las temperaturas de procesamiento pueden influir en su contenido final (Rosales & Fabi, 2022). Sin embargo, las mermeladas con extracto de jamaica MR y MCE presentaron un contenido de antocianinas de 0.016 mg C₃G / g de mermelada; valores similares a los reportados por Pérez-Herrera et al. (2020) en mermeladas de tomate *Physalis* spp con un contenido de antocianinas que oscilaron entre 0.0175 y 0.0216 mg C₃G/g, entonces, las mermeladas de jamaica-manzana pudieran ser una buena fuente de antocianinas. Por su parte, las proantocianidinas o taninos condensados son producto de la ruta de los flavonoides que se caracterizan por impartir astringencia, acidez, dulzura, aroma y color. Sin embargo, su importancia radica en su capacidad antioxidante y los efectos beneficiosos a la salud (Unusan, 2020). Estos compuestos además de encontrarse en el extracto de jamaica, se encuentran en el subproducto de jamaica a pesar de la disminución del 21% en MSE respecto a MR y MCE.

Respecto a la capacidad antioxidante, las mermeladas con extracto de jamaica (MR y MCE) además de presentar un aumento en los compuestos polifenólicos,

presentaron una mayor inhibición de la oxidación (32 y 59%) respecto a MSE, en ambos métodos DPPH y ABTS+. Estos resultados confirman una relación directa entre los compuestos polifenólicos (fenoles, antocianinas y proantocianidinas) y la capacidad antioxidante de estos compuestos en las mermeladas. También se observó un aumento en la capacidad antioxidante mediante el ensayo de ABTS+ respecto al ensayo de DPPH, en las tres mermeladas, en el que la capacidad antioxidante aumentó alrededor del 26%. Este hecho se debe a factores, como la estereoselectividad de los radicales, la solubilidad de los extractos e incluso aquellos alimentos altamente pigmentados como la cereza, arándanos, repollo rojo e incluso el cáliz de jamaica que puede afectar la capacidad para reaccionar y disminuir la concentración de diferentes radicales (Floegel et al., 2011). Asimismo, Yehye et al.(2015) confirman que una interferencia de color de DPPH con muestras que contienen antocianinas se conduce a una subestimación de la capacidad antioxidante. Por consiguiente, el ensayo de ABTS+ refleja mejor los antioxidantes altamente pigmentados e hidrofílicos. En este sentido, las mermeladas elaboradas con extracto de jamaica (MR y MCE) y con el subproducto de jamaica (MSE) representan una buena fuente de antioxidantes que podrían traer beneficios a la salud.

5.6 Análisis microbiológico y sensorial

Se analizó la calidad microbiológica de las tres mermeladas (**Tabla 14**) indicando que la presencia de bacterias mesófilas aerobias, mohos y levaduras, coliformes totales en las mermeladas recién elaboradas (24 h) se encuentran por debajo de los límites establecidos por la NOM-130-SSA-1995. Infiriendo, que se realizó un buen lavado y desinfección tanto de la materia prima como los equipos utilizados en el proceso; aunado a esto, el tratamiento térmico y envasado de las mermeladas resultó ser efectivo con recuentos en mohos y levaduras <10 UFC/g. Este hecho, confirma la seguridad microbiológica de las mermeladas y no supone un riesgo para los panelistas que realizaron la evaluación sensorial. Así mismo,

resaltar que los valores de pH en las tres formulaciones por debajo de 3.0 podrían garantizar la estabilidad microbiológica en el almacenamiento.

Tabla 14. Calidad microbiológica de las mermeladas de jamaica-manzana.

Parámetro microbiológico	Referencia NOM-130-SSA-1995	MR	MCE	MSE
BMA (UFC/g)	50	10	10	10
M/L(UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
CT (UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada con el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. **BMA:** Bacterias mesófilas aerobios; **M/L:** Mohos y levaduras; **CT:** Coliformes totales.

Los resultados de la evaluación sensorial de las mermeladas se presentan en la **Figura 8**. El puntaje otorgado en apariencia, color, olor y sabor en las tres mermeladas evaluadas se percibieron en un rango de 6.9 a 8.1 (“Me gustas moderadamente” a “Me gusta mucho”) sin diferencias significativas. Respecto al color, a pesar de que MSE se elaboró con el subproducto, sin extracto de jamaica, está presentó un puntaje (8.1) igual a MR infiriendo que los consumidores no notaron cambios en el color, hecho que se confirma con las mediciones de color en la cual no se encontraron diferencias estadísticas entre las formulaciones, posiblemente por una retención de las antocianinas a la fibra y posible estabilidad de estos compuestos favorecido por el pH ácido (2.50) (Amaya-Cruz et al., 2019b).

El sabor, asociado al dulzor, a la acidez y a la sensación amarga; la puntuación media en las tres formulaciones fue de 7.4 a 7.9 sin diferencias significativas ($p < 0.05$); esto indica una similitud en la aceptación de las muestras y corrobora que la sustitución de sacarosa por alulosa en un 25% se puede recomendar como estrategia de una reducción gradual de la sacarosa, que no implica cambios en el sabor. Por su parte Mahato et al.(2021) resaltan que la tendencia de los consumidores es consumir productos con edulcorantes naturales; por lo tanto, se abre la oportunidad a un uso potencial de la alulosa ya que es un edulcorante natural, con un perfil sensorial similar a la sacarosa de tal forma que se reduce la

cantidad de sacarosa añadida pero manteniendo la dulzura. Estos resultados coinciden con los de Jribi et al. (2021) con un reemplazo parcial de sacarosa del 25% por fructosa y estevia, edulcorantes naturales, en mermeladas de fresa, en las que no se percibieron cambios en el sabor.

Por otro lado, MCE presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$) respecto a MR y MSE en la untabilidad, mientras que en textura en boca presentó diferencias estadísticas respecto a MR, este hecho a su vez se relaciona con una ligera disminución en la puntuación de sabor de MCE. Sobre esta base, la pectina de alto metoxilo aportada por la manzana y la pectina cítrica en sinergia con la alulosa pudo haber formado un gel que no se puede derretir con el calor, induciendo a una sensación en boca más duradera y pegajosa. Adicionalmente, esto podría aumentar las propiedades viscosas, presentando una mayor firmeza y una untabilidad reducida, además, esta consistencia más firme pudo cubrir los receptores gustativos en los que la integración de los sentidos, es decir, la textura y el sabor pudo alterar la percepción de dulzor (Holm et al., 2009). Por su parte, MSE presentó puntuaciones iguales a MR en textura (7.2) y untabilidad (7.4); resultado que se relaciona con un menor umbral de fluencia, viscosidad aparente, menor firmeza y mayor elasticidad (**Tabla 11**) probablemente se deba a que parte de la pectina cítrica no se unió en la fase agua-sacarosa/alulosa (Holm et al., 2009). Por lo tanto, sensorialmente, elaborar una mermelada reducida en calorías con el subproducto de jamaica confirma el hecho de que incluir alulosa como edulcorante natural y utilizar el subproducto de jamaica da como resultado un producto potencialmente aceptable por los consumidores con atributos similares a un producto tradicional.

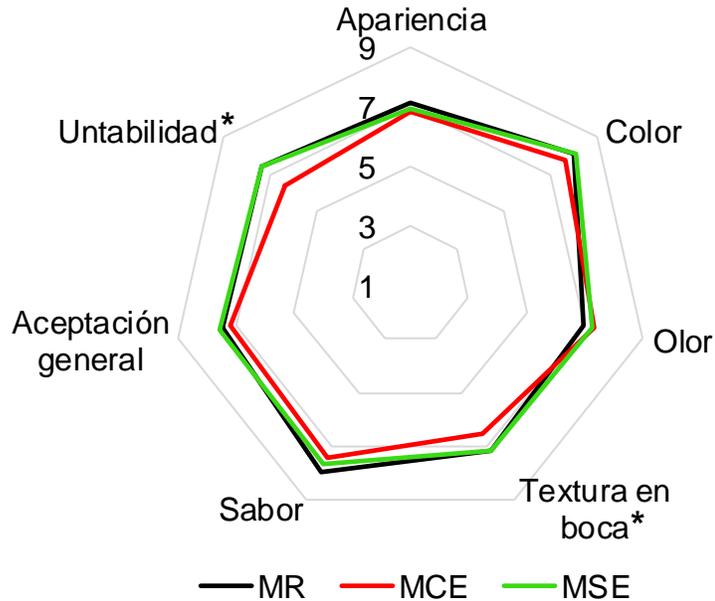


Figura 8. Evaluación sensorial de **MR**: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE**: Mermelada con extracto de jamaica con 24 % de sacarosa; **MSE**: Mermelada sin extracto de jamaica con 24 % de sacarosa. Calificación en una escala hedónica de 1 a 9. **p*-valor < 0.05 según la prueba de Kruskal-Wallis.

5.7 Análisis de estabilidad en almacenamiento de mermeladas de jamaica-manzana

La **Figura 9** muestra la evolución de la actividad de agua (Aa) de las tres formulaciones de mermelada durante 150 días de almacenamiento a 25 °C en condiciones de luz blanca (**Figura 9a**) y oscuridad (**Figura 9b**). La Aa inicial de las tres mermeladas fue de 0.77, 0.79 y 0.79 para MR, MCE y MSE, respectivamente. Hasta el día 15 de almacenamiento hubo una ligera disminución en la Aa en MSE, por su lado MR y MCE presentaron una disminución en la Aa hasta el día 30 en condiciones de luminosidad, asimismo estas dos mermeladas tuvieron una caída más pronunciada respecto a MSE en ambas condiciones; esta disminución en la Aa puede ser el resultado del proceso de estabilización de la pectina, la cual depende del tiempo teniendo un comportamiento viscoso a gomoso; inicialmente no se forma una red y cada molécula de pectina se comporta como una sola molécula dispersa, a medida que pasa el tiempo las moléculas de pectina comienzan a asociarse con la sacarosa y alulosa (Chan et al., 2017). Durante el

almacenamiento MSE presentó una mayor estabilidad en la Aa, este resultado puede estar relacionado a la ausencia de moléculas presentes en extracto, es decir, las moléculas de agua menos densas son absorbidas por la fibra de jamaica proporcionando una mayor hidratación y retención del agua libre, lo que se relaciona a su vez con una mayor porosidad del subproducto (Amaya-Cruz et al., 2017a)

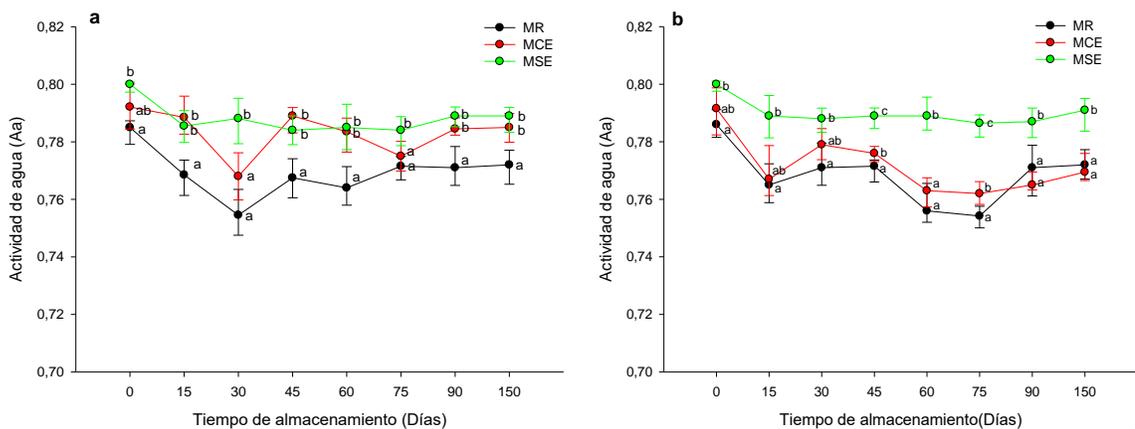


Figura 9. Actividad de agua (Aa) de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Cada valor representa la media de duplicados \pm DE. Las mismas letras en cada punto no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

En condiciones de oscuridad, la tendencia a la disminución continuo hasta el día 75 en MR y MCE, ya que en el día 90 y 150 se registró un ligero incremento, lo cual no está asociado a la histéresis. Por su parte, la Aa en MSE se mantuvo sin cambios importantes en ambas condiciones luego de la estabilización de la pectina (día 15), evidenciando una mejor estabilidad del sistema. Por otro lado, las fluctuaciones en la actividad de agua en ambas condiciones de almacenamiento a 25 °C particularmente en MR y MCE se podrían asociar a la temperatura, ya que, los efectos de convección natural debido a los cambios de densidad con temperaturas superiores a los 4 °C es un causa para aumentar la tasa de transferencia de calor por convección, sin embargo, cuanto más viscoso sea el producto, más resistente será la rotación de las moléculas del agua al espacio de

cabeza en el envase (Erdogdu & Tutar, 2012). Entonces, a nivel químico este fenómeno físico antes mencionado pudo ocasionar una menor fuerza en los enlaces moleculares entre la pectina, la sacarosa, la alulosa y el agua, lo que liberaría moléculas de agua de libre. Por lo tanto, el aumento o disminución de la Aa durante los 150 días de almacenamiento respecto a su valor inicial pudo depender de la presencia de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos en el alimento y la temperatura de almacenamiento (25 °C) (Tadapaneni et al., 2017). Estos resultados indican que las mermeladas de jamaica-manzana con 50% de sacarosa (MR) y las mermeladas reducidas en calorías con 24% de sacarosa y 25% de alulosa (MCE y MSE) presentan valores de actividad de agua al final del almacenamiento (150 días) de 0.77 a 0.79 los cuales se encuentran dentro del rango reportado para productos de humedad intermedia (0.75-0.85). En contraste, Aggarwal et al. (2022) reportan en barras de mandarina y sacarosa un incremento en la Aa del 18% al final del almacenamiento (90 días) a temperatura ambiente (25 °C).

Los valores bajos de Aa durante el almacenamiento a 25 °C en las tres mermeladas (MR, MCE y MSE) además de evitar modificaciones fisicoquímicas adversas durante el almacenamiento, reduce su deterioro asociado al crecimiento microbiano. En este sentido, los resultados del análisis microbiológico en el día 0, 45 y día 90 de almacenamiento en bacterias mesófila, mohos y levaduras y coliformes totales fueron <10 UFC/g; <10 UFC/g; <10 UFC/g respectivamente (**Tabla 15**) los cuales están por debajo a lo establecido en la NOM-130-SSA1-1995 sin cambios en los días 45 y 90 de almacenamiento respecto al día 0. Esto puede deberse a la baja carga microbiana inicial, a la higiene durante el proceso de elaboración y el buen sellado de las mermeladas.

Por lo tanto, se confirmó que las mermeladas de jamaica-manzana presentan buena calidad microbiológica hasta el día 90 de almacenamiento y serian seguros para el consumo hasta 3 meses después de su elaboración. De esta manera, si los parámetros fisicoquímicos de las mermeladas, tales como los sólidos solubles

totales, pH, acidez titulable y actividad de agua no presentan variaciones significativas en las mermeladas, posiblemente sean seguras microbiológicamente hasta con 5 meses de almacenamiento.

Tabla 15. Calidad microbiológica de las mermeladas de jamaica-manzana durante almacenamiento.

Parámetro microbiológico	Referencia NOM-130-SSA-1995	MR	MCE	MSE
Día 0 de almacenamiento				
BMA (UFC/g)	50	10	10	10
M y L(UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
CT (UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
Día 45 de almacenamiento				
BMA (UFC/g)	50	< 10	10	10
M y L(UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
CT (UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
Día 90 de almacenamiento				
BMA (UFC/g)	50	10	10	10
M y L(UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10
CT (UFC/g)	< 10	< 10	< 10	< 10

MR: Mermelada referencia 50% sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada son el subproducto de jamaica con 25% de alulosa. **BMA:** Bacterias mesófilas aerobios; **M/L:** Mohos y levaduras; **CT:** Coliformes totales

Dentro de este orden de ideas, los parámetros fisicoquímicos como los sólidos solubles, la acidez titulable, el pH, así como la textura son factores que reflejan la calidad y estabilidad del producto durante el almacenamiento. La **Tabla 16** muestra los resultados del análisis fisicoquímico de las tres mermeladas en el día 0, 90 y 150 de almacenamiento. El análisis estadístico indica que no hubo un aumento significativo en los sólidos solubles en las tres mermeladas en ambas condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente hasta el día 90 del almacenamiento, mientras que, a los 150 días de almacenamiento se evidenció un aumento en este parámetro, no obstante, el incremento no es relevante, ya que el

incremento es de 1% en MCE y MSE y del 2% en MR después de 5 meses de almacenamiento a 25 °C en condiciones de luz y oscuridad, indicando una hidrólisis lenta de los polisacáridos, así como poca inversión de los azúcares no reductores (Aggarwal et al., 2022). Aún con este ligero incremento, los sólidos solubles en las tres mermeladas oscilaron entre 65 y 68% dentro de los rangos establecidos en el CXS 296-2009.

El valor de pH en las tres formulaciones registro un aumento significativo respecto al valor final de almacenamiento (150 días) en condiciones de luz y oscuridad (**Tabla 16**). Este aumento se asocia con una disminución en la acidez titulable al final del almacenamiento. Al respecto, el pH es una medida de la vida útil de un producto ya que, el mecanismo de gelificación en los sistemas con azúcar/pectina/ácido depende principalmente del pH y la concentración de SST (65 – 68%). Si el pH es inferior a 2.4 o superior a 3.5 no habrá gelificación la cual regula en gran medida la consistencia y firmeza final de las mermeladas (“Jams, Jellies, and Related Products,” 2016).

Por su parte, la tendencia a la disminución de los valores de acidez titulable se asocian con la degradación del ácido ascórbico y ácido hibiscus propios del cáliz de jamaica, donde el primero pudo oxidarse por efecto del calor durante el procesamiento de la mermelada, favoreciendo la descomposición oxidativa de este ácido orgánico a ácido dicetogulónico, ácido oxálico, treónico y oxálico durante el almacenamiento (Gomes et al., 2022), en este sentido, la concentración de hidrógenos (H⁺) aportados por los productos de degradación del ácido ascórbico es baja, por lo cual el valor de pH de las mermeladas tendió a aumentar y la acidez a disminuir. Esta tendencia también fue reportada por Kamal et al. (2018) en jaleas de manzana, cuyo valor de pH aumentó durante un almacenamiento de 45 días, mientras la acidez disminuyó. Este comportamiento podría implicar un mantenimiento de la calidad más prologado. Con estos resultados de pH y su relación con la AT, así como, los resultados de actividad de agua y los análisis microbiológicos de las tres formulaciones de mermelada de

jamaica-manzana: MR y las reducidas en sacarosa (MCE y MSE) almacenadas en condiciones de luz blanca y oscuridad a 25 °C, se infiere que son estables fisicoquímicamente durante al menos 5 meses.

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del almacenamiento.

Parámetro	Día 0	Luz blanca	Oscuridad	Luz blanca	Oscuridad
		Día 90	Día 90	Día 150	Día 150
MR					
SST (%)	66.3 ± 0.42 abB	66.8 ± 0.10 bB	66.68 ± 0.37 bB	67.9 ± 1.47 aAB	68.1 ± 1.41 bA
Acidez titulable (%)	0.71 ± 0.05 aA	0.58 ± 0.07 aB	0.58 ± 0.09 ^{aB}	0.45 ± 0.07 bC	0.45 ± 0.07 bC
pH	2.44 ± 0.02 bC	2.52 ± 0.02 bB	2.51 ± 0.01 ^{bB}	2.54 ± 0.06 bBA	2.56 ± 0.01 bA
MCE					
SST (%)	65.2 ± 0.18 bB	65.2 ± 0.22 bB	65.9 ± 0.16 bAB	66.0 ± 0.57 aAB	66.0 ± 0.32 aA
Acidez titulable (%)	0.74 ± 0.01 aA	0.62 ± 0.10 aB	0.62 ± 0.10 ^{aB}	0.55 ± 0.10 aB	0.57 ± 0.11 aB
pH	2.45 ± 0.01 bC	2.50 ± 0.01 bB	2.49 ± 0.01 ^{bB}	2.57 ± 0.02 bA	2.57 ± 0.03 bA
MSE					
SST (%)	66.5 ± 0.60 aC	68.9 ± 0.23 aB	65.0 ± 0.18 ^{bA}	67.47 ± 2.42 ^{aCB}	67.23 ± 2.44 ^{abCB}
Acidez titulable (%)	0.62 ± 0.05 bA	0.54 ± 0.10 bA	0.54 ± 0.11 ^{bA}	0.42 ± 0.10 bB	0.40 ± 0.03 bB
pH	2.51 ± 0.01 aC	2.55 ± 0.01 aB	2.53 ± 0.02 aCB	2.70 ± 0.01 aA	2.67 ± 0.03 aA

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada sin extracto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las columnas con las mismas letras minúsculas y filas con las misma letras en mayúsculas no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

Por otro lado, considerando las correlaciones reportadas en los parámetros de textura con la aceptación sensorial, el análisis de TPA se consideró confiable para evaluar los cambios de textura de las mermeladas durante el almacenamiento a

temperatura ambiente (25 °C). En la **Tabla 17** se muestran los resultados de textura (firmeza, adhesividad y elasticidad) en las tres formulaciones de mermeladas (MR, MCE y MSE) después de 90 y 150 días de almacenamiento comparando la influencia del tiempo y condiciones de almacenamiento respecto a mermeladas recién elaboradas (día 0).

Tabla 17. Parámetros del perfil de textura (TPA) de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del almacenamiento.

Parámetro	Día 0	Luz blanca	Oscuridad	Luz blanca	Oscuridad
		Día 90	Día 90	Día 150	Día 150
MR					
Firmeza (N)	28.21 ± 1.31 ^{aA}	24.42 ± 0.90 ^{aB}	23.90 ± 1.80 ^{aB}	22.43 ± 2.02 ^{aB}	23.38 ± 1.06 ^{aB}
Adhesividad (J)	0.0174 ± 0.005 ^{aA}	0.015 ± 0.002 ^{aA}	0.0115 ± 0.005 ^{aAB}	0.0098 ± 0.001 ^{aB}	0.0105 ± 0.003 ^{aB}
Elasticidad	10.46 ± 1.20 ^{bA}	9.15 ± 1.58 ^{bA}	12.33 ± 1.05 ^{cB}	10.45 ± 0.50 ^{bA}	9.56 ± 1.37 ^{bA}
MCE					
Firmeza (N)	23.08 ± 0.76 ^{bA}	23.39 ± 1.74 ^{bB}	22.31 ± 1.82 ^{aAB}	22.30 ± 2.27 ^{aABC}	21.88 ± 0.40 ^{bC}
Adhesividad (J)	0.0150 ± 0.003 ^{aA}	0.0136 ± 0.001 ^{aA}	0.0132 ± 0.001 ^{aA}	0.0096 ± 0.002 ^{aB}	0.0093 ± 0.001 ^{aB}
Elasticidad	9.02 ± 1.44 ^{cA}	6.70 ± 1.44 ^{cA}	8.01 ± 0.66 ^{bA}	8.04 ± 1.12 ^{bAB}	7.33 ± 0.41 ^{cB}
MSE					
Firmeza (N)	16.52 ± 0.73 ^{cA}	15.80 ± 1.18 ^{bA}	15.41 ± 0.64 ^{bA}	12.51 ± 2.17 ^{bB}	14.92 ± 2.43 ^{cAB}
Adhesividad (J)	0.0078 ± 0.001 ^{bA}	0.0075 ± 0.002 ^{bA}	0.0047 ± 0.01 ^{bB}	0.0028 ± 0.001 ^{bC}	0.0046 ± 0.001 ^{bB}
Elasticidad	13.87 ± 0.64 ^{aA}	14.84 ± 0.19 ^{aAB}	15.16 ± 1.44 ^{aB}	11.19 ± 0.85 ^{aA}	11.21 ± 1.90 ^{aA}

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 25% de alulosa; **MSE:** Mermelada sin extracto de jamaica con 25% de alulosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las columnas con las mismas letras minúsculas y filas con las misma letras en mayúsculas no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey.

En relación con los resultados del análisis de perfil de textura, los valores firmeza y la adhesividad al inicio del almacenamiento en MR, MCE y MSE presentaron un efecto significativo ($p < 0,05$) al final del almacenamiento (150 días) independiente

de la condición de almacenamiento, particularmente en MR y MSE, las cuales disminuyeron del 10 al 25% en la firmeza; mientras que MCE del 5%; estas variaciones pueden estar asociadas con el ligero aumento en los valores de Aa durante el almacenamiento, teniendo una relación estos dos parámetros, es decir, que los ligeros aumentos y disminuciones en la Aa durante el almacenamiento ocasionaría una red estructural de gel más débil, consecuentemente produce una menor firmeza y adhesividad (Tadapaneni et al., 2017). Paralelamente, MCE que tuvo un menor cambio en la firmeza, podría asociarse a una mayor sinergia entre la pectina, la sacarosa/alulosa aunado a la presencia de extracto de jamaica que aportaría, algo de hemicelulosa y glucomananos (Amaya-Cruz et al., 2017a), los cuales a su vez están relacionados a una mayor absorción de agua y posible formación de gel (Hou et al., 2022). Cabe destacar que los valores de firmeza y adhesividad de las tres formulaciones son más altas respecto a lo reportado por Bajić et al. (2020) en un producto para untar de ciruela (40% SST) con valores de firmeza entre 4.9 N– 19.9 N, y de adhesividad entre -1.2 J - (-3.8 J). Cervera-Chiner et al. (2021) reportaron en mermeladas de kiwi y fresa una fuerza máxima entre 0.44 N y 0.53 N y una adhesividad entre 0.89 J y 1.55 J, estas diferencias en la firmeza y adhesividad respecto a los valores reportados en este trabajo se atribuyen a un valor más alto de pH reportado en las mermeladas de fresa y kiwi (3.56 – 3.82). Este reporte permite observar que a medida que aumenta el valor de pH y disminuye la acidez, la firmeza disminuye.

Por su parte la elasticidad en las tres mermeladas siguió una ligera tendencia a la disminución en el día 150 respecto al día 90 durante el almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C), lo que se relaciona con las fluctuaciones en la actividad de agua, sin embargo, MSE, presentó valores de elasticidad significativamente ($p < 0.05$) más altos respecto a MR y MCE durante los 5 meses de almacenamiento, lo cual se relaciona con los valores de pH, así mismo la temperatura de almacenamiento es un factor determinante en la disminución de la elasticidad en el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, el color es un parámetro importante que determina la aceptabilidad de un producto alimenticio y afecta considerablemente su valor en el mercado. La **Figura 10** muestra la tendencia del ángulo de matiz (Hue) y la **Figura 11** la tendencia de croma (C^*) en las mermeladas de jamaica-manzana durante 90 días de almacenamiento a 25 °C en condiciones de luz blanca y oscuridad. Ambos parámetros, Hue y C^* , relacionan las coordenadas de color a^* y b^* en el espacio CIEL $^*a^*b^*$; el ángulo de matiz (Hue), se interpreta como una variable polar, es decir, es el ángulo de giro respecto al eje a^* en el que una rueda de color subtiende 360° con el color púrpura-rojo tradicionalmente ubicado en el extremo derecho o en el ángulo de 0°; el amarillo, verde y azul siguen el sentido contrario a las manecillas del reloj a 90°, 180° y 270°, respectivamente (McGuire, 1992). Mientras que C^* indica la saturación del color que oscila entre 0 y 60. Los valores de Hue en condiciones de luz blanca y oscuridad registraron un aumento alrededor de 1.72%, 2.30% y 3.20% para MR, MCE y MSE, respectivamente hasta el día 90 de almacenamiento. Por otra parte, los valores de C^* tendieron a disminuir, registrando caídas al final del almacenamiento alrededor del 22%, 15% y 29% para MR, MCE y MSE, respectivamente. En este sentido, la disminución en la saturación del color (C^*) y el aumento de los valores de Hue durante el almacenamiento en ambas condiciones (luz blanca y oscuridad) indicaron un cambio del color rojo/púrpura a tonos un poco más rojos opacos, atribuido a la formación de pigmentos marrones, así mismo destacar que las mermeladas presentaron una luminosidad al final del almacenamiento <24 (**Figura 12**).

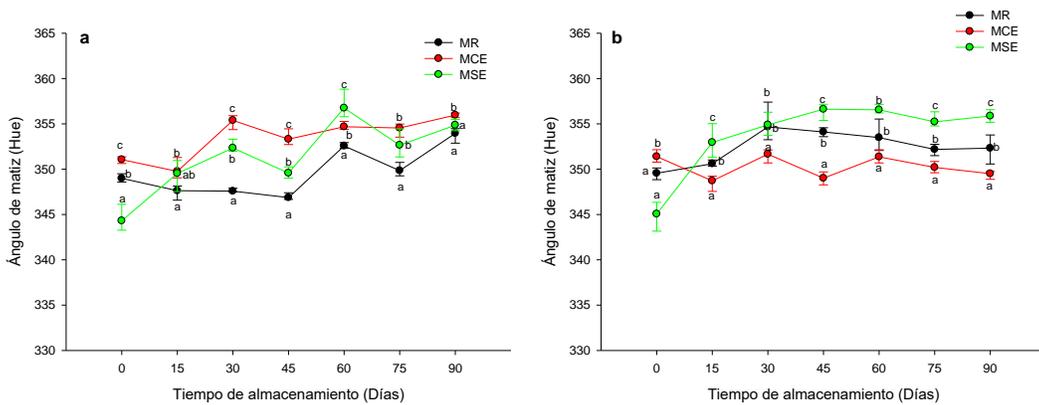


Figura 10. Ángulo de matiz (Hue) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Cada valor representa la media de duplicados \pm DE. Las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos por día de almacenamiento según la prueba de diferencia significativa Tukey.

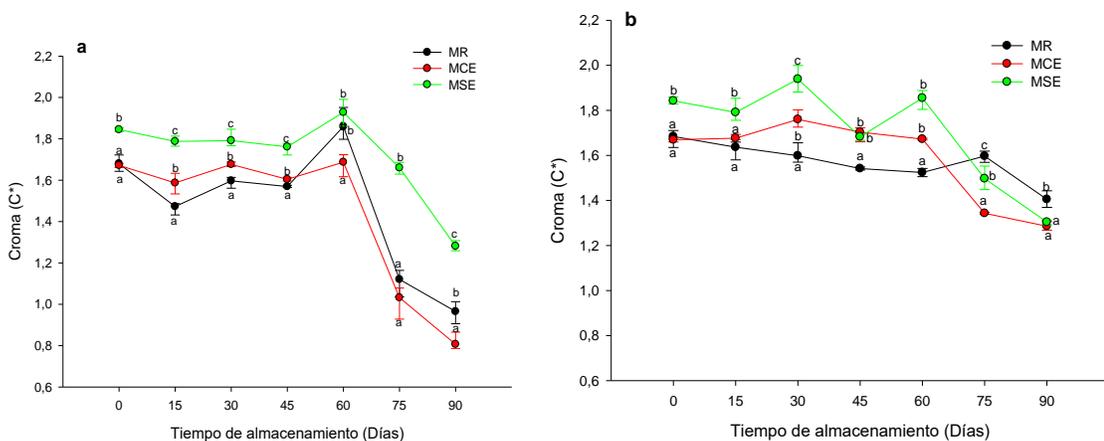


Figura 11. Intensidad de color representado por cromas (C^*) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos por día de almacenamiento según la prueba de diferencia significativa Tukey.

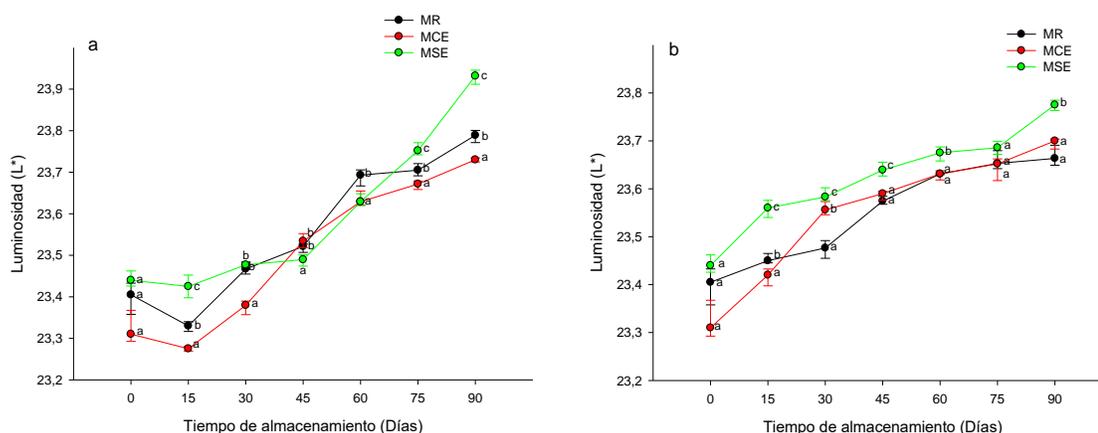


Figura 12. Luminosidad (L^*) en las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre tratamientos por día de almacenamiento según la prueba de diferencia significativa Tukey

Al comparar los resultados de color entre condiciones de almacenamiento, se observó una tendencia más marcada en aquellas mermeladas expuestas a la luz, con caídas más pronunciadas en C^* y un aumento más notorio en Hue. En relación a los cambios en el cromatismo o saturación y en las tonalidades de las mermeladas durante el almacenamiento, se plantea que el desarrollo de los colores rojo-marrón probablemente se deban a la degradación de las antocianinas y flavonoides, las cuales son inestables en contacto con el oxígeno en el espacio superior del recipiente de almacenamiento, ya que este es un agente oxidante que reacciona directamente con los compuestos fitoquímicos; posteriormente durante el almacenamiento estos compuestos presentan una mayor afinidad a la polimerización cuando se exponen a condiciones ácidas y una actividad de agua baja (Prabhakar et al., 2022).

El cambio en las saturación y ángulo de matiz con tonalidades opacas con tendencia marrón reportadas en este estudio concuerdan con los reportado por Teribia et al. (2021) en pures de fresa, exhibiendo una disminución en los valores de C^* y un aumento en Hue durante un almacenamiento de 14 días, atribuido presumiblemente a la formación de pigmentos marrones. En línea, Mazur et al.

(2014) reportaron en mermeladas de fresa un disminución en C^* y un aumento significativo en el ángulo de matiz durante 6 meses de almacenamiento a 20 °C, indicando que las mermeladas se volvieron más opacas y de color rojo/anaranjado durante el almacenamiento.

En este mismo orden de ideas, la tendencia de las tres formulaciones en el día 150 del almacenamiento en condiciones de luz blanca ejerció un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre los atributos de color, tales como la luminosidad (L^*), el croma (C^*) y el ángulo de matiz (Hue) (**Tabla 18**). En este sentido, las coordenadas del ángulo de matiz (Hue) de las mermeladas en el día 150 de almacenamiento expuestas a luz blanca se ubicaron en el ángulo de 0° a 90° con valores de 24.46°, 18.39° y 5.54° para MR, MCE y MSE, respectivamente identificando una disminución de las tonalidades purpuras-rojas, consecuentemente desarrollando tonos rojos-naranjas o marrones que podrían estar relacionado con la disminución de cantidad de antocianinas. Estos resultados indican que la intensidad de la luz blanca (8W) así como la exposición prolongada (150 días) de las mermeladas afectó su color, es decir, hubo una degradación de las antocianinas.

Hay tres formas de producir cambios en las antocianinas: escisión, derivatización y polimerización, la primera provoca la formación de compuestos incoloros, mientras que la polimerización y derivatización tienden a generar moléculas coloreadas, por lo tanto, el cambio de color pudo deberse a una polimerización de las antocianinas producto de la exposición a la luz, así como la temperatura (25 °C) (Chen et al., 2020). Paralelamente, Hendry and Houghton (1996) reportaron que en medios ácidos (pH: 2.0 – 4.0) el catión flavilio rojo (AH^+) de las antocianinas produce la base quinonoidal (A) a través de la pérdida rápida de un protón, causando la pérdida de color púrpura-rojo de la antocianina. por su lado, las mermeladas MR y MCE a los 150 días almacenamiento en condiciones de oscuridad a pesar de seguir las misma tendencia durante el almacenamiento no presentaron cambios significativos en el color (L^* , C^* y Hue) respecto día 0. Por lo tanto, la luz tuvo

efecto significativo sobre la degradación del color, mientras que el almacenamiento en la oscuridad retardó la degradación de las antocianinas y el deterioro del color.

Por otro lado, MSE no presentó cambios significativos en L^* y C^* tanto en almacenamiento en luz blanca y oscuridad a los 150 días respecto a al día 0. Este hecho se puede deber a la falta de extracto, en otras palabras, que los compuestos fitoquímicos ligados a la fibra del subproducto de jamaica pueden ser menos sensibles debido a un efecto sinérgico y protector de la misma fibra. Los presentes hallazgos indican que, al combinar una temperatura de almacenamiento a 25 °C en oscuridad conserva y se mantienen estables las mermeladas de jamaica-manzana en los parámetros fisicoquímicos durante al menos 5 meses de almacenamiento; destacando la aceptación sensorial en el día 0 y la estabilidad evidenciada durante todo el almacenamiento (150 días) de MSE, por lo tanto, se espera un producto fisicoquímica y microbiológicamente estable, así como, sensorialmente aceptable.

Como se ha afirmado, la aplicación de calor durante el procesamiento de las mermeladas conlleva a una pérdida de compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, vitaminas, antocianinas, entre otros, que son compuestos termosensibles donde la velocidad de deterioro en el almacenamiento puede observarse de una manera rápida o lenta en función de la composición del producto como el tipo de azúcar, tipo y concentración de pectina, fruta o materia prima y el pH del medio (Shinwari & Rao, 2018). Al respecto, los cambios de color se asocian con la degradación de las antocianinas, mecanismo que aún no se comprende completamente; sin embargo, se atribuye a reacciones no enzimáticas como reacciones de polimerización o condensación con otros fenoles. Producto de ello, se forman compuestos que a su vez tiene la capacidad de secuestrar los radicales, estabilizarlos y retardar la degradación oxidativa de las antocianinas, lo que se conoce como capacidad antioxidante (Teribia et al., 2021).

La **Tabla 18** muestra una disminución significativa ($p < 0.05$) de las tres mermeladas en el contenido de antocianinas y proantocianidinas al final del almacenamiento (150 días) en ambas condiciones. La degradación de estos compuestos además de producirse durante el procesamiento continúa durante el almacenamiento, al respecto, se encontró que el periodo de almacenamiento en condiciones de luz blanca y oscuridad imparte un efecto significativo ($p < 0.05$) en el contenido de antocianinas y proantocianidinas, ya que, después de 5 meses de almacenamiento en luz blanca las mermeladas MR, MCE y MSE tuvieron una reducción en antocianinas y proantocianidinas de 66.87%, 30.68%; 66.87%, 32.30% y 54.00%, 59.34%, respectivamente. Mientras que en condiciones de oscuridad la reducción en estos mismo compuestos para MR, MCE y MSE fue de 49.37%, 27.10%; 48.12%, 29.80%; 12.00%, 53.29%, respectivamente. Esta disminución en las antocianinas puede atribuirse a la hidrólisis del enlace glucosídico en las antocianinas formando chalconas, que generan pigmentos marrones por la degradación oxidativa (Shinwari & Rao, 2018). Por su parte, las pérdidas durante el almacenamiento de las proantocianidinas probablemente se debieron a la polimerización, es decir, reacciones con antocianinas y/o unión de procianidinas a polisacáridos de la pared celular del cáliz de jamaica (Howard et al., 2010).

Si se compara el efecto de las dos condiciones de almacenamiento en el contenido de antocianinas y proantocianidinas, se evidencia una disminución en condiciones de oscuridad del 50% respecto al día 0. Estos resultados concuerdan con los reportados por Mazur et al. (2014) en mermeladas de fresa, presentando reducciones alrededor del 50% en el contenido de antocianinas durante un almacenamiento de 3 meses a 4 °C. El contraste de ambos resultados también indica que la exposición de luz blanca es un factor que acelera la degradación de los compuestos fitoquímicos. Por su lado, Holzwarth et al. (2013) también reportaron en mermeladas de fresa una reducción en el contenido de antocianinas de 61.36% después de 6 meses de almacenamiento a 20 °C en condiciones de

oscuridad. Destacando que la retención de estos pigmentos está asociado a un alto contenido de sacarosa y baja actividad de agua, mejorando la estabilidad del pigmento mediante interacciones electroestáticas entre los grupo carboxilos libres de la pectina cítrica y la pectina aportada por la manzana con los cationes de flavilio de los pigmentos.

Tabla 18. Parámetros de color, antocianinas y proantocianidinas de las mermeladas de jamaica-manzana al inicio y al final del tiempo de almacenamiento.

Parámetro	Día 0	Luz blanca	Oscuridad
		Día 150	Día 150
MR			
L*	23.40 ± 0.24 ^{aA}	32.45 ± 0.39 ^{bC}	25.83 ± 0.64 ^{cB}
Angulo de matiz (Hue)	349.04 ± 0.45 ^{aA}	24.46 ± 6.96 ^{bB}	349.92 ± 1.62 ^{bA}
Croma (C*)	1.68 ± 0.03 ^{aB}	4.21 ± 0.83 ^{cA}	1.55 ± 0.11 ^{bB}
Antocianinas (mg C ₃ G / g)	0.016 ± 0.02 ^{aA}	0.0053 ± 0.08 ^{aC}	0,0081 ± 0.03 ^{aB}
Proantocianidinas (mg CE /g)	28.26 ± 0.60 ^{aA}	19.59 ± 0.64 ^{aB}	20.60 ± 0.44 ^{aB}
MCE			
L*	23.30 ± 0.08 ^{aA}	27.90 ± 1.19 ^{aB}	23.87 ± 0.32 ^{bA}
Angulo de matiz (Hue)	352.09 ± 2.70 ^{aA}	18.39 ± 5.18 ^{bB}	348.62 ± 1.68 ^{bA}
Croma (C*)	1.67 ± 0.01 ^{aB}	5.83 ± 0.43 ^{bA}	1.03 ± 0.04 ^{aC}
Antocianinas (mg C ₃ G / g)	0.016 ± 0.01 ^{aA}	0.0053 ± 0.03 ^{aC}	0.0083 ± 0.07 ^{aB}
Proantocianidinas (mg CE /g)	28.02 ± 0.30 ^{aA}	18.97 ± 3.40 ^{aB}	19.67 ± 0.68 ^{aB}
MSE			
L*	23.48 ± 0.19 ^{aA}	26.37 ± 2.44 ^{aB}	22.84 ± 0.93 ^{aA}
Ángulo de matiz (Hue)	344.75 ± 1.59 ^{aB}	5.54 ± 2.01 ^{aC}	354.66 ± 1.66 ^{aA}
Croma (C*)	1.84 ± 0.01 ^{aA}	1.20 ± 0.16 ^{aB}	1.15 ± 0.16 ^{aB}
Antocianinas (mg C ₃ G / g)	0.0050 ± 0.02 ^{bA}	0.0023 ± 0.02 ^{bC}	0.0044 ± 0.03 ^{bB}
Proantocianidinas (mg CE /g)	22.14 ± 0.90 ^{bA}	9.00 ± 0.68 ^{bB}	10.34 ± 0.66 ^{bB}

MR: Mermelada referencia 50 % sacarosa; **MCE:** Mermelada con extracto de jamaica con 24 % de sacarosa; **MSE:** Mermelada sin extracto de jamaica con 24 % de sacarosa. Cada valor representa la media de duplicados ± DE. Las columnas con las mismas letras minúsculas y filas con las misma letras en mayúsculas no son significativamente diferentes (p < 0,05) según la prueba de diferencia significativa Tukey. C₃G: equivalentes de cianidina-3-glucósido, CE: equivalentes de catequina.

Como ya se ha mencionado, la capacidad antioxidante es atribuida a los compuestos fitoquímicos propios de la materia prima; en este sentido hubo una reducción significativas en el contenido de antocianinas ($p < 0.05$) al final del almacenamiento a 25 °C. Por lo tanto, se decidió tomar la capacidad antioxidante como un parámetro que indica la estabilidad fitoquímica del producto.

Los cambios en la capacidad antioxidante de las mermeladas de jamaica-manzana (MR, MCE y MSE) se evaluaron mediante los ensayos que incluyen DPPH y ABTS⁺, donde los resultados se muestran en la **Figura 13** y la **Figura 14**, respectivamente. Durante 150 días de almacenamiento, la capacidad antioxidante de las tres formulaciones en ambas condiciones disminuyó gradualmente a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento. En condiciones de luz blanca a 25 °C la reducción de la capacidad antioxidante para DPPH y ABTS⁺ para MR, MCE y MSE fue de 41.93%, 60.00%; 76.12%, 53.79%; 55.63% y 52.13%, respectivamente. Por otro lado, en condiciones de oscuridad a 25 °C la reducción para MR, MCE y MSE fue de 36.56%, 42.22% y 47.76% con DPPH y de 48.96%, 49.66% y 51.28% con ABTS⁺, respectivamente. Estos resultados sugirieron que la exposición a la luz blanca de las mermeladas tiene un efecto adverso sobre la capacidad antioxidante contando con reducciones por encima del 50% aproximadamente, mientras que en oscuridad las reducciones no sobrepasan el 50% contando además con un almacenamiento corto y temperatura ambiente. Estos resultados concuerda con Wang et al. (2020) en una mermelada de betabel con una reducción entre 11.40 y 39.7% en la capacidad antioxidante durante un almacenamiento de 90 días a 25°C medidas por DPPH y ABTS⁺. En línea Kamiloglu et al. (2015) reportan reducciones entre 15.2% y 33.9% de la capacidad antioxidante en mermeladas de zanahoria almacenadas durante 140 días a 25 °C, medida por ABTS⁺.

Finalmente, los resultados del análisis de antioxidantes de las mermeladas durante 150 días de almacenamiento en condiciones de luz blanca 25 °C evidencian reducciones con el ensayo de DPPH de 78.34%, 83.33% y 83.82%,

mientras que con el ensayo de ABTS⁺ se evidenció reducciones de 54.48%, 58.94% y 62.39% para MR, MCE y MSE, respectivamente. Por otro lado, en condiciones de oscuridad las reducciones evidenciadas mediante DPPH fueron de 64.13%, 62.22% y 53.73%, mientras que en ABTS⁺ fue de 53.79%, 52.41% y 58.62% para MR, MCE y MSE, respectivamente.

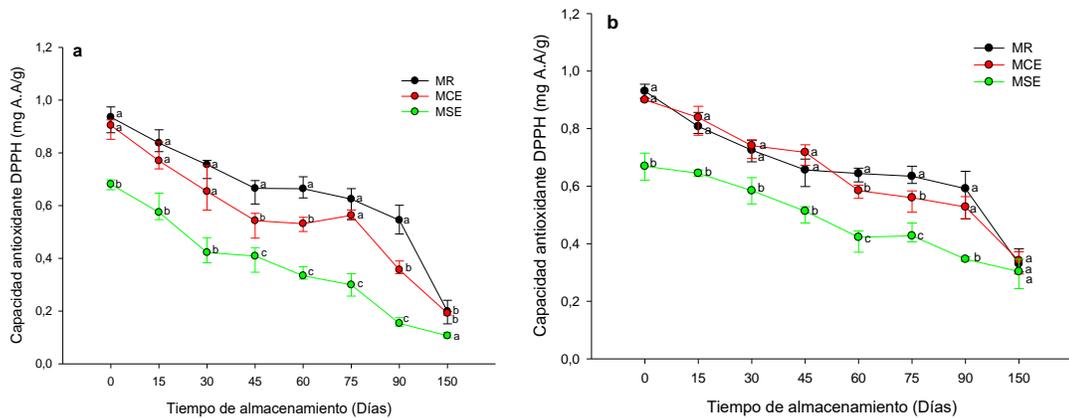


Figura 13. Capacidad antioxidante por DPPH de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Cada valor representa la media de duplicados \pm DE. Las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey

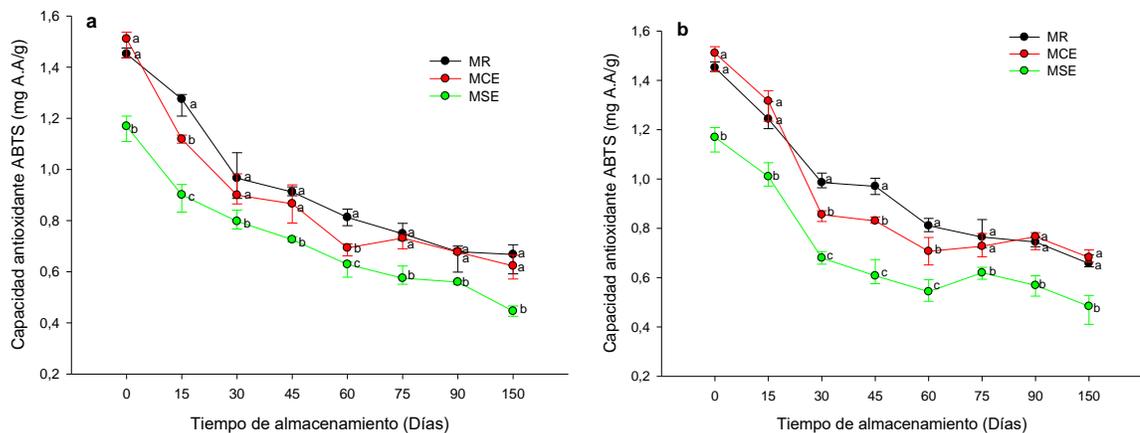


Figura 14. Capacidad antioxidante por ABTS⁺ de las mermeladas almacenadas durante 90 días a 25 °C en condiciones luz blanca (8W) **a)** y oscuridad **b)**. Cada valor representa la media de duplicados \pm DE. Las mismas letras no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia significativa Tukey

Estos resultados sugieren que ningún ensayo individual a pesar de sus limitaciones podrían reflejar con precisión el rango de capacidad antioxidante de las mermeladas, por lo tanto, es útil utilizar al menos dos métodos de medición. Asimismo, se confirma que algunos antioxidantes, principalmente, los compuestos fenólicos, antocianinas y proantocianidinas, se degradaron o convirtieron en formas no antioxidantes durante el almacenamiento, esta degradación en los compuestos se relaciona con los cambios de color, donde el ángulo de matiz fue aumentando y la tonalidad disminuyó, confiriendo tonalidades marrón en las mermeladas, sin embargo, este cambio de color fue más evidente a los 150 días de almacenamiento en mermeladas expuestas a luz blanca acompañada de una reducción de la capacidad antioxidante, superior al 60%.

Por otro lado, la tendencia de MR y MCE durante el almacenamiento, evidencia un comportamiento similar, asimismo una baja actividad de agua en ambas formulaciones contribuiría a la estabilidad de las antocianinas, por lo tanto, el reemplazo de sacarosa por alulosa no tuvo un impacto significativo en la degradación de los compuestos. En MCE, la alulosa además de contribuir fisicoquímicamente en la estabilidad puede conferir un efecto protector a los compuestos teniendo un comportamiento similar a MR con 50% de sacarosa. En relación, Poiana et al. (2012) reportan una reducción en la capacidad antioxidante entre el 33-46% en mermeladas de arándano baja en calorías después de 7 meses de almacenamiento a 20 °C. Por otro lado, MSE presentó una disminución significativa en la capacidad antioxidante en ambas condiciones de almacenamiento desde el día 0 hasta el día 150, en comparación con MR y MCE, lo cual era de esperarse ya que carece de extracto de jamaica, no obstante, presenta una tendencia similar respecto a la condición de almacenamiento, donde la oscuridad retarda el proceso de degradación.

Por lo tanto, las condiciones del proceso, pero aún más las condiciones de almacenamiento en oscuridad mejoran la estabilidad y funcionalidad de los compuestos fitoquímicos, reteniéndolos por un mayor tiempo. Así mismo la alulosa

a pesar de ser un monosacárido bajo en calorías puede ejercer un efecto protector de los compuestos fitoquímicos prolongando la vida útil de las mermeladas con sustituciones del 25% de sacarosa por alulosa. De ahí que, con los presentes resultados tanto fisicoquímicos, microbiológicos y de capacidad antioxidante se puede deducir que las mermeladas MR, MCE y MSE presentan una vida útil de 90 días a temperatura ambiente y que podría extenderse hasta 5 meses si se mantienen en oscuridad.

VI. CONCLUSIONES

- La metodología JAR, como herramienta sensorial enfocada en la reducción de sacarosa, permitió encontrar una sustitución de sacarosa por alulosa óptima del 25% usando geles de pectina con igual percepción sensorial del sabor dulce y valores similares de firmeza respecto a un gel de pectina con 50% de sacarosa.
- La sustitución parcial de sacarosa por alulosa en mermeladas de jamaica-manzana no presentó cambios significativos en la composición fisicoquímica con valores de actividad de agua por debajo de 0.80, sinéresis menores al 10%, un pH y AT que permitió la gelificación de la pectina. Además, los índices de color CIEL*a*b* no presentaron diferencias significativas, manteniendo el

color característico del cáliz de jamaica. Las características reológicas y de textura no fueron afectadas por la sustitución de sacarosa por alulosa en MCE respecto a MR. Sin embargo, la mermelada elaborada con el subproducto presentó una menor viscosidad aparente, índice de consistencia y firmeza, mientras que presentó una mayor elasticidad, relacionado con una mejor percepción sensorial.

- Las mermeladas elaboradas con jamaica-manzana con una sustitución parcial de sacarosa por alulosa, presentaron un menor contenido de carbohidratos, por ende, menor contenido energético, clasificándose como reducidas en calorías y azúcares añadidos. Estas mermeladas están exentas del etiquetado frontal con la leyenda “exceso de calorías” y contribuyen a las recomendaciones de la OMS en la disminución del consumo de azúcar añadido. Además, aportan un 5% aproximadamente de fibra dietaria.
- La mermelada de jamaica-manzana reducida en calorías sin extracto de jamaica (MSE) presentó una reducción significativa en el contenido de fenoles, antocianinas, proantocianidinas y capacidad antioxidante respecto a MR y MCE; sin embargo, no presentó diferencias significativas en el color, con una alta aceptación sensorial en la apariencia, color, sabor y olor, confirmando, que el subproducto de jamaica es un ingrediente natural sostenible con potencial fitoquímico que contribuye a la reformulación de alimentos entorno al concepto de “alimentos naturales” lo que podría incrementar su valor comercial como parte de la economía circular y minimizar el impacto ambiental.
- Los resultados de estabilidad de las mermeladas indicaron que un almacenamiento a 25 °C indujo ligeros cambios en los parámetros fisicoquímicos y fitoquímicos, sin embargo, la exposición de las mermeladas a condiciones luz blanca durante 150 días tuvo un efecto significativo en la degradación de los compuestos polifenólicos presentado cambios en el color y capacidad antioxidante. Por otro lado, las mermeladas almacenadas a la

misma temperatura en oscuridad indicaron que es una condición que brinda estabilidad en el producto, siendo seguro y estable durante al menos 5 meses.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 932.12 Solids (Soluble) in fruits and fruit products. Refractometer Method. Washington D.C., Estados Unidos. 1980.

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 981.12 pH of Acidified Foods. Washington D.C., Estados Unidos. 1982.

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 942.15 Acidity (Titratable) of fruit products. Washington D.C., Estados Unidos. 1995

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 985.29. Determination of total dietary fiber. 7a edición, Apéndice D, Gaithersburg, MD. 2002

A.O.A.C. 2000 Association of Official Analytical Chemists., Official methods 934.06 Moisture in Dried Fruits. Washington, D.C, Estados Unidos. 2000

A.O.A.C. 1990 Association of Official Analytical Chemists., Official methods 942.05. Determination of Ash in Animal Feed. Washington, D.C, Estados Unidos. 1990

A.O.A.C. 2005 Association of Official Analytical Chemists., Official methods 948.22. Analysis of Total Fat. Gaithersburg, MD, 2005

A.O.A.C. 2005 Association of Official Analytical Chemists., Official methods 981.10 Protein/Crude Protein (Kjeldahl). Washington, D.C, Estados Unidos. 2005

Abou-Arab, A. a, Abu-Salem, F. M., & Abou-Arab, E. a. (2011). Physico-chemical properties of natural pigments (anthocyanin) extracted from Roselle calyces (*Hibiscus subdariffa*). *Journal of American Science*, 7(7), 445–456.

Aggarwal, P., Kaur, S., & Kaur, N. (2022). Intermediate moisture kinnow bar from low grade kinnow mandarins: Phytonutritional profile, morphological characterization, and storage stability. *Food Bioscience*, 49, 101837. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101837>

Amaya-Cruz, D. M., Perez-Ramirez, I. F., Ortega-Diaz, D., Rodriguez-Garcia, M. E., & Reynoso-Camacho, R. (2017a). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) by-product as functional ingredient: effect of thermal processing and particle size reduction on bioactive constituents and functional, morphological, and structural properties. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2017 12:1, 12(1), 135–144. <https://doi.org/10.1007/S11694-017-9624-0>

Amaya-Cruz, D., Pérez-Ramírez, I. F., Pérez-Jiménez, J., Nava, G. M., & Reynoso-Camacho, R. (2019b). Comparison of the bioactive potential of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx and its by-product: Phenolic characterization by UPLC-QTOF MSE and their anti-obesity effect in vivo. *Food Research International*, 126, 108589. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108589>

Bajić, A., Pezo, L. L., Stupar, A., Filipčev, B., Cvetković, B. R., Horecki, A. T., & Mastilović, J. (2020). Application of lyophilized plum pomace as a functional ingredient in a plum spread: Optimizing texture, colour and phenol antioxidants by ANN modelling. *LWT*, 130, 109588. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109588>

Bajramova, A., & Spéjel, P. (2022). A comparative study of the fatty acid profile of common fruits and fruits claimed to confer health benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, 104657. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.104657>

- Barbieri, S. F., de Oliveira Petkowicz, C. L., de Godoy, R. C. B., de Azeredo, H. C. M., Franco, C. R. C., & Silveira, J. L. M. (2018). Pulp and Jam of Gabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg): Characterization and Rheological Properties. *Food Chemistry*, 263, 292–299. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.05.004>
- Basu, S., Shivhare, U. S., & Singh, T. V. (2013). Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 465–476. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.08.035>
- Bekele, M., Satheesh, N., & J.A, S. (2020). Screening of Ethiopian mango cultivars for suitability for preparing jam and determination of pectin, sugar, and acid effects on physico-chemical and sensory properties of mango jam. *Scientific African*, 7, e00277. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2020.E00277>
- Belović, M., Torbica, A., Pajić-Lijaković, I., & Mastilović, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chemistry*, 237, 1226–1233. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.06.045>
- Berns, R. S. (2014). Extending CIELAB: Vividness, V_{ab}^* , depth, D_{ab}^* , and clarity, T_{ab}^* . *Color Research and Application*, 39(4), 322–330. <https://doi.org/10.1002/col.21833>
- Bolger, A. M., Rastall, R. A., Oruna-Concha, M. J., & Rodriguez-Garcia, J. (2021). Effect of d-allulose, in comparison to sucrose and d-fructose, on the physical properties of cupcakes. *LWT*, 150, 111989. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111989>
- Bordiga, M., Travaglia, F., Giuffrida, D., Mangraviti, D., Rigano, F., Mondello, L., Arlorio, M., & Coisson, J. D. (2019). Characterization of peel and pulp proanthocyanidins and carotenoids during ripening in persimmon “Kaki Tipo” cv, cultivated in Italy. *Food Research International*, 120, 800–809. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.11.041>
- Borowiec, K., Stachniuk, A., Szwajgier, D., & Trzpil, A. (2022). Polyphenols composition and the biological effects of six selected small dark fruits. *Food Chemistry*, 391, 133281. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133281>

Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., Fernández-Gutiérrez, A., Gómez-Leyva, J. F., & Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.053>

CANAICA. (2019). Memoria Estadística. Mermeladas y mieles. Camara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias (CANAICA).

Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., Hernández-Torres, C. E., Gontarek-Castro, E., & Ahmad, M. Z. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, 130991. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130991>

Cervera-Chiner, L., Barrera, C., Betoret, N., & Seguí, L. (2021). Impact of sugar replacement by non-centrifugal sugar on physicochemical, antioxidant and sensory properties of strawberry and kiwifruit functional jams. *Heliyon*, 7(1), e05963. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05963>

Chamorro, F., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Echave, J., Riaz Rajoka, M. S., Barba, F. J., Cao, H., Xiao, J., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model. *Food Chemistry*, 370, 131315. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131315>

Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., & Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate Polymers*, 161, 118–139. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.12.033>

Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2014). Artificial sweeteners - A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 611–621. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0571-1>

Codex, A. (2009). Norma del codex para las confituras, jaleas y mermeladas. control de calidad. Manual de calidad. *CODEX STAN 296-2009*.

Codex, A. (1995). Norma general del Codex para los aditivos alimentarios. *CODEX STAN 192-1995*.

Chen, J. yu, Du, J., Li, M. li, & Li, C. mei. (2020). Degradation kinetics and pathways of red raspberry anthocyanins in model and juice systems and their correlation with color and antioxidant changes during storage. *LWT*, 128, 109448. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109448>

Cruz, M. G., Bastos, R., Pinto, M., Ferreira, J. M., Santos, J. F., Wessel, D. F., Coelho, E., & Coimbra, M. A. (2018). Waste mitigation: From an effluent of apple juice concentrate industry to a valuable ingredient for food and feed applications. *Journal of Cleaner Production*, 193, 652–660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.109>

Christiansen, P., Roberts, C., Radu, C., & Hardman, C. (2023). A validation of a questionnaire to assess consumer attitudes towards artificial sweeteners. *Food Quality and Preference*, 103, 104707. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2022.104707>

Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014). Hibiscus sabdariffa L. - A phytochemical and pharmacological review. In *Food Chemistry* (Vol. 165, pp. 424–443). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002>

De Souza Viana, E., Lopes De Jesus, J., Reis, R. C., Vinícius, M., De Andrade, S., & Kersul Do Sacramento, C. (2014). Physicochemical and Sensory Characterization of Banana and Araçá-Boi Jam. *Food and Nutrition Sciences*, 2014(08), 733–741. <https://doi.org/10.4236/FNS.2014.58083>

Deliza, R., Lima, M. F., & Ares, G. (2021). Rethinking sugar reduction in processed foods. *Current Opinion in Food Science*, 40, 58–66. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2021.01.010>

Denham, D., & Gladstone, F. (2020). Making sense of food system transformation in Mexico. *Geoforum*, 115, 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.05.024>

Dong, W., Wang, D., Hu, R., Long, Y., & Lv, L. (2020). Chemical composition, structural and functional properties of soluble dietary fiber obtained from coffee peel using different extraction methods. *Food Research International*, 136, 109497. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109497>

Dubovski, N., Ben Shoshan-Galeczki, Y., Malach, E., & Niv, M. Y. (2022). Taste and chirality: l-glucose sweetness is mediated by TAS1R2/TAS2R3 receptor. *Food Chemistry*, 373, 131393. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131393>

Dunford, E. K., Taillie, L. S., Miles, D. R., Eyles, H., Tolentino-Mayo, L., & Ng, S. W. (2018). Non-Nutritive Sweeteners in the Packaged Food Supply—An Assessment across 4 Countries. *Nutrients* 2018, Vol. 10, Page 257, 10(2), 257. <https://doi.org/10.3390/NU10020257>

Erdogdu, F., & Tutar, M. (2012). A computational study for axial rotation effects on heat transfer in rotating cans containing liquid water, semi-fluid food system and headspace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(13–14), 3774–3788. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2012.03.031>

Fann, D., Cisse, M., Dornier, M., Sakho, M., Reynes, M., & Sock, O. (2008). La production du bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Sénégal. 64(2), 124. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009006>

Fernandes, A., Brás, N. F., Mateus, N., & De Freitas, V. (2014). Understanding the molecular mechanism of anthocyanin binding to pectin. *Langmuir*, 30(28), 8516–8527. <https://doi.org/10.1021/la501879w>

Ferreira, T. H. B., Rodrigues Basaglia, R., Marques Paes da Cunha, T., & Faria Freitas, M. L. (2021). Production and Physical, Chemical, Microbiological, and Sensory Characterization of Extra Fruit Jam. *Journal of Culinary Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/15428052.2020.1862009>

Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2018). Pectin gels enriched with dietary fibre for the development of healthy confectionery jams. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), 441–453. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5641>

Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT*, 111, 423–428. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.031>

Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043–1048. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2011.01.008>

Food and Health Survey. (2018). Food and Health Survey. In Ific.

Garrido, J. I., Lozano, J. E., & Genovese, D. B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling

and optimization. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 325–332. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.07.010>

Gemechu, F. G. (2020). Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 235–261. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.08.005>

Gomes, A., Costa, A. L. R., Rodrigues, P. D., Castro, R. J. S. de, & Silva, E. K. (2022). Sonoprocessing of freshly squeezed orange juice: Ascorbic acid content, pectin methylesterase activity, rheological properties and cloud stability. *Food Control*, 131, 108391. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108391>

Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113571>

Hendry, G. A. ., & Houghton, J. . (1996). *Natural Food Colorants* (G. A. . Hendry & J. . Houghton (Eds.); second edi, Vols. 95–78251). Springer Science & Business Media.

Hernández-Hernández, C., Morales-Sillero, A., Fernández-Prior, M. Á., Fernández-Bolaños, J., Aguilera-Herrera, M. de la P., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2019). Extra virgin olive oil jam enriched with cocoa bean husk extract rich in theobromine and phenols. *LWT*, 111, 278–283. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.027>

Herranz-López, M., Fernández-Arroyo, S., Pérez-Sanchez, A., Barrajón-Catalán, E., Beltrán-Debón, R., Menéndez, J. A., Alonso-Villaverde, C., Segura-Carretero, A., Joven, J., & Micol, V. (2012). Synergism of plant-derived polyphenols in adipogenesis: Perspectives and implications. *Phytomedicine*, 19(3–4), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.12.001>

Holm, K., Wendin, K., & Hermansson, A. M. (2009). Sweetness and texture perception in mixed pectin gels with 30% sugar and a designed rheology. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 788–795. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.08.014>

Holzwarth, M., Korhummel, S., Siekmann, T., Carle, R., & Kammerer, D. R. (2013). Influence of different pectins, process and storage conditions on anthocyanin and

colour retention in strawberry jams and spreads. *LWT - Food Science and Technology*, 52(2), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.020>

Hou, Y., Liu, H., Zhu, D., Liu, J., Zhang, C., Li, C., & Han, J. (2022). Influence of Soybean Dietary Fiber on the properties of Konjac Glucomannan/k-Carrageenan Corn Oil Composite Gel. *Food Hydrocolloids*, 129, 107602. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.107602>

Hough, G. (2010). Sensory shelf life estimation of food products. In *Sensory Shelf Life Estimation of Food Products*. <https://doi.org/10.1201/9781420092943>

Howard, L. R., Castrodale, C., Brownmiller, C., & Mauromoustakos, A. (2010). Jam processing and storage effects on blueberry polyphenolics and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4022–4029. <https://doi.org/10.1021/jf902850h>

Huang, H. C., Chang, W. Te, Wu, Y. H., Yang, B. C., Xu, M. R., Lin, M. K., Chen, H. J., Cheng, J. H., & Lee, M. S. (2022). Phytochemicals levels and biological activities in *Hibiscus sabdariffa* L. were enhanced using microbial fermentation. *Industrial Crops and Products*, 176, 114408. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.114408>

ISO, U. (2019). *Análisis Sensorial. Metodología. Guía General*. ISO 6658: 2017.

Igual, M., Contreras, C., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: Instrumental and sensory measurement. *LWT - Food Science and Technology*, 56(1), 200–206. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.10.038>

Ilhan, E., Pöcan, P., Ogawa, M., & Öztöpe, M. H. (2020). Role of 'D-allulose' in a starch based composite gel matrix. *Carbohydrate Polymers*, 228, 115373. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.115373>

Jabeur, I., Pereira, E., Barros, L., Calhelha, R. C., Soković, M., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. *Food Research International*, 100, 717–723. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.073>

Jams, jellies, and related products. (2016). *A Complete Course in Canning and Related Processes*, 313–349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-679-1.00009-X>

Jia, S., Zhao, H., Tao, H., Yu, B., Liu, P., & Cui, B. (2022). Influence of corn resistant starches type III on the rheology, structure, and viable counts of set yogurt. *International Journal of Biological Macromolecules*, 203, 10–18. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.01.027>

Jiang, S., Xiao, W., Zhu, X., Yang, P., Zheng, Z., Lu, S., Jiang, S., Zhang, G., & Liu, J. (2020). Review on D-Allulose: In vivo Metabolism, Catalytic Mechanism, Engineering Strain Construction, Bio-Production Technology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 26. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2020.00026/XML/NLM>

Jose, M., Himashree, P., Sengar, A. S., & Sunil, C. K. (2022). Valorization of food industry by-product (Pineapple Pomace): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. *Measurement: Food*, 6, 100031. <https://doi.org/10.1016/J.MEAFOO.2022.100031>

Jribi, S., Ouhaibi, M., Boukhris, H., Damergi, C., & Debbabi, H. (2021). Formulations of low-sugar strawberry jams: quality characterization and acute post-pandrial glycaemic response. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1578–1587. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00747-z>

Kalla, M. L. M., Jong, E. N., Kayem, J. G., Sreekumar, M. M., & Nisha, P. (2015). Effect of re-extraction parameters and drying temperature on the antioxidant properties and dietary fiber of Red sorrel (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyces residues. *Industrial Crops and Products*, 74, 680–688. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.028>

Kamal, T., Song, Y., Zhang, T., Zhu, B. W., & Tan, M. (2018). Effect of hydrocolloid and processing potentiality on water migration in apple jellies of Yinduqing cultivar. *LWT*, 98, 381–389. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.08.064>

Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., Van Camp, J., & Capanoglu, E. (2015). Colour retention, anthocyanin stability and antioxidant capacity in black carrot (*Daucus carota*) jams and marmalades: Effect of processing, storage conditions and in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*, 13, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.12.021>

Kang, I., Lee, Y., & Lee, M. (2019). Anthocyanins: What They Are and How They Relate to Obesity Prevention. In *Nutrition in the Prevention and Treatment of Abdominal Obesity* (pp. 409–430). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816093-0.00028-8>

Karl, C. M., Wendelin, M., Lutsch, D., Schleining, G., Dürschmid, K., Ley, J. P., Krammer, G. E., & Lieder, B. (2020). Structure-dependent effects of sweet and sweet taste affecting compounds on their sensorial properties. *Food Chemistry: X*, 7, 100100. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2020.100100>

Kimura, T., Kanasaki, A., Hayashi, N., Yamada, T., Iida, T., Nagata, Y., & Okuma, K. (2017). d-Allulose enhances postprandial fat oxidation in healthy humans. *Nutrition*, 43–44, 16–20. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2017.06.007>

Kishida, K., Martinez, G., Iida, T., Yamada, T., Ferraris, R. P., & Toyoda, Y. (2019). d-Allulose is a substrate of glucose transporter type 5 (GLUT5) in the small intestine. *Food Chemistry*, 277, 604–608. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.11.003>

Kongstad, S., & Giacalone, D. (2020). Consumer perception of salt-reduced potato chips: Sensory strategies, effect of labeling and individual health orientation. *Food Quality and Preference*, 81, 103856. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2019.103856>

Kopjar, M., & Piližota, V. (2011). Prevention of thermal degradation of anthocyanins in blackberry juice with addition of different sugars. *CYTA - Journal of Food*, 9(3), 237–242. <https://doi.org/10.1080/19476337.2010.522735>

Ledesma Valladolid, J. P. (2017). Evaluación de tres métodos de secado y determinación de isotermas de sorción de humedad en cálices de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Guanajuato.

Li, D., O'Brien, J. W., Tschärke, B. J., Choi, P. M., Ahmed, F., Thompson, J., Mueller, J. F., Sun, H., & Thomas, K. V. (2021). Trends in artificial sweetener consumption: A 7-year wastewater-based epidemiology study in Queensland, Australia. *Science of the Total Environment*, 754, 142438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142438>

Li, X., Liu, X., Lai, K., Fan, Y., Liu, Y., & Huang, Y. (2020). Effects of sucrose, glucose and fructose on the large deformation behaviors of fish skin gelatin gels. *Food Hydrocolloids*, 101, 105537. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105537>

Maciel, L. G., do Carmo, M. A. V., Azevedo, L., Daguer, H., Molognoni, L., de Almeida, M. M., Granato, D., & Rosso, N. D. (2018). Hibiscus sabdariffa anthocyanins-rich extract: Chemical stability, in vitro antioxidant and antiproliferative activities. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.053>

Mahato, D. K., Keast, R., Liem, D. G., Russell, C. G., Cicerale, S., & Gamlath, S. (2021). Optimisation of natural sweeteners for sugar reduction in chocolate flavoured milk and their impact on sensory attributes. *International Dairy Journal*, 115, 104922. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2020.104922>

Mazur, S. P., Nes, A., Wold, A. B., Remberg, S. F., Martinsen, B. K., & Aaby, K. (2014). Effects of ripeness and cultivar on chemical composition of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits and their suitability for jam production as a stable product at different storage temperatures. *Food Chemistry*, 146, 412–422. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.086>

McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>

Meftahizadeh, H., Ebadi, M.-T., Baath, G. S., & Ghorbanpour, M. (2021). Variation of morphological and phytochemical traits in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) genotypes under different planting dates. *Acta Ecologica Sinica*. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.04.011>

Mercado-Mercado, G., Blancas-Benitez, F. J., Velderrain-Rodríguez, G. R., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A., Alvarez-Parrilla, E., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2015). Bioaccessibility of polyphenols released and associated to dietary fibre in calyces and decoction residues of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Functional Foods*, 18, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.07.001>

Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Milner, L., Kerry, J. P., O'Sullivan, M. G., & Gallagher, E. (2020). Physical, textural and sensory characteristics of reduced sucrose cakes, incorporated with clean-label sugar-replacing alternative ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102235. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102235>

Mooradian, A. D., Smith, M., & Tokuda, M. (2017). The role of artificial and natural sweeteners in reducing the consumption of table sugar: A narrative review. *Clinical Nutrition ESPEN*, 18, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.CLNESP.2017.01.004>

Morales-Contreras, B. E., Wicker, L., Rosas-Flores, W., Contreras-Esquivel, J. C., Gallegos-Infante, J. A., Reyes-Jaquez, D., & Morales-Castro, J. (2020). Apple pomace from variety “Blanca de Asturias” as sustainable source of pectin: Composition, rheological, and thermal properties. *LWT*, 117, 108641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108641>

Morales de León, J. C., Bourges Rodríguez, H., & Camacho Parra, M. E. (2016). Tablas de Composición de Alimentos y Productos Alimenticios Mexicanos (Versión Condesada 2015). *Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán: México City, México*, 55-589.

Moslemi, M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 254, p. 117324). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117324>

Muñoz-Almagro, N., Montilla, A., & Villamiel, M. (2021a). Role of pectin in the current trends towards low-glycaemic food consumption. *Food Research International*, 140, 109851. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109851>

Muñoz-Almagro, N., Villamiel, M., Wilde, P. J., Gunning, A. P., & Montilla, A. (2021b). Effect of sucrose substitution with stevia and saccharin on rheological properties of gels from sunflower pectins. *Food Hydrocolloids*, 120, 106910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.106910>

Natsume, Y., Yamada, T., Iida, T., Ozaki, N., Gou, Y., Oshida, Y., & Koike, T. (2021). Investigation of d-allulose effects on high-sucrose diet-induced insulin resistance via hyperinsulinemic-euglycemic clamps in rats. *Heliyon*, 7(9), e08013. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2021.E08013>

Nieto, C., Tolentino-Mayo, L., Monterrubio-Flores, E., Medina, C., Patiño, S. R. G., Aguirre-Hernández, R., & Barquera, S. (2020). Nutrition Label Use Is Related to Chronic Conditions among Mexicans: Data from the Mexican National Health and Nutrition Survey 2016. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 120(5), 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.07.016>

Norma Oficial Mexicana nom-130-ssa-1995, bienes y servicios. alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. disposiciones y especificaciones sanitarias prefacio.

Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

Norma Oficial Mexicana NOM-051-scfi/ssa-2010, especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-información comercial y sanitaria.

Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Oliveira, M. M. de, Lago, A., & Dal' Magro, G. P. (2021). Food loss and waste in the context of the circular economy: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126284. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126284>

OPS. (2019). Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: ventas, fuentes, perfiles de nutrientes e implicaciones. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51523/9789275320327_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ozkan, H., & Yakan, A. (2019). Dietary high calories from sunflower oil, sucrose and fructose sources alters lipogenic genes expression levels in liver and skeletal muscle in rats. *Annals of Hepatology*, 18(5), 715–724. <https://doi.org/10.1016/J.AOHEP.2019.03.013>

Panwar, D., Saini, A., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 549–562. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.03.018>

Pathania, S., & Kaur, N. (2022). Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100295. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2021.100295>

Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A., León-Martínez, F. M., & Sánchez-Medina, M. A. (2020). The effect of the presence of seeds on the nutraceutical, sensory and rheological properties of *Physalis* spp. Fruits jam: A comparative

analysis. Food Chemistry, 302, 125141.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125141>

Poiana, M. A., Alexa, E., & Mateescu, C. (2012). Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. Chemistry Central Journal, 6(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-4>

Prabhakar, H., Bock, C. H., Kerr, W. L., & Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and Modeling of the Processes. Current Research in Food Science, 5, 261–271. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2022.01.015>

Qiu, L., Zhang, M., Tang, J., Adhikari, B., & Cao, P. (2019). Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. In Food Research International (Vol. 116, pp. 90–102). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.055>

Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M. N., Ereifej, K., & Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(6), 1096–1102. <https://doi.org/10.1002/JSFA.4289>

Ramírez-Sucre, M. O., & Vélez-Ruiz, J. F. (2014). Effect of formulation and storage on physicochemical and flow properties of custard flavored with caramel jam. Journal of Food Engineering, 142, 221–227.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.013>

Rana, M. S., Yeasmin, F., Khan, M. ., & Riad, M. . (2021). Evaluation of quality characteristics and storage stability of mixed fruit jam. Journal Homepage, 5(1), 225–231. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).365](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).365)

Rascón-Chu, A., Martínez-López, A. L., Carvajal-Millán, E., Ponce de León-Renova, N. E., Márquez-Escalante, J. A., & Romo-Chacón, A. (2009). Pectin from low quality 'Golden Delicious' apples: Composition and gelling capability. Food Chemistry, 116(1), 101–103. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.02.016>

Reynoso-Camacho, R., Sotelo-González, A. M., Patiño-Ortiz, P., Rocha-Guzmán, N. E., & Pérez-Ramírez, I. F. (2021). Berry by-products obtained from a decoction process are a rich source of low- and high-molecular weight extractable and non-extractable polyphenols. Food and Bioproducts Processing, 127, 371–387.
<https://doi.org/10.1016/J.FBP.2021.03.014>

Riaz, G., & Chopra, R. (2018). A review on phytochemistry and therapeutic uses of *Hibiscus sabdariffa* L. In *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 102, pp. 575–586). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.023>

Rosales, T. K. O., & Fabi, J. P. (2022). Nanoencapsulated Anthocyanin as a Functional Ingredient: Technological Application and Future Perspectives. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 112707. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112707>

SADER. (2016). Conoce Más Sobre La Flor De Jamaica. Sagarpa. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conoce-mas-sobre-la-flor-de-jamaica?idiom=es>

Santos, K. C., Guedes, J. S., Rojas, M. L., Carvalho, G. R., & Augusto, P. E. D. (2021). Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70(August 2020), 105304. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105304>

Sáyago-Ayerdi, S. G., Velázquez-López, C., Montalvo-González, E., & Goñi, I. (2014). By-product from decoction process of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces as a source of polyphenols and dietary fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 898–904. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6333>

Shinwari, K. J., & Rao, P. S. (2018). Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 75, pp. 181–193). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.002>

Sinela, A., Rawat, N., Mertz, C., Achir, N., Fulcrand, H., & Dornier, M. (2017). Anthocyanins degradation during storage of *Hibiscus sabdariffa* extract and evolution of its degradation products. *Food Chemistry*, 214, 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.071>

Singh, M., Thrimawithana, T., Shukla, R., & Adhikari, B. (2021). Extraction and characterization of polyphenolic compounds and potassium hydroxycitrate from *Hibiscus sabdariffa*. *Future Foods*, 4, 100087. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100087>

Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: are they safe enough for their

valorization? *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147.
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.05.002>

Su, K., Festring, D., Ayed, C., Yang, Q., Sturrock, C. J., Linforth, R., Foster, T., & Fisk, I. (2021). Reducing sugar and aroma in a confectionery gel without compromising flavour through addition of air inclusions. *Food Chemistry*, 354, 129579. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129579>

Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2022). Enhanced nutritional and phytochemical profiles of selected underutilized fruits, vegetables, and legumes. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100853. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100853>

Suslow, T. (1997). Postharvest chlorination. Basic properties and key points for effective disinfection. In *University of California* (p. 8).
<http://ucfoodsafety.ucdavis.edu/files/26414.pdf>

Suslow, T. (2005). Chlorination in the production and postharvest handling of fresh fruits and vegetables. In *Extension Specialist Postharvest Pathology, Transportation & Distribution* (p. 15). University of California - Davis.

Tadapaneni, R. K., Yang, R., Carter, B., & Tang, J. (2017). A new method to determine the water activity and the net isosteric heats of sorption for low moisture foods at elevated temperatures. *Food Research International*, 102, 203–212.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.09.070>

Tan, V. W. K., Wee, M. S. M., Tomic, O., & Forde, C. G. (2019). Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply (TCATA). *Food Research International*, 121, 39–47.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.03.019>

Teribia, N., Buvé, C., Bonerz, D., Aschoff, J., Goos, P., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2021). The effect of thermal processing and storage on the color stability of strawberry puree originating from different cultivars. *LWT*, 145, 111270.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111270>

Touati, N., Tarazona-Díaz, M. P., Aguayo, E., & Louaileche, H. (2014). Effect of storage time and temperature on the physicochemical and sensory characteristics of commercial apricot jam. *Food Chemistry*, 145, 23–27.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.037>

Ullah, F., Hasrat, K., Iqbal, S., & Hussain, I. (2021). An Approach to Evaluate Dehydration of Apples (*Malus Domestica* L) with the Effect of Temperature and Time Interval under the Response Surface Method. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 657–669. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1920553>

Unusan, N. (2020). Proanthocyanidins in grape seeds: An updated review of their health benefits and potential uses in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 67, 103861. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.103861>

Valduga, A. T., Gonçalves, I. L., Magri, E., & Delalibera Finzer, J. R. (2019). Chemistry, pharmacology and new trends in traditional functional and medicinal beverages. In *Food Research International* (Vol. 120, pp. 478–503). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.091>

Vidović, S., Tepić Horecki, A., Vladić, J., Šumić, Z., Gavarić, A., & Vakula, A. (2020). Apple. In *Valorization of Fruit Processing By-products* (pp. 17–42). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817106-6.00002-2>

Wang, T., Liu, L., Rakhmanova, A., Wang, X., Shan, Y., Yi, Y., Liu, B., Zhou, Y., & Lü, X. (2020). Stability of bioactive compounds and in vitro gastrointestinal digestion of red beetroot jam: Effect of processing and storage. *Food Bioscience*, 38, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100788>

World Health Organization. (2015). Guideline: Sugars intake for adults and children. In *World Health Organization* (Vol. 57, Issue 6).

Yang, X., Yuan, K., Descallar, F. B. A., Li, A., Yang, X., & Yang, H. (2022). Gelation behaviors of some special plant-sourced pectins: A review inspired by examples from traditional gel foods in China. *Trends in Food Science & Technology*, 126, 26–40. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.06.012>

Yehye, W. A., Rahman, N. A., Ariffin, A., Abd Hamid, S. B., Alhadi, A. A., Kadir, F. A., & Yaeghoobi, M. (2015). Understanding the chemistry behind the antioxidant activities of butylated hydroxytoluene (BHT): A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 101, 295–312. <https://doi.org/10.1016/J.EJMECH.2015.06.026>

Yermek, R., Wang, L., Kaneko, K., Han, W., Seino, Y., Yabe, D., & Yada, T. (2022). D-Allulose cooperates with glucagon-like peptide-1 and activates proopiomelanocortin neurons in the arcuate nucleus and central injection inhibits

feeding in mice. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 613, 159–165. <https://doi.org/10.1016/J.BBRC.2022.04.027>

Yeung, C. H. C., Gohil, P., Rangan, A. M., Flood, V. M., Arcot, J., Gill, T. P., & Louie, J. C. Y. (2017). Modelling of the impact of universal added sugar reduction through food reformulation. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17417-8>

Zhang, Q., Dhir, A., & Kaur, P. (2022). Circular economy and the food sector: A systematic literature review. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 655–668. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.05.010>

Zhang, W., Yu, S., Zhang, T., Jiang, B., & Mu, W. (2016). Recent advances in d-allulose: Physiological functionalities, applications, and biological production. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 127–137. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.06.004>

VII. ANEXOS

Evaluación sensorial de comparación

Nombre:

Fecha:

Frente a usted hay geles de pectina y extracto de jamaica azucarados para ser comparadas en relación a su DULZOR. Las muestras codificadas deben ser comparadas con la referencia, marcada con la letra R. por favor, evalúelas y determine si alguna de las muestras son más dulces que R, igual de dulces que R o menos dulces que R. Enjuague la boca y espere entre 30-40 segundos entre muestra para evaluar la siguiente.

Código de la muestra	Mas dulce que R	Igual de dulce que R	Menos dulce que R

Por favor haga un comentario sobre alguna característica encontrada en las muestras evaluadas

¡Muchas Gracias!

Anexo 1. Ficha de evaluación sensorial de la escala JAR

Evaluación sensorial hedónica de aceptación y preferencia

Nombre: _____ Fecha: _____

Frente a usted se presentan tres muestras de mermeladas de jamaica-manzana baja en calorías usando como edulcorante alulosa. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas. Indique el grado en el que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo a la calificación y categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

CALIFICACION	CATEGORIA
9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta levemente
5	Me es indiferente
4	Me disgusta levemente
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta extremadamente

ATRIBUTO / MUESTRA	_____	_____	_____
Apariencia			
Color			
Olor			
Textura			
Sabor			
Aceptación general			

Ahora que ha probado los tres productos, ordene la muestras en base a su preferencia e indique porque:

1. _____
2. _____
3. _____

Comentarios

MUCHAS GRACIAS

Anexo 2. Ficha de evaluación sensorial de la prueba hedónica de aceptación y preferencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Posgrado de Alimentos, Facultad de Química
Carta consentimiento

Fecha de aplicación: _____

Nombre: _____

Título del proyecto:

Sede donde se realizará el estudio: Planta piloto de alimentos y Laboratorio de análisis sensorial. Parque biotecnológico, Facultad de Química.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____, he sido invitado a participar en la evaluación sensorial de _____. Entiendo que participaré en una prueba sensorial hedónica para evaluar el grado de aceptación del producto y medir la preferencia. He sido informado de la naturaleza del producto. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará económicamente. Se me ha proporcionado el nombre del investigador y los datos para que fácilmente lo pueda contactar. Así mismo, he leído la información proporcionada y he tenido la oportunidad de preguntar acerca de ella, a lo cual se me ha contestado a entera satisfacción. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos.

Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera mi persona.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Fecha (Día/mes/año): _____

He explicado al Sr (a) _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación, describiendo los riesgos y beneficios que implican su participación. He contestado todas las preguntas y he preguntado si tiene alguna duda sobre el estudio. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar la investigación con seres humanos y me apego a ella. Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador Fecha de la firma.

Anexo 3. Consentimiento informado de la evaluación sensorial.