

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE
TAGATOSA (*D- tagatosa*) EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES EN EL
CHOCOLATE CON LECHE**

Autora: Bach. Kelita Puscan Cachay

Asesora: Mg. Marleni Medina Mendoza

Co-asesores: Dr. Efraín Manuelito Castro Alayo

Ing. Llisela Torrejón Valqui

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2024

DEDICATORIA

Dedicado a mis amados padres Hilario Puscan Cuipal y Benita Cachay Mendoza, quienes me apoyaron de manera incondicional en cada paso de mi vida, ya que la educación y la perseverancia me llevó a lograr cada una de mis metas.

A mi pareja Manuel Mendoza Ventura, por la confianza y el apoyo incondicional, para alcanzar este objetivo.

Y a mis hijos, Lincoln Caleb Mendoza Puscan y Josué Abraham Mendoza Puscan por ser el motor y motivo de mi superación, a mi abuelita Hermelinda Cuipal Chuquizuta a mis hermanos Karina Valqui Cachay, Geremías Puscan Cachay, Juan Carlos Puscan Cachay y a toda mi familia por todo el apoyo brindado, en este proceso de mi formación profesional.

KELITA PUSCAN CACHAY

AGRADECIMIENTO

A Dios por concederme la vida, salud, sabiduría y entendimiento para poder realizar mi proyecto de tesis.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, en la cual me forme como profesional, especialmente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, docentes y compañeros por compartir sus conocimientos.

Al Laboratorio de Ingeniería de Alimentos y Postcosecha, de la universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, por brindarme sus laboratorios y hacer uso de sus equipos en la ejecución de mi proyecto de tesis.

A la Mg. Marleni Medina Mendoza, asesora del presente proyecto, por proporcionarme sus conocimientos y sugerencias para mejorar este proyecto de tesis.

Al Dr. Efraín Manuelito Castro Alayo, co-asesor de mi tesis, por el apoyo y facilidades de realizar este proyecto de tesis.

A la Ing. Llisela torrejón Valqui, co asesora de la tesis, por su paciencia, enseñanzas, en las etapas de trabajo.

KELITA PUSCAN CACHAY

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

RECTOR

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

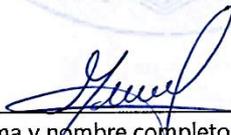
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Efecto de la sustitución parcial de tagatosa (D-Tagatosa) en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en el chocolate con leche"; del egresado Kelita Puscan cachay de la Facultad de Ingeniería y ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 24 de enero de 2024


Firma y nombre completo del Asesor
MARLENI MEDINA MENDOZA

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Efecto de la sustitución parcial de tagatosa (D-tagatosa) en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en el chocolate con leche"; del egresado Kelita Puscán Cachay de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 24 de enero de 2024

Firma y nombre completo del Asesor
Efraim M. Castro Aloyo

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Efecto de la sustitución parcial de tagatosa (D-tagatosa) en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en el chocolate con leche"; del egresado Kelita Puscan Cachay de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 24 de enero de 2024

Firma y nombre completo del Asesor
Milsela Torrejón Valqui

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ph.D. Armstrong Barnard Fernández Jerí
PRESIDENTE



Mg. Robert Javier Cruzalegui Fernández
SECRETARIO



Mg. Guillermo Idrogo Vásquez
VOCAL

CONSTANCIA DE LA ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Efecto de la sustitución parcial de tagatosa (D-tagatosa) en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en el chocolate con leche
presentada por el estudiante () /egresado (x) Kelita Puscan Cochay
de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
con correo electrónico institucional 7460168132@untrm.edu.pe
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 09 de 04 del 2024


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

REPORTE TURNITIN

Informe de tesis de Kelita

ORIGINALITY REPORT

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 24% SIMILARITY INDEX | 23% INTERNET SOURCES | 6% PUBLICATIONS | 7% STUDENT PAPERS |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|

PRIMARY SOURCES

| | | |
|----------|--|---------------|
| 1 | hdl.handle.net Internet Source | 9% |
| 2 | repositorio.untrm.edu.pe Internet Source | 6% |
| 3 | es.scribd.com Internet Source | 1% |
| 4 | scholar.archive.org Internet Source | 1% |
| 5 | bibdigital.epn.edu.ec Internet Source | 1% |
| 6 | uvadoc.uva.es Internet Source | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Student Paper | <1% |
| 8 | repositorio.unas.edu.pe Internet Source | <1% |
| 9 | repositorio.unjfsc.edu.pe Internet Source | <1% |

*Administradora B
Armstrong Bernard Fernandez Jr.*

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 15 de Mayo del año 2024, siendo las 09:00 horas, el aspirante: Kelita Puscan Cachay, asesorado por Marleni Medina Mexzoa, defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Efecto de la sustitución parcial de fariyatosol (D-fogatosol) en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales en el chocolate con leche, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Armstrong Bernard Fernández Jari
Secretario: Robert Javier Cruzalqui Fernández
Vocal: Guillermo Idrogo Páez



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11:20 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS | iv |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS | v |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS | vi |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS | vii |
| JURADO EVALUADOR DE LA TESIS | viii |
| CONSTANCIA DE LA ORIGINALIDAD DE LA TESIS | ix |
| REPORTE TURNITIN | x |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS | xi |
| ÍNDICE | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xv |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| I. INTRODUCCIÓN | 18 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS | 20 |
| 2.1. Ejecución de la Investigación | 20 |
| 2.2. Métodos y técnicas | 20 |
| 2.3. Análisis físicos | 20 |
| 2.4. Análisis de textura | 21 |
| 2.5. Tamaño de la partícula | 21 |
| 2.6. Análisis químico | 21 |
| 2.7. Determinación de capacidad antioxidante | 21 |
| 2.8. Contenido fenólico total | 22 |
| 2.9. Análisis sensorial | 22 |
| 2.10. Análisis de datos | 22 |
| III. RESULTADOS | 23 |
| IV. DISCUSIÓN | 28 |
| 4.1. Análisis reológicos | 28 |
| 4.2. Textura | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3. Tamaño de partícula | 29 |
| 4.4. Actividad antioxidante | 29 |
| 4.5. Fenoles totales | 29 |
| 4.6. Análisis sensorial | 30 |
| V. CONCLUSIONES | 31 |
| VI. RECOMENDACIONES | 32 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 33 |
| ANEXOS | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Análisis reológico de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa. | 23 |
| Tabla 2. Análisis de textura de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa. | 24 |
| Tabla 3 . Análisis de tamaño de partícula de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa. | 25 |
| Tabla 4. Análisis de capacidad antioxidante de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa. | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Evaluación sensorial de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa..... | 27 |
|---|----|

RESUMEN

Se estudió el efecto de la sustitución parcial de D-tagatosa en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chocolate con leche, el objetivo del estudio fue determinar cómo esta sustitución mejora las características físicas, químicas y sensoriales en el chocolate con leche. Se realizaron diferentes análisis fisicoquímicos y bioactivos para evaluar las propiedades del chocolate con leche modificado, así como la evaluación sensorial de este producto, obteniendo como resultados que la viscosidad plástica del chocolate con leche incorporado al 2% de tagatosa fue igual a 7.56 ± 1.70 Pa.S, con respecto al límite elástico, el chocolate con 2% de tagatosa obtuvo un valor similitud al chocolate control (57.41 ± 0.99 , 59.69 ± 1.54) Pa; en referencia a la dureza y la fracturabilidad del chocolate con leche, el chocolate control resultó ser el mejor de los tratamientos (14.44 ± 0.01 , 8.66 ± 1.45) N y en lo que respecta a su adhesividad y el tamaño de partícula, no hubo diferencias significativas frente al control. Además, se evidenció que la capacidad antioxidante se redujo a medida que se incrementaba los porcentajes de tagatosa, además el que más cambios presentó en su estructura fue el chocolate con 10% de tagatosa (36.98 ± 0.90); del mismo modo, el chocolate con el mayor contenido fenólico fue el chocolate con 10% de tagatosa (31.86 ± 0.43). En el análisis sensorial, el chocolate con 8% de tagatosa fue el que presentó la mayor aceptabilidad general, así como el más aceptable en lo que respecta al color y la apariencia, el chocolate más suave, fue el tratamiento con 10% de tagatosa (7.91); el chocolate con el mejor sabor y consistencia fue el modificado con 2% de tagatosa; el mejor aroma, con 7.21 puntos, lo presentó el chocolate modificado al 6% de tagatosa. En conclusión, se determinó que la sustitución parcial de tagatosa tiene un impacto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chocolate con leche.

Palabras claves: tagatosa, chocolate, reología, antioxidantes, fenoles.

ABSTRACT

The effect of partial substitution of D-tagatose on the physicochemical and sensory properties of milk chocolate was studied. The objective of the study was to determine how this substitution improves the physical, chemical and sensory characteristics in milk chocolate. Different physicochemical and bioactive analyzes were carried out to evaluate the properties of the modified milk chocolate, as well as the sensory evaluation of this product, obtaining as results that the plastic viscosity of the milk chocolate incorporated with 2% tagatose was equal to 7.56 ± 1.70 Pa .S, with respect to the elastic limit, the chocolate with 2% tagatose obtained a similar value to the control chocolate (57.41 ± 0.99 , 59.69 ± 1.54) Pa; In reference to the hardness and breakability of milk chocolate, the chocolate control turned out to be the best of the treatments (14.44 ± 0.01 , 8.66 ± 1.45) N and with regard to its adhesiveness and particle size, there was no significant differences compared to the control. Furthermore, it is evident that the antioxidant capacity was reduced as the percentages of tagatose increased, and the one that showed the most changes in its structure was chocolate with 10% tagatose (36.98 ± 0.90); Likewise, the chocolate with the highest phenolic content was chocolate with 10% tagatose (31.86 ± 0.43). In the sensory analysis, the chocolate with 8% tagatose was the one that presented the greatest general acceptability, as well as the most acceptable in terms of color and appearance, the softest chocolate was the treatment with 10% tagatose (7.91); The chocolate with the best flavor and consistency was the one modified with 2% tagatose; The best aroma, with 7.21 points, was presented by the modified chocolate with 6% tagatose. In conclusion, the partial substitution of tagatose is considered to have an impact on the physicochemical and sensory properties of milk chocolate.

Keywords: tagatose, chocolate, rheology, antioxidants, phenols.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo tropical que pertenece a la familia Malvaceae, actualmente, este cultivo sustenta a más de 6 millones de productores en países en vías de desarrollo (Wickramasuriya & Dunwell, 2018). Los granos de cacao son la principal materia prima empleada para la producción de chocolate, razón por la cual es muy valorado por los productores y consumidores de todo el mundo (Perez et al., 2021).

La elaboración del chocolate implica un extenso proceso que incluye desde la fermentación, el secado, el tostado, la molienda de los granos de cacao y el templado (Barišić et al., 2019). El azúcar es un insumo necesario para la fabricación del chocolate, debido al característico sabor amargo del cacao (Mellor et al., 2018).

La sacarosa, derivada de la caña de azúcar, ha sido la opción más predominante en la industria chocolatera debido a su sabor agradable, la cual, potencia el dulzor de los productos finales (Nguyen & Bhattacharya, 2022). Sin embargo, su consumo en exceso genera problemas de salud en los consumidores, causando enfermedades como la diabetes y la obesidad (Khan & Sievenpiper, 2016).

Por consiguiente, reducir el consumo de azúcar es de suma importancia, esto se puede lograr sustituyéndola parcial o totalmente con edulcorantes de alta potencia, alcoholes de azúcar, carbohidratos de baja digestibilidad, proteínas dulces y materias primas naturales (Selvasekaran & Chidambaram, 2021).

Cada vez más los consumidores prefieren los chocolates con poco azúcar o sin azúcar, por lo tanto, reemplazar este insumo sin alterar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chocolate es un gran desafío (Selvasekaran & Chidambaram, 2021).

En la sustitución del azúcar por edulcorantes, las investigaciones se han centrado específicamente en la D-Tagatosa (Guerrero-Wyss et al., 2018). La D-tagatosa, un epímero de la fructosa, ha generado mucha atención durante los últimos años, debido a que es utilizada como suplemento dietético en una amplia variedad de alimentos y bebidas, chocolates y productos de panadería y confitería, presentando un sabor idéntico a la sacarosa (Rouhi et al., 2015). La tagatosa está calificada y reconocida como segura

para su uso en alimentos (GRAS) según el programa regulado por la FDA (USFDA, 2013).

Tanto la tagatosa como la stevia al emplearse en la elaboración del chocolate oscuro muestran resultados similares en aceptabilidad general, amargor, textura, intensidad y duración del retrogusto, a los elaborados con sacarosa, además el chocolate con tagatosa provoca conceptualizaciones positivas en los consumidores (Lagast et al., 2018). Selvasekaran & Chidambaram, 2021, indican que los chocolates a los cuales se les sustituye parcialmente la sacarosa con aditivos de lactosa muestran un gusto similar al chocolate elaborado con sacarosa.

Frente a los preocupantes problemas de salud asociados al consumo de sacarosa en diversas etapas de la vida, surge la necesidad de investigar la viabilidad de sustituir parcialmente este endulzante por edulcorantes benéficos para la salud; tales como, la tagatosa (D-tagatosa). Razón por la cual la tagatosa se perfila como una opción prometedora, dado que no solo tiene alta aceptabilidad por los consumidores, sino que además ofrece beneficios para la salud. Estudios previos han destacado sus propiedades saludables, como su potencial para ayudar a controlar los niveles de azúcar en la sangre y su capacidad para contribuir al manejo del peso corporal. Por lo tanto, en la presente investigación se evaluó el efecto de la sustitución parcial de tagatosa en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chocolate con leche.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ejecución de la Investigación

Los granos de cacao y la manteca de cacao fueron obtenidos de la cooperativa APROCAM, ubicada en la provincia de Bagua, región Amazonas. La Tagatosa (D-tagatosa) se compró en un minimarket, el azúcar y la leche en polvo fueron adquiridos en el mercado local del distrito de Chachapoyas. Las muestras e insumos se analizaron en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos y Postcosecha de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

Se aplicó un DCA (Diseño completamente al azar), en el cual se manipuló un solo factor (cantidad de D-tagatosa), se evaluó cinco tratamientos, teniendo en cuenta los parámetros (2, 4, 6, 8 y 10% de tagatosa), con tres repeticiones cada uno.

2.2. Métodos y técnicas

- Formulación del chocolate

Las almendras de cacao se tostaron en un horno (Venticell Ecoline), luego se llevaron a un descascarillador. Después los nibs de cacao se llevaron a un molino (Prosol SAC, Tritur-50) para obtener la pasta de cacao. La manteca de cacao, el azúcar, la tagatosa y la leche en polvo fueron mezclados en un refinador premier de dos rodillos. El refinado se llevó a cabo durante 24 h; y fueron templados a una temperatura 33°C y 34°C. Posteriormente el chocolate se procedió a templar y moldear; para ser envueltos en papel aluminio; y almacenados para su posterior análisis.

2.3. Análisis físicos

- Análisis reológicos

El análisis reológico se llevó a cabo mediante un reómetro (Anton Paar, modelo MCR 92, Austria), donde las muestras se fundieron a 45°C durante 10 min. Luego el cilindro concéntrico con la muestra fundida, fue colocado en el equipo para iniciar su medida con un pre acondicionamiento a 40°C durante 60 s; los resultados se procesaron con el software del equipo (RheoCompass) basado en el modelo de Casson. Los resultados se expresaron en límite elástico de Casson (Pa) y viscosidad plástica de Casson (Pa.s) (Abdul Halim et al., 2019).

2.4. Análisis de textura

El perfil de textura, se midió en un equipo Brookfield modelo CT3, EE. UU, con un test de compresión y una sonda con aguja de acero inoxidable TA 9. Los parámetros se establecieron a una velocidad de prueba de 50 mm/s, carga a 25 kg, profundidad de penetración de 7mm. Las medidas de las muestras del chocolate fueron 55 x 50 x 0,7 (cm). Los resultados se expresaron como dureza en N (Alvis et al., 2011).

2.5. Tamaño de la partícula

Se evaluó según la metodología empleada por Afoakwa et al., 2009, se utilizó un equipo de tamaño de partícula (PSD) modelo Anton Paar, Austria, donde 200 mg de muestra, se colocaron en el dispersor para su respectivo análisis. La distribución del tamaño de partícula evidenció en las curvas de distribución. Los parámetros medidos fueron el área específica de la superficie media de la partícula D10 (μm), D50 (μm) y D90 (μm).

2.6. Análisis químico

- Extractos de la muestra

Para obtener los extractos de muestra, primero se desgrasó 5 g de chocolate con éter de petróleo (JPSelecta, Det-Grasa N, España). Luego, 1 g de muestra se mezcló con 15 ml de metanol-agua (80:20, v/v) (Díaz de Cerio et al., 2016). Seguidamente, el extracto fue centrifugado a 12 000 rpm, por 20 minutos a una temperatura de 24 °C; el sobrenadante obtenido se colocó en viales y se mantuvo en refrigeración (Gültekin-Özgüven et al., 2016). Con este extracto obtenido, se analizaron la capacidad antioxidante y contenido fenólico.

2.7. Determinación de capacidad antioxidante

- Ensayo de DPPH

Para evaluar la capacidad antioxidante, se empleó el método de Chowdhury et al., 2022, con algunas adaptaciones. Primero, se diluyó el reactivo DPPH, con etanol hasta lograr una absorbancia de 0,7 unidades a 517 nm; posteriormente se dejó reaccionar 0,1 ml de los extractos de chocolate con 3,9 ml de la solución del radical DPPH, durante 30 minutos, en un ambiente oscuro. Cada absorbancia se midió a 517

nm. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro, y los resultados fueron expresados en μmol de equivalente de Trolox /g de muestra (μmol Trolox /g).

2.8. Contenido fenólico total

Para evaluar el contenido fenólico, 0.1 ml de extracto se mezcló con 2,5 ml de reactivo de Folin- Ciocalteu, seguido de 2 ml de carbonato de sodio y los reactivos se agitaron durante un 1 minuto en un vortex. Después se dejó reposar a la mezcla durante 2 horas. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro a 760 nm (Único, S2100, Estados Unidos). El contenido fenólico, se cuantificó a partir de una curva estándar de ácido gálico en una concentración de 0-3250 ppm (Puchol-Miquel et al., 2021).

2.9. Análisis sensorial

Para evaluar la aceptabilidad del chocolate con leche endulzado parcialmente con D-tagatosa se utilizó la escala hedónica de 9 puntos. Las características sensoriales evaluadas fueron consistencia, apariencia, sabor, color, suavidad con la que se funde en la boca y la aceptabilidad en general. Se trabajó con 100 panelistas no entrenados entre 18 a 50 años. Para su respectivo análisis, los chocolates se sirvieron en platos debidamente rotulados.

2.10. Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron analizados con el método paramétrico, haciendo uso del software Minitab versión 20 (EE. UU) ANOVA de un solo factor.

III. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los valores de viscosidad y límite elástico de Casson, donde se puede observar que el chocolate con 2% de D-tagatosa presentó el mayor contenido de viscosidad plástica de Casson igual a 7.56 ± 1.70 Pa. s, así mismo se puede observar que existe diferencia entre tratamientos. En cuanto al límite elástico de Casson el chocolate control presentó el valor más alto de límite elástico igual a 57.41 Pa, y el chocolate con incorporación del 10% de D-tagatosa presentó el menor límite elástico con 29.11 Pa.

Tabla 1.

Análisis reológico de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D- tagatosa.

| Chocolate | Viscosidad plástica de Casson (Pa. S) | Límite elástico de Casson (Pa) |
|------------------|--|---------------------------------------|
| CH-C | 4.92 ± 0.27^b | 57.41 ± 0.99^a |
| CH-2%T | 7.56 ± 1.70^a | 59.69 ± 1.54^a |
| CH-4%T | 3.84 ± 0.15^b | 31.75 ± 1.27^b |
| CH-6%T | 2.89 ± 0.17^b | 30.38 ± 0.55^b |
| CH-8%T | 2.83 ± 0.38^b | 29.24 ± 0.95^b |
| CH-10%T | 2.76 ± 0.77^b | 29.11 ± 0.88^b |

**Todos los valores se muestran como media \pm desviaciones estándar. Con nivel de significancia ($p < 0.05$).*

En la Tabla 2 se muestra los valores del perfil de textura como: dureza, fracturabilidad y la adhesividad del chocolate de leche sustituido parcialmente con D- tagatosa, donde se observa que el chocolate control presentó los valores más altos de dureza igual a 14.44 N, presentando diferencia significativamente ($p < 0.05$) entre tratamientos, y el chocolate con 8% de incorporación de D-tagatosa presentó el valor más bajo, igual a 6.39 N.

Por otro lado, el chocolate control presentó significativamente ($p < 0.05$) el mayor contenido de fracturabilidad igual a 8.66 N, así mismo, se observa que a medida que se incrementa la dosis de incorporación de D-tagatosa, la fracturabilidad tiende a variar. Del mismo modo, se observa que el chocolate con incorporación del 2% de D-tagatosa presentó el valor más bajo de fracturabilidad igual a 3.71N. La adhesividad en

las muestras varió de acuerdo a la dosis de adición de D-tagatosa, presentando valores de 1.33 a 2.67 MJ.

Tabla 2.

Análisis de textura de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.

| Chocolate | Dureza (N) | Fracturabilidad (N) | Adhesividad (MJ) |
|------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| CH-C | 14.44 ± 0.01 ^a | 8.66 ± 1.45 ^a | 2.03 ± 1.01 ^a |
| CH-2%T | 6.61 ± 0.23 ^d | 3.71 ± 0.18 ^b | 1.40 ± 0.27 ^a |
| CH-4%T | 7.39 ± 0.26 ^c | 3.75 ± 0.58 ^b | 2.67 ± 0.55 ^a |
| CH-6%T | 7.09 ± 0.02 ^c | 3.99 ± 0.30 ^b | 1.97 ± 1.16 ^a |
| CH-8%T | 6.39 ± 0.04 ^d | 3.86 ± 0.71 ^b | 1.33 ± 0.29 ^a |
| CH-10%T | 12.06 ± 0.07 ^b | 4.46 ± 0.34 ^b | 1.97 ± 0.21 ^a |

**Todos los valores se muestran como media ± desviaciones estándar. Con nivel de significancia ($p < 0.05$).*

En la tabla 3 se muestran los valores del tamaño de partícula del chocolate con leche sustituido parcialmente con tagatosa, donde se observa que a **D₁₀** y **D₅₀** el chocolate con 8% de D-tagatosa presentó el valor más alto (4.08 µm) con respecto a las muestras evaluadas, siendo estos igual a 4.08 µm y 13.86 µm, respectivamente, sin embargo a **D₉₀** el chocolate control presentó el mayor valor de tamaño de partícula, siendo este igual a 31.95 µm presentando diferencias significativa entre tratamientos ($p > 0.05$).

Tabla 3.

Análisis de tamaño de partícula de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.

| Chocolate | D₁₀ (µm) | D₅₀ (µm) | D₉₀ (µm) |
|------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| CH-C | D₁₀ (µm) ± 0.08 ^a | 11.72 ± 0.64 ^a | 31.95 ± 9.05 ^a |
| CH-2%T | 3.83 ± 0.03 ^a | 12.00 ± 1.30 ^a | 28.01 ± 5.56 ^a |
| CH-4%T | 3.39 ± 0.03 ^a | 10.59 ± 0.10 ^a | 23.42 ± 0.20 ^a |
| CH-6%T | 3.71 ± 0.14 ^a | 11.41 ± 0.41 ^a | 25.52 ± 1.47 ^a |
| CH-8%T | 4.08 ± 0.66 ^a | 13.86 ± 3.72 ^a | 27.74 ± 0.44 ^a |
| CH-10%T | 3.89 ± 0.18 ^a | 12.59 ± 0.59 ^a | 31.33 ± 1.59 ^a |

**Todos los valores se muestran como media ± desviaciones estándar. Con nivel de significancia (p < 0.05).*

En la tabla 4 se muestra la capacidad antioxidante del chocolate con leche sustituido parcialmente con tagatosa, donde se evidencia que a mayor contenido de tagatosa en el chocolate la capacidad antioxidante disminuye, en efecto, el chocolate control y las muestras de chocolate con 2 y 4% de tagatosa, mostraron el mayor contenido de antioxidantes siendo estos igual a 40.28 ± 0.03, 40.16 ± 0.54 y 40.16 ± 0.10, respectivamente.

Tabla 4.

Análisis de capacidad antioxidante de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.

| Chocolate | Capacidad Antioxidante (µmolTrolox/g) |
|------------------|--|
| CH-C | 40.28 ± 0.03 ^a |
| CH-2%T | 40.16 ± 0.54 ^a |
| CH-4%T | 40.16 ± 0.10 ^a |
| CH-6%T | 38.13 ± 0.23 ^b |
| CH-8%T | 37.71 ± 0.44 ^{bc} |
| CH-10%T | 36.86 ± 0.43 ^c |

**Todos los valores se muestran como media ± desviaciones estándar con nivel de significancia (p < 0.05).*

En la Tabla 5 se muestra el contenido de fenoles totales del chocolate con leche sustituido parcialmente con tagatosa, donde se observa que a mayor adición de D-tagatosa, el contenido de fenoles totales tiende a aumentar. Asimismo, el tratamiento al cual se le adicionó 2% de tagatosa presentó la menor concentración de fenoles totales (28.08 ± 0.50^b).

Tabla 5.

Análisis de contenido fenólico de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.

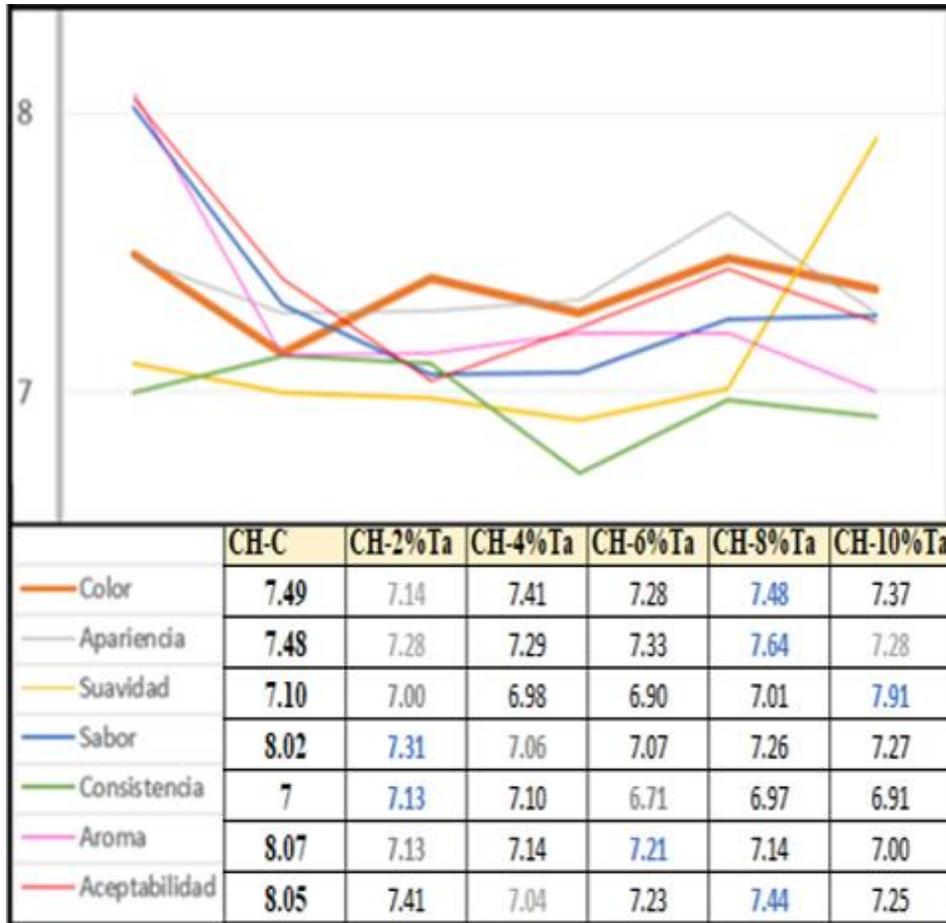
| Chocolate | Fenoles totales (mgGAE/gm) |
|------------------|-----------------------------------|
| CH-C | 31.02 ± 0.43^a |
| CH-2%T | 28.08 ± 0.50^b |
| CH-4%T | 28.50 ± 0.08^b |
| CH-6%T | 28.74 ± 0.40^b |
| CH-8%T | 29.05 ± 0.08^b |
| CH-10%T | 31.98 ± 0.90^a |

**Todos los valores se muestran como media \pm desviaciones estándar con nivel de significancia ($p < 0.05$).*

En la Figura 1 se observan los resultados de las puntuaciones de la evaluación sensorial de los chocolates con leche sustituidos parcialmente con D-tagatosa, donde el chocolate con 8% de tagatosa mostró el mayor valor de aceptabilidad con respecto al color (7.48), la apariencia (7.64) y la aceptabilidad general (7.44), mientras que el chocolate con 10% de tagatosa mostró la mayor aceptabilidad con respecto a la suavidad (7.91), el chocolate con 2% de tagatosa mostró la mayor aceptabilidad con respecto al sabor (7.31) y la consistencia (7.13) y por último el chocolate con 6% de tagatosa mostró la mayor aceptabilidad con respecto al aroma (7.21).

Figura 1.

Evaluación sensorial de un chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa



IV. DISCUSIÓN

4.1. Análisis reológicos

Se estudió el comportamiento reológico del chocolate con leche con sustitución parcial de D-tagatosa, se observó que la viscosidad disminuye a medida que se aumenta la concentración de D-tagatosa, esto se puede deber a la absorción de humedad y la higroscopicidad de la tagatosa ya que al aumentar el contenido de tagatosa la viscosidad tiende a disminuir (Zamora et al., 2021). Los valores del límite elástico de Casson presentaron valores superiores al control, esto se puede atribuir a los cambios en la humedad y la higroscopicidad en el chocolate y al tamaño de partícula (Wong et al., 2024), así como a la interacción entre las partículas y la cantidad de superficie (Hinne et al., 2020), en consecuencia, la estructura de los azúcares influyen en la interacción de las partículas y la resistencia al flujo en el chocolate.

4.2. Textura

La dureza del chocolate influye en la calidad del chocolate (Alvis et al., 2011). La textura del chocolate con leche mostró diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$), sin embargo, no se evidenció una tendencia creciente al aumentar la concentración de D-tagatosa, excepto en la muestra de chocolate sustituido con 10% de tagatosa que mostró un valor ligeramente superior. Sin embargo, el chocolate control presentó los valores más altos de dureza, fracturabilidad y adhesividad, esto puede deberse a los ingredientes utilizados en la elaboración, método de preparación, sustitución de sacarosa (Andrae-Nightingale et al., 2009), la higroscopicidad de la mezcla sustituta del azúcar, y al tamaño de las partículas que afectan la humedad del chocolate (Wong et al., 2024), ya que al aumentar la concentración de tagatosa la humedad y la dureza disminuyen (Glicerina et al., 2013).

4.3. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es un parámetro importante en el desarrollo de chocolate oscuro, sin embargo, a menor tamaño de partícula los chocolates presentaron mayor dureza, mayor viscosidad plástica de Casson y mayor límite elástico de Casson (Wong et al., 2024). El mayor tamaño de partícula a D90 fue de 31.95 μm , muy similar al resultado obtenido por (Wong et al., 2024), además se evidenció que el tamaño D90 se encontró dentro del rango de 30 μm , por lo que podemos asumir que, la forma de los cristales del azúcar y del sustituto de la sacarosa podrían influir en el tamaño de las partículas del chocolate (Wong et al., 2024), además, el procesamiento del chocolate, velocidad de rotación y la intensidad de la molienda influyen en el tamaño de partículas del chocolate (Quiñones-Muñoz et al., 2011).

4.4. Actividad antioxidante

El chocolate es un alimento que confiere una serie de beneficios para la salud tales como la capacidad antiinflamatoria (Samanta et al., 2022). En este estudio se confirmó que la capacidad antioxidante del chocolate disminuyó ligeramente al aumentar las concentraciones de tagatosa como se indica en la tabla 4, mostrando diferencias significativas entre tratamientos. En general, la sustitución parcial del azúcar con D-tagatosa presentó efecto significativo en la capacidad antioxidante del chocolate (Perea. et al., 2009), esto posiblemente se deba a la débil propiedad quelante del hierro que contiene la tagatosa (Roy et al., 2018), por lo tanto, este efecto negativo en la capacidad antioxidante podría atribuirse a las propiedades químicas de la tagatosa y su interacción con los compuestos antioxidantes presentes en el chocolate (Samanta et al., 2022).

4.5. Fenoles totales

El cacao es rico en polifenoles, pero su proporción depende del tipo de procesamiento del chocolate y de la cantidad de cacao que se utiliza en su elaboración (Tafurt et al., 2020). En este estudio se confirmó que el valor de los fenoles totales del chocolate aumentó ligeramente al aumentar las concentraciones de tagatosa como se indica en la tabla 4, mostrando diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). En general, la sustitución parcial del azúcar con tagatosa tuvo un efecto significativo en la magnitud de los

fenoles totales del chocolate. Aparentemente se observó un alto contenido de fenoles totales en el chocolate control, además se observó una tendencia creciente entre las muestras de chocolate sustituido con tagatosa, por lo tanto se evidencia que el alto contenido de fenoles totales puede estar relacionado con las diferentes concentraciones de tagatosa en el chocolate.

4.6. Análisis sensorial

En el estudio de la evaluación sensorial, el chocolate con tagatosa, no difiere significativamente con respecto al control, en cuanto a su amargor, al regusto, la textura, la duración del regusto, el gusto general y la intensidad del regusto corroborando nuestros resultados con la investigación de (Lagast et al., 2018), en la cual, sus resultados confirmaron que todos los tratamientos evaluados presentaron niveles de aceptabilidad mayores a 7, lo que indica una aceptación moderada o superior por parte de los evaluadores, siendo el chocolate control con mayor aceptabilidad por parte de los panelistas. Además, a medida que aumenta la tagatosa, las propiedades sensoriales obtuvieron puntajes más altos de aceptabilidad, tales como el sabor, la textura, el color, la rapidez de fusión y la sensación en la boca (Shourideh et al., 2012), por lo tanto, el chocolate sustituido parcialmente con tagatosa, no afecta significativamente a las características sensoriales del chocolate.

V. CONCLUSIONES

La sustitución parcial del azúcar por D-tagatosa en el chocolate con leche, influyó en las propiedades fisicoquímicas del chocolate así como en la aceptabilidad del producto, con respecto al contenido fenólico; este se incrementó a medida que se incrementaba la concentración de tagatosa; mientras que la capacidad antioxidante disminuyó. Con respecto a la textura y la viscosidad, se observó una disminución a medida que se incrementaba el porcentaje de sustitución de la tagatosa, la textura y las propiedades reológicas del chocolate demostraron una disminución de sus magnitudes al aumentar las concentraciones de tagatosa en el chocolate, atribuyendo este efecto, debido a la baja capacidad de absorción de humedad de la tagatosa durante el procesamiento del chocolate, muy independiente del tamaño de las partículas, que no mostraron diferencia significativa con respecto a las diferentes concentraciones de tagatosa. Las propiedades sensoriales del chocolate no mostraron cambios significativos con la sustitución de tagatosa, ya que, todos los parámetros tuvieron valores aceptables y cercanos al control. En conclusión, el uso de la tagatosa como sustituto del chocolate si afecta significativamente las propiedades reológicas, la textura, la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales y las propiedades sensoriales del chocolate.

VI. RECOMENDACIONES

El mundo de los chocolates es dinámico, con un mercado amplio y una evolución constante. Se sugiere profundizar investigaciones que impulsen la elaboración de chocolates innovadores, con enfoques que busquen explorar la sustitución parcial o total de azúcar, aprovechando alternativas naturales y saludables, para satisfacer las demandas de consumidores preocupados por su bienestar. Además, se pueden enriquecer estos chocolates con nutrientes específicos, como antioxidantes, vitaminas o minerales, para potenciar sus beneficios para la salud.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul Halim, H. S. adiah, Selamat, J., Mirhosseini, S. H., & Hussain, N. (2019). Sensory preference and bloom stability of chocolate containing cocoa butter substitute from coconut oil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.005>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2009). Fat bloom development and structure-appearance relationships during storage of under-tempered dark chocolates. *Journal of Food Engineering*, 91(4), 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.011>
- Alvis, A., Pérez, L., & Arrazola, G. (2011). Determinación de las propiedades de textura de tabletas de chocolate mediante técnicas instrumentales. *Informacion Tecnologica*, 22(3), 11–18. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000300003>
- Andrae-Nightingale, L. M., Lee, S.-Y., & Engeseth, N. J. (2009). TEXTURAL CHANGES IN CHOCOLATE CHARACTERIZED BY INSTRUMENTAL AND SENSORY TECHNIQUES. In *Journal of Texture Studies* (Vol. 40).
- Barišić, V., Kopjar, M., Jozinović, A., Flanjak, I., Molecules, Đ. A.-, & 2019, U. (2019). The chemistry behind chocolate production. *Mdpi.Com* Barišić, M Kopjar, A Jozinović, I Flanjak, Đ Ačkar, B Miličević, D Šubarić, S Jokić, J Babić *Molecules*, 2019•*mdpi.Com*.
- Chowdhury, M. A., Hossain, N., Noman, T. I., Hasan, A., Shafiul, A., & Mohammad Abul, K. (2022). Biodegradable, physical and microbial analysis of tamarind seed starch infused eco-friendly bioplastics by different percentage of Arjuna powder. *Results in Engineering*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100387>
- Díaz-de-Cerio, E., Gómez-Caravaca, A. M., Verardo, V., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2016). Determination of guava (*Psidium guajava* L.) leaf phenolic compounds using HPLC-DAD-QTOF-MS. *Journal of Functional Foods*, 22, 376–388. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.040>
- Glicerina, V., Balestra, F., Rosa, M. D., & Romani, S. (2013). Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.012>

- Guerrero-Wyss, M., Durán Agüero, S., & Angarita Dávila, L. (2018). D-Tagatose Is a Promising Sweetener to Control Glycaemia: A New Functional Food. In *BioMed Research International* (Vol. 2018). <https://doi.org/10.1155/2018/8718053>
- Gültekin-Özgülven, M., Berktas, I., & Özçelik, B. (2016). Influence of processing conditions on procyanidin profiles and antioxidant capacity of chocolates: Optimization of dark chocolate manufacturing by response surface methodology. *LWT*, 66, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.047>
- Hinne, M., Abotsi, E. E., Van de Walle, D., Tzompa-Sosa, D. A., De Winne, A., Simonis, J., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2020). Pod storage with roasting: A tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from ‘bulk’ cocoa beans? (Part II: Quality and sensory profiling of chocolates). *Food Research International*, 132, 109116. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109116>
- Khan, T. A., & Sievenpiper, J. L. (2016). Controversies about sugars: results from systematic reviews and meta-analyses on obesity, cardiometabolic disease and diabetes. *European Journal of Nutrition* 2016 55:2, 55(2), 25–43. <https://doi.org/10.1007/S00394-016-1345-3>
- Lagast, S., De Steur, H., Schouteten, J. J., & Gellynck, X. (2018). A comparison of two low-calorie sweeteners and sugar in dark chocolate on sensory attributes and emotional conceptualisations. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(3), 344–357. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1362689>
- Mellor, D. D., Amund, D., Georgousopoulou, E., & Naumovski, N. (2018). Sugar and cocoa: sweet synergy or bitter antagonisms. Formulating cocoa and chocolate products for health: a narrative review. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 53, Issue 1, pp. 33–42). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13651>
- Nguyen, T. L. A., & Bhattacharya, D. (2022). Antimicrobial Activity of Quercetin: An Approach to Its Mechanistic Principle. *Molecules*, 27(8), 2494. <https://doi.org/10.3390/molecules27082494>
- Perea., Villamil, Tatiana Cadena-Cala, & Jenny Herrera-Ardila. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento.

- Perez, M., Lopez-Yerena, A., & Vallverdú-Queralt, A. (2021). Traceability, authenticity and sustainability of cocoa and chocolate products: a challenge for the chocolate industry. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 62, Issue 2, pp. 475–489). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1819769>
- Puchol-Miquel, M., Palomares, C., Barat, J. M., & Perez-Esteve, É. (2021). Formulation and physico-chemical and sensory characterisation of chocolate made from reconstituted cocoa liquor and high cocoa content. *LWT*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110492>
- Quiñones-Muñoz, T., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martinez, L. A., Morales-Castro, J., González-Laredo, R. F., & Medina-Torres, L. (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings Efecto del mezclado y temperado sobre las propiedades reológicas y de tamaño de partícula de coberturas de chocolate oscuro. *CyTA - Journal of Food*, 9(2). <https://doi.org/10.1080/19476337.2010.482748>
- Rouhi, M., Mohammadi, R., Mortazavian, A. M., & Sarlak, Z. (2015). Combined effects of replacement of sucrose with d-tagatose and addition of different probiotic strains on quality characteristics of chocolate milk. *Dairy Science and Technology*, 95(2), 115–133. <https://doi.org/10.1007/S13594-014-0189-Y/FIGURES/3>
- Roy, S., Chikkerur, J., Roy, S. C., Dhali, A., Kolte, A. P., Sridhar, M., & Samanta, A. K. (2018). Tagatose as a Potential Nutraceutical: Production, Properties, Biological Roles, and Applications. In *Journal of Food Science* (Vol. 83, Issue 11, pp. 2699–2709). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14358>
- Samanta, S., Sarkar, T., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M. A., Thiruvengadam, M., & Rengasamy, K. R. R. (2022). Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. In *Current Research in Food Science* (Vol. 5, pp. 1916–1943). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>
- Selvasekaran, P., & Chidambaram, R. (2021). Advances in formulation for the production of low-fat, fat-free, low-sugar, and sugar-free chocolates: An overview

- of the past decade. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 113, pp. 315–334). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.008>
- Shourideh, M., Taslimi, A., Azizi, M., & Mohammadifar, M. (2012). Effects of D-Tagatose and Inulin on Some Physicochemical, Rheological and Sensory Properties of Dark Chocolate. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2(5), 314–319. <https://doi.org/10.7763/ijbbb.2012.v2.124>
- Tafurt, G., Suarez, O., Lares, M. del C., Álvarez, C., & Liconte, N. (2020). Capacidad antioxidante de un chocolate oscuro de granos cacao orgánico sin fermentar. *Revista Digital de Postgrado*, 10(1). <https://doi.org/10.37910/rdp.2021.10.1.e280USFDA>. (2013). GRAS notice inventory No443. In *GNR* (Issue 443).
- Wickramasuriya, A. M., & Dunwell, J. M. (2018). Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal*, 16(1), 4–17. <https://doi.org/10.1111/pbi.12848>
- Wong, K. Y., Thoo, Y. Y., Tan, C. P., & Siow, L. F. (2024). Effect of alternative sweetener and carbohydrate polymer mixtures on the physical properties, melting and crystallization behaviour of dark compound chocolate. *Food Chemistry*, 431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137118>
- Zamora, Espinoza, & Sanchez. (2021). *Reología y Viscosidad de los Alimentos*

ANEXOS

Anexo 1. Pesado de ingredientes para la formulación de chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



Anexo 2. Refinado de la pasta de cacao para formulación de chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



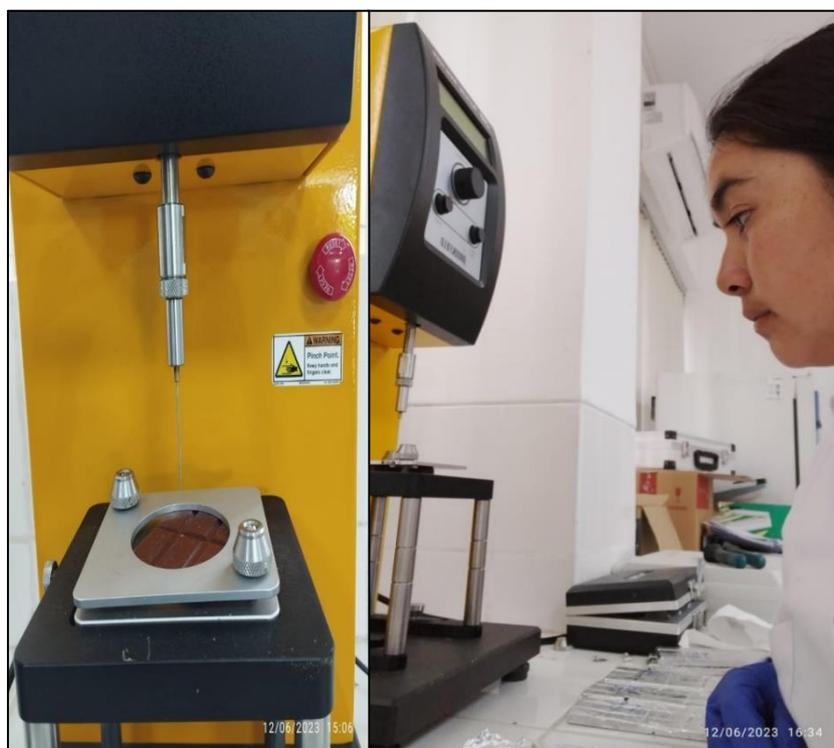
Anexo 3. Templado y moldeado del chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



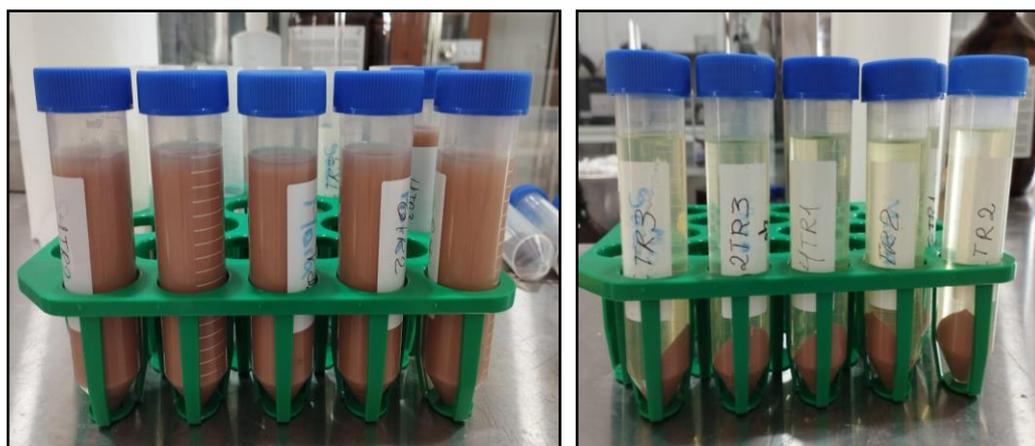
Anexo 4. Barras de chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



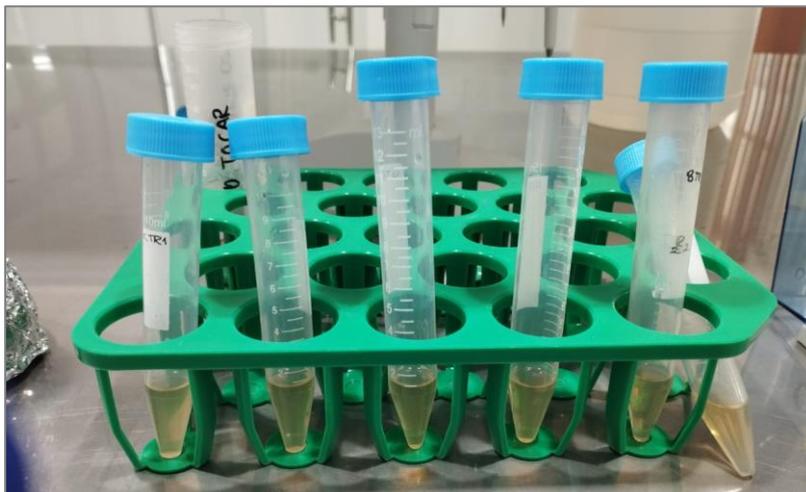
Anexo 5. Evaluación de la dureza, del chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



Anexo 6. Desgrasado de los chocolates con leche sustituido parcialmente por D-tagatosa



Anexo 7. Extracto de la muestra de los chocolates con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



Anexo 8. Evaluación de la capacidad antioxidante y fenoles totales de chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



Anexo 9. Evaluación reológica del chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.



Anexo 10. Evaluación sensorial de chocolate con leche sustituido parcialmente con D-tagatosa.

