



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**  
**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

---

**“IMPACTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR  
EDULCORANTES NATURALES SOBRE LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS, SENSORIALES Y  
ANTIOXIDANTES EN GALLETAS ENRIQUECIDAS CON  
PROTEÍNA”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**JIMENA CASTRO PALAFOX**

**DIRECTOR:**

**DR. CÉSAR OZUNA LÓPEZ**

**JUNIO DE 2022**



"290 años de excelencia educativa".  
"2022 Año del Festival Internacional Cervantino, 50 años de diálogo cultural".

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA.

C.

DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR,  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
CAMPUS IRAPUATO - SALAMANCA,  
P R E S E N T E.

En relación al trabajo de titulación de la C. **JIMENA CASTRO PALAFOX**, nos permitimos comunicar a Usted que el trabajo de Tesis: **"IMPACTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SACAROSA POR EDULCORANTES NATURALES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, SENSORIALES Y ANTIOXIDANTES EN GALLETAS ENRIQUECIDAS CON PROTEÍNA"**, que fue desarrollado bajo la Dirección del Dr. César Ozuna López, Profesor de la División de Ciencias de la Vida, ha sido terminado. El escrito fue revisado por la Dra. María Elena Sosa Morales y el Dr. Everardo Mares Mares, profesores de la División de Ciencias de la Vida, se ha autorizado la impresión y empastado del mismo.

Así mismo nos permitimos proponer la integración del Jurado a los señores:

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES  
DR. EVERARDO MARES MARES  
DR. CÉSAR OZUNA LÓPEZ

PRESIDENTE  
SECRETARIO  
VOCAL

ATENTAMENTE  
Irapuato, Gto., 2 de Junio de 2022.

DR. CÉSAR OZUNA LÓPEZ  
**DIRECTOR**

**REVISOR**

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES

**REVISOR**

**REVISOR**

DR. EVERARDO MARES MARES

**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao:  
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.  
Tel. y Fax: 462 624 18 89.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. ANTECEDENTES .....	13
2.1 Edulcorantes y su clasificación .....	13
2.2 Uso de edulcorantes frente a la problemática de salud causada por el consumo de sacarosa .....	14
2.3 Galletas.....	15
2.3.1 Generalidades.....	15
2.3.2 Galletas enriquecidas .....	16
2.4 Funcionalidad de los ingredientes base para la elaboración de galletas enriquecidas con proteína.....	17
2.4.1 Harina de trigo.....	17
2.4.2 Grasa.....	18
2.4.3 Azúcar .....	18
2.4.4 Huevo .....	19
2.4.5 Leche.....	19
2.4.6 Proteína de suero de leche.....	20
2.5 Capacidad de los edulcorantes naturales para reducir sacarosa en galletas. ....	20
2.5.1 Glucósidos de esteviol .....	24
2.5.2 Fruto del monje .....	25
2.5.3 Jarabe de agave .....	27
2.5.4 Jarabe de glucosa.....	28
3. Justificación .....	31
4. OBJETIVOS.....	33
4.1 Objetivo general .....	33
4.2 Objetivos particulares.....	33

5. HIPÓTESIS.....	34
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
6.1 Elaboración de la galleta enriquecida con proteína.....	35
6.2 Determinación de las propiedades físicas .....	37
6.2.1 Sólidos solubles totales (°Bx).....	37
6.2.2 pH .....	37
6.2.3 Pérdida de peso durante el horneado.....	37
6.2.4 Determinación de contenido de humedad .....	38
6.2.5 Textura.....	38
□ Prueba de corte de la masa de galleta .....	38
□ Prueba de penetración de la masa de galleta .....	39
□ Prueba de dureza en galletas .....	39
6.2.6 Análisis de color .....	39
6.3 Determinación de las propiedades bioactivas y capacidad antioxidante .....	40
6.3.1 Obtención de extractos .....	40
□ Extracto de edulcorante .....	40
□ Extracto de galleta.....	41
6.3.2 Compuestos fenólicos totales (CFT).....	41
□ Edulcorante .....	41
□ Galleta .....	42
6.3.3 Capacidad antioxidante (Método de inhibición del radical DPPH).....	42
□ Edulcorante .....	42
□ Galleta .....	42
6.4 Análisis sensorial.....	43
6.5 Análisis estadístico.....	43
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44

7.1	Efecto de la adición de proteína de suero aislada en las propiedades físicas y sensoriales de galletas endulzadas con sacarosa .....	44
7.1.1	Propiedades fisicoquímicas .....	44
7.1.2	Color .....	46
7.1.3	Textura .....	47
7.1.4	Análisis sensorial .....	50
7.2	Caracterización de los edulcorantes naturales (color, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante) .....	51
7.2.1	Color .....	51
7.2.2	Compuestos fenólicos totales .....	53
7.3	Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre las propiedades físicas y sensoriales de galletas entiquecidas con proteína .....	58
7.3.1	Propiedades fisicoquímicas .....	58
7.3.2	Color .....	61
7.3.3	Textura .....	62
7.3.4	Análisis sensorial .....	66
7.4	Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre el contenido de compuestos fenolicos totales y capacidad antioxidante de galletas entiquecidas con proteína.....	68
7.4.1	Compuestos fenólicos totales.....	68
7.4.2	Método de inhibición del radical DPPH .....	70
8.	CONCLUSIONES .....	72
9.	REFERENCIAS.....	74

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación de edulcorantes (Dugan et al., 2019).....	14
<b>Cuadro 2.</b> Estudios de galletas enriquecidas con diversas fuentes de proteína.....	16
<b>Cuadro 3.</b> Poder edulcorante (PE) de cada endulzante a utilizar para la elaboración de galletas enriquecidas con proteína.....	22
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de los sustitutos de sacarosa en la calidad final de las galletas. ....	22
<b>Cuadro 5.</b> Recopilación de estudios de determinación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en edulcorantes. ....	29
<b>Cuadro 6.</b> Formulaciones de los tratamientos empleados para la elaboración de las galletas. Cantidades expresadas en porcentaje panadero.....	35
<b>Cuadro 7.</b> Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en las propiedades fisicoquímicas de una galleta elaborada a base de harina de trigo. ....	44
<b>Cuadro 8.</b> Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en las propiedades cromáticas de una galleta elaborada a base de harina de trigo.....	46
<b>Cuadro 9.</b> Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en los parámetros texturales de la masa de galleta y las galletas a base de harina de trigo.....	48
<b>Cuadro 10.</b> Propiedades cromáticas de los edulcorantes naturales utilizados. ....	52
<b>Cuadro 11.</b> Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en las propiedades fisicoquímicas de una galleta elaborada a base de harina de trigo. ....	59
<b>Cuadro 12.</b> Efecto de la sustitución de sacarosa en las propiedades cromáticas de una galleta elaborada a base de harina de trigo. ....	61
<b>Cuadro 13.</b> Efecto de la sustitución de sacarosa en los parámetros texturales de la masa de galleta y las galletas elaboradas a base de harina de trigo.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Planta herbácea <i>Siraiitia Grosvenorii</i> .....	26
<b>Figura 2.</b> Gráfico de araña en donde se observa el efecto que generó la adición de proteína sobre las propiedades sensoriales de una galleta a base de harina de trigo utilizando una escala hedónica estructurada de 7 puntos.....	51
<b>Figura 3.</b> Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de los diferentes edulcorantes naturales empleados en esta investigación. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p<0.05$ ) entre los edulcorantes empleados. ....	53
<b>Figura 4.</b> Capacidad antioxidante de los diferentes edulcorantes naturales empleados en esta investigación. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p<0.05$ ) entre los edulcorantes empleados.....	56
<b>Figura 5.</b> Impacto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en las propiedades sensoriales de una galleta enriquecida con proteína utilizando una escala hedónica estructurada de 7 puntos. ....	66
<b>Figura 6.</b> Contenido de compuestos fenólicos totales en las diferentes galletas enriquecidas con proteína. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p<0.05$ ) entre los tratamientos. ....	68
<b>Figura 7.</b> Capacidad antioxidante en las diferentes galletas enriquecidas con proteína. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p<0.05$ ) entre los tratamientos.....	70

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por mantenerme con salud y brindarme fortaleza para concluir este proyecto.

A mis padres por los valores que me han inculcado, por guiarme y por estar para mí incondicionalmente. Por darme la oportunidad de estudiar esta carrera y por ser mi ejemplo de vida.

A mis hermanos por apoyarme y creer en mí.

A mi director de tesis, el Dr. Cesar Ozuna López, por acompañarme en este proceso con sus recomendaciones, retroalimentación, paciencia y sobre todo su tiempo.

A la MB. Elizabeth Nieto Mazzoco por haber compartido conmigo sus conocimientos, consejos y apoyo.

A mis sinodales, la Dra. Ma. Elena Sosa Morales y el Dr. Everardo Mares Mares por sus valiosas observaciones y sus conocimientos brindados a lo largo de la carrera.

A todos mis profesores por ser parte importante de mi formación académica.

A Hugo, por ser mi soporte y llenar mi vida de alegría.

A mis amigos, por confiar en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

A la Universidad de Guanajuato por ser mi casa de estudios y permitirme ser parte de ella durante estos años.

## RESUMEN

Los edulcorantes naturales son aditivos alimentarios desarrollados para sustituir y/o mimetizar los azúcares y al mismo tiempo proporcionan diversas ventajas funcionales y nutricionales, son ampliamente usados como sustitutos de la sacarosa en la industria de la panificación. La demanda de producir alimentos funcionales que contienen compuestos bioactivos ha ido aumentando, por lo que es importante desarrollar productos panificables como las galletas, que, por su variada composición, pueden ser un vehículo potencial para el suministro de estos compuestos. Los estudios que abordan las propiedades físicas y los efectos de los edulcorantes en galletas son escasos, así como reportes que revisen y describan de mejor manera los componentes bioactivos y la capacidad antioxidante de ellos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que ejerce reemplazar la sacarosa por sustitutos de origen natural sobre las propiedades bioactivas, antioxidantes, físicas y sensoriales de una galleta, así como la incorporación de proteína de suero de leche aislada como ingrediente funcional en su formulación y su impacto en las propiedades físicas y sensoriales.

Para evaluar el impacto de la adición de proteína de suero de leche en una galleta se realizaron 2 formulaciones: T0 (galleta sin proteína), y T1 (galleta con proteína); en ambos tratamientos se utilizó sacarosa como edulcorante. Mientras que, para analizar los efectos de la sustitución de sacarosa por sustitutos de origen natural, se realizaron 5 formulaciones de galletas enriquecidas con proteína,

teniendo como endulzantes el T1 (sacarosa), T2 (jarabe de agave), T3 (glucosa-63), T4 (glucósidos de esteviol) y T5 (fruto del monje).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la adición de proteína hidrolizada de suero de leche incrementó el pH a 6.44, los SST a 3.73 °Bx, el contenido de humedad un 59% y el peso disminuyó un 36%. Los parámetros de color L\* (luminosidad) y el ángulo hue disminuyeron en un 10% y 8% respectivamente. mientras que C\* (saturación) aumentó con un valor de 43.56. En cuanto a la textura, las galletas presentaron valores de dureza de 13.06 N y la masa tuvo una menor elasticidad y cohesividad. Respecto a los parámetros sensoriales, la apariencia y color no presentaron cambios significativos ( $p>0.05$ ) mientras que para sabor, consistencia y aceptabilidad general sí, obteniendo puntuaciones muy bajas por parte de los panelistas.

Por otro lado, al evaluar el efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales, el pH se encontró en un rango de 6 a 6.5, mientras que los sólidos solubles totales oscilaron en un rango de 0.76 a 3.73 °Bx. Se obtuvo que las galletas endulzadas con fruto del monje fueron las más oscuras presentando valores de tono o matiz (ángulo hue) y croma de  $37.63 \pm 1.53$  y  $73.02 \pm 3.66$  respectivamente, al mismo tiempo estas galletas mostraron el mayor contenido de CFT y CA con valores de  $5.35 \pm 0.2$  mg EAG/g PS y  $5.42 \pm 0.08$  mg ET/g PS respectivamente. Finalmente, en cuanto al análisis sensorial, las galletas mejor evaluadas en cuanto a color, consistencia y aceptabilidad general fueron las elaboradas con sacarosa, glucosa 63 y jarabe de agave.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el interés por desarrollar alimentos sin azúcares añadidos ha ido aumentando. Esto es debido a que el consumo elevado de la sacarosa y productos procesados que contienen Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (JMAF) se relacionan directamente con el riesgo de padecer sobrepeso y sus comorbilidades. En este sentido, la diabetes es una enfermedad crónica degenerativa tan común que se relaciona con el sobrepeso y la obesidad siendo ésta una de las mayores causas de mortalidad en México (Beaubien, 2017) seguido por la COVID-19 (INEGI, 2020), una enfermedad causada por el síndrome respiratorio agudo severo por coronavirus 2 (SARS-CoV-2) (OMS, 2021).

El JMAF es un edulcorante líquido derivado del almidón de maíz y se usa mayormente en productos procesados, especialmente en panificación. Además, el JMAF tiene una alta capacidad fermentativa, higroscopicidad y alta presión osmótica lo que contribuye a la inhibición del crecimiento de microorganismos y al aumento de la vida de anaquel (Flores Vega & Gutiérrez Muñoz, 2021).

El uso de JMAF ha reemplazado a otros edulcorantes y, para el año 2014, la industria ya lo adicionaba a una gran cantidad de productos de consumo frecuente en México (Rodríguez et al., 2014) produciendo y promoviendo su consumo. La importancia de esto ha llevado al desarrollo de un gran mercado encontrando entre las distintas opciones la forma de reemplazar el azúcar añadido de los alimentos por edulcorantes, ya sean naturales o sintéticos (Gao et al., 2019; Yildiz & Gocmen,

2020; Woodbury et al., 2021; Borczak et al., 2021), pues se ha demostrado su efecto sobre el apetito y el consumo energético, así como el papel de éstos en la dieta.

Se han desarrollado muchos edulcorantes artificiales, pero hoy en día la demanda se centra en los edulcorantes naturales, esta tendencia se debe no sólo a la creciente preocupación de los consumidores por los efectos nocivos de una dieta alta en azúcar, sino también a los problemas derivados del empleo de aditivos alimentarios artificiales (Ruiz-Ojeda et al., 2019). Cabe destacar que, además de endulzar y ser bajos en calorías, estos compuestos pueden influir en el color, el sabor, la textura y la vida útil de un producto (Serra-Majem et al., 2018). Se utilizan con frecuencia en la industria alimentaria por las ventajas funcionales y nutricionales que ofrecen respecto a la sacarosa como la reducción del punto de congelación de un postre congelado, de la reacción de Maillard (Por ejemplo, en productos panaderos) o una asimilación más lenta (Saraiva et al., 2020).

En la actualidad, los productos de panadería se consumen en grandes cantidades. Dentro de la gran variedad que existe, las galletas son consideradas como un alimento de consumo masivo (Barco, 2019) y se caracterizan por tener una gran cantidad de azúcar, grasa y un bajo contenido de agua, por lo que su vida útil es prolongada (Martínez y Aguirre, 2019). Debido a que estos productos son consumidos en cualquier momento del día, es importante que se generen galletas que tengan cierto valor nutrimental o funcional y que, al mismo tiempo, contengan edulcorantes de origen natural (Tang & Liu, 2017; Bravo-Núñez et al., 2017; Sahagún & Gómez, 2018; Calle-Domínguez et al., 2021).

## **2. ANTECEDENTES**

### ***2.1 Edulcorantes y su clasificación***

La industria alimentaria ha desarrollado y suministrado sustancias alternativas al uso de la sacarosa, denominadas sustitutos de sacarosa, edulcorantes artificiales, edulcorantes naturales y edulcorantes intensivos (Mérillon & Gopal Ramawat, 2018).

Los sustitutos de sacarosa son sustancias capaces de sustituir el dulzor que produce el azúcar de mesa (sacarosa) al mismo tiempo que proporcionan ventajas tales como ser hipocalóricos, no aportar efectos glicémicos y tener un poder edulcorante superior a la sacarosa disminuyendo así la densidad calórica en alimentos y bebidas (Cruz Guevara et al., 2018).

Los edulcorantes se pueden clasificar de diferentes formas, una de ellas es en función de su aporte energético, clasificados como: calóricos, bajos en calorías o no calóricos. También se puede clasificar como ha establecido la Agencia de Medicamentos y Alimentación de EE. UU. (FDA) en: nutritivos y no nutritivos. Por otro lado, existe otra clasificación en función de su origen: natural o sintético, que es la que se presenta en el Cuadro 1 (Dugan et al., 2019).

**Cuadro 1.** Clasificación de edulcorantes (Dugan et al., 2019).

<b>CLASIFICACIÓN DE EDULCORANTES</b>			
<b>CALÓRICOS</b>	<b>Naturales</b>	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa, trehalosa, tagatosa.
		Edulcorantes	Miel, jarabe de agave, jarabe de sorgo, jarabe de glucosa.
	<b>Artificiales</b>	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alta fructosa, caramelo, azúcar invertido.
		Alcoholes del azúcar	Sorbitol, xilitol, manitol, eritritol, maltitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol.
<b>ACALÓRICOS</b>	<b>Naturales</b>	Edulcorantes naturales sin calorías	Fruto del monje, stevia, taumatina, pentadina, monelina, brazzeína.
	<b>Artificiales</b>	Edulcorantes artificiales	Aspartamo, sucralosa, sacarina, neotamo, acesulfame K, ciclamato, neohesperidina DC, alitamo, advantamo.

## ***2.2 Uso de edulcorantes frente a la problemática de salud causada por el consumo de sacarosa***

Actualmente, las tasas de diabetes, sobrepeso y obesidad han ido aumentando en mujeres, adolescentes y niños (Shamah-Levy et al., 2019) y con ello, el riesgo de padecer afecciones cardiovasculares, las cuales fueron la principal causa de muerte en el periodo de enero a agosto de 2020 en México (INEGI, 2020). Se ha demostrado en varios estudios que la diabetes y la obesidad agravan la enfermedad COVID-19 en los pacientes (Bello-Chavolla, 2020; Guan et al., 2020).

La alta incidencia de obesidad, diabetes y los pronósticos críticos de la enfermedad COVID-19 en México está ligada al aumento significativo del consumo

de dietas ricas en carbohidratos, azúcares y grasas, combinado con el sedentarismo y la falta de ejercicio (Singer, 2020). Por ello, el uso de edulcorantes en especial los de origen natural constituyen hoy una alternativa a la sacarosa pues es un elemento restringido para los pacientes diabéticos y se limita a los pacientes con obesidad (Laviada Molina et al., 2018).

## **2.3 Galletas**

### **2.3.1 Generalidades**

Las galletas se definen como el producto alimenticio obtenido a partir de la combinación y mezcla de harina de trigo o con mezclas de harinas, pueden o no contener azúcares y grasas en su formulación, y otros aditivos permitidos seguido de un proceso de amasado y de horneado (León-Méndez et al., 2020). La composición nutricional dependerá del tipo de galleta a elaborar, ya sea dulce o salada (Hernández, 2010) y de los ingredientes que se le agreguen (Kolawole et al., 2018).

Las galletas constituyen uno de los productos de panadería más versátiles y de mayor demanda, por lo que hoy en día, son consideradas de primera necesidad debido a la gran aceptación principalmente de los niños (Gómez-Zaldívar et al., 2018). Este hecho es debido a que es un alimento con buen aporte nutricional para el organismo ya que se componen de un alto contenido de hidratos de carbono, proteínas y grasas permitiendo saciar el hambre y brindar energía (Kochanski et al., 2017).

### 2.3.2 Galletas enriquecidas

Las galletas poseen ventajas que las diferencian de otros alimentos ya que éstas tienen potencial para ser enriquecidas con compuestos de interés por poseer una larga vida útil y ser altamente palatables (Mejía, 2009).

La adición de proteína de suero de leche ha sido propuesta como una alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales, ya que incrementa el aporte de proteína a nuestra dieta. Por tal motivo, en diversas investigaciones se ha decidido evaluar los efectos físicos y sensoriales que causa la adición, sustitución o enriquecimiento con proteína vegetal o animal a galletas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Estudios de galletas enriquecidas con diversas fuentes de proteína.

<b>Estudios en galletas</b>	<b>Impacto tecnofuncional</b>	<b>Referencia</b>
Adición de aislado de proteína de soya	Buena puntuación en atributos sensoriales, ↑ contenido de proteínas y fibra dietética.	Calle Domínguez et al. (2021)
Sustitución de la harina de trigo por proteína de guisante, papa, clara de huevo y suero	Proteína de guisante: sensorialmente mejor aceptabilidad.	Sahagún & Gómez (2018)
Sustitución de la harina de trigo por altos niveles (15%, 30% y 45%) de gluten o proteínas de gluten hidrolizado	Proteína de gluten: ↓ extensión y ↑ dureza, aceptabilidad visual. Proteína de gluten hidrolizada: ↑ extensión, galletas oscuras y menos duras, mal sabor.	Bravo-Núñez et al. (2018)

Reemplazo parcial de harina de trigo con proteína de suero de leche y proteína de soya	Suero de leche: ↓ calidad de la masa y galletas. Proteína de soya: ↑ elasticidad y extensibilidad de la masa, ↑ aceptabilidad general.	Tang & Liu (2017)
Adición de proteína de suero de leche concentrado	La adición del 4% de proteína: características sensoriales, de textura y nutricionales aceptables.	Wani et al. (2015)

**Abreviaciones:** ↓ Disminución; ↑ Incremento.

## ***2.4 Funcionalidad de los ingredientes base para la elaboración de galletas enriquecidas con proteína***

### **2.4.1 Harina de trigo**

Debido a que la harina de trigo es el principal componente, se agrupan en ella todos los ingredientes minoritarios para formar la masa y por su contenido de proteínas y almidón les proporciona a las galletas las características de textura, consistencia, estructura y sabor (Martínez-Cervera, 2013). El gluten es la principal estructura proteica presente en harinas que se usan en la preparación de diferentes productos de panadería, es responsable de las características elásticas de la masa y contribuye a la apariencia y estructura de la miga de muchos productos horneados (Gallagher et al., 2004).

En la elaboración de galletas, cuando las harinas presentan una baja absorción de agua, el azúcar tiende a retener más agua, incrementando de esta manera la proporción de azúcar disuelta en la masa, lo que origina una disminución de la viscosidad de la masa durante la cocción y como consecuencia, las masas incrementan su capacidad de extensión (Slade y Levine, 1994). Para lograr una

masa adecuada de galleta, es necesario que ésta pueda incorporar y retener una gran cantidad de gas (Cabeza-Rodríguez, 2009).

#### **2.4.2 Grasa**

En el desarrollo de galletas, las grasas son un ingrediente esencial, pues ocupan el segundo lugar en peso e importancia para su elaboración después de la harina. La grasa es un ingrediente muy versátil ya que contribuye a añadir aire y suavizar la masa durante el batido, haciendo que adquiera consistencia, lubricidad y volumen, que tenga mayor punto de fusión y prolongue su vida útil (Rodríguez-García, 2014). En cuanto al sabor y aroma, la grasa evita la sensación de sequedad en la boca y debido a su comportamiento lipofílico provoca diversos aromas (Martínez-Cervera, 2013).

#### **2.4.3 Azúcar**

En los productos panificables, el azúcar es un ingrediente difícil de sustituir, ya que, además de proporcionar dulzor añade volumen, textura y color al producto final durante el horneado (Gao et al., 2016), también aumenta el periodo de vida en anaquel. Además, provoca la fricción entre los gránulos de azúcar y las burbujas de aire que producen la grasa, facilitando que la masa suba durante el horneado (O'Sullivan, 2020).

La dureza de la masa de galletas está relacionada con las interacciones azúcar-agua y el desarrollo del gluten pues durante el amasado se produce una hidratación y ruptura de los cuerpos proteicos que conforman al gluten, lo que da

lugar a la formación de una red tridimensional y continua (Gómez Pallarés et al., 2006). El tipo de azúcar empleado afecta las propiedades texturales de las galletas, por lo tanto, al sustituirla es esencial modificar la formulación para lograr las características de viscosidad, elasticidad, adhesión, etc. adecuadas en la masa y en el producto final.

#### **2.4.4 Huevo**

El huevo es un ingrediente importante en la industria de las galletas por su efecto leudante ya que incorpora y retiene aire durante el batido proporcionando estructura en las masas, también modifica o mejora el sabor y contribuye al color de la corteza (Hui, 2006), mejora la crocancia, el aroma y durante el incremento de temperatura las proteínas presentes principalmente en la clara coagulan dando estructura y propiedades finales de la galleta (Badui-Dergal, 2019) mientras que la yema por sus propiedades emulsificantes produce masas tersas y forma una espuma durante el batido lo que permite retener más aire (Wilderjans et al., 2013).

#### **2.4.5 Leche**

Se sustituye en la formulación en vez de agua; contribuye al sabor, aporta un valor nutricional por sus proteínas, vitaminas y calcio, disuelve el azúcar durante el batido y horneado de la masa (Rodríguez et al., 2013) e influye en la textura de la galleta. Durante el horneado ocurren reacciones de pardeamiento debido a la presencia de aminoácidos de la leche obteniéndose el color y aroma deseado (Qian et al., 2017).

#### **2.4.6 Proteína de suero de leche**

Las proteínas de suero de leche suponen poco más del 25% de las proteínas de la leche de vaca, éstas juegan un papel nutritivo importante por su alta concentración de aminoácidos de cadena ramificada y de aminoácidos esenciales. Además, contiene varios péptidos y fragmentos de proteína que pueden mejorar la salud en general (Galdámez Gutiérrez et al., 2009).

La proteína de suero de leche aislada se somete a un proceso de ultrafiltración más fino lo que le proporciona un grado de pureza y una mejor asimilación en el organismo de quien la consuma en comparación con la proteína de suero de leche concentrada. Su contenido de proteína es de al menos el 90%, posee un contenido residual de hidratos de carbono y grasa siendo el suplemento ideal para las personas intolerantes a la lactosa y una mejor elección para los diabéticos y deportistas.

En general, el contenido en proteínas de las galletas es bajo por lo que actualmente se ha estudiado e implementado la adición de proteína de suero de leche en su elaboración debido a su alto valor nutricional, su gran aceptación y larga vida útil (Gani et al., 2015; Marques et al., 2016; Fernández et al., 2016; Sahagún & Gómez, 2018).

#### ***2.5 Capacidad de los edulcorantes naturales para reducir sacarosa en galletas.***

Los problemas de salud asociados al consumo de productos de panificación altos en azúcares han ido incrementando. Por lo que, se han posicionado en el mercado

las galletas sin azúcares añadidos, implementando estrategias de reducción del azúcar mediante el uso de edulcorantes naturales o sintéticos (Cruz Guevara et al., 2018; Barbosa-Martín et al., 2018; Jara Castrejón, 2019; Chonata Orozco, 2020).

Para reemplazar el azúcar se emplean compuestos como sustitutos que actúan como edulcorante o como agente de carga, o una sinergia de estos dos (Martínez-Cervera, 2013). Lo complicado está en elegir el edulcorante adecuado puesto que, debe cumplir con ciertos requisitos para que pueda ser utilizado, de los cuales destacan: producir un sabor dulce y que éste sea percibido inmediatamente, que pueda degradarse rápidamente, que sea hipocalórico o su aporte sea sensiblemente más bajo al de la sacarosa.

Otra de las características importantes es que, para mantener sus cualidades al ser combinado con otros alimentos, debe ser lo suficientemente estable y al ser procesado debe mantener su estabilidad térmica (Alonso, 2010). Estos requisitos deben ser tomados en cuenta, puesto que, el mal o buen uso de un edulcorante puede afectar o beneficiar la calidad final de una galleta o de cualquier producto panificable.

El poder edulcorante (PE) de un azúcar se determina en relación con la sacarosa, el azúcar de referencia (a una solución de 30 g/L a 20°C se le asigna un poder edulcorante = 1), el Cuadro 3 muestra el poder edulcorante (PE) de cada endulzante a utilizar respecto a la sacarosa.

**Cuadro 3.** Poder edulcorante (PE) de cada endulzante a utilizar para la elaboración de galletas enriquecidas con proteína.

<b>TIPO DE EDULCORANTE</b>	<b>PE (sacarosa=1)</b>
Glucósidos de esteviol	275
Fruto del monje	250
Glucosa-63	0.6
Jarabe de agave	1.48

En el Cuadro 4 se presentan algunos estudios sobre el efecto en la calidad que ejercen distintos edulcorantes utilizados en galletas.

**Cuadro 4.** Efecto de los sustitutos de sacarosa en la calidad final de las galletas.

<b>Producto</b>	<b>Nombre del edulcorante</b>	<b>RA evaluado</b>	<b>Parámetros físicos y sensoriales</b>	<b>Referencia</b>
Galletas	Stevia en polvo	5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8%	Sensoriales: Aceptación (7% RA) Físicos: Alteraciones en textura, color y sabor. ↑ contenido de fibra y proteínas.	Gupta et al. (2017)
Galletas	Glucósidos de esteviol	25%, 50% 75% y 100%	Sensoriales: Aceptación (25% RA) mejor color, porosidad y calidad; deterioro en sabor (100% RA). Físicos: ↑ dureza, ↓ elasticidad (75%RA); ↑ color y humedad (100% RA).	Karp et al. (2017)

Galletas	Agavinas de <i>Agave angustifolia</i>	10%, 20% y 30%	Sensoriales: (10% y 20% RA) buen color y mejor apariencia que el control. Físicos: (10 y 20% RA) CNS en textura, (30% RA) menos crujientes y más duras	Santiago-García et al. (2017)
Galleta tipo María	Extracto de Stevia y miel de agave	NR	Físicos: CS siendo ↑ en aquellos elaborados con miel de agave.	Cruz Guevara et al. (2018)
Galletas de avena y chocolate	Stevia en polvo	2% y 2.5%	Sensoriales: Aceptación (2.5% RA) por ↑ dulzor y ↑ contenido en fibra. Físicos: 2 y 2.5% RA buen contenido nutricional, estabilidad y conservación.	Barbosa-Martín et al. (2018)
Galletas bajas en sacarosa	<i>Stevia rebaudiana</i> en polvo	0%, 50% y 100%	Sensoriales: Aceptación (50% RA). Físicos: 100% RA ↓ volumen, textura endurecida y ↑ de humedad.	Gao et al. (2019)
Galletas sin gluten	Stevia	0%, 30% y 100%	Físicos: ↓ contenido de humedad, ↑ contenido de cenizas, proteínas, grasas y fibra dietética, ↑ fenoles totales.	Yildiz & Gocmen, (2020)
Galletas	Fruto del monje, jarabe de agave azul, azúcar de coco y jarabe de dátil	NR	Físicos: azúcar de coco y jarabe de dátil efectos similares a sacarosa en gelatinización e hinchamiento del almidón.	Woodbury et al. (2021)

Galletas sin azúcar	Glucósidos de esteviol	25%, 50%, 75% y 100%	Físicos: CS en la composición química, la digestibilidad del almidón y la actividad reductora total.	Borczak et al. (2021)
---------------------	------------------------	----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------

**Abreviaciones:** RA: Reemplazo de azúcar; CNS: Cambios no significativos; CS: Cambios significativos; NR: No reportado; ↓ Disminución; ↑ Incremento.

### 2.5.1 Glucósidos de esteviol

Son compuestos que son extraídos a partir de la hoja de la especie *Stevia rebaudiana Bertoni* nativa de Paraguay, sur de Brasil y noreste de Argentina (Nuñez, 2011). Se componen por glucósidos aislados e identificados de los cuales los más importantes son el esteviósido que es el compuesto más abundante. Este presenta un poder edulcorante 300 veces más dulce que la sacarosa, pero tiene un sabor amargo. Por otro lado, el rebaudósido A es la segunda sustancia en abundancia, tiene un sabor agradable y es aproximadamente 180 a 400 veces más dulce que la sacarosa (Vázquez Hernández et al., 2017).

Los glucósidos de esteviol son una alternativa adecuada para diabéticos y se pueden usar en dietas hipocalóricas y de control de peso pues no aportan calorías y su consumo regular puede tener efectos beneficiosos para la salud (Das et al., 2017; Abdel-Fatt et al., 2018; Rojas et al., 2018; Carrera-Lanestosa et al., 2020). También parecen ser un buen sustituto del azúcar debido a sus propiedades tecnológicas y funcionales como el dulzor que pueden ofrecer a los productos horneados, la estabilidad a altas temperaturas (hasta 200 °C), inhiben el crecimiento

del moho y el color de los alimentos no cambia durante la cocción (Stefan et al., 2019; Tao & Cho, 2020).

Algunos estudios demuestran exitosamente la aplicación de los glucósidos de esteviol como sustituto de la sacarosa en productos de panadería. Vatankhah et al. en 2017 demostraron que la sustitución de la sacarosa por esteviósido (50 y 100%) en el pan dulce no afectó las características fisicoquímicas y sensoriales del producto en comparación con la composición tradicional (100% de sacarosa), mientras que en el estudio de Bukolt et al. en 2019 mencionaron que la sustitución de la sacarosa por glucósidos de esteviol en el nivel de 25, 33, 50 y 66% en galletas de avena no afectó a su calidad sensorial y la adición del 100% contribuyó a una baja sensorial en términos de sabor, color, aspecto, textura y aceptabilidad y la aceptabilidad general. Sus propiedades antioxidantes fueron aprovechadas para elaborar un pan de trigo funcional (Ruíz et al., 2015).

### **2.5.2 Fruto del monje**

La *Siraitia grosvenorii*, es una planta herbácea perenne, originaria del sur de China (Figura 1). El fruto se conoce en China como Luo Han Guo o en inglés Monk fruit (fruta del monje) (Świąder et al., 2019). Contiene glucósidos triterpénicos de tipo cucurbitánico conocidos como mogrósidos, los cuáles son el principal componente bioactivo encontrado en la fruta del monje y son al mismo tiempo responsables del dulzor de la fruta (Shivani et al., 2021). Las sustancias endulzantes que se extraen en la fruta del monje son: siamenósido I, 11-oxomogrósido V, Mogrósido V,

Mogrósido Iva y Mogrósido IVe (Barrios-Fragoso, 2020). El consumo del fruto es seguro para los pacientes diabéticos pues favorece la respuesta a la insulina y mantiene un nivel normal de azúcar en la sangre (Gangoso et al., 2019) además de tener propiedades inmunológicas, hipoglucémicas, antioxidantes, actividades hepatoprotectoras y antimicrobianas (Li et al., 2014; Gong et al., 2019) y contiene diversos compuestos bioactivos que se consideran buenos para la salud.



**Figura 1.** Planta herbácea *Siraitia Grosvenori* (Świąder et al., 2019)

La información sobre el uso del fruto del monje para sustituir a la sacarosa en galletas es actualmente muy limitada; sin embargo, se ha reportado que el extracto del fruto del monje se puede utilizar en productos de panificación manteniendo la temperatura de horneado por encima de 150 °C (Zhou & Zhu, 2014). Shi et al. en 2009 desarrollaron un jarabe y una mermelada con el sabor natural de los extractos enteros de la fruta del monje y descubrieron que el jarabe desarrollado podría sustituir mejor al azúcar refinado en todo tipo formulaciones para endulzar, hornear y cocinar. Zhang & Li en 2017 descubrieron que el perfil de sabor del

extracto de mogrósido V es similar al del azúcar refinado y puede mezclarse con una variedad de alimentos y bebidas para realzar el dulzor. Turner en 2017 estudió el efecto de varios edulcorantes naturales comparando la composición del azúcar natural con el fruto del monje el cual mostró propiedades similares a las de la sacarosa durante determinadas pruebas de calidad. Hasta la fecha, los estudios sugieren un amplio alcance para utilizar el fruto del monje en alimentos y bebidas inclusive farmacéuticamente, pero hay muy pocos estudios disponibles en donde utilizan extracto o polvo de fruta del monje como sustituto de sacarosa para el desarrollo de productos panificables funcionales.

### **2.5.3 Jarabe de agave**

La Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-SAGARPA-2015 define al jarabe de agave como la sustancia dulce natural obtenida de la hidrólisis de los fructanos presentes en la planta de *Agave spp*, está compuesto por fructosa y fructooligosacáridos. Debido a sus propiedades prebióticas y efectos benéficos en la salud es de gran interés la especie *Agave Tequilana* variedad *Weber Azul* (Mellado-Mojica & López, 2015) pues se ha comprobado que debido a su bajo índice glucémico podría prevenir la obesidad y la diabetes mellitus tipo II (Santiago-García et al., 2017) ya que mantiene en equilibrio los niveles de glucosa en la sangre (Hooshmand et al., 2014). También se ha demostrado que tiene un potencial como suplemento alimenticio con carácter antioxidante (Olvera-García et al., 2014) y que, en menor medida contiene polifenoles, fructanos y fitonutrientes (St-Pierre et al., 2014).

Entre las aplicaciones tecnológicas del jarabe de agave en panificación se incluye como sustituto parcial o total de sacarosa, sustituto de grasa, sustituto de fibra y como modificador de textura y viscosidad (Santiago-García et al., 2017; Liang & Were, 2018; Čižauskaitė et al., 2019; Morales-Hernández et al., 2019). En algunos estudios se demuestra que el uso de jarabe y fructanos de agave puede utilizarse para mejorar algunas cualidades sensoriales y nutricionales de los productos de panificación. Ozuna et al. en 2020 desarrollaron muffins sustituyendo el 25%, 50%, 75% y 100% de la sacarosa por jarabe de agave y concluyeron que el porcentaje de sustitución de la sacarosa afectó a las propiedades reológicas y microestructurales de las masas y a los parámetros físicos analizados en los productos horneados. Santiago-García et al. en 2017 desarrollaron galletas con fructanos de *A. angustifolia* como sustituto de la mantequilla y mencionaron que los fructanos de agave pueden influir en la reología de la masa, microestructura y propiedades nutricionales. Morales-Hernández et al. en 2019 informaron que las masas con fructanos de agave tenían menos absorción de agua y mayor dureza, elasticidad y cohesividad que la masa control. Tras el horneado, las galletas con fructanos de agave eran más oscuras y presentan una corteza más brillante.

#### **2.5.4 Jarabe de glucosa**

La Norma del Codex para los azúcares CODEX STAN 212-1999 describe al jarabe de glucosa como una solución acuosa obtenida principalmente de la hidrólisis ácida o enzimática del almidón de maíz, de papa o de trigo y/o de la inulina. Éste se utiliza principalmente en la industria de la confitería (Abolanle Ajayi & Ikechukwu, 2021)

para el control de la cristalización y el granulado de la sacarosa, la reducción de la retención de humedad, la modificación del dulzor y la modificación de la textura (Aydemir et al., 2021). Sin embargo, no es usado comúnmente como edulcorante, pues siendo igualmente calórico que la sacarosa su poder edulcorante es mucho menor (Rodríguez, 2008).

El jarabe de glucosa ofrece propiedades alternativas al azúcar y algunos beneficios económicos (Hull, 2010; Wiley & Sons, 2010). El añadir jarabe de glucosa a las galletas aumenta la cantidad de humedad retenida y retarda el crecimiento de cristales de sacarosa (García-Martínez & Salmerón, 2016).

El Cuadro 5 muestra algunos estudios del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de distintos edulcorantes, no obstante, la composición puede depender del origen botánico de los edulcorantes y el procesamiento, así como a problemas de calidad del producto (Velázquez Ríos et al., 2018).

**Cuadro 5.** Recopilación de estudios de determinación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en edulcorantes.

<b>Edulcorante</b>	<b>Fenoles totales</b>	<b>DPPH</b>	<b>Referencia</b>
Jarabe de agave ( <i>A. tequilana</i> )	300.09±62.93 mg EAG/100 g PS	14.37±1.53%	Velázquez Ríos et al. (2018)
Jarabe de agave ( <i>A. salmiana</i> )	116.50±30.23 mg EAG/100 g PS	16.12±0.51%	

Miel de abeja	21.72±2.36 mg EAG/100 g PS	24.97±5.37%	
Jarabe de maíz	11.91±1.42 mg EAG/100 g PS	9.15±3.63%	
Jarabe de caña de azúcar	185.22±39.3 mg EAG/100 g PS	26.87±2.20%	
<i>Stevia rebaudiana</i>	21.52±0.069 mg EAG/g PS	33.12±0.212%	Dyduch-Siemińska et al. (2020)
Sacarosa	0.32±0.03 mg EAG/g PS	89.70±0.69%	Azlan et al. (2020)

**Abreviaciones:** EAG: Equivalente ácido gálico, PS: Peso seco.

### 3. Justificación

Los sustitutos de sacarosa son aditivos alimenticios utilizados para sustituir y/o mimetizar azúcares. Se ha comprobado que éstos pueden contribuir positivamente a la salud permitiendo disminuir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Actualmente, en México, alrededor del 73% de la población padece sobrepeso y obesidad (Gurría, 2020), esto es algo que se debe combatir, pues la Organización Mundial de la Salud reportó que cada año morían por esta causa casi 3 millones de personas. Hoy en día, la pandemia del COVID-19 ha vuelto a poner en la mira la importancia para generar estrategias que colaboren al decremento de las cifras pues estas enfermedades contribuyen al desarrollo de complicaciones por coronavirus.

La demanda de alimentos y bebidas que mejoren la salud o resulten beneficiosos ha ido aumentando, por lo que ha surgido la necesidad de producir alimentos funcionales que contienen compuestos bioactivos, pues éstos promueven una mejor calidad de vida mediante la reducción o prevención de enfermedades.

Por otro lado, el uso de edulcorantes naturales ha ido creciendo, durante décadas, se han utilizado para dar más sabor a los alimentos pues estos tienen una potencia edulcorante similar o menor a la de la sacarosa, y se utilizan normalmente para conferir a los productos alimenticios bajos en calorías una acción conservadora, volumen y textura (Shah & Jager, 2017). Los edulcorantes naturales engloban compuestos muy variados como azúcares, alcoholes de azúcar,

aminoácidos, proteínas, glucósidos terpenoides y algunos polifenoles (Cherón et al., 2019), pero sólo aquellos que poseen características como seguridad, buen sabor, alta estabilidad, buena solubilidad y coste razonable, se encuentran en el mercado como edulcorantes ampliamente utilizados entre ellos el jarabe de maíz, la glucosa-63, los glucósidos de esteviol y el fruto del monje.

Por todo lo anterior, es importante desarrollar productos panificables, como las galletas, pues debido a su variada composición se convierten en una opción viable en el ámbito de los alimentos funcionales pues son un vehículo potencial para el suministro de compuestos bioactivos que mejoren su funcionalidad biológica (Góngora Salazar et al., 2018), por lo que por ello, se quiere evaluar el efecto que ejerce la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales y como éstos impactan sobre las propiedades bioactivas, antioxidantes, físicas y sensoriales de una galleta, así como la incorporación de proteína como ingrediente funcional en su formulación.

Finalmente, pese a existir estudios que aborden las propiedades físicas y los efectos de los edulcorantes en galletas, todavía son escasos los trabajos que revisen y describan de mejor manera los componentes bioactivos y la capacidad antioxidante de ellos. Por tal motivo, es importante profundizar en el impacto que tienen los edulcorantes naturales sobre la calidad del producto final pues este hecho permitiría establecer los mejores parámetros para la elaboración de una galleta enriquecida con proteína de excelente calidad física, biológica, nutrimental y sensorial.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Investigar el efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en las propiedades físicas, sensoriales y antioxidantes de galletas enriquecidas con proteína.

### **4.2 Objetivos particulares**

1. Evaluar el impacto de la adición de proteína hidrolizada del suero de leche en las propiedades físicas y sensoriales de una galleta.
2. Determinar el efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre las propiedades físicas y sensoriales de galletas enriquecidas con proteína.
3. Analizar el efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de galletas enriquecidas con proteína.

## **5. HIPÓTESIS**

La combinación de edulcorantes naturales con proteína de suero de leche permitirá desarrollar galletas funcionales que mantengan sus propiedades físicas, nutrimentales, sensoriales y antioxidantes.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Elaboración de la galleta enriquecida con proteína

Para determinar la cantidad de edulcorante a utilizar se usó la ecuación 1 que se describe a continuación:

$$\text{Cantidad de edulcorante (g)} = \frac{(\text{Cantidad de sacarosa})}{(PE)} \quad (1)$$

El Cuadro 6 muestra las seis formulaciones evaluadas en esta investigación. La formulación correspondiente a T0 fue nuestro control negativo ya que no contenía proteína, mientras que el T1 fue el control positivo, en ambos tratamientos se utilizó sacarosa como edulcorante.

**Cuadro 6.** Formulaciones de los tratamientos empleados para la elaboración de las galletas. Cantidades expresadas en porcentaje panadero.

FORMULACIÓN	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Harina de trigo	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Edulcorante	25.58%	25.58%	15.93%	39.29%	0.08%	0.09%
Huevo	14.70%	14.70%	14.70%	14.70%	14.70%	14.70%
Leche	23.52%	23.52%	23.52%	23.52%	23.52%	23.52%
Vainilla	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%	2.94%
Mantequilla	45%	45%	45%	45%	45%	45%
Proteína de suero de leche aislada	-	31.17%	31.17%	31.17%	31.17%	31.17%

*Donde T0 (control negativo: sacarosa), T1 (control positivo: sacarosa y proteína), T2 (jarabe de agave), T3 (glucosa-63), T4 (glucósidos de esteviol), T5 (fruto del monje).*

La mantequilla y el azúcar se mezclaron siguiendo el “creaming-method” de Pareyt et al. (2008) con algunas modificaciones. En primer lugar, se introdujo la mantequilla en una amasadora eléctrica (KitchenAidn, MKA5SSWH, México) utilizando el batidor globo a un nivel de velocidad 6 por 2 min hasta que cambió de tonalidad amarilla a blanca, inmediatamente después se le agregó el edulcorante. Después se agregaron los ingredientes minoritarios a la misma velocidad hasta conseguir una consistencia cremosa y finalmente la harina y la proteína de suero de leche aislada se integraron poco a poco. Se homogenizó completamente hasta tener una mezcla uniforme. Cabe resaltar que en la mayoría de los estudios sobre galletas enriquecidas con proteína no superan el 15% de adición de ésta lográndose así buenas propiedades texturales (Gani et al., 2015; Sarabhai & Prabhasankar 2015; Fernández et al., 2016; Sahagún & Gómez, 2018), basado en ello, se le agregó tal cantidad y tomando como base las formulaciones del Cuadro 6 cada galleta, de  $5\pm 2$  g cada una, aportará 1-1.5 g de proteína.

Una vez obtenida la masa, se procedió a amasar con las manos hasta que la masa se compactó y pasó al proceso de aplanado mediante un rodillo. Finalmente, se cortó la masa con un molde redondo formando galletas con un peso de  $5\pm 2$  g, éstas se depositaron en bandejas de acero inoxidable que se introdujeron en un horno eléctrico (Oster, TSSTTVSKBT, México) a  $180^{\circ}\text{C}$  durante 15 min. La masa restante se almacenó en bolsas Ziploc a  $6^{\circ}\text{C}$  con sellado hermético para su posterior análisis.

Ya obtenidas las piezas de galletas, se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 30 min. Cada formulación se realizó por triplicado y, por lo tanto, se obtuvieron 5 galletas por cada lote de horneado elaborado, resultando un total de 15 muestras por cada condición a estudiar.

## **6.2 Determinación de las propiedades físicas**

### **6.2.1 Sólidos solubles totales (°Bx)**

Para determinar los sólidos solubles totales (expresados en °Brix), se mezcló 1 g de galleta triturada con 10 mL de agua destilada. Las mediciones se realizaron mediante el uso de un refractómetro digital (HANNA, 9801, EUA) a 20°C, previamente calibrado con agua destilada.

### **6.2.2 pH**

En la determinación del pH, la muestra triturada utilizó una dilución con agua destilada (1:10 p/v). El pH de la muestra se midió empleando un potenciómetro digital (Orion Star, A214, EUA) previamente calibrado con los estándares 7 y 4.

### **6.2.3 Pérdida de peso durante el horneado**

Para determinar el porcentaje de pérdida de peso durante el horneado (%PP) se pesaron las masas antes de introducirlas en el horno ( $m_0$ ) y el producto horneado atemperado después de 20 min ( $m_1$ ). La expresión utilizada para obtener el %PP se presenta a continuación (Ecuación 2) (Rodríguez-García et al., 2013):

$$\%PP = \frac{(m_0 - m_1) * 100}{m_0} \quad (2)$$

#### **6.2.4 Determinación de contenido de humedad**

El contenido de humedad se determinó siguiendo el método estándar 925.09 de la AOAC (2005) en una estufa a una temperatura de  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ . Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de humedad en base seca (%).

#### **6.2.5 Textura**

El análisis de textura de la masa y las galletas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Rodríguez-García et al. (2013) con ligeras modificaciones empleando un texturómetro (Brookfield, CT3, EUA) y una mesa TA-BT-KIT. Para todos los análisis se realizó una prueba de doble compresión y 5 s como intervalo entre los 2 ciclos.

- **Prueba de corte de la masa de galleta**

Se utilizó una velocidad de 1.5 mm/s y una fuerza de 0.04905 N. Se hicieron discos de masa de galleta de  $24 \pm 1$  g de 40 mm de diámetro y 7 mm de espesor, se cortaron transversalmente por el centro, a una profundidad de 10 mm, con una sonda de corte de alambre (TA53). Se midió la fuerza máxima (N) alcanzada durante el corte, una vez obtenido el área de las curvas fuerza/tiempo se calculó y se definió el índice de dureza de la masa (Rodríguez-García et al., 2013).

- **Prueba de penetración de la masa de galleta**

Los discos de masa de  $24 \pm 1$  g con un diámetro de 40 mm y un grosor de 7 mm se penetraron hasta una deformación de 10 mm con una sonda esférica (TA43) de 25.44 mm de diámetro. La velocidad fue de 1.5 mm/s y la fuerza de 0.2943 N. Se midió la fuerza máxima (N) alcanzada durante la penetración (Rodríguez-García et al., 2013).

- **Prueba de dureza en galletas**

Para la prueba de dureza se empleó una velocidad de 2.5 mm/s, una fuerza de 9.81 N y una deformación del 35% con respecto a la altura original (5 mm). Se utilizó una sonda de cuchilla (TA7) que consta de nueve bordes de 3 mm. El producto se cortó a la mitad y se resguardó para el análisis físico. Una vez obtenido los perfiles de fuerza/deformación a través del texturómetro, los resultados analizados fueron la dureza (N) (Rodríguez-García et al., 2013).

### **6.2.6 Análisis de color**

El color de las galletas y de los edulcorantes utilizados se determinó utilizando un colorímetro (Hunterlab, ColorFlex EZ, EUA). Los resultados se expresaron de acuerdo con el sistema del espacio de color CIE  $L^* a^* b^*$ . Los parámetros determinados fueron:  $L^*$  (luminosidad donde el valor 0 corresponde a negro y 100 a blanco),  $a^*$  (escala de verde,  $-a^*$ , a rojo,  $+a^*$ ),  $b^*$  (escala de azul,  $-b^*$ , a amarillo,  $+b^*$ ). Adicionalmente, las diferencias de color ( $\Delta E$ ), el croma (C) y la tonalidad (h)

se calcularon empleando las ecuaciones 3 y 4 (Rodríguez-García et al., 2013) respectivamente, presentadas a continuación:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{(b)}{(a)} \quad (4)$$

### **6.3 Determinación de las propiedades bioactivas y capacidad antioxidante**

#### **6.3.1 Obtención de extractos**

- **Extracto de edulcorante**

Se prepararon extractos de cada edulcorante para el análisis de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. Los extractos de los edulcorantes de consistencia granulosa (sacarosa, glucósidos de esteviol y fruto del monje) se obtuvieron utilizando la metodología aplicada por Piresa et al. (2018) con ligeras modificaciones. La extracción se realizó usando 1 g de muestra y 10 mL de metanol (1:10 v/v). La mezcla se llevó a agitación en ausencia de luz a 150 rpm durante 1 h a una temperatura de 25 °C. Concluido el tiempo de agitación, los extractos metanólicos se centrifugaron a 3500 rpm a 25°C durante 15 min. Finalmente, se realizó una filtración con un papel filtro N°4 para colocarse en tubos de centrifugación de 50 mL, almacenados en oscuridad a una temperatura inferior a 4 °C previo al análisis mientras que los extractos de jarabe de glucosa y de jarabe de agave se obtuvieron según el protocolo descrito por Chaikham & Prangthip (2015). Para compuestos fenólicos, se colocaron 0.2 g de cada jarabe en un tubo

Eppendorf de 1.5 mL junto con 2 mL de agua destilada y 9 mL de etanol. Las muestras se centrifugaron a 14000 rpm, durante 10 min. Mientras que para la determinación de capacidad antioxidante los extractos de jarabe se prepararon pesando 1 g de muestra en 10 mL de agua destilada y se centrifugaron a las mismas condiciones descritas anteriormente. Los extractos recuperados se almacenaron en la oscuridad hasta su análisis.

- **Extracto de galleta**

Los extractos de las galletas formuladas se obtuvieron utilizando la metodología anterior usada para la extracción de los edulcorantes de consistencia granulosa (sacarosa, glucósidos de esteviol y fruto del monje).

### **6.3.2 *Compuestos fenólicos totales (CFT)***

- **Edulcorante**

Los CFT se determinaron según la metodología descrita por Pelvan et al. (2012) con algunas modificaciones. 150  $\mu$ L del extracto se mezclaron con 250  $\mu$ L del reactivo Folin-Ciocalteu (diluido 1:2). Posteriormente se añadieron 2000  $\mu$ L de carbonato de sodio y se incubaron en oscuridad a temperatura ambiente durante 1 h. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 765 nm. La concentración de CFT se expresó como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg de EAG/g de extracto PS).

- **Galleta**

El contenido de los CFT en los extractos de galleta se determinó siguiendo la metodología propuesta por Vasantha et al. (2008) con ligeras modificaciones. Una alícuota de 250  $\mu$ L del extracto etanólico se mezcló con 250  $\mu$ L de reactivo Folin-Ciocalteu (diluido 1:4) y 2000  $\mu$ L de carbonato de sodio al 7.5% (p/v). La mezcla se incubó durante 1 h en ausencia de luz. Finalmente, la absorbancia de la reacción se leyó empleando un espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS 10S, Thermo Scientific™, EUA) a 765 nm. La concentración de CFT se reportó como miligramos de equivalente de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG/g PS).

### **6.3.3 Capacidad antioxidante (Método de inhibición del radical DPPH)**

- **Edulcorante**

Se determinó siguiendo la metodología de Čanadanović-Brunet et al. (2014) con ciertas modificaciones. El reactivo DPPH se preparó a una concentración de 100  $\mu$ M. Se añadió 150  $\mu$ L de cada extracto a 2000  $\mu$ L de solución de DPPH. Posteriormente se incubó a temperatura ambiente en ausencia de luz durante 30 minutos y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm. Los resultados se expresaron como miligramo de equivalente de Trolox por gramo de peso seco (mg ET/g PS).

- **Galleta**

Para el estudio de la inhibición del radical DPPH se utilizó la metodología implementada por Mahmoudi et al. (2016) con ligeras modificaciones. Se utilizaron

2500  $\mu\text{L}$  de radical DPPH metanólico con una concentración de 100  $\mu\text{M}$  y éste se hizo reaccionar con 65  $\mu\text{L}$  de extracto. Las reacciones se realizaron en la oscuridad por un lapso de 30 min. Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS 10S, Thermo Scientific<sup>TM</sup>, EUA) a una longitud de onda de 517 nm. Los resultados se expresaron como miligramo de equivalente de Trolox por gramo de peso seco (mg ET/g PS).

#### **6.4 Análisis sensorial**

La evaluación sensorial de las galletas se realizó con 83 panelistas no entrenados de la ciudad de Irapuato con edades comprendidas entre 18 y 64 años. Se usó una escala hedónica estructurada de 7 puntos, desde “Me disgusta extremadamente” (1) hasta “Me gusta extremadamente” (7), esto con el fin de determinar la aceptabilidad de las galletas. Se valoraron cinco aspectos de cada una de las muestras: apariencia, consistencia, color, sabor, y aceptabilidad general del producto (Rodríguez-García et al., 2014).

#### **6.5 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA simple). El método utilizado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa de Tukey con un nivel de significación del 95% ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, los datos experimentales se analizaron mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion XIX.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Efecto de la adición de proteína de suero aislada en las propiedades físicas y sensoriales de galletas endulzadas con sacarosa

#### 7.1.1 Propiedades fisicoquímicas

El Cuadro 7 muestra el efecto de la adición de proteína en la galleta en cuanto a la pérdida de peso, humedad, sólidos solubles totales (SST) y pH.

**Cuadro 7.** Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en las propiedades fisicoquímicas de una galleta elaborada a base de harina de trigo.

	<b>P0</b>	<b>P1</b>
<b>Pérdida de peso (%)</b>	24.70 <sup>a</sup> ±0.76	15.91 <sup>b</sup> ±0.57
<b>Humedad (% b. s.)</b>	5.17 <sup>a</sup> ±0.02	12.64 <sup>b</sup> ±0.12
<b>SST (°Bx)</b>	2.60 <sup>a</sup> ±0.28	3.73 <sup>b</sup> ±0.05
<b>pH</b>	6.15 <sup>a</sup> ±0.04	6.44 <sup>b</sup> ±0.14

Donde: P0 (galleta sin proteína), P1 (galleta con proteína), b. s. (base seca). Superíndices diferentes entre filas de ambas formulaciones indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

En el caso de la pérdida de peso de las galletas se observó una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) al incorporar 15% de proteína de suero de leche en la galleta (P1) con una reducción del 36% mientras que, para el contenido de humedad, se encontró un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) del 59%. Los valores hallados en esta investigación son similares a los reportados por Ahmed et al. quienes en 2019 reportaron un contenido de humedad de 4.57 y 11.58 % para galletas hechas con

harina de trigo (control) y para galletas hechas con 10% de proteína respectivamente.

Por lo tanto, la disminución de pérdida de peso y el aumento del contenido de humedad provocado al incorporar proteína de suero de leche aislada a una galleta puede deberse a una mayor cantidad de agua ligada en el sistema (Shikha et al., 2018). Ladi et al. en 2020 reportaron que un alto contenido de humedad como el de la galleta con proteína puede afectar negativamente a la calidad de conservación de los productos. Esto es debido a que pueden contribuir al aumento del crecimiento de bacterias y por consiguiente una menor vida útil. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-F-376-S-1980 el porcentaje de humedad de una galleta debe ser máximo de 4%. por lo que no es recomendable la adición de proteína de suero de leche.

Para los SST se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la galleta con 15% de proteína (P1) y sin proteína (P0). Los SST aumentaron en la galleta P1, esto está asociado a que la proteína de suero de leche aislada, a pesar de no tener azúcares añadidos, aporta 3.7 g/100 g de carbohidratos, de los cuales 1.6 g son de azúcares totales. Así, una galleta adicionada con proteína contendrá mayor cantidad de azúcares en su composición.

En cuanto al pH, se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los 2 tipos de galleta, el pH aumentó ligeramente al adicionarle proteína a la galleta con un valor de 6.44, mientras que el control mostró un pH de 6.15. Los valores de pH

cumplen con las especificaciones físicas de acuerdo con la NMX-F-006-1983 sobre galletas que marca un mínimo de pH de 6.

### 7.1.2 Color

El Cuadro 8 muestra el efecto que generó la adición de proteína en la galleta en cuanto a las coordenadas cromáticas CIEL\*a\*b\*, el croma (C\*ab) y el ángulo hue (h\*ab).

**Cuadro 8.** Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en las propiedades cromáticas de una galleta elaborada a base de harina de trigo.

	<b>P0</b>	<b>P1</b>
<b>L*</b>	75.93 <sup>a</sup> ±0.48	68.23 <sup>b</sup> ±1.40
<b>a*</b>	7.30 <sup>a</sup> ±0.19	14.82 <sup>b</sup> ±1.09
<b>b*</b>	30.15 <sup>a</sup> ±0.41	40.94 <sup>b</sup> ±0.90
<b>C*<sub>ab</sub></b>	31.02 <sup>a</sup> ±2.38	43.56 <sup>b</sup> ±1.51

Donde: P0 (galleta sin proteína), P1 (galleta con proteína). Superíndices diferentes entre filas de ambas formulaciones indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 8, la incorporación de proteína de suero de leche afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) las propiedades cromáticas de la galleta. En el caso de la luminosidad y el matiz (ángulo hue), éstos disminuyeron en un 10% y un 8% respectivamente en la galleta al adicionarle proteína. En el estudio de Sahagún y Gómez en 2018, mencionaron que la adición de proteína de suero de leche disminuye los valores de luminosidad. Este hecho significa que las galletas con proteína presentaron un color más oscuro, mientras que la saturación de los colores (C\*) aumentó con un valor de 43.56. Pérez et al. en 2008 corroboraron

que la incorporación de proteína de suero en galletas tuvo un efecto significativo en el desarrollo del color.

Los cambios en el color de las galletas se producen debido a las reacciones de Maillard. Estas reacciones que se producen por las interacciones entre los azúcares reductores y los aminoácidos durante el horneado (Hiroshi et al., 2020). La proteína de suero de leche es alta en lisina y, dado que es la principal responsable de las reacciones de Maillard, se observó un color más oscuro en las galletas adicionadas con proteína.

### **7.1.3 Textura**

El efecto que generó la adición de proteína en la textura de la masa de la galleta y las galletas se muestran resumidas en el Cuadro 9.

En el Cuadro 9 se puede observar que, para la prueba de penetración de la masa de galleta, las variables de respuesta: dureza y adhesión de la masa no presentaron cambios significativos entre los 2 tratamientos ( $p > 0.05$ ) con valores de 3.71 y 3.94 N. En el estudio de Wu et al. en 2021 se observaron valores de dureza similares de 3 N para la formulación con el 15% de proteína de suero aislada en la masa de galleta.

Los valores de cohesividad y elasticidad si presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) y éstos fueron mayores en la masa de galleta sin proteína siendo de 0.53 y 5.49 mm, respectivamente. Esto significa que las galletas serán más frágiles y por lo tanto más susceptibles a deformarse. La adición de proteína

da lugar a una menor elasticidad y cohesividad en la masa pues ésta retiene el agua disponible haciendo insuficiente la disolución de la sacarosa durante el horneado, aumentando así la dureza de las galletas.

**Cuadro 9.** Efecto de la incorporación del 15% de proteína de suero aislada en los parámetros texturales de la masa de galleta y las galletas a base de harina de trigo.

Tipo de prueba	Parámetros	P0	P1
Prueba de penetración (masa)	Dureza (N)	3.71 <sup>a</sup> ±0.50	3.94 <sup>a</sup> ±0.43
	Cohesividad	0.53 <sup>a</sup> ±0.02	0.42 <sup>b</sup> ±0.01
	Elasticidad (mm)	5.49 <sup>a</sup> ±0.26	4.34 <sup>b</sup> ±0.29
	Adhesión (mJ)	1.51 <sup>a</sup> ±0.25	1.19 <sup>a</sup> ±0.63
Prueba de corte (masa)	Dureza (N)	1.63 <sup>a</sup> ±0.04	1.88 <sup>a</sup> ±0.14
	Cohesividad	0.47 <sup>a</sup> ±0.02	0.32 <sup>b</sup> ±0.03
	Elasticidad (mm)	6.11 <sup>a</sup> ±0.35	6.32 <sup>a</sup> ±0.92
	Adhesión (mJ)	0.84 <sup>a</sup> ±0.20	1.65 <sup>b</sup> ±0.40
Prueba de dureza (galleta)	Dureza (N)	12.19 <sup>a</sup> ±0.55	13.06 <sup>a</sup> ±0.80

Donde: P0 (galleta sin proteína), P1 (galleta con proteína). Superíndices diferentes entre filas de ambas formulaciones indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

Para la prueba de corte de la masa de galleta no se observaron diferencias significativas en las variables de dureza y elasticidad entre los 2 tratamientos ( $p > 0.05$ ), pero el valor de dureza fue ligeramente mayor en la masa de galleta con proteína con un valor de 1.88 N. Rodríguez García et al. en 2013 mostraron valores similares de 2.53 N en masa para galletas endulzadas con sacarosa. La dureza de la masa de galletas está relacionada con las interacciones azúcar-agua y el desarrollo del gluten.

Para esta prueba, los valores de elasticidad y adhesión si presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), debido a que estos valores son muy bajos significa que las masas presentan una estructura menos elástica y más blanda. Esto también fue observado por Tang y Liu quienes, en 2017, sustituyeron la harina de trigo por proteína de suero (hasta un 30%) en galletas.

El Cuadro 9 también muestra los resultados de la prueba de dureza en las galletas, los cuales no presentaron cambios significativos entre los 2 tratamientos ( $p > 0.05$ ), con valores de 12.19 N en la galleta sin proteína y 13.06 N en la galleta con proteína de suero de leche aislada, sin embargo, otros autores mostraron resultados diferentes: Giri & Sakhale en 2019 encontraron en galletas sin gluten (harina de camote) con diferentes niveles de proteína de suero de leche (0, 5, 10 y 15%) valores de dureza de 17.19, 18.16, 20.49 y 22.26 N respectivamente, mientras que en el estudio de Sahagún y Gómez en 2018 sustituyeron la harina de maíz por diferentes tipos de proteína en galletas con valores de 36.73 N en el control, 35.54 N con el 15% de proteína y 43.20 N con el 30% de proteína. Se concluye que, a mayor porcentaje de adición de proteína, mayor dureza tendrán las galletas. Las diferencias entre los resultados pueden deberse al tipo de proteína usada en las formulaciones (proteína de suero concentrada) y al empleo de harina sin gluten.

Calle Domínguez et al. en 2020 observaron que la dureza de rotura de las galletas ricas en proteínas varió entre  $19.33 \pm 0.00$  N y 48.73 N. Las galletas enriquecidas con proteína mostraron una mayor dureza incluso que el control cuando se les añadió más del 5%.

Estos estudios demuestran que el enriquecimiento con proteína de suero de leche conduce a un aumento de la dureza de las galletas, esto puede deberse a la desnaturalización de las proteínas durante el horneado y al contenido de sólidos solubles totales presentes en la proteína de suero de leche generándose un cambio estructural unido a la pérdida de humedad por la alta temperatura.

#### **7.1.4 Análisis sensorial**

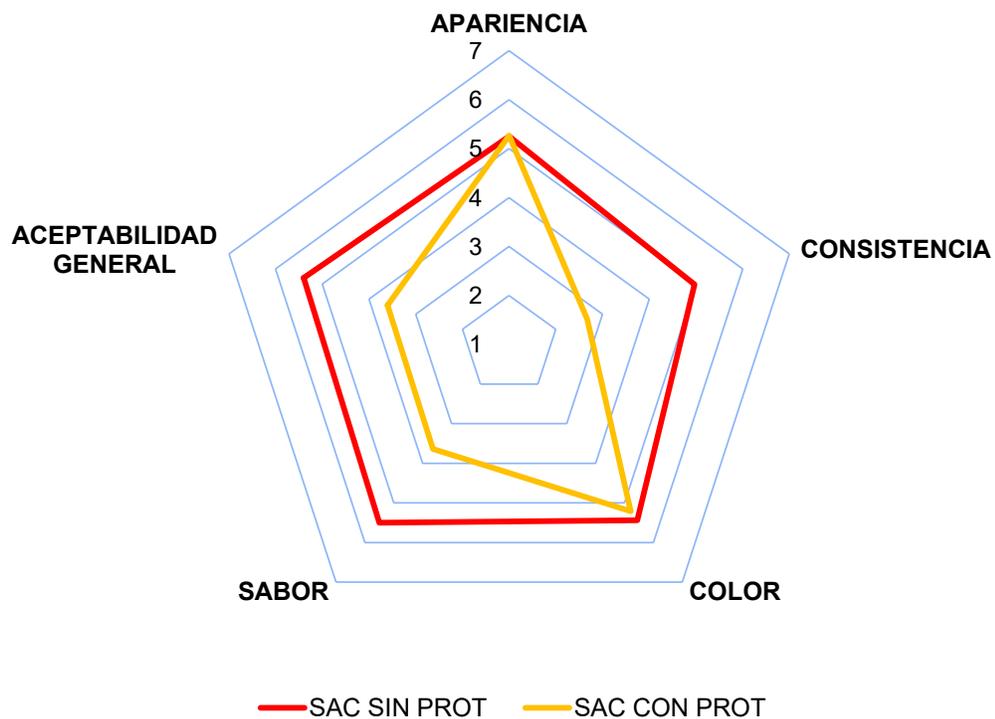
El efecto que generó la adición de proteína en las propiedades sensoriales de galletas enriquecidas con proteína se observa en la Figura 2.

En cuanto a la apariencia y color no hubo cambios significativos ( $p < 0.05$ ) ya que se evaluaron con puntuaciones similares. Los datos revelaron también que las galletas sin proteína obtuvieron las puntuaciones más altas de sabor ( $5.51 \pm 1.09$ ) consistencia ( $4.97 \pm 1.27$ ) y aceptabilidad general ( $5.4 \pm 0.98$ ) en comparación con la galleta enriquecida con proteína. La sacarosa provoca la formación de una débil red de red de gluten y dispersa las proteínas y el almidón, lo que hace que la galleta sea frágil (Laguna et al., 2013) con una estructura más o menos compacta y susceptible a deformarse, por lo que la consistencia resulta más agradable para el consumidor.

Se observó que la puntuación de las galletas enriquecidas con proteína se redujo considerablemente en estos aspectos debido a la dureza que presentaron y al sabor particular de la proteína y por ende esto se reflejó en la aceptabilidad general. A pesar de que la galleta también estaba endulzada con sacarosa, la consistencia y sabor se vieron afectados por la adición de proteína, ya que ésta

actúa como agente de carga por lo que absorbe gran contenido de humedad confiriéndole a las galletas mayor dureza.

Calle Domínguez et al. en 2020 reportaron que generalmente las galletas enriquecidas con proteína resultan en una estructura más dura debido a los fuertes enlaces entre la proteína y el almidón afectando el desarrollo del gluten.



**Figura 2.** Gráfico de araña en donde se observa el efecto que generó la adición de proteína sobre las propiedades sensoriales de una galleta a base de harina de trigo utilizando una escala hedónica estructurada de 7 puntos.

## 7.2 Caracterización de los edulcorantes naturales (color, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante)

### 7.2.1 Color

El Cuadro 10 muestra las coordenadas cromáticas CIEL\*a\*b\*, el croma (C\*ab) y el ángulo hue (h\*ab) de los edulcorantes naturales empleados en esta investigación.

**Cuadro 10.** Propiedades cromáticas de los edulcorantes naturales utilizados.

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>
<b>L*</b>	70.41 <sup>a</sup> ±0.50	6.53 <sup>b</sup> ±0.33	58.49 <sup>c</sup> ±0.70	86.73 <sup>d</sup> ±0.69	13.33 <sup>e</sup> ±0.11
<b>a*</b>	-0.48 <sup>a</sup> ±0.36	-0.62 <sup>b</sup> ±0.65	-0.70 <sup>b</sup> ±0.30	-1.80 <sup>c</sup> ±0.47	8.27 <sup>d</sup> ±0.35
<b>b*</b>	11.83 <sup>a</sup> ±0.89	1.77 <sup>b</sup> ±0.31	0.06 <sup>c</sup> ±0.33	1.47 <sup>b</sup> ±0.28	30.26 <sup>d</sup> ±0.65
<b>C*<sub>ab</sub></b>	11.83 <sup>a</sup> ±0.29	1.88 <sup>b</sup> ±0.48	0.70 <sup>c</sup> ±0.30	2.32 <sup>d</sup> ±0.40	31.37 <sup>e</sup> ±0.53
<b>H*<sub>ab</sub></b>	-87.67 <sup>a</sup> ±0.13	-70.69 <sup>b</sup> ±0.56	-4.89 <sup>c</sup> ±0.41	-39.23 <sup>d</sup> ±0.13	74.71 <sup>e</sup> ±0.66

*Donde: E1 (sacarosa), E2 (jarabe de agave), E3 (glucosa-63), E4 (glucósidos de esteviol), E5 (fruto del monje). Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.*

En el Cuadro 10 se obtuvo que la luminosidad de los edulcorantes varió de 6.53 a 86.73 siendo los glucósidos de esteviol, la sacarosa y en menor medida la glucosa-63 los que obtuvieron el mayor valor, esto quiere decir que resultaron ser los edulcorantes más claros y cercanos al color blanco.

Los edulcorantes más oscuros fueron el jarabe de agave debido su baja luminosidad (6.53) y el fruto del monje (13.33), de igual manera, este último, presentó el tono (ángulo hue) más alto (74.71). Esta aseveración también se puede observar al analizar la intensidad de los colores ( $C^*$ ) pues el fruto del monje mostró el valor más alto (31.37), concluyendo que tiene un color altamente saturado. Cabe destacar que estos 2 edulcorantes presentan visualmente un color más oscuro (marrón oscuro) en comparación con los otros edulcorantes.

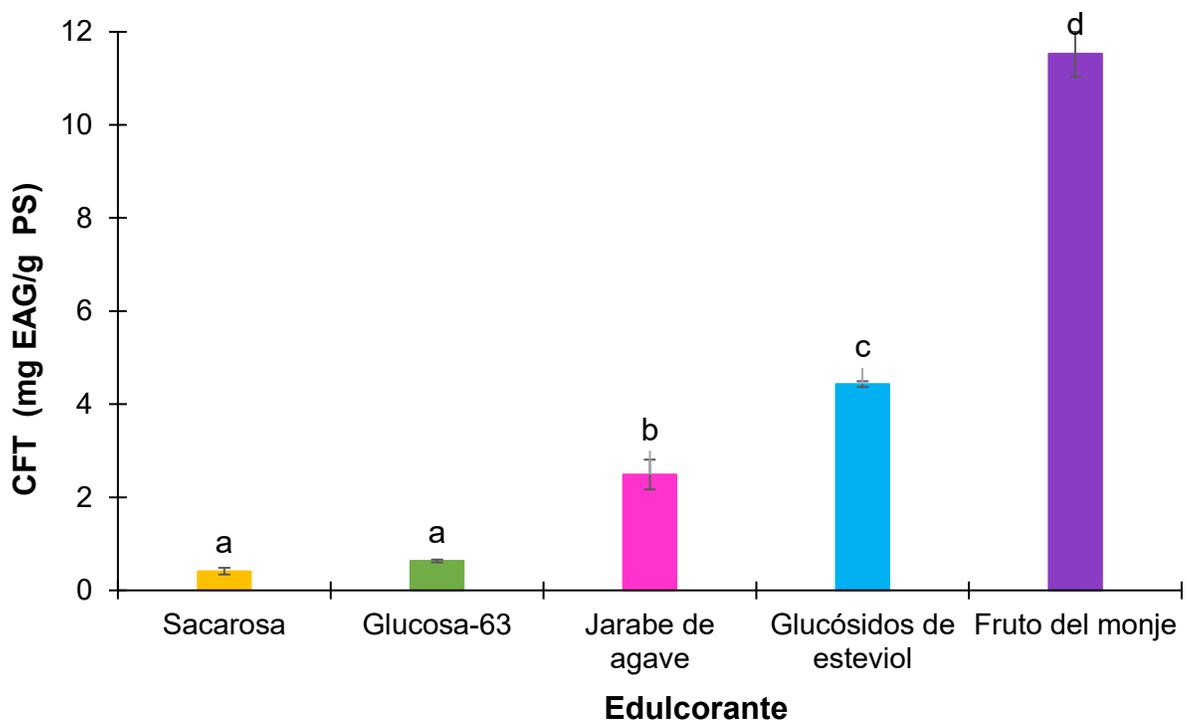
El color de los jarabes está relacionado en parte con su contenido de fitoquímicos con actividad antioxidante, como los carotenoides y los flavonoides

(Chaikham & Prangthip, 2015), mientras que el color del edulcorante de fruto del monje proviene naturalmente del extracto de la semilla y la cáscara de la fruta.

Los valores negativos observados en el eje a\* indican que los edulcorantes E1, E2, E3 y E4 tienen color verde y al ser positivos los valores del eje b\* tienen color amarillo.

### 7.2.2 Compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales de los edulcorantes naturales utilizados en esta investigación se observa en la Figura 3.



**Figura 3.** Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de los diferentes edulcorantes naturales empleados en esta investigación. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los edulcorantes empleados.

Se observa que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), el edulcorante que tuvo la mayor cantidad de CFT fue el fruto del monje con un valor de  $11.53 \pm 0.49$  mg EAG/g PS. Los glucósidos de esteviol también presentaron, aunque en menor medida, un buen contenido de fenoles totales con un valor de  $4.43 \pm 0.06$  mg EAG/g PS, mientras que el jarabe de agave tuvo un valor de CFT de  $2.49 \pm 0.32$  mg EAG/g PS.

En el estudio de Chen et al. en 2018 encontraron un contenido fenólico para la flor *Siraitia grosvenorii* de  $8.44 \pm 0.38$  mg EAG/g PS, este edulcorante contiene flavonoides los cuales le proporcionan su característico color (marrón oscuro) y éstos al mismo tiempo, desempeñan un papel importante en la actividad antioxidante de los extractos de plantas (Li et al., 2009).

En cuanto al jarabe de agave en el estudio de Velázquez Ríos et al. en 2018 aquellos jarabes con los tonos más oscuros presentaban el mayor contenido de CT pues el jarabe de agave variedad *A. tequilana* mostró valores de  $3.00 \pm 62.93$  mg EAG/g y la variedad *A. salmiana* de  $2.30 \pm 84.36$  mg EAG/g, mientras que los jarabes más claros como el de caña de azúcar exhibieron valores de  $1.80 \pm 71.13$  mg EAG/g y el jarabe de maíz de  $0.16 \pm 1.47$  mg EAG/g. En este estudio relacionan el color de los edulcorantes con la cantidad de compuestos fenólicos totales, esto explica también el CFT del fruto del monje.

En cuanto a los glucósidos de esteviol en el estudio de Escutia López et al. en 2020 encontraron una cantidad de polifenoles de  $15.6 \pm 0.4$  mg EAG/g en el extracto acuoso de hojas de estevia resultando mayor que en el extracto etanólico

al 95 % ( $12.75 \pm 0.55$  mg EAG/g). De igual manera, en este estudio encontraron el CFT del esteviósido, el cual fue de  $5.018 \pm 0.18$  mg EAG/ g, sin embargo, el valor del rebaudiósido A fue menor ( $7.79 \pm 2.05$  mg EAG/ g). Como se puede observar, el valor obtenido en esta investigación se acerca a lo reportado por los autores, pero las diferencias pueden deberse a que el extracto es metanólico, a la variedad de Stevia, a las condiciones climáticas y la agricultura, pues estos factores contribuyen a la cantidad y tipo de glucósidos en la planta (Jahan et al., 2015; Grozeva et al., 2015).

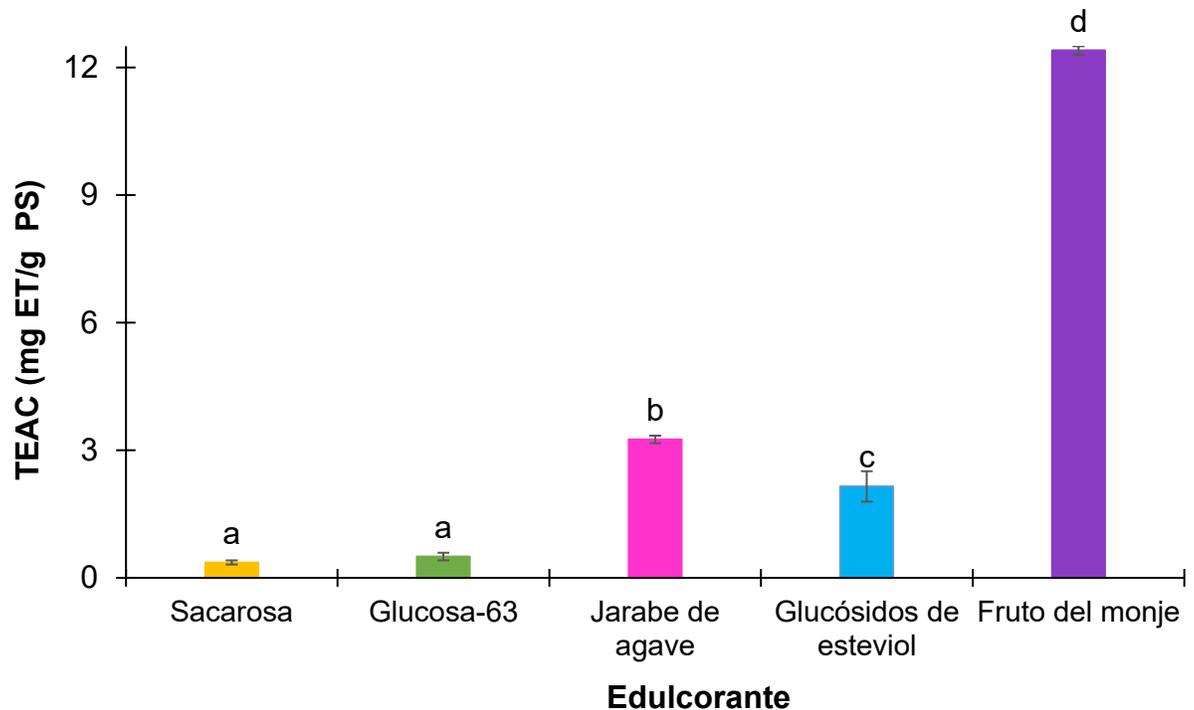
Por otro lado, la sacarosa y la glucosa-63 fueron los de menor contenido fenólico y no presentaron gran diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre sí con valores de  $0.41 \pm 0.07$  y  $0.63 \pm 0.03$  mg EAG/g PS respectivamente. En el estudio de Azlan et al. en 2020 encontraron un contenido fenólico de  $0.32 \pm 0.03$  mg EAG/g PS para la sacarosa.

En diversos estudios, se ha demostrado que ciertos azúcares, como la sacarosa y la glucosa, no reaccionan notablemente a temperatura ambiente con el reactivo de Folin sobre una base molar, pero pueden interferir con el resultado de la prueba potenciando el desarrollo del color azul (Payet et al., 2005).

Finalmente, siguiendo la premisa de que los edulcorantes de color más oscuro presentan mayor CFT, es claro que la sacarosa y la glucosa-63 no tengan gran cantidad por su color blanco cristalino.

### 7.2.3 Método de inhibición del radical DPPH

La capacidad antioxidante de los edulcorantes naturales utilizados en esta investigación se puede analizar en la Figura 4.



**Figura 4.** Capacidad antioxidante de los diferentes edulcorantes naturales empleados en esta investigación. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los edulcorantes empleados.

Se observa que la sacarosa y la glucosa-63 no presentaron diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ) siendo estos edulcorantes sin capacidad antioxidante con valores de  $0.36 \pm 0.05$  y  $0.50 \pm 0.09$  mg ET/g PS, respectivamente. En el estudio de Azlan et al. en 2020 reportaron la actividad antioxidante del azúcar refinado y se observó que tuvo la menor actividad de inhibición del DPPH en comparación con otros azúcares no refinados como la azúcar morena. Diversos estudios han documentado que los

azúcares no refinados en los mercados locales tienen actividades antioxidantes más altas que la sacarosa refinada (Asikin et al., 2016; Payet et al., 2005; Segiet al., 2015).

Los edulcorantes con mayor capacidad antioxidante fueron el fruto del monje y el jarabe de agave con valores de  $12.4 \pm 0.10$  y  $3.25 \pm 0.09$  mg ET/g PS respectivamente. Respecto al fruto del monje, en el estudio de Chen et al. en 2018 encontraron una capacidad antioxidante para la flor *Siraitia grosvenorii* de  $68.46 \pm 5.26$   $\mu\text{mol ET/g PS}$ .

En cuanto al jarabe de agave, Phillips et al. en 2009 evaluaron la capacidad antioxidante total del néctar de *A. tequilana weber* var. Azul obteniendo resultados de actividad antioxidante ( $0.034 \text{mmol/100g}$ ) mayores al valor del jarabe de maíz ( $0.005 \text{mmol/100g}$ ). Alves et al. en 2013 encontraron una relación entre el color y la capacidad antioxidante, concluyendo que los jarabes más oscuros presentan una mayor actividad antioxidante, esto también explica la alta capacidad antioxidante del fruto del monje pues es de color marrón oscuro. La relación entre el color y la capacidad antioxidante también se observó en el estudio de Velázquez Ríos et al. en 2018 en donde los jarabes más oscuros presentaron las mayores actividades antioxidantes y los jarabes más claros exhibieron la menor capacidad antioxidante.

Los glucósidos de esteviol presentaron un valor de  $2.15 \pm 0.36$  mg ET/g PS. Diversos estudios han evidenciado el efecto biológico de la estevia. Algunos autores (Carbonell-Capella et al., 2013; Góngora Salazar et al., 2018; Lemus-Mondaca et al., 2018) informaron que el extracto acuoso de hoja de *S. rebaudiana Bertoni* posee

un efecto antioxidante debido a la presencia de compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos (ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido transferúlico) y flavonoides (rutina), presentes en extractos acuosos de hojas de estevia y en menor medida, al rebaudiósido. En la Figura 3 se puede observar que a pesar de que los glucósidos tienen un buen contenido de fenoles totales, la actividad antioxidante se redujo, esto es porque el CFT es un factor vinculado a contrarrestar los efectos de la oxidación producida por la acción de las enzimas (Velderrain-Rodríguez et al., 2014) y ya que los glucósidos contienen enzimas como la peroxidasa y la polifenoloxidasas actúan y reducen la actividad antioxidante (Criado et al., 2014).

Finalmente, varios estudios han demostrado que existe correlación entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante, pero dependen de la naturaleza de la muestra y de los efectos de otros compuestos en la actividad antioxidante (Guimarães et al., 2007; Kadam et al., 2008; Moure et al., 2001).

### **7.3 Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre las propiedades físicas y sensoriales de galletas entiquecidas con proteína**

#### ***7.3.1 Propiedades fisicoquímicas***

El Cuadro 11 muestra el efecto que generó la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en cuanto a la pérdida de peso, humedad, sólidos solubles totales (SST) y pH.

**Cuadro 11.** Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en las propiedades fisicoquímicas de una galleta elaborada a base de harina de trigo.

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
<b>Pérdida de peso (%)</b>	15.91 <sup>a</sup> ±0.57	11.21 <sup>b</sup> ±0.63	12.10 <sup>b</sup> ±0.67	18.07 <sup>c</sup> ±1.34	14.94 <sup>a</sup> ±0.88
<b>Humedad (% b. s.)</b>	12.64 <sup>a</sup> ±0.12	16.94 <sup>b</sup> ±0.009	15.63 <sup>c</sup> ±0.07	17.70 <sup>d</sup> ±0.01	17.51 <sup>d</sup> ±0.09
<b>SST (° Brix)</b>	3.73 <sup>a</sup> ±0.05	1.76 <sup>b</sup> ±0.18	2.11 <sup>c</sup> ±0.05	0.88 <sup>d</sup> ±0.08	0.76 <sup>d</sup> ±0.14
<b>pH</b>	6.44 <sup>bc</sup> ±0.14	6.50 <sup>b</sup> ±0.03	6.00 <sup>a</sup> ±0.009	6.33 <sup>c</sup> ±0.01	6.40 <sup>bc</sup> ±0.03

*Donde: T1 (sacarosa), T2 (jarabe de agave), T3 (glucosa-63), T4 (glucósidos de esteviol), T5 (fruto del monje). Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.*

En el Cuadro 11 se observa que las galletas que presentaron los menores porcentajes de pérdida de peso fueron las endulzadas con jarabe de agave y las galletas endulzadas con glucósidos de esteviol contribuyen a una mayor pérdida de peso. Bukolt et al. en 2019 al sustituir la sacarosa al 33%, 50%, 66% y 100% por glucósidos de esteviol en galletas de avena con pasas mostraron valores de 10.10% de pérdida de peso para aquellas endulzadas con 100% de glucósidos, hay gran variación y puede deberse a la adición de la proteína de suero de leche o a que las galletas son elaboradas con avena y no con harina de trigo.

En cuanto a la humedad, las galletas que mostraron menor porcentaje fueron las endulzadas con sacarosa con un porcentaje de 12.64% b. s. Ahmed et al. en 2019 desarrollaron un control el cual fue elaborado con 100% de sacarosa y mostró valores cercanos de 10.64%.

Por otro lado, las galletas endulzadas con glucósidos de esteviol son las que retienen mayor cantidad de agua tras el horneado con un porcentaje de humedad de 17.07 % b.s. En la investigación de Bukolt et al. en 2019 las galletas que presentaron mayor cantidad de humedad fueron las elaboradas con 33% de glucósidos obteniendo un valor de  $9.71\% \pm 0.92$ , el cual es menor con respecto al encontrado en esta investigación y puede ser por las pasas en la formulación ya que éstas actúan como agente de carga absorbiendo mayor cantidad de agua y por ende las galletas son menos húmedas.

En la determinación de sólidos solubles totales se puede observar que el control (sacarosa), el T3 (glucosa-63) y el T2 (jarabe de agave al 12%) presentaron mediciones más altas de SST. Su alto contenido en azúcares se debe a que estos tienen un índice glucémico mayor y están compuestos mayormente de fructosa y glucosa, mientras que el T4 (glucósidos de esteviol) y T5 (fruto del monje) mostraron valores de SST muy bajos ya que son edulcorantes de alta intensidad y no contienen carbohidratos ni azúcares simples.

En cuanto al pH, los valores se encontraron en un rango de 6.00 a 6.50. Vatankhah et al. en 2018 y Nabil et al. en 2020 reportaron resultados similares, encontrando valores de pH de 6.55, 6.62 y 6.81 y de 6.05 a 6.33 respectivamente, en galletas de trigo.

### 7.3.2 Color

El Cuadro 12 muestra el efecto que generó la sustitución de sacarosa en la galleta en cuanto a las coordenadas cromáticas CIEL  $a^*b^*$ , el croma ( $C^*ab$ ) y el ángulo hue ( $h^*ab$ ).

**Cuadro 12.** Efecto de la sustitución de sacarosa en las propiedades cromáticas de una galleta elaborada a base de harina de trigo.

	T1	T2	T3	T4	T5
L*	68.23 <sup>a</sup> ±1.4	68.90 <sup>ab</sup> ±0.33	67.63 <sup>a</sup> ±0.70	70.21 <sup>bc</sup> ±0.69	71.55 <sup>c</sup> ±1.11
a*	14.82 <sup>a</sup> ±1.09	13.29 <sup>b</sup> ±0.65	14.19 <sup>ab</sup> ±0.30	13.60 <sup>b</sup> ±0.47	10.78 <sup>c</sup> ±0.35
b*	40.94 <sup>a</sup> ±0.89	39.95 <sup>a</sup> ±1.04	39.04 <sup>ab</sup> ±1.33	37.02 <sup>bc</sup> ±1.28	35.11 <sup>c</sup> ±0.65
C* <sub>ab</sub>	43.56 <sup>a</sup> ±1.51	42.12 <sup>a</sup> ±1.30	41.58 <sup>ab</sup> ±3.0	39.46 <sup>b</sup> ±4.01	37.63 <sup>c</sup> ±1.53
H* <sub>ab</sub>	70.14 <sup>a</sup> ±2.14	71.62 <sup>a</sup> ±1.71	69.91 <sup>ab</sup> ±3.12	69.92 <sup>ab</sup> ±2.13	73.02 <sup>c</sup> ±3.66

Donde: T1 (sacarosa), T2 (jarabe de agave), T3 (glucosa-63), T4 (glucósidos de esteviol), T5 (fruto del monje). Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.

En el Cuadro 12 se obtuvo que la luminosidad de la corteza varió de 68.23 a 71.55 siendo la del T1 (sacarosa) el que obtuvo el menor valor. Las galletas más oscuras fueron aquellas elaboradas con fruto del monje, de igual manera estas fueron las que presentaron un tono (ángulo hue) más alto con un valor de 73.02. Ambos parámetros se vieron afectados significativamente ( $p < 0.05$ ). Esto podría deberse por la mezcla entre el pigmento marrón del fruto del monje y por la reacción azúcar-amina de la reacción de Maillard.

En cuanto a la saturación de los colores ( $C^*$ ) varió de 37.63 a 43.56, el T1 (sacarosa), T2 (jarabe de agave) y T3 (glucosa-63) mostraron los valores más altos, resultando galletas ligeramente más claras y con colores más vivos, no presentaron diferencias significativas entre sí ( $p>0.05$ ).

Zargaraan et al. en 2016 descubrieron que al incorporar azúcares reductores como el jarabe de maíz, dextrosa, glucosa líquida y jarabe invertido dio lugar a un color marrón dorado deseable a galletas de harina de trigo. Cabe decir que la intensidad o saturación de color varía significativamente durante el proceso de horneado y está directamente relacionado con factores como el tiempo de cocción de la masa y la textura final del producto (Pereira, 2013).

### **7.3.3 Textura**

El efecto que generó la sustitución de sacarosa en la textura de la masa de la galleta y las galletas se muestran resumidas en el Cuadro 13.

En el Cuadro 13 se puede observar que, para la prueba de penetración de la masa de galleta, las variables de respuesta: dureza y adhesión de la masa no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p>0.05$ ) con un promedio de valores de 3.95 N y 0.88 mJ respectivamente. Los valores son altos por la adición de proteína en todas las formulaciones, al respecto, Güémes-Vera et al. en 2009 reportan que los altos valores de dureza y adhesión de la masa se debe al alto contenido de proteínas y carbohidratos que tienen las formulaciones de las galletas, ya que además se les adiciona huevo y leche y al mezclarse con las proteínas del lactosuero provocan un aumento de estas variables.

**Cuadro 13.** Efecto de la sustitución de sacarosa en los parámetros texturales de la masa de galleta y las galletas elaboradas a base de harina de trigo.

Tipo de prueba	Parámetros	T1	T2	T3	T4	T5
Prueba de penetración (masa)	Dureza (N)	3.94 <sup>a</sup> ±0.43	3.96 <sup>a</sup> ±0.35	4.09 <sup>a</sup> ±0.85	4.12 <sup>a</sup> ±0.32	3.66 <sup>a</sup> ±0.46
	Cohesividad	0.42 <sup>a</sup> ±0.01	0.43 <sup>ab</sup> ±0.02	0.41 <sup>a</sup> ±0.02	0.45 <sup>ab</sup> ±0.03	0.48 <sup>b</sup> ±0.04
	Elasticidad (mm)	4.34 <sup>a</sup> ±0.29	4.81 <sup>abc</sup> ±0.13	4.62 <sup>ab</sup> ±0.16	5.07 <sup>bc</sup> ±0.32	5.28 <sup>c</sup> ±0.58
	Adhesión (mJ)	1.19 <sup>a</sup> ±0.63	0.55 <sup>a</sup> ±0.20	0.54 <sup>a</sup> ±0.08	1.08 <sup>a</sup> ±0.43	1.04 <sup>a</sup> ±0.67
Prueba de corte (masa)	Dureza (N)	1.88 <sup>a</sup> ±0.37	2.11 <sup>a</sup> ±0.27	1.91 <sup>a</sup> ±0.40	3.07 <sup>b</sup> ±0.59	2.27 <sup>a</sup> ±0.20
	Cohesividad	0.31 <sup>a</sup> ±0.03	0.32 <sup>a</sup> ±0.01	0.28 <sup>a</sup> ±0.01	0.35 <sup>b</sup> ±0.13	0.30 <sup>a</sup> ±0.02
	Elasticidad (mm)	8.00 <sup>a</sup> ±0.39	8.10 <sup>a</sup> ±0.44	7.01 <sup>b</sup> ±0.26	6.94 <sup>c</sup> ±0.52	6.32 <sup>c</sup> ±0.83
	Adhesión (mJ)	1.65 <sup>a</sup> ±0.36	3.24 <sup>b</sup> ±0.18	1.82 <sup>a</sup> ±0.13	3.10 <sup>b</sup> ±0.26	3.61 <sup>b</sup> ±0.36
Prueba de dureza (galleta)	Dureza (N)	13.06 <sup>a</sup> ±0.79	9.64 <sup>b</sup> ±0.24	10.41 <sup>b</sup> ±0.47	13.24 <sup>a</sup> ±1.61	12.75 <sup>a</sup> ±0.70

Donde: T1 (sacarosa), T2 (jarabe de agave), T3 (glucosa-63), T4 (glucósidos de esteviol), T5 (fruto del monje). Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.

Los valores de cohesividad y elasticidad si presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) y éstos fueron mayores en la masa de galleta endulzada con fruto del monje siendo de 0.48 y 5.28 mm respectivamente. Los tratamientos que mostraron los menores valores fueron el T1 (sacarosa) con 0.42 y 4.34 mm y el T3 (glucosa-63) con 0.42 y 4.63 mm. Zargaraan et al. en 2016 compararon el efecto de diferentes edulcorantes sobre las propiedades reológicas de la masa de la galleta y la calidad de la galleta final. La aplicación de azúcares reductores como el jarabe de glucosa hizo que la masa de galletas resultara más cohesiva, adhesiva, pegajosa y menos

viscosa en comparación con la masa de control. Esto producirá, tras el horneado, una estructura de galleta más frágil.

Para la prueba de corte de la masa de galleta no se observaron diferencias significativas en las variables de dureza y cohesividad ( $p>0.05$ ) a excepción del T4 (glucósidos de esteviol) que mostró los mayores valores con 3.07 N y 0.35 respectivamente, mientras que para las variables de elasticidad el único tratamiento que presentó diferencias significativas ( $p<0.05$ ) respecto a los otros fue el T3 (Glucosa-63) con un valor de 7.01 mm y en la variable adhesión, este tratamiento tuvo similitudes con el T1 (sacarosa) con valores de 1.65 mJ y 1.82 mJ respectivamente.

El Cuadro 13 también muestra los resultados de la prueba de dureza en las galletas, los cuales no presentaron cambios significativos ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos T1 (sacarosa), T4 (glucósidos de esteviol) y T5 (fruto del monje) y éstos al mismo tiempo fueron los valores más altos con una dureza de 13.06, 13.24 y 12.75 N. García-Serna et al. en 2014 observaron al agregar hojas de Stevia en polvo a galletas hechas con harina de trigo que su textura se volvió más firme y dura presentando una dureza de 31.15 N en comparación con el control con una dureza de 31 N. Se han observado irregularidades en la textura de los productos panificables cuando se incorpora el 100 % de Stevia (Jahangir Chughtai et al., 2020).

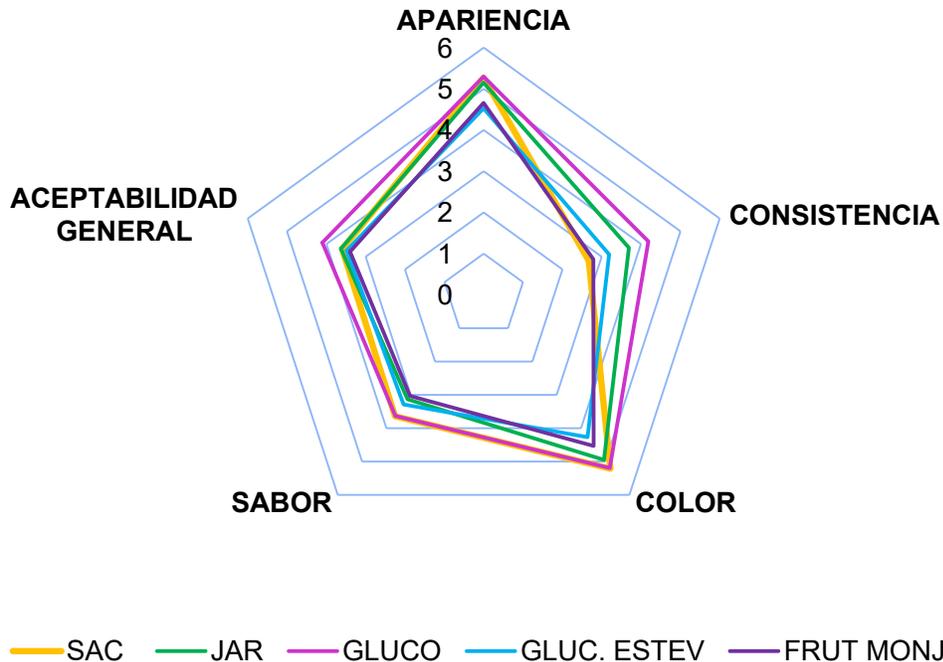
Los tratamientos T2 (jarabe de agave) y T3 (glucosa-63) tampoco tuvieron cambios significativos entre sí, presentando los menores valores con 9.64 y 10.41

N respectivamente. Zargaraan et al. en 2016 observaron que la incorporación de azúcares reductores como el jarabe de glucosa y jarabe de agave dará lugar a galletas más blandas y frágiles, con menor extensión.

A partir de esto, se puede deducir que la cantidad, el tamaño y el tipo de edulcorante afectan la consistencia, la capacidad de extensión de la masa y la dureza de las galletas. Se debe tomar en cuenta que debido a que todas las formulaciones tienen proteína, esto pudo haber limitado el proceso de gelatinización debido a su elevado poder de absorción de agua, por lo que hubo menos cantidad de agua disponible en la matriz para la hidratación y gelatinización total del almidón (Gani et al., 2014) y por lo tanto la textura de las galletas se vio afectada. Resultados similares fueron hallados en galletas por Calle Domínguez et al. en 2020, quienes indicaron que dentro de los factores que más contribuyeron e influyeron en los parámetros texturales fueron la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas.

### 7.3.4 Análisis sensorial

El efecto que generó la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre las propiedades sensoriales de galletas enriquecidas con proteína se observa en la Figura 5.



**Figura 5.** Impacto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales en las propiedades sensoriales de una galleta enriquecida con proteína utilizando una escala hedónica estructurada de 7 puntos.

En cuanto a la apariencia, las galletas endulzadas con sacarosa, el jarabe de agave y glucosa-63 no tuvieron cambios significativos entre sí ( $p>0.05$ ), de igual forma no hubo diferencias entre las endulzadas con glucósidos y con fruto del monje. Este parámetro los jueces lo relacionaron con el color, en donde las puntuaciones más altas las obtuvieron las galletas endulzadas con sacarosa con un promedio de  $5.21\pm 1.47$ , las de glucosa-63 con  $5.19\pm 1.33$  y las de jarabe de agave con  $4.95\pm 1.57$ . Los cambios en el color de las galletas se producen por la reacción de Maillard

generada a partir de las interacciones azúcar/glucosa de estos edulcorantes con la proteína de suero de leche y por la reacción de pirólisis que requiere la sacarosa para crear el esperado color marrón dorado proporcionándoles un color más oscuro y deseable a las galletas.

En cuanto a la consistencia, las galletas endulzadas con sacarosa y fruto del monje no tuvieron diferencias significativas entre sí y al mismo tiempo fueron las que obtuvieron las menores puntuaciones ( $2.67 \pm 1.61$  y  $2.69 \pm 1.67$  respectivamente). Las galletas endulzadas con glucosa-63 y con jarabe de agave se evaluaron con las puntuaciones más altas ( $4.19 \pm 1.55$  y  $3.69 \pm 1.85$  respectivamente). Los jarabes al ser líquidos y viscosos les proporcionan a las galletas una textura más suave.

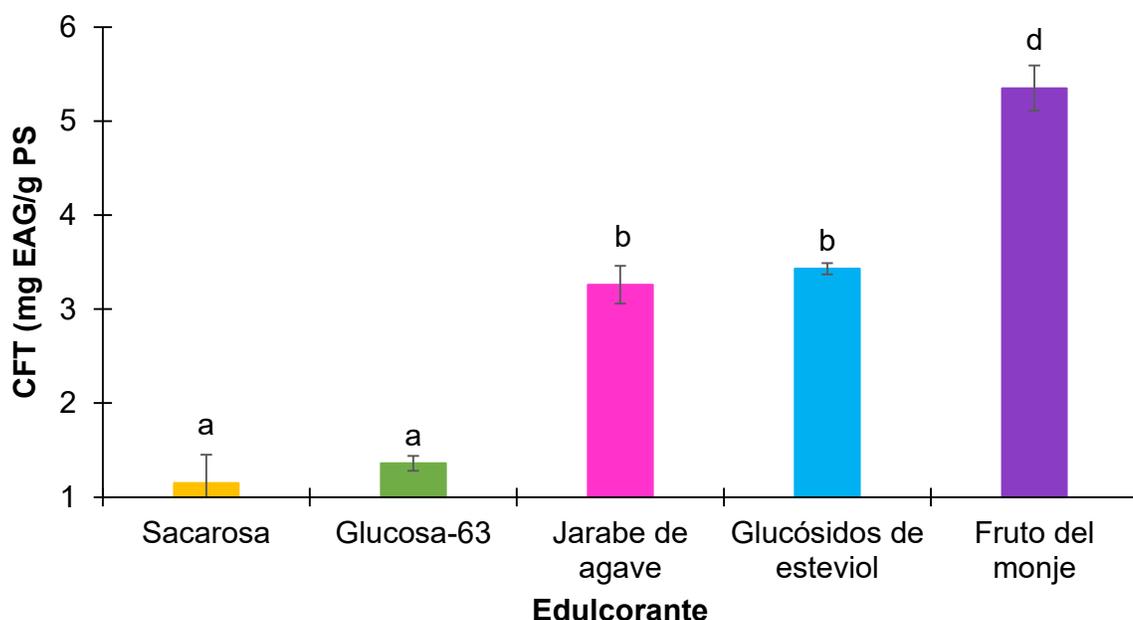
En cuanto al sabor se obtuvieron puntuaciones muy bajas, pero las más altas fueron para aquellas endulzadas con sacarosa y con glucosa-63, las cuales no tuvieron diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ).

Finalmente, en cuanto a la aceptabilidad general las galletas endulzadas con glucosa-63 obtuvieron las mayores puntuaciones con un promedio de  $4.1 \pm 1.46$ , mientras que las endulzadas con fruto del monje fueron las menos aceptadas. Estudios recientes (Quinlan & Zhoul, 2017; Woodyer et al., 2018) demuestran que el desarrollo de edulcorantes no calóricos que contienen extracto de mogrósidos de la fruta del monje presentan un sabor desagradable y un perfil sensorial menos deseable, por lo que desarrollaron una composición edulcorante no calórica con sabor mejorado y regusto reducido utilizando glucósidos obtenidos naturalmente.

## 7.4 Efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de galletas entiquecidas con proteína

### 7.4.1 Compuestos fenólicos totales

El efecto que generó la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de galletas enriquecidas con proteína se observa en la Figura 6.



**Figura 6.** Contenido de compuestos fenólicos totales en las diferentes galletas enriquecidas con proteína. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.

Las galletas endulzadas con fruto del monje fueron las que tuvieron mayor contenido fenólico con un valor de  $5.35 \pm 0.2$  mg EAG/g PS. Las galletas endulzadas con jarabe de agave y con glucósidos de esteviol también tuvieron una cantidad aceptable de CFT y no presentaron diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ) con valores de  $3.26 \pm 0.24$  y  $3.43 \pm 0.06$  mg EAG/g PS respectivamente.

Amarasinghe et al. en 2021 encontraron un contenido fenólico total en galletas hechas con harina de trigo y harina de plátano de 1.10 y 3.99 mg EAG/g PS, respectivamente, estos valores son cercanos a los reportados en este estudio.

Al comparar el contenido fenólico del fruto del monje y de los glucósidos de esteviol en su forma natural con su contenido al adicionarlo en las galletas se observa que éste disminuye, por lo que se puede deducir que el horneado disminuyó el valor de CFT, esto puede deberse a la descomposición de los compuestos flavonoides lábiles al calor tras la exposición a altas temperaturas (Kaur et al., 2019). Amarasinghe et al. en 2021 y Mahloko et al. en 2019 observaron que el contenido de CFT en galletas se redujo drásticamente durante el horneado pues a altas temperaturas hay compuestos fenólicos que son termosensibles y conducen a la reducción de la actividad química o se utilizan en la polimerización.

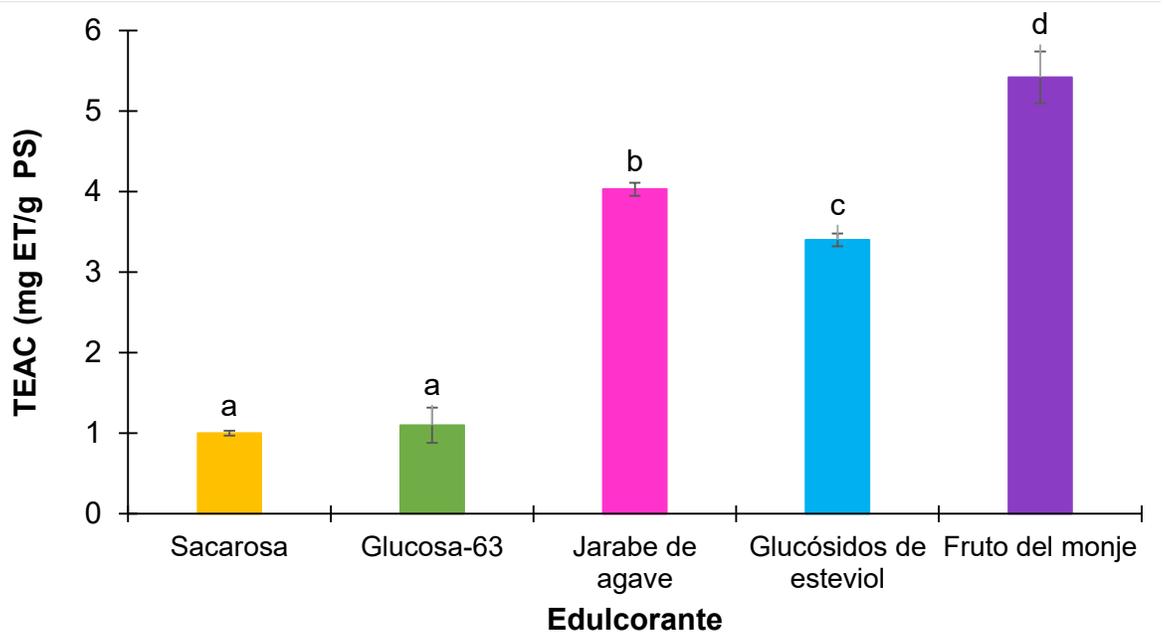
Las galletas con menor contenido de CFT fueron las endulzadas con sacarosa y glucosa-63 presentando valores de  $1.15 \pm 0.3$  y  $1.36 \pm 0.08$  mg EAG/g PS, de igual manera, no presentaron diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ). Los compuestos fenólicos están fuertemente implicados en la formación del color de los productos de la sacarosa (Payet et al., 2005) y de acuerdo con los estudios que relacionan el color y el contenido fenólico, por ser edulcorantes de color claro no aportan gran cantidad de CFT a las galletas.

Es importante tomar en cuenta que las galletas están hechas de harina de trigo y el trigo contiene una gran variedad de compuestos bioactivos y carotenoides

que pueden contribuir al aumento del contenido fenólico y a la capacidad antioxidante (Yu et al., 2002; Yu et al., 2005).

#### 7.4.2 Método de inhibición del radical DPPH

El efecto que generó la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales sobre la capacidad antioxidante de galletas enriquecidas con proteína se observa en la Figura 7.



**Figura 7.** Capacidad antioxidante en las diferentes galletas enriquecidas con proteína. Superíndices diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.

Las galletas endulzadas con fruto del monje tuvieron la mayor capacidad antioxidante con un valor de  $5.42 \pm 0.08$  mg ET/g PS, seguido de las galletas endulzadas con jarabe de agave y en menor cantidad las de glucósidos de esteviol con valores de  $4.03 \pm 0.32$  y  $3.40 \pm 0.08$  mg ET/g PS respectivamente. Como se mencionó anteriormente en la caracterización de los edulcorantes, los que tuvieron

mayor capacidad antioxidante fueron el jarabe de agave y el fruto del monje, pues estos edulcorantes retienen grandes cantidades de compuestos fenólicos, flavonoides y otros compuestos al poseer naturalmente un color más oscuro en comparación con los otros edulcorantes analizados.

Mahloko et al. en 2019 afirmaron que el horneado y el tostado en microondas aumentan la actividad antioxidante de los productos horneados mientras que a altas temperaturas se reduce debido a reacciones similares a la polimerización.

Las galletas endulzadas con sacarosa y glucosa-63 fueron las que presentaron menor capacidad antioxidante sin diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ) con valores de  $1.57 \pm 0.03$  y  $1.61 \pm 0.22$  mg ET/g PS.

Se debe tomar en cuenta que las galletas son una matriz compleja con gran diversidad de ingredientes en su formulación, y que, al modificar los parámetros de extracción, como el método utilizado y el contenido de disolvente, da lugar a productos con niveles cualitativos y cuantitativos diferentes (Bondam et al., 2022).

Finalmente, se puede observar que existe una correlación entre la capacidad antioxidante del extracto puro de los edulcorantes con respecto a la capacidad antioxidante de la galleta pues tuvieron tendencias similares.

## 8. CONCLUSIONES

En este trabajo se observó que la adición de proteína hidrolizada de suero de leche produce cambios significativos en todas las variables analizadas. El pH y los SST aumentaron ligeramente al adicionar la proteína, el porcentaje de pérdida de peso disminuyó y el de humedad aumentó. Los parámetros de color L\* (luminosidad) y el ángulo hue disminuyeron, mientras que C\* (saturación) aumentó demostrando que las galletas con proteína son más oscuras debido a las interacciones proteína-azúcares involucradas en la reacción de Maillard. En cuanto a la textura, para las 3 pruebas realizadas se demostró que la adición de proteína le confiere una mayor dureza a las galletas y una menor elasticidad y cohesividad a la masa pues la proteína actúa como agente de carga reteniendo la cantidad de agua ligada en el sistema haciendo insuficiente la disolución de la sacarosa durante el horneado y afectando el desarrollo del gluten generando un cambio estructural unido a la pérdida de humedad por la alta temperatura. No se observaron cambios significativos en cuanto a apariencia y color, pero en sabor, consistencia y aceptabilidad general los panelistas prefirieron las galletas sin proteína.

Por otro lado, al analizar el efecto de la sustitución de sacarosa por edulcorantes naturales, se concluye que en cuanto a los parámetros fisicoquímicos las galletas presentan un pH básico y de acuerdo con los valores de SST las de mayor contenido de azúcar son las elaboradas con glucosa-63 y jarabe de agave debido a su composición química. El parámetro de color L\* (luminosidad) y el ángulo

huel mostraron que las galletas más oscuras fueron las elaboradas con jarabe de agave y fruto del monje, al mismo tiempo, se demostró que existe una relación entre el color de estos 2 edulcorantes con la cantidad de CFT y la capacidad antioxidante exhibiendo estos 2 las mayores cantidades. Se observó que el horneado disminuye el contenido de CFT y la capacidad antioxidante debido a que estos compuestos son termosensibles y se ven reducidos por reacciones similares a la polimerización. En cuanto a las propiedades texturales las masas incorporadas con azúcares reductores resultaron más viscosas, cohesivas y elásticas dando como resultado galletas más frágiles y susceptibles a deformarse, lo cual al mismo tiempo fue del agrado de los panelistas pues obtuvieron altas puntuaciones en este parámetro. Finalmente, las galletas endulzadas con fruto del monje fueron las peor puntuadas en cuanto a aceptabilidad general y sabor pues los mogrosidos hacen que tengan un perfil sensorial menos deseable por su regusto amargo.

Como se pudo reportar en el presente estudio, se concluye que la combinación de edulcorantes naturales con proteína de suero de leche generó cambios negativos en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y sensoriales, mientras que, en cuanto a las propiedades bioactivas y antioxidantes se observaron efectos positivos en las galletas.

## 9. REFERENCIAS

- A. Giri, N., & Sakhale, B. K. (2019). Development of sweet potato flour based high protein and low-calorie gluten free cookies. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 7(2), 427–435. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.7.2.12>
- Abdel-Fatt, S. M., Badr, A. N., Abu Seif, F. A. H., Mohamed Al, S., & Ahmed Hass, R. (2018). Antifungal and anti-mycotoxigenic impact of eco-friendly extracts of wild Stevia. *Journal of Biological Sciences*, 18(8), 488–499. <https://doi.org/10.3923/jbs.2018.488.499>
- Abolanle Ajayi, O., & Ikechukwu, A. (2021). Effect of substitution of glucose syrup with date syrup on the nutritional quality of granola bar. *American Journal of Food Science and Nutrition*, 3. <https://www.sdippress.com/volume/AJFSN/03/01/effect-of-substitution-of-glucose-syrup-with-date-syrup-on-the-nutritional-quality-of-granola-bar-610fa3e6b3390.pdf>
- Ahmed, H. A. M., Ashraf, S. A., Awadelkareem, A. M., Alam, J., & Mustafa, A. I. (2019). Physico-chemical, textural, and sensory characteristics of wheat flour biscuits supplemented with different levels of whey protein concentrate. *Current research in Nutrition and Food Science Journal*, 7(3), 761–771. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.7.3.15>

Alonso, J. R. (2010). Edulcorantes naturales. Reseña Bibliográfica. *La Granja*. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047396002>

AOAC Official Method 925.09 (2005) Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 18th E., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD.

Aydemir, O. ğ., Beşir, A. ş., & Aden, H. M. (2021). Textural and rheological characteristics of cocoa hazelnut cream partially substituted with glucose syrup. *European Food Science and Engineering*. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1555969>

Azlan, A., Khoo, H. E., Sajak, A. A. B., Aizan Abdul Kadir, N. A., Yusof, B. N. M., Mahmood, Z., & Sultana, S. (2020). Antioxidant activity, nutritional and physicochemical characteristics, and toxicity of minimally refined brown sugar and other sugars. *Food Science and Nutrition*, 8(9), 5048–5062. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1803>

Badui-Dergal, S. (2019). *Química de los Alimentos* (6.a ed.). Pearson.

Barbosa-Martín, Enrique Efraín, & Franco-Carrillo, Katya Angélica, & Cabrera-Amaro, Diana Leticia, & Moguel-Ordoñez, Yolanda Beatriz, & Betancur-Ancona, David Abram (2018). Evaluación de la calidad de galletas reducidas en calorías endulzadas con hojas de *Stevia rebaudiana Bertoni*. *Interciencia*, 43(1),17-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33955583004>

- Barco, M. (2019). Frecuencia de consumo de alimentos en adolescentes y adultos jóvenes con síndrome de Down, octubre - 2017. *Horizonte Médico (Lima)*, 19(3), 27-32. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-558X2019000300005&lang=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2019000300005&lang=pt)
- Barrios-Fragoso, A. (2020) *Sustitutos del azúcar: Nuevos edulcorantes intensivos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de la Laguna.
- Beaubien, J. (2017). How diabetes got to be the no. 1 killer in Mexico. NPR, April 5. <https://www.npr.org/sections/goatsandsoda/2017/04/05/522038318/howdiabetes-got-to-be-the-no-1-killer-in-mexico>
- Bello-Chavolla, O. Y., Bahena-López, J. P., Antonio-Villa, N. E., Vargas-Vázquez, A., González-Díaz, A., Márquez-Salinas, A., Fermín-Martínez, C. A., Naveja, J. J., & Aguilar-Salinas, C. A. (2020). Predicting mortality due to SARS-CoV-2: A mechanistic score relating obesity and diabetes to COVID-19 outcomes in Mexico. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. Published. <https://doi.org/10.1101/2020.04.20.20072223>
- Borczak, B., Sikora, M., Kapusta-Duch, J., & Kutyla-Kupidura, E. M. (2021). The effect of polyols and intensive sweeteners blends on the nutritional properties and starch digestibility of sugar-free cookies. *Starch - Stärke*, 2100180. <https://doi.org/10.1002/star.202100180>
- Bravo-Núñez, N., Sahagún, M., Martínez, P., & Gómez, M. (2018). Incorporation of gluten and hydrolyzed gluten proteins has different effects on dough rheology

and cookie characteristics. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 1452–1458. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13724>

Brewster, R. (2022). Sweetening food and beverage applications with monk fruit. *Food and Beverage Insider*. <https://www.foodbeverageinsider.com/sweeteners/sweetening-food-and-beverage-applications-monk-fruit>

Bukolt, K. F., Ramirez, N., Saenz, A., Mirza, K., Bhaduri, S., & Navder, K. (2019). Effect of low glycemic index Stevia-Benefiber sweetener on the physical, textural, and sensory qualities of oatmeal raisin cookies. *Journal of Food Processing & Technology*, 10(8). <https://doi.org/10.35248/2157-7110.19.10.804>

Cabeza Rodríguez S. (2009) *Funcionalidad de las materias primas en la elaboración de las galletas*. Tesis de Máster. Universidad de Burgos.

Calle Domínguez, J., Núñez De Villavicencio, M., Hernández Rodríguez, G., Álvarez González, M., & Duarte García, C. (2020). Influencia de la adición de aislado de proteína de soya en el desarrollo de galletas dulces. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 47–55. <https://www.revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/224>

Čanadanović-Brunet, J., ČEtković, G., ŠAponjac, V. T., Stajčić, S., Vulić, J., Djilas, S., ŠTajner, D., & Popović, B. (2014). Evaluation of phenolic content, antioxidant activity and sensory characteristics of Serbian honey-based

product. *Industrial Crops and Products*, 62, 1–7.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.009>

Carrera-Lanestosa, A., Coral-Martínez, T., Ruíz-Ciau, D., Moguel-Ordoñez, Y., & Segura-Campos, M. R. (2020). Phenolic compounds and major Steviol glucosides by HPLC-DAD-RP and invitro evaluation of the biological activity of aqueous and ethanolic extracts of leaves and stems: *S. rebaudiana Bertoni* (creole variety INIFAP C01). *International Journal of Food Properties*, 23(1), 199–212. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1716789>

Caussy, C., Pattou, F., Wallet, F., Simon, C., Chalopin, S., Telliam, C., Mathieu, D., Subtil, F., Frobert, E., Alligier, M., Delaunay, D., Vanhems, P., Laville, M., Jourdain, M., & Disse, E. (2020). Prevalence of obesity among adult inpatients with COVID-19 in France. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 8(7), 562–564. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(20\)30160-1](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(20)30160-1)

Chaikham, P., & Prangthip, P. (2015). Alteration of antioxidative properties of longan flower-honey after high pressure, ultra-sonic and thermal processing. *Food Bioscience*, 10, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.002>

Chen, G. L., Chen, S. G., Xiao, Y., & Fu, N. L. (2018). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 30 flowers. *Industrial Crops and Products*, 111, 430–445. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.051>

Chéron, J.-B.; Marchal, A.; Fiorucci, S. Natural sweeteners. In *Encyclopedia of Food Chemistry*; Varelis, P., Melton, L., Shahidi, F., Eds.; *Elsevier: Amsterdam*, The Netherlands, 2019; Volume 1, pp. 189–195.

Chonata Orozco, L. E. (2020). *Stevia (rebaudiana) as non-caloric sweetener. Proposal for its addition to cookies.*  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/150599/Chonata%20-%20La%20Stevia%20%28Rebaudiana%29%20como%20edulcorante%20acal%c3%b3rico.%20Propuesta%20de%20su%20adici%c3%b3n%20a%20galletas..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Čižauskaitė, Jakubaitytė, Žitkevičius, & Kasparavičienė. (2019). Natural ingredients-Based gummy bear composition designed according to texture analysis and sensory evaluation in vivo. *Molecules*, 24(7), 1442.  
<https://doi.org/10.3390/molecules24071442>

Cruz Guevara, D., Franco Robles Elena, E., & Ozuna, C. (2018). Efecto de la incorporación de diferentes tipos de edulcorantes en las propiedades físicas y funcionales de un producto panificable. *Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 49–54.  
<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2857/2108>

Das, S., Istiak, A., Hazra, P., Habiba, U., Bhuiyan, M., & Rafiq, K. (2017). Effects of crystal derived from *Stevia rebaudiana* leaves on alloxan induced type-1

diabetic mice. *British Journal of Pharmaceutical Research*, 17(2), 1–11.

<https://doi.org/10.9734/bjpr/2017/33740>

DOF (1980). Norma Oficial Mexicana NOM-F-376-S-1980, Galletas Marías.

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4611059&fecha=04/02/1981](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4611059&fecha=04/02/1981)

DOF. (2009). *Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008* relativa a Productos y

servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o

semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas,

sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones

y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. México

[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009)

Dugan, J., Chiu, J. W., Shubrook, J. H., & Young, C. F. (2019). What we know--and

don't--about non-nutritive sweeteners. *Family Practice*.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31381620/>

Dyduch-Siemińska, M., Najda, A., Gawroński, J., Balant, S., ŚWica, K., & ŻAba, A.

(2020). *Stevia rebaudiana Bertoni*, a source of high-potency natural

sweetener—biochemical and genetic characterization. *Molecules*, 25(4), 767.

<https://doi.org/10.3390/molecules25040767>

Escutia-López, K. N., González-Montoya, M., Cruz-Ortiz, R., Cano-Sampedro, E.,

Rodríguez- Rivero, Y., Sánchez-Pardo, M. E., Mora-Escobedo, R. (2020).

Effect of aqueous *Stevia rebaudiana Bertoni* extract in antioxidant and

antiglycation capacity in vitro. *Revista Bio Ciencias* 7, e875. doi:  
<https://doi.org/10.15741/revbio.07.e875>

FAO. (1999). NORMA DEL CODEX PARA LOS AZÚCARES. FAO.org.  
<http://www.controlunion.com.ar/normas/Normas/Azucar/NORMA%20DEL%20CODEX%20PARA%20LOS%20AZUCARES%201.htm> FAO. (1999). *Norma del Codex para los azúcares.* FAO.org.  
<http://www.controlunion.com.ar/normas/Normas/Azucar/NORMA%20DEL%20CODEX%20PARA%20LOS%20AZUCARES%201.htm>

Fernández, A., Rojas, E., García, A., Mejía, J., & Bravo, A. (2016). Evaluación fisicoquímica, sensorial y vida útil de galletas enriquecidas con subproductos proteicos de suero de quesería. *Revista Científica*, XXVI (2),71-79.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95945988003>

Flores Vega, A. V., & Gutiérrez Muñoz, O. (2021). Algunos factores de cambio en los hábitos alimentarios y riesgo de sobrepeso y obesidad en México (1.a ed.).

© CLAVE Editorial.

[https://sedeturqroo.gob.mx/gastronomia/webroot/pdfs/2021-06-21%2018:25:48\\_doc.pdf#page=10.](https://sedeturqroo.gob.mx/gastronomia/webroot/pdfs/2021-06-21%2018:25:48_doc.pdf#page=10)

Galdámez Gutiérrez, K., Gamboa Coronel, M., & Márquez Montes, R. (2009). Elaboración y evaluación sensorial de galletas enriquecidas con harina de lactosuero. *Lacandonia, Revista Ciencias UNICACH*, 23–28.  
<https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1761>

- Gangoso, A. C., & Robben, D. M. (2019). Comparison of the glycemic response of white sugar and monk fruit sweetener among normoglycemic subjects. *Journal of Health Sciences*, 2(1), 21–24. <http://web1.aup.edu.ph/urc/wp-content/uploads/2021/02/JHS-July-2019.pdf#page=21>
- Gani, A., Broadway, A. A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., Wani, A. A., Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Khatkar, B. S. (2015). Effect of whey and casein protein hydrolysates on rheological, textural, and sensory properties of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5718–5726. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1649-3>
- Gao, J., Brennan, M. A., Mason, S. L., & Brennan, C. S. (2016). Effect of sugar replacement with stevianna and inulin on the texture and predictive glycemic response of muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(9), 1979–1987. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13143>
- García-Martínez, C. A. & Salmerón, L. A. (2016). *Estudio comparativo de la producción a escala de laboratorio de jarabe de glucosa por medio de la hidrólisis acida de almidón de yuca y almidón de papa*. Trabajo de Tesis, Managua, Nicaragua.
- García-Serna, E., Martínez-Sáez, N., Mesías, M., Morales, F., & Castillo, M. (2014). Use of coffee silver skin and Stevia to improve the formulation of biscuits. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(4), 243–251. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2013-0024>

- Gómez-Zaldívar, M.; Mosqueda, M.T.; Durán, J.A. (2018). Localization of manufacturing industries and specialization in Mexican states: 1993-2013. *Regional Science Policy and Practice* 9 (4): 301-315
- Gong X, Chen N, Ren K, Jia J, Wei K, Zhang L, Lv Y, Wang J, Li M. (2019). The fruits of *Siraitia grosvenorii*: A review of a Chinese food-medicine. *Frontiers in Pharmacology*, 10: 1400.
- Góngora Salazar, V. A., Vázquez Encalada, S., Corona Cruz, A., & Segura Campos, M. R. (2018). *Stevia rebaudiana*: A sweetener and potential bioactive ingredient in the development of functional cookies. *Journal of Functional Foods*, 44, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.03.007>
- Güemes Vera, N., Totosaus, A., Hernandez, J. F., Soto, S., & Aquino Bolaños, E. N. (2009). Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo «concha» fortificados con proteínas de suero de leche. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 29(1), 70–75. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000100011>
- Guimarães, C. M., Gião, M. S., Martinez, S. S., Pintado, A. I., Pintado, M. E., Bento, L. S., & Malcata, F. X. (2007). Antioxidant activity of sugar molasses, including protective effect against DNA oxidative damage. *Journal of Food Science*, 72(1), C039-C043. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00231.x>
- Gurría, J., (8 de enero de 2020). Launch of the study: The heavy burden of obesity: The economics of prevention [Presentación de estudio]. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, CDMX, México.

<https://www.oecd.org/about/secretary-general/heavy-burden-of-obesity-mexicojanuary-2020-es.htm>

Hiroshi S, H., Guemra, S., Bosso, A., de Padua A, R., & Rodrigo Ito M, L. (2020).

Reducción de proteínas y glucosa por reacción de Maillard en leche con lactosa hidrolizada. *Revista chilena de nutrición*, 47(1), 14–21.

<https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000100014>

Hooshmand, S., Holloway, B., Nemoseck, T., Cole, S., Petrisko, Y., Hong, M. Y., &

Kern, M. (2014). Effects of Agave nectar versus sucrose on weight gain, adiposity, blood glucose, insulin, and lipid responses in mice. *Journal of Medicinal Food*, 17(9), 1017–1021. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0162>

*Medicinal Food*, 17(9), 1017–1021. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0162>

Hui, Y. (2006). *Bakery Products Science and Technology*. (1st edition). Iowa, USA:

Blackwell Publishing.

Hull, P. (2010). *Glucose Syrups: Technology and Applications*. Wiley & Blackwell,

John Wiley & Sons, Ltd, Publication, United Kingdom.

Jahan, I.A., Mostafa, M., Hossain, H., Nimmi, I., Sattar, A., Alim, A., & Moeiz, S.M.

(2011). Antioxidant activity of *Stevia rebaudiana Bertoni* leaves from Bangladesh.

Jahangir Chughtai, M. F., Pasha, I., Zahoor, T., Khaliq, A., Ahsan, S., Wu, Z.,

Nadeem, M., Mehmood, T., Amir, R. M., Yasmin, I., Liaqat, A., & Tanweer, S.

(2020). Nutritional and therapeutic perspectives of *Stevia rebaudiana* as

emerging sweetener; a way forward for sweetener industry. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 164–177. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1721562>

Jara Castrejón, L. (2019). *Elaboración de galletas con un edulcorante natural Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) enriquecida con harina de cáscara deshidratada de piña (Ananas comusus*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3402>

Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J., & Gat, Y. (2019). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.12.004>

Kochanski, G.; Golovin, D.; Karro, J.; Solnik, B.; Moitra, S.; Sculley, D. (2017). *Bayesian optimization for a better dessert*. <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/es//pubs/archive/46507.pdf>.

Kolawole, F., Akinwande, B., & Ade-Omowaye, B. (2018). Physicochemical properties of novel cookies produced from orange-fleshed sweet potato cookies enriched with sclerotium of edible mushroom (*Pleurotus tuberregium*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2018.09.001>

Ladi, O. J., Ojo, O. C., & Faruna, S. (2020). Production, quality evaluation and postprandial effects of high fiber fructose sweetened confectionery snacks

(cookies) as a functional diet. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 25–42. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i3230999>

Laviada Molina, H., Escobar Duque, I., & Peryra, E. (2018). Consenso de la Asociación Latinoamericana de Diabetes sobre el uso de edulcorantes no calóricos en personas con diabetes. *Rev ALAD*. Published. [https://www.researchgate.net/profile/Alonso-Romo-Romo/publication/330369232\\_Consenso\\_de\\_la\\_Asociacion\\_Latinoamericana\\_de\\_Diabetes\\_sobre\\_uso\\_de\\_edulcorantes\\_no\\_caloricos\\_en\\_personas\\_con\\_diabetes/links/5c3cc4c292851c22a37499cc/Consenso-de-la-Asociacion-Latinoamericana-de-Diabetes-sobre-uso-de-edulcorantes-no-caloricos-en-personas-con-diabetes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alonso-Romo-Romo/publication/330369232_Consenso_de_la_Asociacion_Latinoamericana_de_Diabetes_sobre_uso_de_edulcorantes_no_caloricos_en_personas_con_diabetes/links/5c3cc4c292851c22a37499cc/Consenso-de-la-Asociacion-Latinoamericana-de-Diabetes-sobre-uso-de-edulcorantes-no-caloricos-en-personas-con-diabetes.pdf)

León-Méndez, G., León-Méndez, D., Pájaro-Castro, N., Granados-Conde, C., Granados-Llamas, E., & Bahoque Peña, M. J. (2020). Elaboración de una galleta a base de harinas de plátano pelipita (*Musa abb*) y de batata (*Ipomea batatas*). *Revista chilena de nutrición*, 47(3), 406–410. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000300406>

Liang, S., & Were, L. M. (2018). Chlorogenic acid oxidation-induced greening of sunflower butter cookies as a function of different sweeteners and storage conditions. *Food Chemistry*, 241, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.084>

- Mahloko, L. M., Silungwe, H., Mashau, M. E., & Kgatla, T. E. (2019). Bioactive compounds, antioxidant activity and physical characteristics of wheat-prickly pear and banana biscuits. *Heliyon*, 5(10), e02479. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02479>
- Mahmoudi, S., Khali, M., Benkhaled, A., Benamirouche, K., & Baiti, I. (2016). Phenolic and flavonoid contents, antioxidant, and antimicrobial activities of leaf extracts from ten, *Algerian Ficus carica L.* varieties. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(3), 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.12.010>
- Manisha, G., Soumya, C., & Indrani, D. (2012). Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids, and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.011>
- Marqués, G. A., São José, J. F. B., Silva, D. A., & Silva, E. M. M. (2016). Whey protein as a substitute for wheat in the development of no added sugar cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.044>
- Martínez-Cervera, S. (2013) *Reemplazo de grasa y azúcar en magdalenas. Efecto sobre las propiedades reológicas, térmicas, de textura y sensoriales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

- Mejía, C.M. (2009). Elaboración de galletas enriquecidas con concentrado proteico foliar de zanahoria (*Daucus carota*). (Tesis de maestría). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Mellado-Mojica, E., & López, M. G. (2015). Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*, 167, 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.111>
- Merillon, J. M., & Gopal Ramawat, K. (2018). *Sweeteners - Pharmacology, Biotechnology & Applications*. Springer Publishing.
- Morales-Hernández, J. A., Chanona-Pérez, J. J., Villanueva-Rodríguez, S. J., Perea-Flores, M. J., & Urias-Silvas, J. E. (2019). Technological and structural properties of oat cookies incorporated with fructans (*Agave tequilana Weber*). *Food Biophysics*, 14(4), 415–424. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09589-9>
- Nabil, B., Ouaabou, R., Ouhammou, M., Essaadouni, L., & Mahrouz, M. (2020). Functional properties, antioxidant activity, and organoleptic quality of novel biscuit produced by Moroccan cladode flour "*Opuntia Ficus-indica*". *Journal of Food Quality*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/3542398>
- NMX-F-006-1983. Alimentos. Galletas. Food. Cookie. Normas Mexicanas. Dirección general de Normas. <https://docplayer.es/10490560-Nmx-f-006-1983->

alimentos-galletas-food-cookie-normas-mexicanas-direccion-general-de-normas.html

NOM-2015, Norma Oficial Mexicana (2015) relativa a las características de sanidad, calidad, inocuidad, trazabilidad, etiquetado y evaluación de la conformidad del jarabe de agave. PROY-NOM-003-SAGARPA-2015. México.

Núñez, E. (2011). *Stevia rebaudiana Bertoni, un sustituto del azúcar*. Área Ciencia de las Plantas y Recursos Naturales. Maestría en Producción Vegetal – Ciclo de Seminarios.

O’Sullivan, M. G. (2020). Nutritional optimization—reduced-sugar products and challenges. *Salt, Fat and Sugar Reduction*, 29–61. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819741-7.00002-x>

Olvera-García, V., Cardador-Martínez, A., & Martín Del Campo, S. T. (2014). Effect of thermal process and filtration on the antioxidant activity and physicochemical parameters of *Agave atrovirens* extracts. *Journal of Food Research*, 4(1), 155. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n1p155>

Organización Mundial de la Salud. (octubre de 2017). Diez datos sobre la obesidad. <https://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/>

Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E., & Hernando, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: Impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9(7), 895. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>

- Pareyt, B., Wilderjans, E., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a sugar-snap cookie system: A model approach based on gluten–starch blends. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 863–869. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.06.011>
- Pelvan, E., Alasalvar, C., & Uzman, S. (2012). Effects of roasting on the antioxidant status and phenolic profiles of commercial Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(5), 1218–1223. <https://doi.org/10.1021/jf204893x>
- Qian, F., Sun, J., Cao, D., Tuo, Y., Jiang, S., & Mu, G. (2017). Experimental and modelling study of the denaturation of milk protein by heat treatment. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 44–51. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.1.44>
- Rodríguez, J., Salvador, A. y Hernando, I. (2013). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: Bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food Bioprocess Technology*, 7, 964-974.
- Rodríguez-Burelo, M. A., Avalos-García, M. I., López-Ramón, C. (2014). Consumo de bebidas de alto contenido calórico en México: un reto para la salud pública *Salud en Tabasco*, 20(1), 28-33. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48731722006.pdf>
- Rodríguez-García, J. (2014). *Reformulación de productos horneados para disminuir el contenido en grasa y azúcar mediante la sustitución con inulina. Efectos*

*sobre la estructura y propiedades físicas*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Rodríguez-García, J., Laguna, L., Puig, A., Salvador, A., & Hernando, I. (2012). Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits. *Food and Bioprocess Technology*, 6(10), 2739–2750. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0919-1>

Rodríguez, V. (2008). *Bases de la Alimentación Humana*. La Coruña, España: Editorial Netbiblo. 1ra ed., Vol. 1, pp. 134-135).

Rojas, E., Bermúdez, V., Motlaghzadeh, Y., Mathew, J., Fidilio, E., Faria, J., Rojas, J., de Bravo, M. C., Contreras, J., Mantilla, L. P., Angarita, L., Sepúlveda, P. A., & Kuzmar, I. (2018). *Stevia rebaudiana* Bertoni and its effects in human disease: Emphasizing its role in inflammation, atherosclerosis, and metabolic syndrome. *Current Nutrition Reports*, 7(3), 161–170. <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0228-z>

Ruiz-Ojeda, F. J., Plaza-Díaz, J., Sáez-Lara, M. J., & Gil, A. (2019). Effects of sweeteners on the gut microbiota: A review of experimental studies and clinical trials. *Advances in Nutrition*, 10(suppl\_1), S31-S48. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy037>

Ruiz-Ruiz J. C., y. B. Moguel-Ordoñez, & M.R. Segura-Campos. (2015). “Biological activity of *Stevia Rebaudiana Bertoni* and their relationship to health”. *Critical*

*Reviews in Food Science and Nutrition* 57(12): 2680–2690. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1072083>

Sahagún, M., & Gómez, M. (2018). Influence of protein source on characteristics and quality of gluten-free cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4131–4138. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3339->

Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., & López, M. G. (2017). Evaluation of *Agave angustifolia* fructans as fat replacer in the cookies manufacture. *LWT Food Science & Technology*, 77, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.028>

Sarabhai, S., Indrani, D., Vijaykrishnaraj, M., Milind, Arun Kumar, V., & Prabhasankar, P. (2015). Effect of protein concentrates, emulsifiers on textural and sensory characteristics of gluten free cookies and its immunochemical validation. *Journal of Food Science and Technology*. Published. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1432-5>

Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., & Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability, and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>

Serra-Majem, L., Raposo, A., Aranceta-Bartrina, J., Varela-Moreiras, G., Logue, C., Laviada, H., Socolovsky, S., Pérez-Rodrigo, C., Aldrete-Velasco, J., Meneses

Sierra, E., López-García, R., Ortiz-Andrellucchi, A., Gómez-Candela, C., Abreu, R., Alexanderson, E., Álvarez-Álvarez, R., Álvarez Falcón, A., Anadón, A., Bellisle, F., Cunha Velho De Sousa, S. (2018). Ibero–American consensus on low- and no-calorie sweeteners: Safety, nutritional aspects and benefits in food and beverages. *Nutrients*, 10(7), 818. <https://doi.org/10.3390/nu10070818>

Shah, R.; Jager, L.S. Recent analytical methods for the analysis of sweeteners in food: A regulatory perspective. *Food Drug Administration*. Pap. 2017, 5, 13–32.

Shamah-Levy, T., Romero-Martínez, M., Cuevas-Nasu, L., Méndez Gómez-Humaran, I., Antonio Ávila-Arcos, M., & Rivera-Dommarco, J. A. (2019). The Mexican national health and nutrition survey as a basis for public policy planning: Overweight and obesity. *Nutrients*, 11(8), 1727. <https://doi.org/10.3390/nu11081727>

Shikha, Singh, R., & Yadav, M. P. S. (2018). Effects of whey supplementation on physico-chemical evaluation of developed cookies. *International Journal of Home Science*. <https://www.homesciencejournal.com/archives/2018/vol4issue2/PartC/4-2-27-465.pdf>

Shivani, Thakur, B. K., Mallikarjun, C. P., Mahajan, M., Kapoor, P., Malhotra, J., Dhiman, R., Kumar, D., Pal, P. K., & Kumar, S. (2021). Introduction, adaptation, and characterization of monk fruit (*Siraitia grosvenorii*): a non-caloric new

natural sweetener. *Scientific Reports*, 11(1), 11.

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85689-2>

Singer, M. (2020). Deadly companions: COVID-19 and diabetes in Mexico. *Medical*

*Anthropology*, 39(8), 660–665.

<https://doi.org/10.1080/01459740.2020.1805742>

Stefan, E. M., Voicu, G., Constantin, G. A., Munteanu, G. M., & Ipate, G. (2019).

Effect of sugar substitutes on wheat dough rheology. *Scientific Study & Research*, 313–320.

St-Pierre, P., Pilon, G., Dumais, V., Dion, C., Dubois, M. J., Dubé, P., Desjardins, Y.,

& Marette, A. (2014). Comparative analysis of maple syrup to other natural sweeteners and evaluation of their metabolic responses in healthy rats. *Journal*

*of Functional Foods*, 11, 460–471. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.001>

Świąder K., Wegner K., Piotrowska A., Tan FJ. & Sadowska A. (2019) Plants as a

source of natural high-intensity sweeteners: a review. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 92:160-171.

Tang, X., & Liu, J. (2017). A comparative study of partial replacement of wheat flour

with whey and soy protein on rheological properties of dough and cookie quality. *Journal of Food Quality*, 2017, 1–10.

<https://doi.org/10.1155/2017/2618020>

- Tao, R., & Cho, S. (2020). Consumer-based sensory characterization of steviol glycosides (Rebaudioside A, D, and M). *Foods*, 9(8), 1026. <https://doi.org/10.3390/foods9081026>
- Vasanthan, H. Wang, L. Huber, G., & Pitts, N. (2008). Effect of baking on dietary fiber and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder. *Food Chemistry*, 107:1217–1224 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.057>
- Vatankhah, M., Garavand, F., Elhamirad, A., & Yaghbani, M. (2018). Influence of sugar replacement by stevioside on physicochemical and sensory properties of biscuit. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3), 393–400. <https://doi.org/10.3920/qas2014.0396>
- Vatankhah, M., Garavand, F., Mohammadi, B., & Elhamirad, A. (2017). Quality attributes of reduced-sugar Iranian traditional sweet bread containing stevioside. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1233–1239. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9500-y>
- Vázquez Hernández, M. C., Guevara González, R. G., Aguirre Becerra, H., & Alvarado, A. M. (2017). Current consumption of natural sweeteners (benefits and problems): Stevia. *Revista Médica Electrónica*, 39(5). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242017000500016&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242017000500016&script=sci_arttext&tlng=en)
- Velázquez Ríos, I. O., González-García, G., Mellado-Mojica, E., Veloz García, R. A., Dzul Cauich, J. G., López, M. G., & García-Vieyra, M. I. (2018). Phytochemical

profiles and classification of Agave syrups using  $^1\text{H-NMR}$  and chemometrics. *Food Science & Nutrition*, 7(1), 3–13. <https://doi.org/10.1002/fsn3.755>

Wani, S. H., Gull, A., Allaie, F., & Safapuri, T. A. (2015). Effects of incorporation of whey protein concentrate on physicochemical, texture, and microbial evaluation of developed cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1092406. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1092406>

Wilderjans, E. Luyts, A. Brjs, K. and Delcour, J. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science & Technology* 30(2013), 6-15

Wiley, J., Sons, L., (2010). Glucose syrups. *Technology and Applications, Research and Markets*, Dublin. [www.starch.dk](http://www.starch.dk), Consultado en Septiembre 2021.

Woodbury, T. J., Lust, A. L., & Mauer, L. J. (2021). The effects of commercially available sweeteners (sucrose and sucrose replacers) on wheat starch gelatinization and pasting, and cookie baking. *Journal of Food Science*, 86(3), 687–698. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15572>

Wuttisin, N., & Boonsook, W. (2019). Total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of *Siraitia grosvenorii* fruits extracts. *Food and Applied Bioscience Journal*, 7(3), 131–141. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/fabjournal/article/view/176792>

Yildiz, E., & Gocmen, D. (2020). Use of almond flour and stevia in rice-based gluten-free cookie production. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 940–951.