UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Estudio comparativo de endulzantes bajos en calorías en la formulación de brownies y su impacto en las características sensoriales, textura e índice glucémico

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Alex David Sevilla Noroña

Tutor: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato – Ecuador

Julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 23 de junio de 2025



Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

0501873954

TUTORA

AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alex David Sevilla Noroña, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Alex David Sevilla Noroña

1850937200

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor



Alex David Sevilla Noroña

1850937200

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
DOLORES DEL ROCIO ROBALINO MARTINEZ
Validar únicamente con FirmaEC

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
JUAN DE DIOS ESPINOZA MOYA
Validar únicamente con FirmaEC

Mg. Juan de Dios Espinoza Moya

1803201431

Firmado electrónicamente por:
DANIEL ALFONSO CABRERA VALLE
Validar únicamente con FirmaEC

Mg. Daniel Alfonso Cabrera Valle

1802561595

Ambato, 07 de julio de 2025

DEDICATORIA

A Dios por ilustrarme las lecciones por aprender y darme la fortaleza para culminar con éxito esta etapa tan importante.

A mi madre Margarita y hermana Jenny por ser mis claros ejemplos de trabajo y resiliencia

A mi hermanita Melany o "hermosura" como yo la llamo, ha sido la personita que da alegría a mi vida y una razón para ser mejor cada día.

A mis mejores amigas Liz y Arlett por su compañía sincera y apoyo incondicional, gracias por las largas conversaciones y la alegría en los momentos compartidos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por ser el espacio idóneo de mi formación tanto académica como personal, donde logré encontrar un camino en el que me sienta a gusto y pueda proyectarme hacia los éxitos que deseo.

A mis padres, por sus sacrificios y enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis hermanos, por su apoyo incondicional en cada iniciativa y alentarme hacia mis metas.

A mi tutora, Dra Mayra Paredes por su guía y paciencia en cada etapa de este proceso. También agradezco al Ing Diego Salazar e Ing Jacqueline Ortiz por sus aportes a lo largo de mi formación académica.

A mis amigos y futuros colegas por estar presentes en los momentos de presión, por sus palabras de aliento y por compartir este camino académico.

Finalmente, gracias a la vida por las lecciones, los desafíos y las oportunidades que me llevaron hasta aquí. Esta tesis es una suma de esfuerzos, aprendizajes, errores y victorias compartidas. Es el cierre de una etapa y el inicio de nuevos caminos.

A todos ustedes…

¡Muchas gracias!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....ii

AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN..... iii

DERECHOS DE AUTOR.....iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTO.....vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... viii

ÍNDICE DE TABLAS.....xi

ÍNDICE DE FIGURAS.....xii

ÍNDICE DE ANEXOS..... xiii

RESUMEN EJECUTIVO xiv

ABSTRACT.....xv

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1

1.1. Antecedentes investigativos 1

1.1.1. Justificación 1

1.1.2. Brownies 2

1.1.3. Harina de trigo 3

1.1.4. Endulzantes 4

1.1.4.1. Azúcar.....4

1.1.4.2. Alulosa.....5

1.1.4.3. Eritritol.....5

1.1.5. Chocolate y polvo de cacao 6

1.1.6. Mantequilla 6

1.1.7. Huevos 7

1.1.8. Análisis sensorial 7

1.1.9. Análisis fisicoquímicos y proximal 7

1.1.10. Análisis de textura 7
1.1.11. Índice glucémico 8
1.2. Objetivos 8
1.2.1. Objetivo general 8
1.2.2. Objetivos específicos 8
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 8
2.1. Establecimiento de la aceptabilidad sensorial de la sustitución de sacarosa por alulosa y eritritol en la formulación de brownies 8
2.1.1. Materia prima 8
2.1.2. Elaboración del brownie 10
2.1.3. Evaluación sensorial 11
2.2. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, textura e índice glucémico de los brownies 11
2.2.1. Actividad de agua 11
2.2.2. Acidez titulable y pH 11
2.2.3. Colorimetría 12
2.2.4. Textura 12
2.2.5. Almidón total 12
2.2.6. Índice glucémico 12
2.3. Determinación del perfil nutricional del brownie con mejor aceptación sensorial 14
2.3.1. Humedad 14
2.3.2. Cenizas 14
2.3.3. Proteína 14
2.3.4. Grasa 15
2.3.5. Carbohidratos totales 15
2.3.6. Contenido calórico 15
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 15
3.1. Evaluación sensorial 15

3.2. Análisis fisicoquímicos 19
3.2.1. Actividad de agua 19
3.2.2. Acidez titulable y pH 20
3.2.4. Colorimetría 22
3.2.5. Análisis de textura 25
3.3. Determinación del índice glucémico 28
3.4. Determinación de la composición proximal del brownie 30
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 33
4.1. Conclusiones 33
4.2. Recomendaciones 34
MATERIALES DE REFERENCIA 35
ANEXOS 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos para los tipos de harina en el Ecuador.....3

Tabla 2. Clasificación de los edulcorantes.....4

Tabla 3. Formulación base de brownies.....9

Tabla 4. Formulaciones de brownie control y proporción de sustitución T1, T2, T3 y T4.....9

Tabla 5. Valores medios de la evaluación sensorial de los brownies.....17

Tabla 6. Comparaciones pareadas entre tratamientos en atributos sensoriales mediante la prueba de Wilcoxon.....19

Tabla 7. Valores medios de los parámetros fisicoquímicos.....21

Tabla 8. Valores medios de los parámetros de color en la escala CIELAB.....24

Tabla 9. Valores medios de los parámetros de textura.....26

Tabla 10. Índice glucémico estimado de las muestras de brownie.....30

Tabla 11. Análisis proximal del brownie control y el mejor tratamiento (alulosa 50%).....32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos principales de brownies 2

Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de brownies 10

Figura 3. Índice de aceptabilidad de los brownies 16

Figura 4. Evaluación sensorial de las formulaciones de brownies 18

Figura 5. Parámetros fisicoquímicos analizados de los brownies 22

Figura 6. Parámetros del color en la escala CIELAB 24

Figura 7. Parámetros de textura de las formulaciones de brownie 27

Figura 8. Curva de calibración para la glucosa 29

Figura 9. Relación del almidón hidrolizado vs tiempo (pan blanco y brownie) 30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de cata empleada para la evaluación sensorial de las formulaciones de brownies 43

Anexo 2. Evaluación sensorial en la sala de cata 44

Anexo 3. Análisis de textura instrumental.....45

Anexo 4. Determinación del índice glucémico (IG).....45

Anexo 5. Certificado de LACONAL de la cuantificación de proteína y grasa del tratamiento control y la sustitución al 50% con alulosa (T1).....46

RESUMEN EJECUTIVO

La creciente demanda de productos reducidos en azúcar ha impulsado la investigación en formulaciones de repostería que mantengan la calidad sensorial y nutricional sin comprometer la salud metabólica. En este contexto, se evaluó el impacto de sustituir sacarosa por alulosa y eritritol en la formulación de brownies, analizando su efecto sobre atributos sensoriales y fisicoquímicos, color, textura, perfil nutricional e índice glucémico in vitro. Se desarrollaron cinco formulaciones, comparando un tratamiento control con sustituciones parciales y totales. La evaluación sensorial reveló que la formulación con alulosa al 50 por ciento mantuvo una alta aceptación, similar al control, mientras que la sustitución total con eritritol resultó en una marcada disminución de los atributos. En textura, la alulosa parcial mejoró la elasticidad y cohesividad sin incrementar la dureza, a diferencia del eritritol total, que generó una masticabilidad excesiva. El análisis colorimétrico mostró que la alulosa favorece tonalidades oscuras, posiblemente por su participación en las reacciones de Maillard, mientras que el eritritol produjo tonos claros. Además, el tratamiento con alulosa mostró menor actividad de agua y un perfil nutricional comparable al control. El índice glucémico in vitro del brownie con alulosa al 50 por ciento (IG = 71.23) fue menor que el del control (IG = 75.62), lo cual representa un beneficio potencial para el control glucémico, aunque ambos siguen en la categoría de alto IG. En conclusión, la alulosa en sustitución parcial se presenta como una opción prometedora para formular repostería con mejor perfil sensorial y metabólico, sin afectar su funcionalidad tecnológica.

Palabras clave: Brownies, sustitutos del azúcar, índice glucémico, textura instrumental, análisis sensorial.

ABSTRACT

The growing demand for reduced-sugar products has driven research into pastry formulations that maintain both sensory and nutritional quality without compromising metabolic health. In this context, the impact of substituting sucrose with allulose and erythritol in brownie formulations was evaluated, analyzing their effects on sensory attributes, color, instrumental texture, physicochemical characteristics, nutritional profile, and in vitro glycemic index. Five formulations were developed, comparing a control with partial and total replacements of the sweeteners. Sensory evaluation revealed that the formulation with 50% allulose maintained high acceptance, similar to the control, while total replacement with erythritol led to a marked decline in evaluated attributes. In terms of texture, partial allulose improved elasticity and cohesiveness without increasing hardness, unlike total erythritol, which resulted in excessive chewiness. Colorimetric analysis showed that allulose favored darker tones, likely due to its participation in Maillard reactions, whereas erythritol produced lighter shades. Additionally, the allulose treatment showed lower water activity and a nutritional profile comparable to the control. The in vitro glycemic index of the 50% allulose brownie (GI = 71.23) was lower than the control (GI = 75.62), suggesting a potential metabolic advantage, although both remain in the high GI category. In conclusion, partial replacement with allulose emerges as a promising alternative for developing baked goods with improved sensory and metabolic profiles, without compromising technological functionality.

Keywords: Brownies, sugar substitutes, glycemic index, instrumental texture, sensory analysis.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

El aumento en la prevalencia de enfermedades metabólicas como la diabetes tipo 2 y la obesidad ha generado una creciente preocupación por los efectos del consumo excesivo de azúcar en la salud. Según la OMS (2023) más de 422 millones de personas padecen diabetes a nivel mundial, y las dietas altas en azúcar contribuyen significativamente a este problema. En Ecuador, el 63.6% de la población adulta presenta sobrepeso y obesidad, mientras que aproximadamente el 7.1% padecen diabetes (MSP et al., 2018). En la formulación de productos alimenticios, el azúcar cumple funciones tecnológicas y sensoriales cruciales, lo que explica su amplia presencia en la mayoría de productos procesados, especialmente en confitería, salsas, productos de pastelería, bebidas, etc. (Cabrera, 2017).

En respuesta a aquella problemática, existe una tendencia global hacia la sustitución de la sacarosa por alternativas que imiten su dulzor y aporten la mínima o nula cantidad de calorías, como los edulcorantes (García et al., 2013). Sin embargo, estos sustitutos pueden provocar efectos adversos en las características organolépticas de los productos ya que no reducen la actividad de agua, no aportan sólidos, textura o volumen, por lo que se hace necesario el uso complementario de fibras o polialcoholes (Fernández et al., 2024).

Para abordar estas dificultades, se ha popularizado el uso del eritritol, un polialcohol que posee un poder endulzante de 60-80% respecto a la sacarosa, un bajo aporte calórico y suele otorgar cualidades organolépticas aceptables en productos horneados dependiendo la cantidad empleada (FDA, 2001; Rodríguez, 2014). Asimismo, el desarrollo científico y tecnológico ha logrado extraer un azúcar raro llamado “alulosa”, que aporta alrededor del 10% de las calorías y cuyo comportamiento en procesos de horneado es muy similar al de la sacarosa ya que resiste altas temperaturas y carameliza (Fernández et al., 2023).

Además del aporte calórico, es fundamental considerar el concepto del índice glucémico, el cual es una medida del impacto de la glucosa en sangre, por lo que ha adquirido gran relevancia en la nutrición, sobre todo en recomendaciones y dietas proscritas para personas diabéticas (Hernández et al., 2013). Por lo tanto, resulta de gran interés comparar los efectos de los sustitutos de la sacarosa sobre las cualidades organolépticas e índice glucémico de un producto popular como el brownie para identificar el sustituto más adecuado que conserve el dulzor, estabilidad y aceptación sensorial; esto a su vez, puede impulsar la formulación de productos comerciales dirigidos para personas con restricciones dietéticas.

1.1.2. Brownies

El brownie es un postre tipo pastel de origen estadounidense que se caracteriza por su textura densa, sabor intenso a chocolate y forma cuadrada. Su creación data de finales del siglo XIX, con la primera receta documentada en 1896 en "The Boston Cooking-School Cook Book" de Fannie Farmer, aunque esta versión contenía melaza en lugar de chocolate (Farmer, 1896). La incorporación del chocolate y huevo se registró en 1907 en el "Service Club Cook Book" de Chicago, bajo el nombre de "Bangor Brownies" publicada por María Howard, con lo cual ganó más sabor y así aumentó su popularidad (The nibble, 2020). El nombre se deriva de su color marrón característico y cuya preparación tradicional no incluye levadura química, lo que resulta en un bizcocho con un centro húmedo, superficie crujiente y textura algo gomosa, estructura que ha servido de base para variar tanto en formulación como en proceso para satisfacer la alta popularidad que ha mantenido a lo largo de los años (Islas et al., 2012).

La formulación básica incluye chocolate, cacao en polvo, harina, mantequilla sin sal, azúcar, extracto de vainilla y huevos, pudiendo incluirse azúcar morena, aceite, chispas o frutos secos. Como menciona Posada-Buitrago et al. (2023) existen 3 categorías: el primero es el “cakey” que posee una textura ligera y esponjosa de allí su nombre tipo bizcocho, su proceso se caracteriza por su cremado inicial que involucra batir el azúcar con la mantequilla y en su formulación ocupa un porcentaje adicional de clara de huevo; por otro lado, está la categoría “fudgy” que es más denso, húmedo y ligeramente pegajoso en el paladar, debido al mayor porcentaje de chocolate en lugar de cacao en polvo; por último, está “chewy” que tiene una característica algo gomosa lo que provoca que sea más resistente y masticable, lo cual se debe a la adición de azúcar morena y aceite.

Figura 1

Tipos principales de brownies



Fuente: Posada-Buitrago et al. (2023)

1.1.3. Harina de trigo

El trigo, cereal perteneciente al género *Triticum*, es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial. Su grano está compuesto por tres partes principales: el germen, el endospermo y el salvado. Tras el proceso de molienda, se obtiene una harina, la cual puede conservar todas las partes del grano (harina integral) o separarse para producir harina blanca refinada, compuesta principalmente por el endospermo; en este contexto, la calidad de la harina dependerá de su granulometría, así como del contenido de almidón y proteínas (A. Zhang, 2020).

La harina de trigo puede clasificarse principalmente en función de su contenido proteico, lo cual determina su uso ya sea en pastificios o panificación que es necesario mayor cantidad de proteína y de gluten o en pastelería y galletería que debe contener una cantidad menor para favorecer una textura más tierna; es así que la norma INEN 616 (2015) establece los requisitos para cada tipo.

Tabla 1

Requisitos para los tipos de harina en el Ecuador

Requisitos	Unidad	Pastificios	Panificación	Pastelería y galletería	Auto-leudantes	Para todo uso	Integral
Humedad, máximo	%	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	15.0
Proteína, mínimo	%	10.5	10	7	7	9	11
Cenizas, máximo	%	0.85	1	0.8	3.5	0.8	2.0
Acidez (ác. sulfúrico), máximo	%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Gluten húmedo, mínimo	%	28	28	20	20	25	-
Grasa, máximo	%	2	2	2	2	2	3

Fuente: (INEN, 2015)

Desde el punto de vista tecnológico, la harina de trigo cumple funciones esenciales en productos horneados. Actúa como base estructural del producto mediante la formación de gluten cuando se hidrata y otorga buen volumen y apariencia en productos horneados; así también, al gelatinizarse el almidón durante el horneado, le aporta firmeza y humedad (Belcar et al., 2020).

1.1.4. Endulzantes

Los endulzantes son sustancias que proporcionan sabor dulce a los alimentos (RAE, 2024). Por su parte, los edulcorantes son aditivos utilizados como sustitutos del azúcar para imitar su dulzor, generalmente con menor aporte calórico; cabe destacar que los oligosacáridos, disacáridos y monosacáridos no son considerados edulcorantes, ya que son azúcares naturales y no actúan como aditivos (EFSA, 2024)

Como indica la EFSA, (2024), los edulcorantes pueden proceder de la extracción de plantas, a partir de un material vegetal, sintetizados o producidos mediante microorganismos.

Tabla 2

Clasificación de los edulcorantes

Calóricos	Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, galactosa, alulosa, tagatosa, trehalosa.
		Naturales calóricos	Miel, jarabe arce, jarabe de sorgo, azúcar de palma o de coco
	Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz de alta fructosa, azúcar invertido
		Alcoholes de azúcar	Sorbitol, eritritol, xilitol, manitol, maltitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol
Acalóricos	Naturales		Luo Han Guo (Fruto del monje), taumatina, pentadina, monelina, brazzeína
	Artificiales		Aspartamo, sucralosa, neotamo, sacarina, acesulfame K, ciclamato, nehosperidina DC, advantamo, alitamo

Fuente: (García et al., 2013)

Uno de los efectos beneficiosos que se ha estudiado es el carácter no cariogénico, es decir, su capacidad para no promover la caries dental. Este efecto ha sido comprobado y aprobado para los siguientes edulcorantes: sorbitol, eritritol, xilitol, manitol, maltitol, isomalt, lactitol, jarabes de glucosa hidrogenada, D-tagatosa, isomaltulosa y sucralosa (FDA, 2007).

1.1.4.1. Azúcar

La sacarosa, comúnmente conocida como azúcar de mesa, es un disacárido compuesto por glucosa y fructosa que aporta 4kcal/g y es extraído principalmente de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera. En la industria alimentaria, se utiliza no solo por su poder edulcorante,

sino también por sus propiedades funcionales, como su aporte a la viscosidad, cristalización, caramelización, fermentación y propiedad antimicrobiana (Das & Chakraborty, 2016).

La sacarosa es un azúcar no reductor, es decir, su estructura no posee un grupo aldehído o cetona capaz de participar en reacciones químicas; sin embargo, al hidrolizarse, sus monosacáridos sí poseen dicha propiedad, por lo que pueden participar en la reacción de Maillard y otorgar colores pardos deseados en ciertos aspectos, como la panadería y pastelería (Plaza-Diaz & Gil, 2016). Otro aspecto importante es su moderada higroscopía, lo que permite retener humedad interna en productos horneados como brownies y tortas, logrando con ello productos más suaves y tiernos; así también contribuye en la mejora de la textura y conservación en productos como mermeladas, jarabes y helados (Pan Reac AppliChem, 2025).

1.1.4.2. Alulosa

La alulosa o también conocida como D-psicosa es un monosacárido de origen natural que se encuentra en pequeñas cantidades en alimentos como el trigo, las pasas y los higos. Químicamente, es un epímero de la fructosa, lo que significa que comparte una estructura similar con una diferencia en la disposición de un solo átomo de carbono (Fernández et al., 2023). Su capacidad edulcorante es equivalente al 70% con respecto a la sacarosa y su contenido calórico es apenas de 0.2kcal/g (Lamothe et al., 2019). Además, la alulosa no eleva significativamente los niveles de glucosa en sangre y en aplicaciones culinarias se ha evidenciado que se comporta de manera similar al azúcar en términos de volumen, textura, y agradable sabor en boca, lo cual facilita su uso en recetas de repostería y confitería; sin embargo, su disponibilidad y costo pueden ser limitantes en comparación con otros edulcorantes (Lamothe et al., 2019; Pocan et al., 2019).

Al ser un azúcar raro la FDA realizó los estudios de seguridad pertinentes y la aprobó como “generalmente reconocida como segura” (GRAS) y estableciendo que está exenta del etiquetado de “azúcares” y “azúcares añadidos” (W. Zhang et al., 2017)

1.1.4.3. Eritritol

Su estructura molecular posee un grupo hidroxilo (-OH), por lo que pertenece al grupo de alcoholes de azúcar, naturalmente se encuentra en algunas frutas y alimentos fermentados, pero comercialmente se produce mediante la fermentación de glucosa por levaduras específicas (EFSA, 2023).

Comparado con la sacarosa, el eritritol posee un dulzor del 60-70% que, junto con su efecto refrescante en boca, suele enmascarar la sensación grasa que pueden tener algunos productos (O'Donnell & Kearsley, 2012). En cuanto a su efecto laxante, a diferencia de la mayoría de polioles, este es mejor tolerado, por lo que puede tener aplicaciones más amplias y en mayor proporción (Rapalle et al., 2016)

1.1.5. Chocolate y polvo de cacao

El chocolate y el cacao en polvo son derivados del fruto del árbol de cacao (*Theobroma cacao*). El proceso de elaboración del chocolate implica la fermentación de los granos, secado, tostado y molienda, resultando en una pasta llamado licor de cacao, lo cual se mezcla con azúcar para luego ser refinado, en lo cual también se puede incluir ingredientes como leche en polvo, lecitina, sólidos de plantas aromáticas u otro extracto que se requiera para producir diferentes tipos de chocolate.

El cacao en polvo natural se obtiene al extraer la mayor parte de la manteca de cacao de la pasta, dejando un producto seco que se muele finamente; su inclusión puede disminuir el pH de los productos, por lo que se suele adicionar bicarbonato de sodio para equilibrarlo, logrando con ello también en un color más intenso. Existe el cacao en polvo alcalinizado que ha sido procesado por un álcali con el fin de obtener colores más oscuros, sabores menos amargos y su pH se aproxime a la neutralidad (Beg et al., 2017)

En la repostería, ambos ingredientes son fundamentales para aportar sabor, color y textura a una amplia variedad de productos, incluyendo los brownies. Además de sus propiedades organolépticas, el cacao es reconocido por su contenido de compuestos bioactivos, como los flavonoides y polifenoles, que poseen propiedades antioxidantes y pueden contribuir a la salud cardiovascular y cognitiva. Sin embargo, es importante considerar que la adición de azúcares y grasas puede influir en su perfil nutricional (Katz et al., 2011).

1.1.6. Mantequilla

La mantequilla es un producto lácteo derivado de la crema de leche, contiene un 80-82% de grasa, el resto corresponde a agua y sólidos lácteos. El punto de fusión oscila entre 25-28°C lo que permite que se derrita fácilmente en boca, mejorando con ello la palatabilidad del producto. Durante la cocción, la mantequilla ayuda a crear una estructura homogénea en la masa, interactúa con el azúcar y retarda la gelatinización del almidón, resultando así en una superficie brillante y una textura untuosa y suave; además su sabor y aroma, derivados de compuestos como la diacetil, son difíciles de replicar con otras grasas (Cauvain & Young, 2006).

1.1.7. Huevos

Los huevos son un ingrediente de origen animal muy esencial en la repostería debido a sus múltiples funciones ya que aportan estructura, humedad, emulsificación y estabilidad a las masas y batidos. Está constituido por 3 partes: la cáscara que representa alrededor del 10%, la yema con un 33% y la clara con el 57% restante. La cáscara que lo recubre está compuesta principalmente por carbonato de calcio y es poroso, las claras contienen proteínas como la albúmina que, al batirse, incorporan aire y proporcionan estructura, volumen y esponjosidad a las preparaciones, mientras que las yemas, ricas en grasas y lecitina, actúan como emulsionantes, permitiendo la integración homogénea de ingredientes acuosos y grasos (Buendía & Berrocal, 2016; Cauvain & Young, 2006)

1.1.8. Análisis sensorial

El análisis sensorial permite evaluar las características organolépticas, donde generalmente se incluye la evaluación del sabor, aroma, textura, apariencia y aceptación general de un producto. En el caso de los brownies, se evalúan atributos como la intensidad del sabor a chocolate, la dulzura, la textura (densa y húmeda), el color (intensidad del marrón) y la apariencia general (brillo y forma). Las pruebas sensoriales pueden realizarse mediante paneles entrenados o consumidores, y los métodos incluyen pruebas descriptivas, de preferencia y discriminativas. (Stone & Sidel, 2004).

1.1.9. Análisis fisicoquímicos y proximal

El pH mide la acidez o alcalinidad, siendo crucial para la estabilidad microbiológica y la percepción del sabor. Los brownies suelen tener un pH moderadamente ácido debido al cacao. Los grados Brix indican el contenido de azúcares solubles, utilizados para medir el dulzor. La acidez titulable refleja la concentración de ácidos orgánicos, que puede influir en el sabor. El análisis proximal determina el contenido de humedad, proteínas, grasas, carbohidratos y cenizas, proporcionando información sobre el valor nutricional del producto (AOAC, 2005).

1.1.10. Análisis de textura

El análisis de textura mide propiedades como dureza, cohesión, elasticidad y masticabilidad de los alimentos mediante instrumentos como el texturómetro. En los brownies, estos parámetros están relacionados con la proporción de ingredientes como grasa, azúcar y harina. Por ejemplo, un aumento en el contenido de grasa puede dar una textura más suave y húmeda. Este análisis permite estandarizar la calidad del producto y predecir la aceptación del consumidor. Métodos

como la prueba de penetración y el Test de Compresión son comunes en alimentos (Bourne, 2002).

1.1.11. Índice glucémico

El índice glucémico (IG) es un indicador que mide la rapidez con la que un alimento eleva los niveles de glucosa en sangre tras su consumo (MedlinePlus, 2022). Los brownies tradicionales tienen un IG alto por la presencia de azúcar y harina refinada. La sustitución de estos ingredientes por alternativas como alulosa o eritritol puede reducir el IG, haciéndolos aptos para personas que buscan controlar su glucemia (Jenkins et al., 1981).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Comparar el uso de endulzantes bajos en calorías en la formulación de brownies y su impacto en las características sensoriales, textura e índice glucémico.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer la aceptabilidad sensorial de la sustitución de sacarosa por alulosa y eritritol en la formulación de brownies.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, textura e índice glucémico de los brownies.
- Determinar el perfil nutricional del brownie con mejor aceptación sensorial.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Establecimiento de la aceptabilidad sensorial de la sustitución de sacarosa por alulosa y eritritol en la formulación de brownies

2.1.1. Materia prima

La harina blanca empleada fue la de tipo pastelera de la marca “Molinos Miraflores”. El polvo de cacao, azúcar, huevos, mantequilla y chocolate semiamargo fue adquirido en el supermercado Megamaxi de la ciudad de Ambato. Los endulzantes alulosa (proveedor chileno) y eritritol (proveedor chino) fueron adquiridos de un proveedor local.

Para el establecimiento de la formulación base se realizó un pilotaje previo con 50 personas, donde se evaluó el índice de aceptabilidad, llegando a ser del 90%.

Tabla 3

Formulación base de brownies

Materia prima	Cantidad (%)
Chocolate semiamargo 40%	22.50
Mantequilla	18.00
Huevos	22.50
Endulzante	18.00
Harina	14.50
Polvo de cacao	4.50

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presentan las formulaciones de cada tratamiento tomando como base el peso de un huevo mediano (50g).

Tabla 4

Formulaciones de brownie control y proporción de sustitución T1, T2, T3 y T4

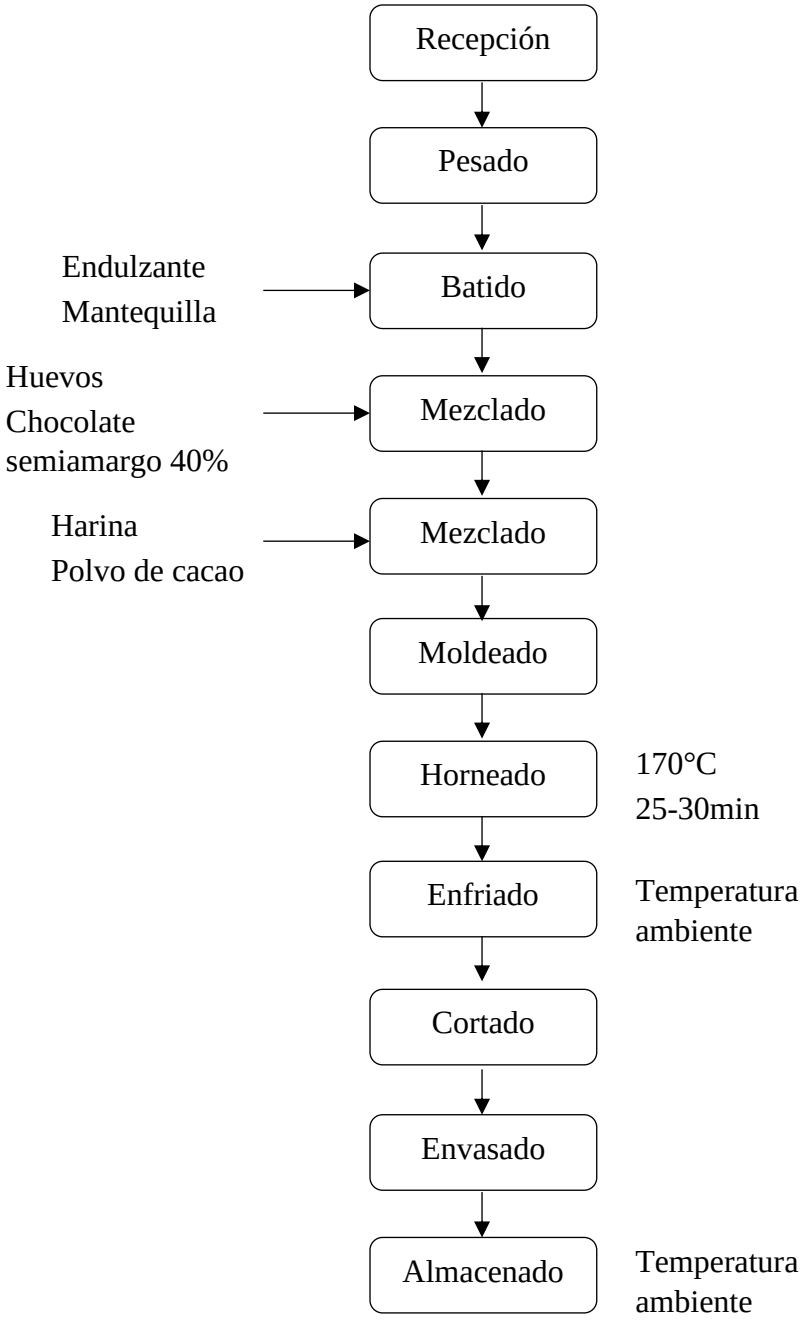
Materia prima	Control (g)	Tratamiento 1 (g)	Tratamiento 2 (g)	Tratamiento 3 (g)	Tratamiento 4 (g)
Chocolate semiamargo 40%	50	50	50	50	50
Mantequilla	40	40	40	40	40
Huevos	50	50	50	50	50
Azúcar	40	20	-	20	-
Alulosa	-	20	40	-	-
Eritritol	-	-	-	20	40
Harina	32	32	32	32	32
Polvo de cacao	10	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Elaboración del brownie

Figura 2

Diagrama de flujo para la elaboración de brownies



Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Evaluación sensorial

Se llevó a cabo un análisis sensorial de las 5 formulaciones donde se consideraron los aspectos de color, aroma, textura, sabor y aceptabilidad mediante una escala hedónica de 5 puntos, siendo 1: me disgusta mucho, 2: me gusta mucho, 3: ni me gusta ni me disgusta, 4: me gusta y 5 me gusta mucho. Los datos obtenidos fueron de 50 panelistas semi-entrenados que han cursado la asignatura de análisis sensorial de la carrera de Alimentos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Los resultados fueron procesados con ayuda del programa estadístico SPSS en donde se aplicó la prueba de Friedman para cada parámetro con el propósito de conocer si existe un efecto de al menos un tratamiento sobre dicho parámetro; posteriormente se aplicó la prueba post hoc de Wilcoxon para determinar la existencia de diferencias significativas entre parejas de tratamientos.

2.2. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, textura e índice glucémico de los brownies

Para los resultados de los siguientes parámetros se aplicó ANOVA y posteriormente la prueba de Tukey con el objetivo de encontrar diferencias significativas entre los tratamientos.

2.2.1. Actividad de agua

La actividad de agua (Aw) fue determinada por el método de punto de rocío mediante el medidor de actividad acuosa Aqualab (modelo 4TE) basándose en la normativa ISO 18787. Se determinó el valor por triplicado de las 5 formulaciones.

2.2.2. Acidez titulable y pH

La determinación del pH se realizó con ayuda de un potenciómetro, inicialmente se pesó 7g de masa cruda y se diluyó con 3ml de agua destilada, se homogenizó alrededor de 1min y luego fue filtrado con papel filtro, finalmente se tomó la lectura; esto se realizó por triplicado.

Para la determinación de la acidez se adaptó un método a partir de la normativa AOAC 942.15. En primer lugar, se pesó 5g de muestra que fue homogenizada con 195g de agua destilada, se filtró y se tomó por triplicado 10ml, que fueron titulados con NaOH 0.01N. La acidez titulable fue expresada como porcentaje de ácido láctico, utilizando un factor de equivalencia de 0.09 g/meq, de acuerdo con prácticas estándar en productos de panificación.

$$Acidez\ (\%\ \acute{a}cido\ l\acute{a}ctico) = 0.09\frac{V * N}{m} * 100$$

Donde:

- V = volumen (ml) gastado de NaOH
- N = normalidad del NaOH (0.01N)
- m = masa de la muestra (g)

2.2.3. Colorimetría

Se empleó el equipo Lovibond, previamente calibrado, para obtener el análisis del color en la escala CIELAB: L* luminosidad, a*(rojo/verde) y b*(amarillo/azul). La medición se realizó 15 veces por tratamiento.

2.2.4. Textura

El perfil de textura se realizó en LACONAL mediante el uso de un texturómetro de la marca Brookfiel modelo Pro CT3 con una sonda cilíndrica de acrílico TA11 11000 con una velocidad de 2mm/s y con un 50% de compresión ejecutado en 2 ciclos. El análisis fue realizado 10 veces por cada tratamiento y se obtuvo los valores para dureza (ciclo 1 y 2), adhesividad, cohesividad, elasticidad, firmeza y masticabilidad.

2.2.5. Almidón total

Se basó de la metodología descrita por Goñi et al. (1997). En primer lugar, se pesó 50mg de la muestra previamente liofilizada y desengrasada, que fueron mezclados con 6ml de KOH 2M durante 30 minutos de manera enérgica en un vortex, posteriormente se añadió 3ml de tampón acetato de sodio 0.4M (pH 4.75) que junto con 60µl de la enzima amiloglucosidasa fueron, finalmente incubados a 60°C por 45 minutos. Se tomó una alícuota de 0.1ml, que fue diluida en relación 1:4, luego se agregó el reactivo DNS y llevado a calentamiento con agua caliente durante 5 minutos. Finalmente fue medido la absorbancia de cada muestra.

2.2.6. Índice glucémico

Se realizó la estimación del índice glucémico siguiendo la metodología in vitro reportada por Goñi et al., (1997). Como pasos previos se sometieron las muestras a ultracongelación para ser liofilizadas y posteriormente fueron desengrasadas mediante circulación de hexano.

Se pesaron 50mg de muestra del tratamiento control y la sustitución al 50% con alulosa (T1), a las cuales se les añadió 10ml de una solución tampón HCl-KCl ajustada a pH 1.5, simulando

las condiciones del ambiente gástrico. Posteriormente, se incorporaron 0.2ml de una solución de pepsina y las muestras fueron incubadas a 40 °C durante una hora en un baño María con agitación. Finalizada esta digestión gástrica, se ajustó el volumen total a 25ml mediante la adición de tampón fosfato a pH 6.9, que simula las condiciones del intestino delgado. Luego, se añadieron 5ml de una solución de α-amilasa preparada en el mismo tampón, con una actividad enzimática de 2.6UI. Las muestras se incubaron a 37 °C con agitación constante, permitiendo la digestión progresiva del almidón. Durante este proceso, se tomaron alícuotas de 1ml en intervalos de 30 minutos desde el inicio hasta las tres horas (0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos). Cada alícuota se transfirió de inmediato a tubos colocados a 100 °C durante 5 minutos para detener la actividad enzimática; luego se refrigeraron hasta completar el proceso. Posteriormente, se añadieron 3ml de tampón de acetato de sodio 0.4 M (pH 4,75) a cada alícuota y se hidrolizó el almidón digerido mediante la adición de 60µl de amiloglucosidasa, incubando durante 45 minutos a 60 °C en baño María con agitación.

De cada alícuota se tomó muestras de 0.2ml y se mezcló con igual cantidad de la solución de DNS, lo cual fue llevado a baño maría a 100°C durante 5 minutos para aceleración de la reacción. Finalmente, se colocó 0.1ml de la mezcla y fue llevado al espectrofotómetro de microplaca para la medición de la absorbancia a 540nm.

Para el cálculo del índice glucémico, se realizó primero una medición de la absorbancia de soluciones con concentración de glucosa de 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1 y 2 mg/ml, con el fin de trazar una curva de calibración cuya ecuación resultante sirvió para el cálculo de la concentración de glucosa de cada muestra.

Se transformó la glucosa a almidón hidrolizado mediante la ecuación:

$$Almidón\ hidrolizado\ (mg) = glucosa\ (mg) * 0.9$$

Posteriormente, se obtuvo porcentaje de hidrolisis mediante la ecuación:

$$\%\ Hidrólisis = \frac{almidón\ hidrolizado\ a\ ese\ tiempo}{almidón\ total} * 100$$

A partir de dichos porcentajes se construyó una gráfica del % de hidrólisis vs tiempo y después se obtuvo el área bajo la curva (AUC) mediante la regla del trapecio

Posteriormente se calculó el índice de hidrólisis mediante:

$$HI = \frac{AUC_{muestra}}{AUC_{pan\ blanco}} * 100$$

Finalmente se estimó el índice glucémico mediante la fórmula empírica de Goñi

$$IG = 39.71 + (0.549 * HI)$$

2.3. Determinación del perfil nutricional del brownie con mejor aceptación sensorial

2.3.1. Humedad

La determinación del contenido de humedad se llevó a cabo utilizando una balanza de infrarrojo o termobalanza de la marca Citizen, el cual mide la pérdida de peso de una muestra al ser sometido a un secado por infrarrojo (Mettler Toledo, 2024). Primero, se trituró la muestra de brownie y se colocaron 2g sobre el platillo de la balanza, el cual había sido previamente tarado. El proceso se realizó por triplicado de las muestras control y tratamiento 1.

Debido a la ausencia de una Normativa Técnica Ecuatoriana (INEN) específica para brownies o productos de pastelería, se tomó como referencia la Normativa Técnica Peruana 20601-2010, aplicable a bizcochos, galletas y pastas, para establecer los límites máximos permitidos de humedad y cenizas (Dirección General de Salud Ambiental, 2011)

2.3.2. Cenizas

Se determinó basándose en el método gravimétrico indicado por la norma AOAC 923.03 (AOAC, 2005). En primer lugar, se secó un crisol vacío en la mufla a 550°C por 30min, luego se registró su peso inicial. Posteriormente se pesó aproximadamente 2g que fueron incinerados y luego llevados a la mufla a 550°C durante 4h; finalmente se dejó enfriar en un desecador durante 30 minutos y se registró su peso final. La determinación se realizó por triplicado. La ecuación empleada fue:

$$\%Cenizas = \frac{P_1 - P_0}{P} * 100$$

Donde:

- P1 = Peso del crisol con las cenizas (g)
- P0 = Peso del crisol vacío (g)
- P = Peso de la muestra (g)

2.3.3. Proteína

La cuantificación de proteína se realizó utilizando el método Kjeldahl, siguiendo la metodología descrita por la norma AOAC 955.39 (AOAC, 2005)., en donde se calcula en base al contenido de nitrógeno multiplicado por un factor. Este análisis fue realizado en el laboratorio LACONAL.

2.3.4. Grasa

Se basó en la normativa AOAC 920.85 (AOAC, 2005), el cual utiliza el método Soxhlet que extrae el contenido lipídico mediante la circulación de hexano. Este análisis también fue realizado en LACONAL.

2.3.5. Carbohidratos totales

Fue determinado mediante la diferencia de los demás componentes. La ecuación es:

$$\%Carbohidratos = 100 - (\%humedad + \%ceniza + \%proteína + \%grasa)$$

2.3.6. Contenido calórico

El aporte calórico fue estimado mediante la suma del aporte energético de cada componente, donde grasa (9kcal/g), proteína (4kcal/g) y carbohidratos (4kcal/g).

$$Energía = (grasa * 9) + (proteína * 4) \ + (carbohidratos * 4)$$

En el caso de la alulosa, la energía que aporta es 0.4 kcal/g (FDA, 2020).

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

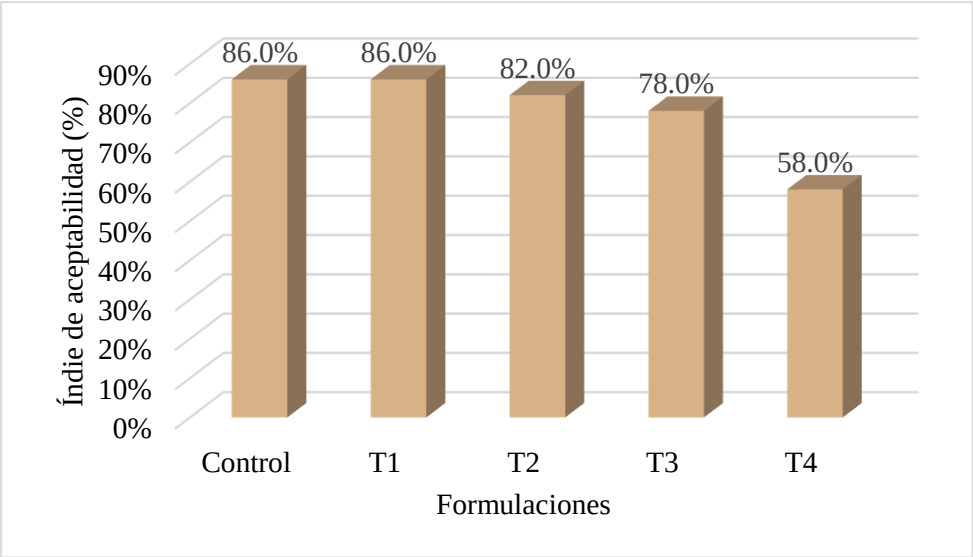
3.1. Evaluación sensorial

El resultado del índice de aceptabilidad (IA) se presenta en la Figura 3, en donde se evidencia que el grupo control (con azúcar) y el grupo T1 (50 % de alulosa) obtuvieron los puntajes de aceptabilidad más altos, con un 86 % cada uno. El tratamiento T2 (100 % de alulosa) presentó un IA ligeramente menor (82 %), mientras que el grupo T3 (50 % de eritritol) disminuyó al 78% y el grupo T4 (100 % de eritritol) solo alcanzó el 58 %. Estos resultados indican que la alulosa, especialmente como sustituto parcial, no afecta negativamente la aceptabilidad de los brownies, mientras que el uso de eritritol, especialmente al 100 %, sí afecta significativamente la percepción del consumidor.

Diversos estudios han reportado que la alulosa, debido a su estructura similar al azúcar y sus propiedades fisicoquímicas, puede ayudar a mantener la palatabilidad del producto sin introducir sabores indeseables (Gounga et al., 2015). Por otro lado, el eritritol en altas concentraciones puede causar sensaciones refrescantes o metálicas, lo cual puede afectar la percepción sensorial (O'Donnell & Kearsley, 2012). Además, la textura endurecida observada en T4 podría haber afectado negativamente la percepción general del producto.

Figura 3

Índice de aceptabilidad de los brownies



Los valores medios de los parámetros sensoriales se muestra la Tabla 5, que sirve de base para obtener la Figura 4, en donde se representan las cualidades de color, aroma, textura, sabor y aceptabilidad de las formulaciones de brownies. Los dos aspectos que se destacan claramente son la similitud de los tratamientos con alulosa (T1 y T2) con respecto al control, mientras que el tratamiento 4 es el que peor aceptación tiene en todos los parámetros.

El atributo color fue evaluado como satisfactorio en todos los tratamientos, siendo T2 (100 % alulosa) el que obtuvo la media más alta (4.16 ± 0.89), incluso por encima del control (4.12 ± 0.82). Este resultado puede atribuirse al efecto de la alulosa en la intensificación del pardeamiento no enzimático mediante la reacción de Maillard, ya que este endulzante participa activamente por su grupo carbonilo reductor (Lee et al., 2020). En contraste, el tratamiento 4 presentó la calificación más baja (3.28 ± 0.97), lo que podría deberse a la limitada participación del eritritol en estas reacciones, resultando en un producto más pálido.

Las valoraciones para el aroma fueron relativamente uniformes, destacando el control (4.18 ± 0.75) y T1 (4.16 ± 0.79), seguidos de T2 y T3 con valores ligeramente menores. El tratamiento T4 nuevamente presentó la menor puntuación (3.58 ± 0.84). Estos resultados sugieren que la alulosa no afecta la liberación o percepción de compuestos aromáticos. Por el contrario, el eritritol podría generar cierta supresión de los compuestos volátiles responsables del aroma característico del brownie, tal como ha sido documentado por Zahn et al. (2010).

La textura fue uno de los atributos más afectados por la sustitución con eritritol. Mientras que el control, T1 y T2 mantuvieron valores cercanos, T3 descendió a 3.66 ± 1.04, y T4 obtuvo un valor considerablemente menor (2.40 ± 1.07). Según De Toledo et al. (2017), estas características pueden impactar negativamente en la percepción sensorial, ya que los consumidores asocian la calidad del brownie con una textura suave, húmeda y masticable.

En cuanto al sabor, el tratamiento 3 (50 % eritritol) obtuvo la media más alta (4.18 ± 0.98), incluso por encima del control (4.14 ± 0.93), lo que sugiere una posible percepción positiva de la dulzura equilibrada en niveles parciales de eritritol. No obstante, T4 (100 % eritritol) mostró una disminución notoria (3.36 ± 0.98), probablemente como resultado de las características organolépticas no deseadas del eritritol cuando se emplea como único edulcorante. Cabe señalar que, aunque T2 (100 % alulosa) presentó un sabor aceptable, su ligera disminución con respecto al control podría deberse a diferencias en el poder edulcorante y la persistencia del dulzor (Ruiz & Herrero, 2021).

La aceptabilidad global reflejó un patrón similar a los demás atributos. El tratamiento control obtuvo una puntuación promedio de 4.00 ± 0.83, seguido de los tratamientos 1, 2 y 3 con valores cercanos a 3.90. El tratamiento 4 se ubicó significativamente por debajo (3.28 ± 0.93), lo cual refuerza la idea de que la sustitución total de azúcar con eritritol afecta negativamente la percepción integral del producto.

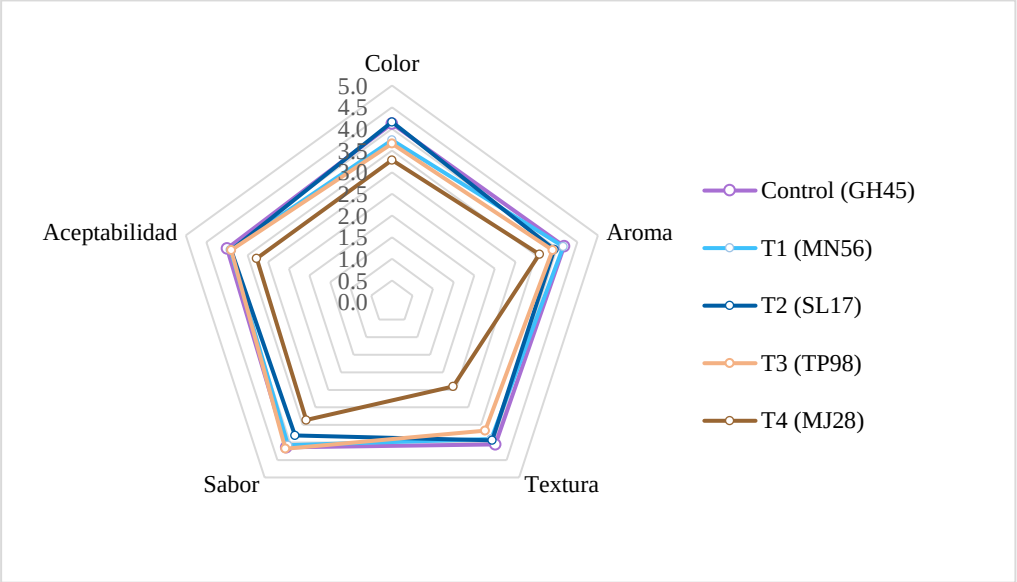
Tabla 5

Valores medios de la evaluación sensorial de los brownies

	Control (GH45)	**T1 (MN56)**	**T2 (SL17)**	**T3 (TP98)**	**T4 (MJ28)**
Color	4.12 ± 0.82	3.74 ± 1.01	4.16 ± 0.89	3.66 ± 1.06	3.28 ± 0.97
Aroma	4.18 ± 0.75	4.16 ± 0.79	3.94 ± 0.79	3.90 ± 0.86	3.58 ± 0.84
Textura	4.06 ± 0.96	3.90 ± 0.99	3.94 ± 0.89	3.66 ± 1.04	2.40 ± 1.07
Sabor	4.14 ± 0.93	4.08 ± 0.90	3.80 ± 0.90	4.18 ± 0.98	3.36 ± 0.98
Aceptabilidad	4.00 ± 0.83	3.92 ± 0.83	3.90 ± 0.84	3.90 ± 0.95	3.28 ± 0.93

Figura 4

Evaluación sensorial de las formulaciones de brownies



Como indica la Tabla 6 no existió diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento control y los tratamientos con alulosa (T1 y T2) en ninguno de los atributos evaluados ($p > 0.05$). Esta ausencia podría sugerir que la sustitución del azúcar con alulosa, incluso al 100 %, no altera de forma significativa la percepción sensorial del producto por parte de los evaluadores. Estos hallazgos respaldan lo reportado por (Hossain et al., 2015), quienes indican que la alulosa puede ser utilizada como sustituto del azúcar sin comprometer los atributos sensoriales clave debido a su alta similitud en dulzor, comportamiento térmico y perfil sensorial.

Por otro lado, al comparar el control con T4 (100 % eritritol), se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los atributos sensoriales: color, aroma, textura, sabor y aceptabilidad. Esta tendencia sugiere que el eritritol, al emplearse como único edulcorante, produce un impacto negativo en la percepción general del producto. Esto es consistente con lo reportado por De cock (2012), quien señaló que el eritritol, aunque es un edulcorante de bajo índice glucémico y bajo contenido calórico, presenta limitaciones sensoriales cuando se utiliza en concentraciones elevadas, debido a su efecto refrescante y astringente, así como a su limitada solubilidad y capacidad de participar en reacciones de Maillard.

Adicionalmente, se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento 4 y los demás en todos los atributos, lo cual refuerza la influencia negativa del eritritol en las características sensoriales. Las comparaciones entre T2 y T3 también revelaron diferencias significativas en

color y sabor ($p < 0.05$), indicando que el tipo de sustituto, además del porcentaje de uso, juega un papel importante en la percepción sensorial. Estas diferencias pueden deberse a los distintos mecanismos de interacción de los polioles con los ingredientes de la matriz del brownie, afectando la liberación de compuestos volátiles, el desarrollo del color y la textura final (Grembecka, 2015)

Por el contrario, las comparaciones entre tratamientos con el endulzante alulosa (T1 vs T2) no mostraron diferencias significativas en la mayoría de atributos, lo que sugiere que la alulosa puede ser utilizada tanto de forma parcial como total sin perjuicio notable para el perfil sensorial del brownie.

Tabla 6

Comparaciones pareadas entre tratamientos en atributos sensoriales mediante la prueba de Wilcoxon

	Color		**Aroma**		**Textura**		**Sabor**		**Aceptabilidad**	
	Sig. asin.	**Dif.**	**Sig. asin.**	**Dif.**	**Sig. asin.**	**Dif.**	**Sig. asin.**	**Dif.**	**Sig. asin.**	**Dif.**
CT-T1	0.510	No	0.901	No	0.395	No	0.795	No	0.715	No
CT-T2	0.596	No	0.135	No	0.600	No	0.068	No	0.596	No
CT-T3	0.039	Sí	0.146	No	0.075	No	0.736	No	0.649	No
CT-T4	0.001	Sí	0.002	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí
T1-T2	0.013	Sí	0.122	No	0.874	No	0.100	No	0.975	No
T1-T3	0.511	No	0.070	No	0.159	No	0.578	No	0.746	No
T1-T4	0.030	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí
T2-T3	0.014	Sí	0.870	No	0.147	No	0.033	Sí	0.929	No
T2-T4	0.001	Sí	0.050	No	0.001	Sí	0.220	No	0.001	Sí
T3-T4	0.022	Sí	0.020	Sí	0.001	Sí	0.001	Sí	0.002	Sí

Nota: El valor de sigma asintótica (sig. asin.) inferior a 0.05 indica diferencia significativa. La abreviatura CT hace referencia al control, T1 al tratamiento 1 y respectivamente.

3.2. Análisis fisicoquímicos

La Tabla 7 y Figura 5 resumen los resultados para los parámetros fisicoquímicos de las muestras

3.2.1. Actividad de agua

En el primer gráfico de la Figura 5 se observa una disminución significativa en el parámetro de actividad de agua en los tratamientos 2 y 3. En los brownies evaluados, el tratamiento con azúcar (control) presentó un valor medio de 0.8308 ± 0.0072, mientras que los valores más

bajos correspondieron a los tratamientos T2 (100 % alulosa) y T3 (50 % eritritol). Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre estos y los demás tratamientos ($p < 0.05$).

Estas reducciones en Aw pueden explicarse por la capacidad de los sustitutos como la alulosa y el eritritol para interactuar con el agua libre, disminuyendo así su disponibilidad. Ambos compuestos presentan baja higroscopicidad en comparación con la sacarosa, lo cual reduce su capacidad de retener agua (O'Donnell & Kearsley, 2012). De manera particular, el eritritol forma cristales rápidamente y tiene una menor solubilidad, lo que limita el agua libre y así provoca una reducción de la Aw (Grembecka, 2015)

Desde un punto de vista tecnológico, la actividad de agua es una etapa de control, que en este caso al disminuir su valor puede frenar el crecimiento microbiano de determinadas especies, logrando con ello extender la vida útil del producto (LabFerrer - AquaLab, 2024). Sin embargo, niveles de Aw excesivamente bajos también pueden afectar negativamente la textura y percepción de frescura del brownie, haciendo que el producto sea más seco o menos tierno.

3.2.2. Acidez titulable y pH

Como se indica en la Tabla 7, los valores de pH oscilaron entre 6.11 ± 0.03 (T3) y 6.23 ± 0.02 (T1). Aunque las diferencias fueron leves, se encontraron variaciones estadísticamente significativas entre algunos tratamientos.

El tratamiento con alulosa al 50 % (T1) presentó el pH más alto, lo que puede relacionarse con la naturaleza ligeramente básica del sustituto o con una menor participación en las reacciones de Maillard, las cuales tienden a disminuir el pH debido a la formación de compuestos ácidos (Yilmaz & Toledo, 2005). Por otro lado, los tratamientos con eritritol (T3 y T4) mostraron valores más bajos, lo cual podría atribuirse a una mayor formación de productos de degradación ácida o a interacciones con otros componentes de la formulación, como el cacao.

Los resultados acerca de la acidez titulables constan en la Tabla 7 y la Figura 5, en donde se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), con valores que oscilaron entre 0.192% y 0.300% de ácido láctico.

El tratamiento formulado con alulosa al 50% (T1) presentó la acidez más elevada, superando incluso al brownie control, mientras que los tratamientos con eritritol al 100% y al 50% reflejaron valores significativamente más bajos. Esta tendencia podría explicarse por las diferencias en reactividad química de los sustitutos utilizados. La alulosa, al ser un monosacárido con función cetona y propiedades reductoras, puede reaccionar con aminoácidos presentes en la masa cruda incluso antes del horneado, iniciando reacciones de Maillard

tempranas que producen compuestos ácidos. Además, su mayor solubilidad y capacidad higroscópica en comparación con la sacarosa puede facilitar la liberación de protones o ácidos orgánicos desde otros ingredientes como el cacao (Wang et al., 2024).

En contraste, el eritritol, un poliol no reductor, presenta una estructura química más estable, que no favorece la formación de compuestos ácidos en medios acuosos. Su escasa reactividad reduce la generación de ácidos durante la mezcla, lo que se refleja en los valores bajos de acidez observados en los tratamientos T3 y T4 (De cock, 2012).

Por otro lado, aunque la sacarosa no es un azúcar reductor, puede hidrolizarse parcialmente en soluciones acuosas, especialmente en presencia de ácidos o calor, dando lugar a glucosa y fructosa, ambos compuestos reductores capaces de iniciar reacciones que generan productos ácidos (Martins et al., 2000). Esta característica podría explicar el valor de acidez intermedio observado en el tratamiento control. Asimismo, el ingrediente protagonista, el cacao, al ser fermentado presenta un carácter ácido a su vez puede contribuir a la acidez total de la masa (Mulono et al., 2016)

Desde un punto de vista sensorial y tecnológico, es importante señalar que la acidez de la masa influye en el perfil organoléptico final del brownie. Aunque valores bajos de acidez pueden atenuar la percepción del sabor a cacao, niveles elevados pueden generar notas ácidas no deseadas (Ruiz & Herrero, 2021). Sin embargo, los valores de acidez obtenidos en todos los tratamientos se mantuvieron dentro de un rango aceptable para matrices de panificación, por lo que las diferencias observadas pueden considerarse más relevantes desde el punto de vista comparativo que funcional.

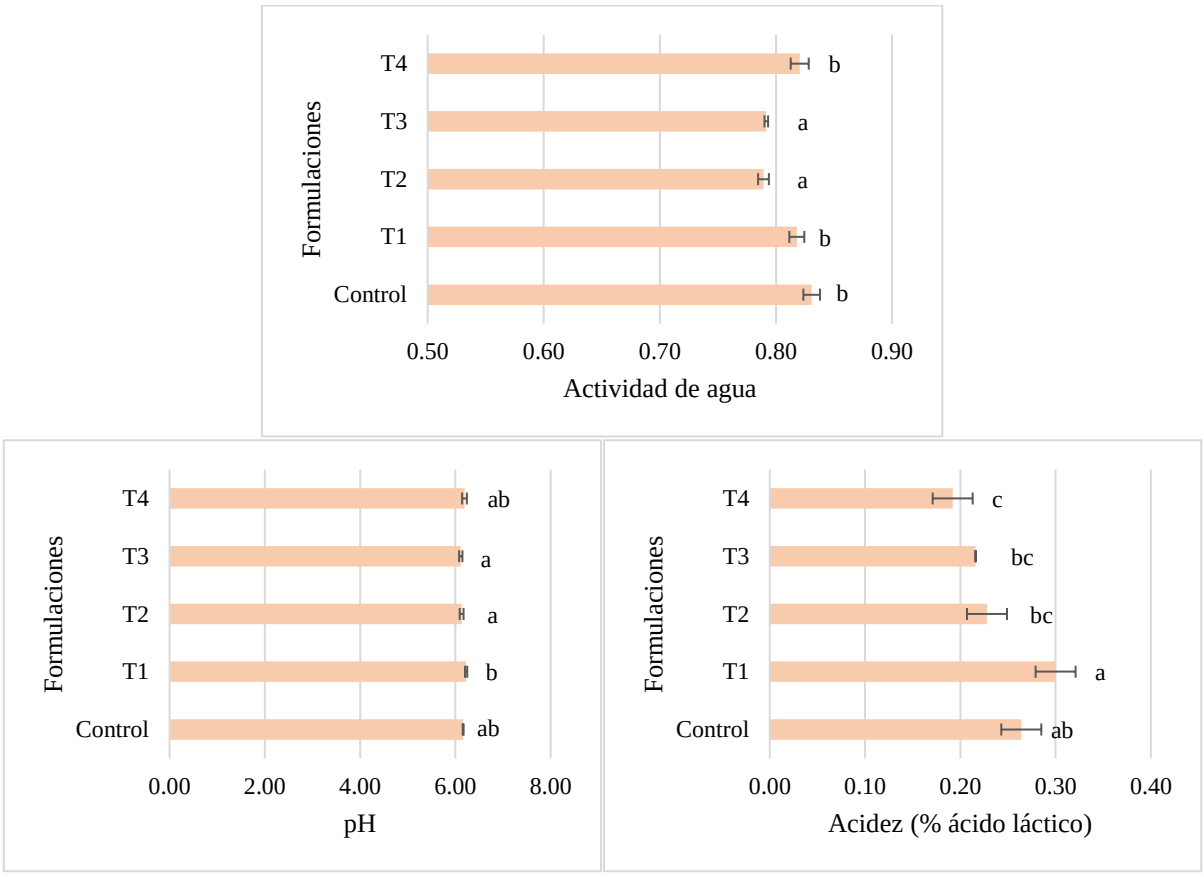
Tabla 7

Valores medios de los parámetros fisicoquímicos

	Control	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
Aw	0.8308 ± 0.0072	0.8180 ± 0.0064	0.7893 ± 0.0046	0.7917 ± 0.0016	0.8205 ± 0.0078
pH	6.16 ± 0.01	6.23 ± 0.02	6.13 ± 0.04	6.11 ± 0.03	6.19 ± 0.05
Acidez	0.264 ± 0.021	0.300 ± 0.021	0.228 ± 0.021	0.216 ± 0.000	0.192 ± 0.021

Figura 5

Parámetros fisicoquímicos analizados de los brownies



3.2.4. Colorimetría

La Tabla 8 y Figura 6 muestran los valores de color obtenidos en la escala CIELAB de los brownies formulados con diferentes niveles de sustitución del azúcar por alulosa y eritritol, en donde se muestran diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos, evidenciando la influencia directa de los dos factores sobre el aspecto visual del producto final.

El parámetro de luminosidad (L*) fue mayor en los tratamientos elaborados con eritritol, especialmente en T4 (eritritol al 100%) con un valor de 30.41, seguido por T3 (eritritol al 50%) con 29.61, siendo ambos significativamente diferentes del control (26.27) y los tratamientos con alulosa (T1 = 27.14; T2 = 24.96). Este comportamiento se puede atribuir a la nula participación del eritritol en las reacciones de Maillard y caramelización, ya que es un azúcar no reductor por carecer del grupo aldehído (Sun et al., 2008). Por el contrario, la alulosa, al ser un monosacárido reductor, presenta una alta reactividad térmica, lo cual favorece una mayor formación de productos de pardeamiento no enzimático desarrollando así un color marrón sobre

la matriz (De cock, 2012) . Esto explicaría la menor luminosidad en T2, donde la sustitución total con alulosa provocó que sea significativamente más oscuro que el control.

En cuanto al parámetro a*, que indica la intensidad del color rojo, se observó un aumento significativo en T4 (11.48), mientras que T1 y T2 (alulosa) mostraron valores más bajos (7.87 y 7.53, respectivamente). El componente b*, correspondiente al eje amarillo-azul, también fue más alto en T4 (11.98), seguido por T3 (8.25) y el control (7.26); en tanto, las formulaciones con alulosa presentaron los valores más bajos (T1 = 5.23; T2 = 4.69), lo que indica una menor presencia de tonos amarillos en el producto

El mayor valor de a* y de b* en el tratamiento con eritritol al 100% sugiere una tonalidad más rojiza y amarilla, posiblemente relacionada con una mejor retención del color propio de los ingredientes (como el cacao), sin interferencias de productos de pardeamiento excesivo, similar comportamiento a lo encontrado por Nastaj et al., (2023) en cuyo trabajo incluyó eritritol en diferentes concentraciones en la formulación de macarons obteniendo valores más altos para dichos parámetros, es decir, tonalidades más rojizas y amarillas.

Por su parte, la alulosa pudo haber generado una tonalidad más marrón o parda, enmascarando el componente rojizo y amarillo del brownie, efecto que se puede relacionar nuevamente con la mayor intensidad de reacciones térmicas debido a que la alulosa presenta una reacción de Maillard más pronunciada comparado con otros monosacáridos, como lo demuestra (Lee et al., 2020) en su estudio con sustitución del 25, 50, 75 y 100% en un bizcocho, en donde obtuvo valores inferiores del parámetro a y b al aumentar la proporción de alulosa.

El valor de croma (c*), que representa la saturación o viveza del color, fue significativamente mayor en T4 (16.59), seguido de T3 (11.94) y del control (11.45), lo que sugiere que los brownies formulados con eritritol tienen un color visualmente más vívido y definido, lo cual puede asociarse a una menor formación de pigmentos marrones oscuros derivados de reacciones de Maillard. Por el contrario, los tratamientos 1 y 2 con valores de 9.49 y 8.89 respectivamente son significativamente más bajos que el control, debido a la generación de melanoidinas que tienden a oscurecer y reducir la saturación del color (O'Charoen et al., 2014).

Por último, el ángulo de tono (h°) se obtuvo los mayores valores en T4 y T3, seguidos por el control, mientras que los valores más bajos fueron para T1 y T2. Esto sugiere que el uso de eritritol favorece una tonalidad más cálida y amarilla en el producto final, mientras que la alulosa tiende a generar tonalidades más rojizas u oscuras, resultados que concuerdan con lo mencionado en los parámetros a* y b* del color.

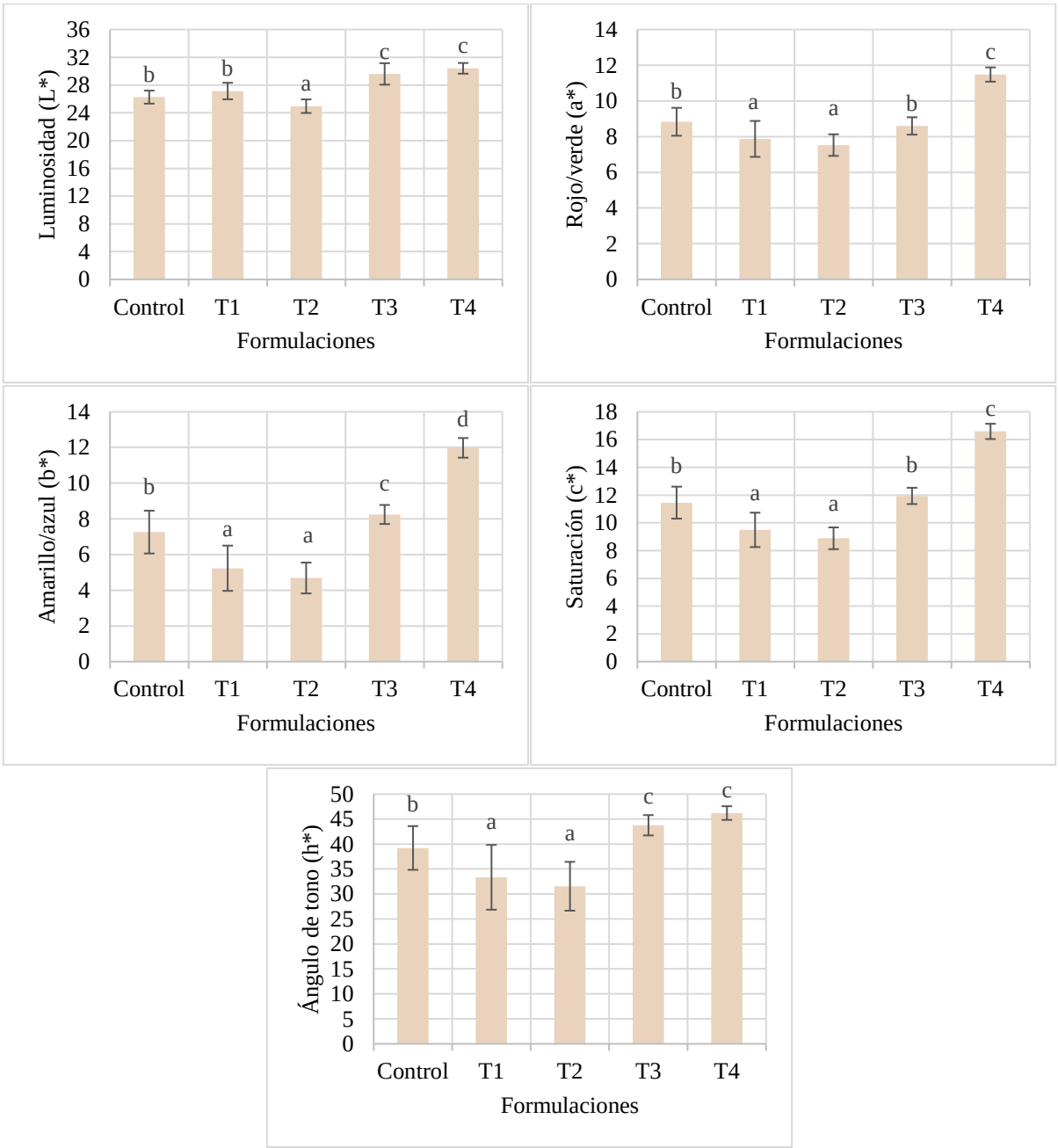
Tabla 8

Valores medios de los parámetros de color en la escala CIELAB

Parámetros	Control	T1	T2	T3	T4
L	26.27 ± 0.94^{b}	27.14 ± 1.19b	24.96 ± 0.98^{a}	29.61 ± 1.55^{c}	30.41 ± 0.77^{c}
a	8.83 ± 0.78^{b}	7.87 ± 1.01^{a}	7.53 ± 0.61^{a}	8.60 ± 0.49^{b}	11.48 ± 0.40^{c}
b	7.26 ± 1.20^{b}	5.23 ± 1.27^{a}	4.69 ± 0.86^{a}	8.25 ± 0.53^{c}	11.98 ± 0.55^{d}
c	11.45 ± 1.15^{b}	9.49 ± 1.24^{a}	8.89 ± 0.78^{a}	11.94 ± 0.59^{b}	16.59 ± 0.55^{c}
h	39.21 ± 4.38^{b}	33.33 ± 6.48^{a}	31.55 ± 4.89^{a}	43.75 ± 2.03^{c}	46.19 ± 1.37^{c}

Figura 6

Parámetros del color en la escala CIELAB



3.2.5. Análisis de textura

En la Tabla 9 se indican los valores medio de los parámetros de textura en donde se obtuvo el valor de dureza tanto del primer ciclo de la compresión como del segundo, así como los valores de adhesividad, cohesividad, elasticidad, firmeza y masticabilidad. En la Figura 7 dichos datos son representados con gráficos de barras con su respectiva desviación estándar y la diferencia significativa para visualizar mejor la variación entre cada tratamiento.

Los valores de dureza, tanto en el primer como en el segundo ciclo de compresión, evidencian un aumento significativo al sustituir la sacarosa por completo. El tratamiento T4 (eritritol 100%) mostró los valores más altos en ambos ciclos (79.41 y 56.17 N, respectivamente), seguido por T2 (alulosa 100%) con 37.10 y 28.56 N, mientras que el control (azúcar) y los tratamientos con sustitución parcial (T1 y T3) presentaron valores similares.

La mayor dureza en T2 (100% alulosa) y T4 (100% eritritol) puede explicarse por la higroscopicidad reducida de estos edulcorantes en comparación con el azúcar, por lo que, a mayor proporción, menos capacidad de retención de humedad, favoreciendo una estructura más seca y rígida. Además, la naturaleza cristalina del eritritol pudo provocar cambios en la miga al generar estructuras más fuertes, lo que pudo provocar que la dureza sea mayor que, incluso, el tratamiento 2 (De cock, 2012; Marzec et al., 2021).

La adhesividad disminuyó significativamente en los tratamientos con alulosa y eritritol. El control registró el valor más alto (1.76mJ), mientras que T2, T3 y T4 presentaron valores inferiores a 0.70 mJ. Esta reducción puede deberse a la menor capacidad de los polioles para formar estructuras pegajosas, ya que no participan eficientemente en la formación de jarabes ni soluciones viscosas como lo hace la sacarosa (Mendonça et al., 2020). Además, el menor contenido de humedad y la mayor firmeza de las muestras con eritritol pueden dificultar la adhesión a superficies.

La cohesividad refleja la capacidad del producto para mantenerse unido tras una deformación. T2 (alulosa 100%) mostró el valor más alto (0.38), mientras que el control y T4 (eritritol 100%) tuvieron los valores más bajos (0.22 y 0.24, respectivamente). La mayor cohesividad en T2 sugiere una estructura más compacta, posiblemente favorecida por la capacidad de la alulosa para participar en la formación de enlaces con proteínas y almidones, lo que estabiliza la red estructural (Omar et al., 2018). Por el contrario, el eritritol podría generar una estructura más frágil y desmenuzable, como indican sus menores valores de cohesividad.

Los valores más altos de elasticidad se observaron en T3 (eritritol 50%) y T2 (alulosa 100%), con 7.95 y 7.21, respectivamente. La elasticidad elevada indica que el brownie puede recuperar su forma tras la deformación, lo cual es deseable en productos suaves y húmedos. La sustitución parcial de azúcar parece favorecer esta propiedad, posiblemente por un equilibrio entre retención de humedad y formación de una estructura cohesiva. Sin embargo, en T4, aunque se usó eritritol al 100%, la elasticidad fue más baja (6.33mm), lo que sugiere que el exceso de este ingrediente puede endurecer el producto, reduciendo su capacidad de recuperación.

La firmeza aumentó significativamente con la proporción de sustitución, alcanzando su punto máximo en T4 (19.20N), en comparación con el control (5.69N). Este resultado está relacionado directamente con la dureza: una mayor firmeza indica una masa más rígida y menos flexible, probablemente asociada a una menor actividad de agua y a la ausencia de estructuras amorfas típicas del azúcar fundido. Este cambio puede repercutir negativamente en la experiencia de consumo si el producto resulta excesivamente duro (Lee et al., 2020).

La masticabilidad es una combinación de dureza, cohesividad y elasticidad, y representa la energía necesaria para desintegrar un alimento antes de tragarlo. Se observó un aumento sustancial en T4 (122.05) y T2 (101.98), lo que refleja que los brownies formulados con alulosa o eritritol al 100% requieren mayor esfuerzo masticatorio. Este comportamiento puede relacionarse con una matriz más densa y menos húmeda, lo que incrementa la percepción de sequedad (Cauvain & Young, 2006). En contraposición, el control mostró la masticabilidad más baja (25.44), característica deseable en productos de pastelería tipo brownie, donde se busca una textura suave y fundente.

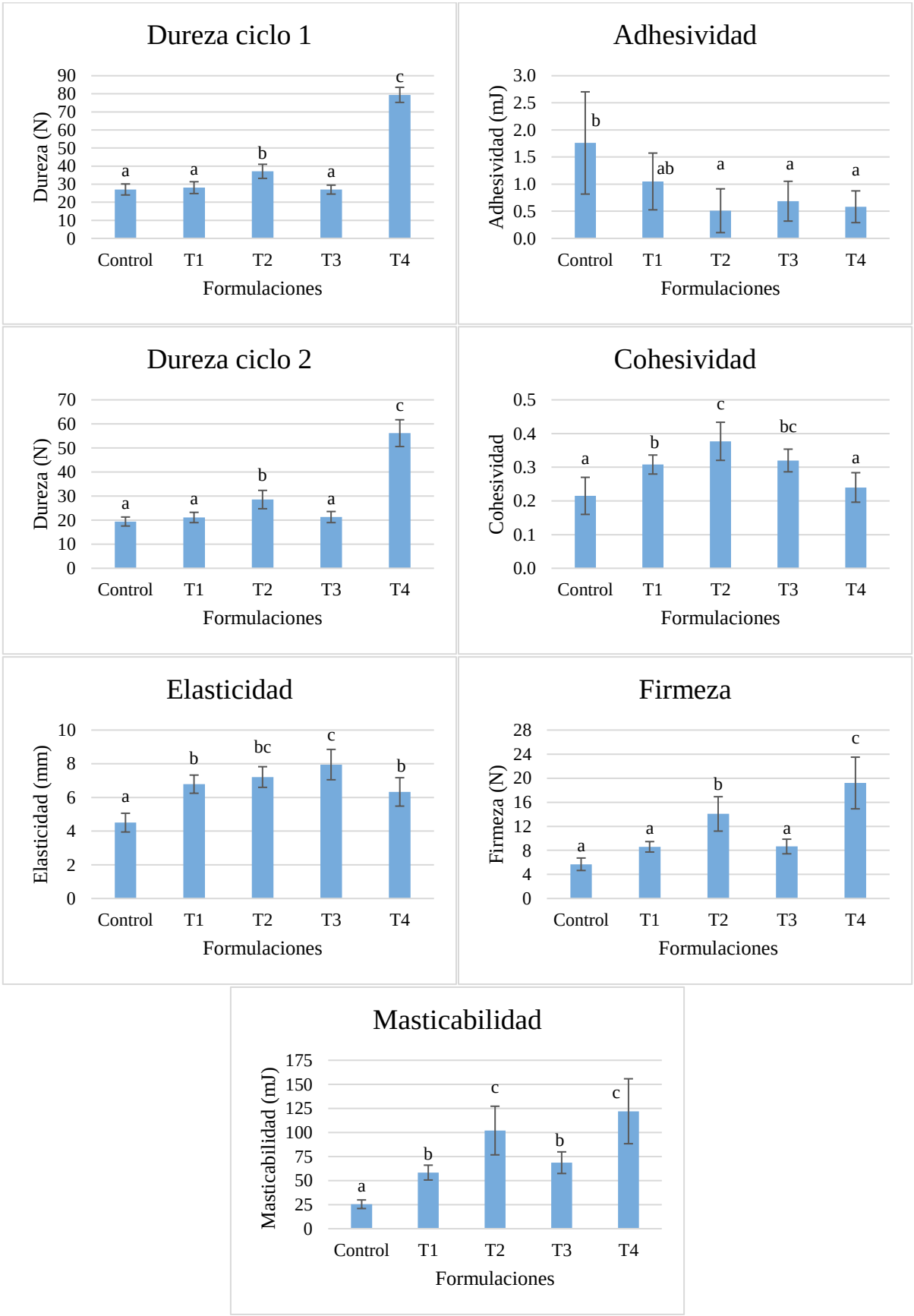
Tabla 9

Valores medios de los parámetros de textura

	Control	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
Ciclo 1 Dureza (N)	27.07 ± 3.05^{a}	28.08 ± 3.27^{a}	37.10 ± 3.89^{b}	26.99 ± 2.47^{a}	79.41 ± 4.17^{c}
Adhesividad (mJ)	1.76 ± 0.94^{b}	1.05 ± 0.52^{ab}	0.51 ± 0.40^{a}	0.69 ± 0.37^{a}	0.58 ± 0.29^{a}
Ciclo 2 Dureza (N)	19.44 ± 1.87^{a}	21.12 ± 2.14^{a}	28.56 ± 3.81^{b}	21.29 ± 2.31^{a}	56.17 ± 5.56^{c}
Cohesividad	0.22 ± 0.06^{a}	0.31 ± 0.03^{b}	0.38 ± 0.06^{c}	$0.32 \pm 0.03b^{c}$	0.24 ± 0.04^{a}
Elasticidad (mm)	4.50 ± 0.56^{a}	6.79 ± 0.54^{b}	7.21 ± 0.61^{bc}	7.95 ± 0.90^{c}	6.33 ± 0.84^{b}
Firmeza (N)	5.69 ± 1.03^{a}	8.59 ± 0.87a	14.06 ± 2.86^{b}	8.65 ± 1.22^{a}	19.20 ± 4.30^{c}
Masticabilidad (mJ)	25.44 ± 4.48^{a}	58.31 ± 7.70^{b}	101.98 ± 25.26^{c}	68.61 ± 11.24^{b}	122.05 ± 33.74^{c}

Figura 7

Parámetros de textura de las formulaciones de brownie



3.3. Determinación del índice glucémico

La Figura 8 muestra la curva de calibración para la obtención de la ecuación que permite transformar los valores de absorbancia hacia glucosa, que con los respectivos cálculos se obtuvo la Figura 9, la cual muestra la tasa de hidrólisis de cada matriz a lo largo del tiempo.

Los resultados indicados en la Tabla 10 mostraron que el brownie control presentó un IG de 75.62 ± 2.24, lo que lo clasifica como un alimento de alto índice glucémico (IG > 70), según los criterios propuestos por Jenkins et al. (1981). Esta cifra está en concordancia con la naturaleza del producto, cuya matriz contiene harina refinada, azúcar y almidones fácilmente disponibles, que al ser digeridos rápidamente generan una elevación pronunciada de la glucosa en sangre (Augustin et al., 2015). En contraste, el tratamiento T1, con sustitución del 50 % de sacarosa por alulosa, mostró un IG de 71.23 ± 3.94, evidenciando una reducción moderada del 5.8% aproximadamente.

Esta disminución puede explicarse por múltiples factores. El primero es la composición del edulcorante ya que la alulosa (D-psicosa) es un monosacárido que el organismo absorbe parcialmente pero no metaboliza, y que en su mayoría es excretado sin generar calorías ni elevaciones en glucemia (Iida et al., 2008; Hayashi et al., 2010). Esta característica la convierte en un excelente candidato para reducir la carga glucémica de los alimentos.

Por otro lado, está el efecto modulador enzimático, donde estudios han demostrado que la alulosa puede inhibir competitivamente la acción de enzimas digestivas clave como la α-amilasa y la α-glucosidasa (Baek et al., 2010; Iida et al., 2010), lo cual retrasa la hidrólisis del almidón y, por tanto, la liberación de glucosa. Este efecto se evidencia en el menor porcentaje de hidrólisis observado en T1 durante los primeros 30 minutos (30.3 %), en comparación con el control (40.2 %) y con el pan blanco (61.0 %).

Un aspecto importante también es la interacción con la matriz del alimento ya que la incorporación de alulosa puede modificar las propiedades fisicoquímicas de la masa y la estructura de la miga, reduciendo la accesibilidad del almidón a las enzimas digestivas. Asimismo, puede intervenir en las reacciones de Maillard durante el horneado, generando compuestos complejos (como melanoidinas) que interfieren con la digestión del almidón (Liu et al., 2020; Zhang et al., 2022).

El nivel de sustitución redujo la sacarosa disponible, la cual, al hidrolizarse en el tracto digestivo, genera glucosa y fructosa; la primera es altamente glicémica, por lo que al existir una menor cantidad el IG naturalmente bajaría (Livesey et al., 2008).

Aunque ambos tratamientos siguen siendo clasificados como de alto IG, es importante destacar que esta categorización no necesariamente implica el mismo impacto metabólico. Estudios han demostrado que pequeñas reducciones en el IG pueden tener efectos acumulativos en el control glucémico, especialmente en personas con riesgo metabólico (Wolever et al., 2006). Además, el hecho de que el IG de T1 se acerque al umbral de los alimentos de moderado IG (≤70) sugiere que una mayor proporción de alulosa podría lograr una mejora más significativa, sin comprometer la aceptabilidad sensorial, como ya se evidenció en este estudio.

Finalmente, la validez del método in vitro utilizado se ve respaldada por investigaciones previas que demuestran una alta correlación entre los valores de IG in vitro e in vivo (Goñi et al., 1997; Brouns et al., 2005), lo que convierte a este enfoque en una herramienta útil y confiable para estudios preliminares de formulación y reformulación de productos alimentarios funcionales.

Figura 8

Curva de calibración para la glucosa

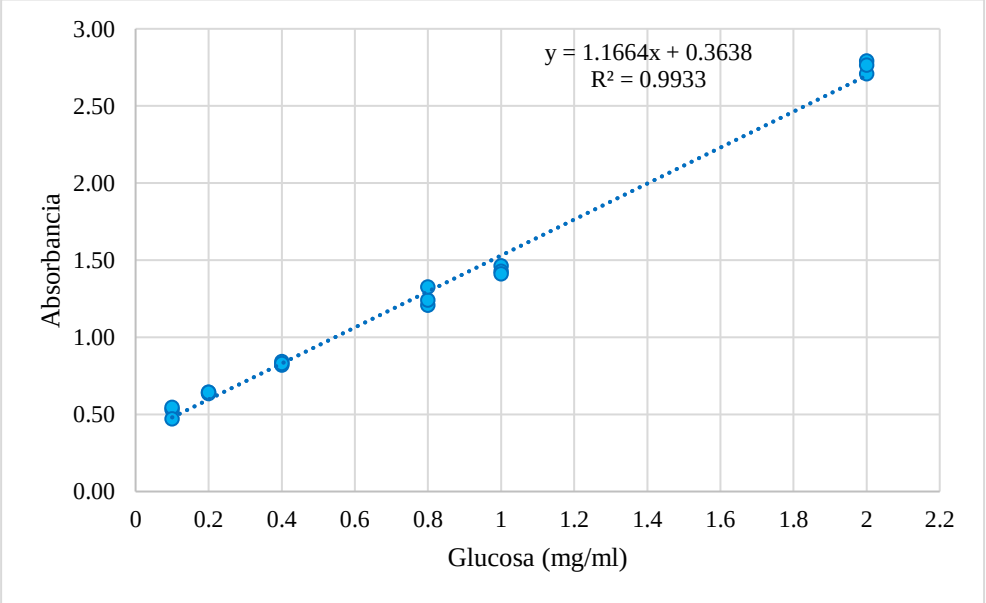


Figura 9

Relación del almidón hidrolizado vs tiempo (pan blanco y brownie)

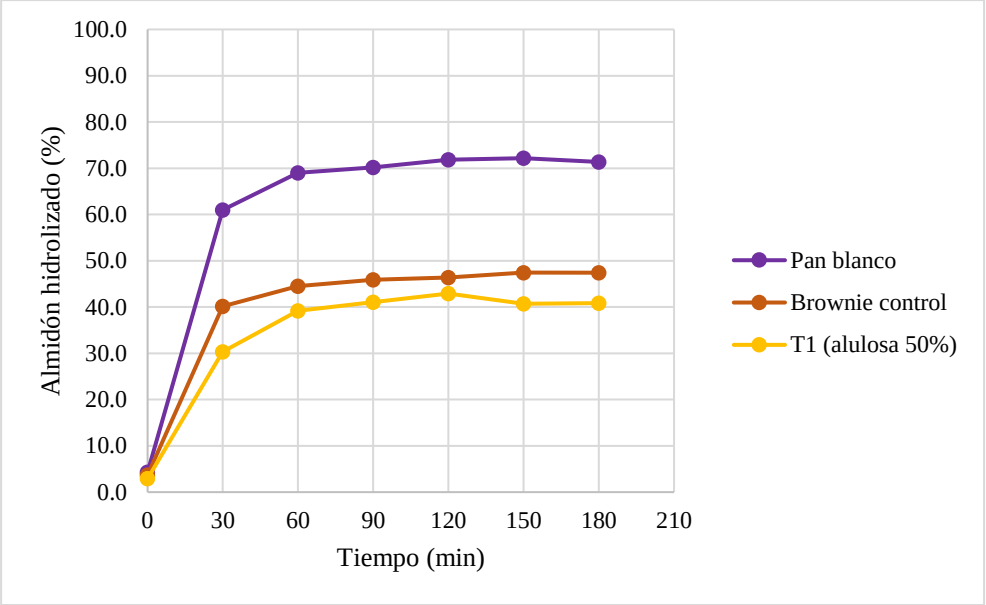


Tabla 10

Índice glucémico estimado de las muestras de brownie

Muestra	IG
Control	75.62 ± 2.24
Tratamiento 1 (alulosa al 50%)	71.23 ± 3.94

3.4. Determinación de la composición proximal del brownie

La Tabla 11 compara los resultados del análisis proximal para el brownie control y del tratamiento 1. El brownie control presentó un contenido de humedad de 16.73 %, mientras que el tratamiento 1 registró un valor inferior de 14.81 %, indicando una reducción del 1.92 %. Esta disminución podría estar relacionada con la capacidad diferente de retención de agua de la alulosa en comparación con la sacarosa. Aunque ambos compuestos son altamente solubles, estudios han demostrado que la alulosa presenta menor higroscopicidad, lo que puede favorecer una mayor pérdida de agua durante el horneado (Fang et al., 2021). Asimismo, una menor humedad podría correlacionarse con valores inferiores de actividad de agua observados en T1, afectando positivamente la estabilidad del producto, pero potencialmente reduciendo su esponjosidad o suavidad percibida.

El contenido de cenizas fue ligeramente mayor en T1 (1.02 %) en comparación con el control (0.92 %). Esta diferencia, aunque pequeña, puede deberse a variaciones en la composición mineral de la alulosa o a su influencia en la extracción y retención de minerales durante el horneado (Sung et al., 2020). Las cenizas representan los minerales totales presentes en el alimento, y un aumento, aunque leve, podría sugerir una mejora en el aporte de micronutrientes.

Los valores de grasa fueron similares entre ambos tratamientos, con 28.50 % en el control y 28.30 % en T1. Esto sugiere que la sustitución parcial del azúcar por alulosa no tuvo un impacto relevante sobre la fracción lipídica del producto. La grasa en los brownies generalmente proviene de ingredientes como la mantequilla y el chocolate, cuyo contenido permanece constante entre ambos tratamientos, lo que explica la similitud observada (Gómez et al., 2013).

El contenido de proteína en el tratamiento T1 fue de 7.61 %, ligeramente superior al observado en el brownie control (7.11 %). Si bien la diferencia no es estadísticamente considerable, este incremento podría atribuirse a múltiples factores. En primera instancia, es posible que la sustitución parcial de la sacarosa por alulosa haya modificado las interacciones durante el horneado, permitiendo una mayor recuperación de nitrógeno en el análisis químico. Sin embargo, también es relevante considerar la posibilidad de variación natural en la composición de los huevos utilizados, en particular la proporción de yema y clara.

A pesar de haber utilizado cantidades iguales de huevo entero en ambas formulaciones, es factible que se hayan incluido huevos con ligeramente distinta proporción de yema, lo cual impacta directamente en el contenido proteico final del producto. La yema aporta aproximadamente 16.4 % de proteína, mientras que la clara contiene alrededor del 10.6 %, además de tener diferentes tipos de proteínas (USDA, 2019). Estudios han demostrado que incluso dentro de huevos del mismo tamaño y peso, puede haber diferencias en el contenido relativo de sus fracciones internas (Stadelman & Cotterill, 1995). Por tanto, esta fuente de variabilidad debe ser considerada al interpretar resultados en matrices alimenticias que dependen de ingredientes frescos no estandarizados.

Respecto a los carbohidratos, T1 mostró un valor superior (48.26 % vs. 46.74 %), lo cual, en principio, podría interpretarse como un mayor contenido calórico. Sin embargo, dado que el método por diferencia no distingue entre carbohidratos disponibles y no disponibles, este valor incluye también el 9 % de alulosa presente en la formulación, la cual no es metabolizada de forma significativa y aporta solo 0.4 kcal/g (Iida et al., 2008; FDA, 2020). Al realizar el cálculo energético ajustado, se obtuvo un valor de 445.80 kcal/100g para T1, frente a 478.20 kcal/100g

que se estimarían bajo la fórmula clásica de Atwater. Esta diferencia evidencia que el uso de alulosa permite reducir el aporte calórico del producto sin afectar negativamente su composición general, posicionándola como un ingrediente funcional prometedor para el desarrollo de repostería más saludable.

Tabla 11

Análisis proximal del brownie control y el mejor tratamiento (alulosa 50%)

Parámetros	**Control**	**T1 (alulosa 50%)**
Humedad (%)	16.73 ± 0.65	14.81 ± 0.91
Cenizas (%)	0.92 ± 0.11	1.02 ± 0.03
Grasa (%)	28.50 ± 0.05	28.30 ± 0.05
Proteína (%)	7.11 ± 0.05	7.61 ± 0.05
Carbohidratos totales (%)	46.74 ± 0.77	48.26 ± 0.98
Energía (kcal/100g)	471.90	445.80

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La sustitución por alulosa al 50% obtuvo los parámetros sensoriales (color, aroma, textura, sabor y aceptabilidad) más altos respecto al control, mejorando incluso propiedades de textura como la cohesividad y elasticidad, seguido de la sustitución total (100%) y la sustitución parcial por eritritol. Mientras que el eritritol al 100% redujo significativamente la aceptabilidad (58%) y aumentó la dureza, masticabilidad y firmeza.

A nivel de textura instrumental se evidenció una influencia directa del porcentaje de sustitución con los parámetros de dureza, firmeza y masticabilidad, mientras que la naturaleza del endulzante fueron los que afecta la adhesividad, cohesividad y elasticidad. En cuanto a la colorimetría, las formulaciones con alulosa mostraron tonos más oscuros y menos saturados, asociados a una mayor participación en reacciones de Maillard, a diferencia del eritritol, que generó colores más claros. Fisicoquímicamente, la actividad de agua se vio reducida con la sustitución total por alulosa y parcial por eritritol, mientras que el pH y la acidez variaron ligeramente sin afectar el aspecto tecnológico.

Respecto al índice glucémico in vitro, se observó una reducción moderada en el tratamiento con alulosa al 50 % (IG: 71.23), en comparación con el control (IG: 75.62), lo cual indica un potencial metabólico más favorable. Aunque ambos valores se ubican en el rango de alto IG, esta disminución sugiere que sustituciones mayores o combinadas podrían resultar en formulaciones con menor impacto glucémico.

El tratamiento con alulosa al 50 % presentó un perfil nutricional comparable al del brownie control, con un leve aumento en el contenido de proteínas y carbohidratos totales. Sin embargo, al corregir el cálculo energético considerando la baja disponibilidad calórica de la alulosa (0.4 kcal/g), se evidenció una reducción de aproximadamente 32 kcal por cada 100 g de producto. Esto resalta el potencial de la alulosa como un sustituto viable de la sacarosa para formular productos de repostería con menor carga calórica, sin comprometer su composición ni aceptación sensorial.

4.2.Recomendaciones

- Se sugiere profundizar en estudios que evalúen la retención de humedad durante el almacenamiento, especialmente en los tratamientos con alulosa y eritritol, debido a sus diferencias en actividad de agua, lo cual podría afectar la vida útil y textura del producto.
- Para futuros estudios, sería útil explorar combinaciones de alulosa y eritritol en distintas proporciones, con el fin de optimizar el perfil sensorial y funcional, mitigando efectos negativos como el aumento de la firmeza, así también se podría ampliar la comparativa con otros endulzantes como maltitol, sorbitol, tagatosa, entre otros.

MATERIALES DE REFERENCIA

AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL SM (OMA).

Augustin, L. S. A., Kendall, C. W. C., Jenkins, D. J. A., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W., ... & Brand-Miller, J. C. (2015). Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International Scientific Consensus Summit. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 25(9), 795–815. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.05.005

Baek, S. H., Lim, H. H., & Park, H. Y. (2010). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of D-psicose in animal models. The Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition, 39(3), 373–378. https://doi.org/10.3746/jkfn.2010.39.3.373

Beg, M., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 108–116. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007

Belcar, J., Sobczyk, A., Sobolewska, M., & Stankowsky, J. (2020). Characteristics of technological properties of grain and flour from ancient varieties of wheat (einkorn, emmer and spelt). *Sciendo*, *XXIV*, 269–278.

Bourne, M. C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement (2nd ed.). Academic Press.

Brouns, F., Bjorck, I., Frayn, K. N., Gibbs, A. L., Lang, V., Slama, G., & Wolever, T. M. (2005). Glycaemic index methodology. Nutrition Research Reviews, 18(1), 145–171. https://doi.org/10.1079/NRR2005100

Buendía, M., & Berrocal, N. (2016). Ingredientes y sistemas de medidas. In *Panadería y pastelería comercial* (pp. 64–111). Editorial Macroi.

Cabrera, C. (2017). *Sustitución de harina, grasa o azúcar en bizcochos por fibra de frutos del bosque* [Universitat Politècnica de València]. https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86914/CABRERA%20-%20Sustituci%C3%B3n%20de%20harina%2C%20grasa%20o%20az%C3%BAcar%20en%20bizcochos%20por%20fibra%20de%20frutas%20del%20bosque..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cauvain, S., & Young, L. (2006). Ingredients and Their Influences. In *Baked Products: Science, Technology and Practice* (pp. 72–98). Blackwell Publishing.

Das, A., & Chakraborty, R. (2016). Sweeteners: Classification, Sensory and Health Effects. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 234–240). Academic Press.

De cock, P. (2012). Erythritol. In *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (pp. 215–240). Wiley-Blackwell.

De Toledo, N. M. V., Nunes, M. L., & de Oliveira, R. A. (2017). Textural properties of diet brownies: effect of fat replacers and sweeteners. LWT - Food Science and Technology, 76, 310–317. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.035

Dirección General de Salud Ambiental. (2011). *Norma aanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería*. http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/NORMA%20DE%20PANADERIAS.pdf

EFSA. (2023). *Reevaluación del eritritol (E 968) como aditivo alimentario*. https://www.efsa.europa.eu/es/plain-language-summary/re-evaluation-erythritol-e-968-food-additive

EFSA. (2024). *Edulcorantes*. https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/sweeteners#:~:text=Los%20edulcorantes%20o%20sustitutos%20del,para%20el%20control%20de%20peso.

Fang, Y., Shi, X., Zhao, W., Li, X., & Lu, Y. (2021). Physicochemical and functional properties of D-allulose: A new low-calorie sweetener. Food Chemistry, 347, 129019.

Farmer, F. (1896). *Boston Cooking-School*. John Wilson and Son.

FDA. (2001). *Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000076*. https://web.archive.org/web/20090319051505/http://www.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g076.html

FDA. (2007). *Health claims: dietary noncariogenic carbohydrate sweeteners and dental caries*. https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2011-title21-vol2/pdf/CFR-2011-title21-vol2-part101.pdf

FDA. (2020). The Declaration of Allulose and Caloriesfrom Allulose on Nutrition and Supplement Facts Labels: Guidance for Industry. https://www.fda.gov/media/123342/download

Fernández, L., Pellegrino, N., Contigiani, E., Alzamora, S., & Pita, M. (2023). Alulosa como endulzante alternativo para reducir el índice glucémico y las calorías de los alimentos: aspectos biológicos, legales y tecnológicos. *Nutrición*. https://doi.org/10.48061/SAN.2022.24.3.215

Fernández, L., Pellegrino, N., Contigiani, E., Pita, M., & Alzamora, S. (2024). Alulosa: Conocimientos nutricionales actuales y perspectivas industriales. *Revista Farmacéutica*. https://www.anfyb.com.ar/info/revistas/2024/1/166-1-2.pdf

Gámbaro, A., Giménez, A., & Ares, G. (2014). Sensory and consumer research in food product design and development. Wiley-Blackwell.

García, J., Casado, G., & García, J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes. Aspectos de regulación. *Nutrición Hospitalaria*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000003

Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2013). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. European Food Research and Technology, 216, 51–56.

Goñi, I., García, A., & Saura, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, *17*. https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9

Gounga, M. E., Xu, S. Y., & Wang, Z. (2015). Sweeteners and sugar alternatives in food technology. Food Chemistry, 173, 136–146. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.131

Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology* , *241*, 1–14. https://doi.org/10.1007/s00217-015-2437-7

Hayashi, N., Iida, T., Yamada, T., et al. (2010). Comparison of the laxative threshold of D-allulose (D-psicose) with that of other sugar substitutes in human subjects. European Journal of Clinical Nutrition, 64(11), 1323–1327. https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.175

Hernández, P., Mata, C., Lares, M., Velazco, Y., & Brito, S. (2013). Índice glicémico y carga glucémica de las dietas de adultos diabéticos y no diabéticos. *Anales Venezolanos de Nutrición*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522013000100002

Hossain, A., Yamaguchi, F., Matsuo, T., Tsukamoto, I., Toyoda, Y., Ogawa, M., Nagata, Y., & Tokuda, M. (2015). Rare sugar d-allulose: Potential role and therapeutic monitoring in maintaining obesity and type 2 diabetes mellitus. *Pharmacology & Therapeutics*, *155*, 49–59. https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.08.004

Iida, T., Hayashi, N., Yamada, T., et al. (2008). Failure of D-psicose absorbed in the small intestine to metabolize into energy and its low large intestinal fermentability in humans. Metabolism, 57(6), 742–748. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2008.01.013

Iida, T., Hayashi, N., Yamada, T., et al. (2010). Reduction of postprandial blood glucose levels by D-allulose in healthy humans: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 47(2), 112–119. https://doi.org/10.3164/jcbn.10-14

INEN. (2015). *NTE INEN 616. Harina de Trigo. Requisitos*.

Islas, A., Hernández, A., Calderón, A., Ballesteros, M., Granados, M., & Vásquez, F. (2012). Formulación y elaboración de pastelillos tipo brownies con más fibra y menos calorías que los convencionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000200013

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., et al. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. The American Journal of Clinical Nutrition, 34(3), 362–366. https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362

Katz, D., Doughty, K., & Ali, A. (2011). Cocoa and Chocolate in Human Health and Disease. *Antioxidants Redox Signal*, 2779–2811. https://doi.org/10.1089/ars.2010.3697

LabFerrer - AquaLab. (2024). *Fundamentos de actividad de agua*. https://blog.actividaddeagua.com/wp-content/uploads/2014/05/Fundamentos-de-actividad-de-agua.pdf

Lamothe, L., Lê, K., Samra, R., Roger, O., Green, H., & Macé, K. (2019). The scientific basis for healthful carbohydrate profile. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1058–1070. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1392287

Lee, P., Oh, H., Yeon, S., & Young-Soon, K. (2020). Effects of d-allulose as a sucrose substitute on the physicochemical, textural, and sensorial properties of pound cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*. https://doi.org/10.1111/jfpp.14472

Liu, Q., Kong, B., Xiong, Y. L., Xia, X., & Chen, H. (2020). Impact of rare sugars on Maillard reaction, sugar loss, and antioxidant capacity in model systems. Food Chemistry, 319, 126542. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126542

Livesey, G., Taylor, R., Hulshof, T., & Howlett, J. (2008). Glycemic response and health–a systematic review and meta-analysis: relations between dietary glycemic properties and health outcomes. The American Journal of Clinical Nutrition, 87(1), 258S–268S. https://doi.org/10.1093/ajcn/87.1.258S

Martins, S., Jongen, W., & Van, M. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, *11*(9–10), 364–373.

MedlinePlus. (2022). *Índice glucémico y diabetes*. Biblioteca Nacional de Medicina. https://medlineplus.gov/spanish/acercade/uso/citar/

Mendonça, A., dos Santos, D. C., & Oliveira, D. S. (2020). Sugar alcohols: Functional properties and potential for food application. Food Chemistry, 333, 127470.

Mettler Toledo. (2024). *Termobalanzas. Tecnología de calentamiento halógeno y pantalla táctil intuitiva para una determinación rápida de la humedad*. https://www.mt.com/mx/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzers/moisture-analyzer/thermobalances.html

Moskowitz, H. R., Saguy, I. S., & Straus, T. (2008). An integrated approach to new food product development. CRC Press.

MSP, INEC, & PS/OMS. (2018). Encuesta STEPS Ecuador 2018. https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/INFORME-STEPS.pdf

Mulono, A., Supriyanto, Sutardi, & Harmayani, E. (2016). Study on effect of fermentation to the quality parameter of cocoa bean in Indonesia. *Journal of Dairying, Foods & Home Sciences*. 10.18805/ajdfr.v35i2.10724

Nastaj, M., Solowiej, B., Terpilowski, K., Kucia, W., Tomasevic, I., & Pérez, S. (2023). The Effect of Erythritol on the Physicochemical Properties of Reformulated, High-Protein, and Sugar-Free Macarons Produced from Whey Protein Isolate Intended for Diabetics, Athletes, and Physically Active People. *Foods*. 10.3390/foods12071547

O'Charoen, S., Hayakawa, S., Matsumoto, Y., & Ogawa, M. (2014). Effect of D-Psicose Used as Sucrose Replacer on the Characteristics of Meringue. *Journal of Food Science*, E2463–E2469. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12699

O'Donnell, K., & Kearsley, M. (2012). *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (Second Edition). Wiley-Blackwell.

Omar, S., Leong, Y. K., & Oey, I. (2018). Functionality of rare sugars: physicochemical and techno-functional properties and potential applications in food systems. Food Hydrocolloids, 81, 137–151.

OMS. (2023). *Diabetes*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes

Pan Reac AppliChem. (2025). *D(+)-Sacarosa para biología molecular*. https://www.itwreagents.com/iberia/es/product/d--sacarosa-para-biologia-molecular-para-biologia-molecular/A2211#:~:text=La%20sacarosa%2C%20en%20particular%2C%20act%C3%BAa,frescos%20y%20conserven%20su%20humedad%3B

Plaza-Diaz, J., & Gil, A. (2016). Sucrose: Dietary Importance. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 199–204). Academic Press.

Pocan, P., Ilhan, E., & Halil, M. (2019). Effect of d-psicose substitution on gelatin based soft candies: A TD-NMR study. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 661–673. https://doi.org/10.1002/mrc.4847

Posada-Buitrago, S., Guzmán, D., Hincapié, E., Ortega, Y., Rodríguez, P., Ordoñez, J., & Ramírez, J. (2023). Brownies, de Boston para el mundo. *Heladería, Panadería Latinoamericana*, 50–57.

RAE. (2024). *Endulzante*. https://dle.rae.es/endulzante

Rapalle, A., Goosens, J., & Heume, M. (2016). Sugar Alcohols. In *Encyclopedia of Food and Health: Vol. Volume 5* (pp. 211–216). Academic Press.

Rodríguez, M. (2014). *Efecto de los polioles en la nutrición y sus aplicaciones en la industria alimentaria* [Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/7179/TFG-M-N154.pdf;jsessionid=EAE2F132D17CC8EC7094E9CEC70B2096;jsessionid=EAE2F132D17CC8EC7094E9CEC70B2096?sequence=1

Ruiz, C., & Herrero, A. (2021). *Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development*. Editorial Office.

Stadelman, W.J. and Cotterill, O.J. (1995) Egg Science and Technology. 4th Edition, The Haworth Press, NY, 115-119.

Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory Evaluation Practices*. Academic Press.

Sun, Y., Hayakawa, S., Ogawa, M., Fukada, K., & Izumori, K. (2008). Influence of a Rare Sugar, D-Psicose, on the Physicochemical and Functional Properties of an Aerated Food System Containing Egg Albumen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4789–4796. https://doi.org/10.1021/jf800050d

Sung, M. J., Lim, H. H., Kim, M. S., & Lee, Y. M. (2020). Physiological functionality and safety of D-psicose (allulose): A review of the literature. Journal of Medicinal Food, 23(6), 549–559.

The nibble. (2020). *The history of brownies*. https://www.thenibble.com/reviews/main/cookies/cookies2/history-of-the-brownie.asp#:~:text=Culinary%20historians%20have%20traced%20the,(photo%20courtesy%20Fairytale%20Brownies).

USDA. (2019). Egg, whole, cooked, hard-boiled. https://fdc.nal.usda.gov/food-details/173424/nutrients

Wang, L., Cui, Y., Lu, Y., & Zhao, Z. (2024). Comprehensive Analysis of Allulose Production: A Review and Update. *Foods*. https://doi.org/10.3390/foods13162572

Wolever, T. M. S., Mehling, C., Chiasson, J. L., et al. (2006). Low-glycaemic index diet and body weight in type 2 diabetes. The American Journal of Clinical Nutrition, 83(5), 1022–1030. https://doi.org/10.1093/ajcn/83.5.1022

Yilmaz, Y., & Toledo, R. T. (2005). Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. Food Chemistry, 93(2), 273–278.

Zahn, S., Forker, A., & Rohm, H. (2010). Combined use of sugar substitutes and sugar replacers in muffins. European Food Research and Technology, 230(3), 355–364. https://doi.org/10.1007/s00217-009-1177-6

Zhang, A. (2020). Effect of wheat flour with different quality in the process of making flour products. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*.

Zhang, J., Mu, T., Sun, H., & Wang, C. (2022). Evaluation of different sugars on Maillard reaction and antioxidant capacity of baked foods. Journal of Food Science and Technology, 59(3), 937–945. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05157-2

Zhang, W., Zhang, T., Jiang, B., & Mu, W. (2017). Enzymatic approaches to rare sugar production. *Biotechnology Advances,* 267–274. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.01.004

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de cata empleada para la evaluación sensorial de las formulaciones de brownies

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

"Estudio comparativo de endulzantes bajos en calorías en la formulación de brownies y su impacto en las características sensoriales, textura e índice glucémico"

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones

- Deguste las muestras de brownie en el orden indicado y marque con una X la opción que mejor refleje su percepción sensorial en la escala hedónica.
- Enjuague su boca con agua antes de probar una nueva muestra.
- En caso de tener observaciones, puede anotarlas en el espacio destinado.

Atributo	Escala	Códigos				
		GH45	MN56	TP98	SL17	MJ28
Color	1. Me disgusta mucho					
	2. Me disgusta					
	3. Ni me gusta ni me disgusta					
	4. Me gusta					
	5. Me gusta mucho					
Aroma	1. Me disgusta mucho					
	2. Me disgusta					
	3. Ni me gusta ni me disgusta					
	4. Me gusta					
	5. Me gusta mucho					
Textura	1. Me disgusta mucho					
	2. Me disgusta					
	3. Ni me gusta ni me disgusta					
	4. Me gusta					
	5. Me gusta mucho					
Sabor	1. Me disgusta mucho					
	2. Me disgusta					
	3. Ni me gusta ni me disgusta					
	4. Me gusta					
	5. Me gusta mucho					
Aceptabilidad	1. Me disgusta mucho					
	2. Me disgusta					
	3. Ni me gusta ni me disgusta					
	4. Me gusta					
	5. Me gusta mucho					

Observaciones: _____

_____

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

Anexo 2. Evaluación sensorial en la sala de cata





Anexo 3. Análisis de textura instrumental



Anexo 4. Determinación del índice glucémico (IG)









Anexo 5. Certificado de LACONAL de la cuantificación de proteína y grasa del tratamiento control y la sustitución al 50% con alulosa (T1)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

LACONAL

SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO
Acreditación N° SAE LEN 10-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

01583

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 25-017	R01-7.8 03
Solicitud N°: 25-017	Pág.:1 de 1
Fecha recepción: 05 de mayo de 2025	Fecha de ejecución de ensayos: 06 al 09 de mayo de 2025
Información del cliente:	
Empresa:	C.I./RUC: 1850937200
Representante: Alex Sevilla	Tlf: 995021560
Dirección: Ambato	E mail: asevilla7200@uta.edu.ec
Ciudad: Ambato	
Descripción de las muestras:	
Producto: Brownies	Peso / Volumen: 200g
Marca comercial: n/a	Tipo de envase: Contenedor de aluminio
Lote: n/a	No de muestras: dos
F. Elb.: n/a	F. Exp.: n/a
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab: 30 días
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 27 de marzo de 2025

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Brownie Control	**01725049**	**Ninguno**	Proteína total, Kjeldhal	AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	**%(Nx6,25)**	**7,11**
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	**%**	**28,5**
Brownie Sustituto	**01725050**	**Ninguno**	Proteína total, Kjeldhal	AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	**%(Nx6,25)**	**7,61**
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	**%**	**28,3**

Conds. Ambientales: 21.1°C; 54,9%HR

Ing. Gladys Risueño
Directora de Calidad

Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si

Fecha de emisión del certificado: 12 de mayo de 2025 FP

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".

UTA
Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los Chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
(593) 32400987 ext. 5517; 5518 http://laconal.uta.edu.ec laconal@uta.edu.ec