



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

TESIS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL HONGO *Ganoderma lucidum*
EN LA ELABORACIÓN DE UN PAN DE CAJA LIBRE DE
GLUTEN**

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencia de los Alimentos

PRESENTA

LAS. Diana Laura Ríos Sánchez

Director

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Codirectora

Dra. Angélica Godínez Oviedo

Comité tutorial

Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dr. Apolonio Vargas Torres

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México a 26 de mayo del 2025



COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: **"Evaluación del efecto del hongo *Ganoderma lucidum* en la elaboración de un pan de caja libre de gluten"**, que desarrolla la estudiante **Diana Laura Ríos Sánchez**

Asistentes:

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Dra. Angélica Godínez Oviedo

Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Dra. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dr. Apolonio Vargas Torres

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, **Diana Laura Ríos Sánchez**, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 26 de mayo de 2025

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Dra. Angélica Godínez Oviedo

Dra. Heidi María Palma Rodríguez

Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dr. Apolonio Vargas Torres



Agradecimientos

Con gran emoción, satisfacción y gratitud, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que han contribuido de manera invaluable a la realización de este logro.

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por haberme guiado y acompañado en cada paso del camino durante la realización de este trabajo, sin su gracia, fortaleza y sabiduría, este logro no habría sido posible. Gracias, Padre Jesús, por concederme la claridad mental, la perseverancia y la paciencia necesaria para enfrentar los desafíos y superar los obstáculos que encontré a lo largo de este proceso. Tu presencia constante en mi vida ha sido una fuente inagotable de inspiración, paz, felicidad y consuelo.

Sin embargo, quiero agradecer a mi director de tesis, el Dr. Juan Pablo Hernández Uribe, cuya orientación experta, paciencia y apoyo constante han sido fundamentales para la culminación de este trabajo, debido a su conocimiento profundo y capacidad para inspirar.

Así mismo, agradezco invaluablemente a la Dra. Angélica Godínez Oviedo por la inspiración profesional que me ha brindado desde la licenciatura, gracias por fungir como mi co-directora en este trabajo, por ser una amiga excepcional y mi ejemplo a seguir.

Agradezco también a los miembros del comité evaluador, Dra. Heidi María Palma Rodríguez, Dr. Apolonio Vargas Torres y al Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez, por sus valiosas sugerencias y comentarios constructivos que han enriquecido significativamente esta investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en especial al Instituto de Ciencias Agropecuarias, por proporcionarme los recursos y apoyos necesarios

académicos, para llevar a cabo mi investigación, así mismo al CINVESTAV de Querétaro, en el que aprendí muchas cosas personales y profesionales, especialmente a la Dra. Karen Magaly Soto Martínez, así como a la Universidad Autónoma de Querétaro, en la facultad de Química, ambas por recibirme en estancia.

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, que con su amor incondicional, comprensión y sacrificio, me han brindado el soporte emocional necesario para alcanzar esta meta. A mis padres, Angélica y Misael, por impulsarme desde pequeña a ser mejor cada día y a demostrarme que mi única competencia es conmigo misma, gracias por los valores con los que me han educado y por demostrarme que lo más importante en la vida es todo aquello invisible a los ojos.

Gracias a mis hermanos; Isis, gracias por creer en mí, ayudarme y acompañarme en esas noches de desvelo y en todos los retos de mi vida, gracias por ser mi fuente constante de inspiración, fortaleza y por estar a mi lado en las dificultades y en las victorias, y a ti hermanito, que desde el cielo iluminas diariamente mi camino y envías a las personas correctas en mi vida, gracias por estar a mi lado aunque no sea físicamente, sé que este logro es gracias a las bendiciones que me envías desde el cielo con mucho amor.

Finalmente quiero agradecerle a mi ángel en la tierra; Marco Antonio, gracias mi amor, por tu paciencia, porras, acompañamiento, comprensión y amor durante todo este proceso, por estar a mi lado en cada paso aunque parezca difícil e iluminarme para darme cuenta de que en realidad no lo es, tu apoyo ha sido esencial para mantenerme enfocada, motivada y siempre en crecimiento, sin ti no hubiera sido fácil, gracias por ser mi equipo, por apoyarme en esta y todas las etapas, este logro también es tuyo.

A todos ustedes, gracias infinitas.

Diana Laura Ríos Sánchez

Índice

i.	Índice de Figuras.....	6
II.	Índice de Tablas.....	6
III.	Resumen	7
IV.	<i>Abstract</i>	8
1.	Introducción.....	9
2.	Marco teórico	11
2.1.	Crecimiento de la población a nivel mundial	11
2.2.	Enfermedades prevalentes en México	12
2.2.1.	Enfermedad celiaca	13
2.3.	Problemáticas alimentarias actuales	15
2.4.	Tendencia plant-based en la industria alimentaria	16
2.5.	Alimentación basada en plantas.....	17
2.6.	Alimentación para celíacos.....	18
2.6.1.	Pan libre de gluten	19
2.7.	Reino fúngico: Hongos comestibles	20
2.8.	Hongos <i>Ganoderma</i> spp.	21
2.8.1.	Hongo <i>Ganoderma lucidum</i>	23
3.	Justificación.....	26
4.	Objetivos	27
4.1.	Objetivo general	27
4.2.	Objetivos específicos.....	27
5.	Materiales y métodos	28
5.1.	Materia prima.....	28
5.2.	Caracterización proximal del hongo <i>Ganoderma lucidum</i>	28
5.2.1.	Análisis fisicoquímico	28
5.2.1.1.	Determinación de color	28
5.2.1.2.	Microscopía electrónica de barrido (SEM) y Espectroscopía de Dispersión de Energía (EDS)	28
5.2.2.	Análisis de compuestos bioactivos	29
5.2.2.1.	Extracto metánolico	29
5.2.2.2.	Contenido de fenoles totales.....	29

5.2.2.3.	Contenido de flavonoides.....	29
5.2.2.4.	Porcentaje de inhibición del radical DPPH•.....	30
5.2.2.5.	Inhibición del radical ABTS•+	31
5.2.3.	Análisis microbiológico.....	31
5.3.	Caracterización del pan libre de gluten	32
5.3.1.	Elaboración de pan libre de gluten	32
5.3.2.	Análisis químico proximal	32
5.3.3.	Análisis fisicoquímico.....	33
5.3.3.1.	Identificación del color en miga y corteza	33
5.3.4.	Análisis de perfil de textura.....	34
5.3.5.	Análisis de compuestos bioactivos	35
5.3.5.1.	Extracción metanólica	35
5.3.5.2.	Contenido de fenoles totales.....	36
5.3.5.3.	Contenido de flavonoides.....	36
5.3.5.4.	Porcentaje de inhibición del radical DPPH•.....	37
5.3.5.5.	Inhibición del radical ABTS•+	38
5.4.	Evaluación sensorial.....	39
5.5.	Análisis estadístico	39
6.	Resultados y discusiones.....	40
6.1.	Caracterización proximal del hongo <i>Ganoderma lucidum</i>	40
6.1.1.	Análisis fisicoquímico.....	42
6.1.1.1.	Color.....	42
6.1.1.2.	Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB).....	43
6.1.2.	Análisis de compuestos bioactivos	45
6.1.3.	Capacidad antioxidante	46
6.1.4.	Análisis microbiológico.....	47
6.2.	Caracterización del pan libre de gluten	48
6.2.1.	Elaboración de pan libre de gluten	48
6.2.2.	Análisis químico proximal	48
6.2.3.	Análisis fisicoquímico.....	50
6.2.3.1.	Identificación del color.....	50
6.2.4.	Análisis de perfil de textura.....	51
6.2.5.	Análisis de compuestos bioactivos	52

6.2.6. Capacidad antioxidante	54
6.3. Evaluación sensorial.....	55
7. Conclusión	58
8. Referencias	60

i. Índice de Figuras

Figura 1. Biopsia endoscópica del intestino delgado donde se muestra del lado izquierdo las células epiteliales en estado sano y por el lado derecho el deterioro de las microvellosidades del intestino (Arévalo et al., 2008).	15
Figura 2. Color del hongo <i>Ganoderma lucidum</i> obtenida por el método de CIELAB	43
Figura 3. Fotografía tomada mediante microscopía electrónica de barrido de la estructura del hongo en polvo <i>Ganoderma lucidum</i> e identificación de 5 zonas para su microanálisis elemental.	44
Figura 4. Fotografía del pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i>	48
Figura 5. Fotografía del pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i>	48
Figura 6. Gráfica radial del análisis sensorial con los atributos de apariencia, color, olor, textura, adhesividad, dureza y sabor del pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> , el pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i> y el pan libre de gluten comercial (1= me disgusta mucho, 2= me disgusta moderadamente, 3= me es indiferente, 4= me gusta moderadamente, 5= me gusta mucho).	57

II. Índice de Tablas

Tabla I. Análisis químico proximal de <i>Ganoderma lucidum</i>	41
Tabla II. Parámetros L^* , a^* y b^* de color por el método CIELAB del hongo <i>Ganoderma lucidum</i> en polvo	42
Tabla III. Microanálisis elemental mediante MEB del hongo <i>Ganoderma lucidum</i>	44
Tabla IV. Contenido de fenoles y flavonoides del hongo en polvo <i>Ganoderma lucidum</i>	45
Tabla V. Resultados de la capacidad antioxidante mediante los métodos de ABTS \bullet + y DPPH \bullet	47
Tabla VI. Análisis químico proximal del pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> , pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i> y pan libre de gluten comercial.	50
Tabla VII. Resultados de los parámetros de color L^* , a^* y b^* del pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> , pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i> y pan libre de gluten comercial; así como la diferencia de color entre el pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i> y el que sí lo contiene y del pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> contra el comercial.	51
Tabla VIII. Resultados del análisis de perfil de texturapara el pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> y para el pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i>	52
Tabla IX. Contenido de fenoles y flavonoides para pan libre de gluten con <i>Ganoderma lucidum</i> , pan libre de gluten sin <i>Ganoderma lucidum</i> y pan libre de gluten comercial.	53
Tabla X. Resultados de inhibición de radicales libres mediante ABTS \bullet + y DPPH \bullet	54

Resumen

Actualmente la población ha ido en aumento, por lo que se estima que habrá un aumento de enfermedades crónicas y una afectación directa en los recursos naturales del medio ambiente, por lo que se ha identificado una de las enfermedades comunes en la actualidad y que va en incidencia es la celiacía, la cual se ha demostrado que su único tratamiento es una dieta restringida de gluten. En el mercado existen pocas alternativas para este tipo de alimentación, lo cual ha generado nuevas tendencias alimentarias, una de ellas el plant based la cual se identifica por limitarse en el consumo de alimentos de origen animal y aumentar el consumo de alimentos del reino vegetal y fúngico. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue caracterizar el hongo *Ganoderma lucidum*, para evaluar su seguridad e inocuidad en el desarrollo de un pan libre de gluten de alimentos funcionales; así mismo, el diseño y desarrollo, ya que es uno de los productos más consumidos a nivel mundial y más buscados por las personas que padecen celiacía, al cual se le adicionó este hongo *Ganoderma lucidum*, para así enriquecer su valor nutricional y de compuestos bioactivos, analizando también su capacidad antioxidante y realizando una comparación con un pan libre de gluten comercial aceptado por el consumidor en el mercado, se realizó la identificación de los parámetros importantes en relación a textura, y así mismo se evaluó la aceptabilidad de los tratamientos en el consumidor. De acuerdo a lo obtenido, la caracterización química proximal del hongo *Ganoderma lucidum* demostró valores altos en proteína, fibra y carbohidratos, así mismo, contiene fenoles y flavonoides, demuestra una capacidad antioxidante importante ante radicales libres, es inocuo y seguro para utilizarse como ingrediente alimentario. En consecuencia, la adición de hongo *Ganoderma lucidum* en la elaboración de un pan de caja libre de gluten, mejoró el aporte nutricional al incrementar el contenido de proteína y el contenido de fenoles y flavonoides. Por otro lado, la adición de hongo no modificó el análisis de perfil de textura y el análisis sensorial reveló mayor aceptación en el 70 % de los parámetros evaluados, por lo que podemos considerar que el pan con hongo *Ganoderma lucidum* podría ser una alternativa alimentaria saludable.

III. Abstract

Currently the population has been increasing, so it is estimated that there will be an increase in chronic diseases and a direct impact on the natural resources of the environment, so it has been identified that one of the common diseases today and is in incidence is celiac disease, it has been demonstrated that its only treatment is a gluten restricted diet, in the market there are few alternatives for this type of food, which has generated new food trends, one of them the plant based which is identified by limiting the consumption of foods of animal origin and increasing the consumption of foods from the plant and fungal kingdom. For this reason, the objective of this research is to characterize the fungus *Ganoderma lucidum*, to identify if it is safe and innocuous for its use and application in the development of functional foods, as well as the design and development of a gluten-free bread, since it is one of the most consumed products worldwide and most sought after by people suffering from celiac disease, to which this fungus *Ganoderma lucidum* was added, to enrich its nutritional value and bioactive compounds, analyzing also its antioxidant capacity and making a comparison with a commercial gluten-free bread accepted by the consumer in the market, the identification of the important parameters in relation to texture was carried out, and the acceptability of the treatments in the consumer was also evaluated. According to what was obtained, the proximal chemical characterization of the *Ganoderma lucidum* mushroom showed high values in protein, fiber, and carbohydrates, it also contains phenols and flavonoids, it shows an important antioxidant capacity against free radicals, it is innocuous and safe to be used as a food ingredient. Consequently, the addition of *Ganoderma lucidum* mushroom in the preparation of a gluten-free boxed bread improved the nutritional contribution by increasing the protein content and the content of phenols and flavonoids. On the other hand, the addition of fungus did not modify the texture profile analysis and the sensory analysis revealed greater acceptance in 70 % of the evaluated parameters, so we can consider that bread with *Ganoderma lucidum* fungus could be a healthy food alternative.

1. Introducción

El crecimiento poblacional ha ido en aumento en los últimos años, por lo que se estima que para el año 2050 se alcancen los 9700 millones de personas a nivel mundial, debido a esto se plantea una serie de desafíos y consideraciones importantes en áreas, como la alimentación, el cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales, entre otros. Por lo que es esencial implementar políticas y estrategias adecuadas donde se incluyan formas más eficientes de utilizar y conservar los recursos naturales, la obtención, diseño y desarrollo de alimentos saludables y funcionales basado en el uso de materias primas agro-ecológicas, cuidando el origen y a su vez dando un mayor uso del reino vegetal y fúngico, ya que serán fundamentales para garantizar una mejora calidad de vida sostenible para las generaciones futuras (González, 2018).

La población hoy en día padece de enfermedades crónico-degenerativas y se preocupan por su salud, por lo que se ha demostrado que la alimentación del ser humano es la base de una buena salud y calidad de vida. En México, para el año 2021, los diversos padecimientos estomacales e intestinales, se encuentran en el cuarto lugar de las principales causas de mortalidad, entre ellos algunos tipos de cáncer, a consecuencia de esta problemática, la población comienza a tener mayor educación alimentaria e interés por alternativas alimentarias funcionales y saludables los cuales puedan prevenir o ayudar con estas enfermedades comunes, entre la variedad de padecimientos que se han identificado se encuentra la celiaquía. En el año 2022, el 25% de la población es sensible al gluten, alrededor del 0.9% se han identificado como enfermedad celiaca, esto es debido a que uno de los alimentos más consumidos es el trigo principalmente en productos de panificación, lo que da lugar a que se desarrolle una inflamación intestinal debido a sus principales componentes, la gliadina y glutenina, por lo que en la actualidad las personas buscan evitar ese padecimiento que se ve identificado por inflamación abdominal, diarreas crónicas, vómitos y estreñimientos (Cobos, 2017). El consumo de alimentos basados en el reino vegetal y fúngico ha ido en aumento, principalmente porque no existe un tratamiento médico para este padecimiento, únicamente se puede controlar mediante una dieta estricta al consumo de gluten.

Sin embargo, el consumo de hongos ha tomado una mayor importancia debido a que no solo proveen nutrientes al cuerpo, sino que algunos destacan por sus actividades medicinales, naturalmente utilizados en la medicina tradicional y se encuentran de manera silvestre en comunidades de diversos estados del país, siendo algunos accesibles económica y geográficamente, la mayoría son endémicos de México como algunas especies de *Ganoderma* spp., que ha demostrado tener propiedades potenciales para prevenir enfermedades y mejora la salud. Sin embargo, hay poca información sobre el consumo de estos hongos incluidos en alimentos de la canasta básica como lo son los productos de panificación. Los compuestos bioactivos extraídos de especies de *Ganoderma* spp. han ganado relevancia debido a sus potenciales efectos antioxidantes, antiinflamatorios, y otros beneficios para la salud humana. En particular, su aplicación en la producción de alimentos libres de gluten ha captado la atención de investigadores y consumidores por igual. Este enfoque innovador busca no solo proporcionar una solución para las personas con intolerancia al gluten, sino también aprovechar las propiedades terapéuticas de los compuestos bioactivos de *Ganoderma* spp. en la creación de productos alimenticios más saludables y funcionales.

Por lo mencionado con anterioridad, en este proyecto de investigación se planteó la “Evaluación del efecto del hongo *Ganoderma lucidum* en la elaboración de un pan de caja libre de gluten” de manera que se pueda tener una mayor información de los posibles componentes de este hongo en un producto de panificación identificado de la canasta básica del mexicano; así mismo, identificar sus posibles efectos, composición, actividades y capacidades, incorporando el hongo *Ganoderma lucidum* en pan un libre de gluten elaborado en colaboración con Grupo La Otilia SA de CV.

2. Marco teórico

2.1. Crecimiento de la población a nivel mundial

En el año 2023 mediante estudios demográficos se estimó que la población aumentó a 8,045 millones de habitantes, colocando en los tres primeros lugares a India, China y Estados Unidos (Castañeda, 2022).

Así mismo, se identifica que México ocupa la décima posición a nivel mundial, siendo la principal razón que la mayoría de la población se encuentra en un rango de edad adulto y la cantidad de personas menores de edad, se ha visto disminuida (Urquidi, 2004).

Un factor importante relacionado con el crecimiento poblacional de menores, es la tasa de fertilidad, la cual indica el número de hijos promedio por cada una de las mujeres de la población, sin duda ha sido un factor que se ha visto disminuido, eso se relaciona directamente con la esperanza y la calidad de vida, siendo inversamente proporcional, por lo tanto, si la tasa de fertilidad disminuye, la esperanza de vida aumenta y así mismo la calidad de los servicios médicos, alimentación, condiciones climáticas, espacios de vivienda, escolaridad, entre otros disminuye, y a su vez se relaciona con la migración por lo que se puede lograr una disminución (Burgos, 2018).

La relación entre el crecimiento poblacional proyectado para el año 2050 y la alimentación es un tema de gran importancia, ya que si existe un aumento de la población mundial tendrá un gran impacto en la producción de alimentos, la seguridad alimentaria y los recursos naturales, debido a que si aumenta la cantidad de habitantes, habrá una mayor demanda de alimentos y para satisfacerse, será necesario aumentar la producción alimentaria, mejorar la eficiencia en la cadena de producción de alimentos, desarrollar alimentos funcionales para el organismo del consumidor y garantizar que haya suficientes alimentos disponibles y accesibles para todos, por lo que la seguridad alimentaria implica no solo la cantidad de alimentos, sino también su calidad y disponibilidad constante mediante una producción con prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes para evitar la degradación de los recursos naturales y reducir el impacto ambiental, ya que no es suficiente con producir más alimentos, sino también tomar en cuenta la distribución

equitativa y el acceso adecuado a los alimentos, las diferencias económicas y geográficas pueden dificultar el acceso a una alimentación adecuada y saludable para algunas poblaciones, mientras que la expansión de la agricultura y la producción de alimentos a gran escala pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, el uso de tierras, la deforestación, la intensificación de la ganadería y el uso de recursos hídricos inadecuados son cuestiones críticas a considerar en la relación entre el crecimiento poblacional y la alimentación, por lo que el cambio climático también afectan a la producción de alimentos, como las sequías, inundaciones y cambios en los patrones de temperatura tienen un impacto negativo en la agricultura y la disponibilidad de alimentos. Por lo que la educación alimentaria y la orientación de una alimentación saludable toma una mayor importancia, sin embargo, fomentar a la población sobre tener una mayor consciencia sobre la relación que tiene una buena nutrición con la disminución de enfermedades, la importancia de una alimentación equilibrada y saludable, la reducción del desperdicio de alimentos y el consumo de alimentos funcionales, puede contribuir a una alimentación más sostenible en relación con el planeta y la salud de la población (Alcívar et al., 2015)

2.2. Enfermedades prevalentes en México

Actualmente existe un amplia variedad de enfermedades prevalentes en México principalmente crónicas degenerativas, estas dependen de diversos factores para su aparición, incluyendo la ubicación geográfica, el acceso a la atención médica y las condiciones de salud y alimentación de la población en un momento dado. Sin embargo, una de las principales razones de fallecimiento son las enfermedades cardiovasculares, como la hipertensión arterial, la enfermedad coronaria y los accidentes cerebrovasculares, del mismo modo, México tiene una alta prevalencia de diabetes tipo 2, en parte debido a la obesidad y la falta de actividad física, se conoce que esta enfermedad puede causar complicaciones graves si no se controla adecuadamente, otro problema común e importante es la obesidad ya que es un factor de riesgo importante para muchas otras enfermedades, incluyendo la diabetes, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Por lo tanto el

cáncer es una causa importante de morbilidad y mortalidad en México. Los tipos más comunes incluyen el cáncer de mama, cáncer de colon, cáncer de próstata y cáncer de pulmón. Dentro de las enfermedades crónicas degenerativas se encuentra la enfermedad celíaca, ya que se considera que tiene presencia a nivel mundial y su aparición es muy variable, sin embargo, en los últimos años ha tenido mayor presencia, siendo así una enfermedad que aqueja al 1% de la población en México (Rubio, 2013) y a su vez se ha demostrado estadísticamente a nivel mundial que de cada 100 personas 1 tiene este padecimiento y el resto aún no han sido diagnosticado (ENSANUT, 2023).

2.2.1. Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca es una condición autoinmune crónica e irreversible, que afecta el sistema digestivo y se desencadena por la ingesta de gluten, una proteína que se encuentra en el trigo, la cebada, el centeno, entre otros, cuando las personas con enfermedad celíaca consumen gluten, que es una proteína de fácil acceso debido a que se encuentra en el trigo, está compuesta por gliadinas entre el 40 y 50% y gluteninas aproximadamente del 30 al 40 %, su sistema inmunológico reacciona de manera anormal, dañando la mucosa del intestino delgado, lo que puede llevar a una serie de síntomas y problemas de salud, esta enfermedad fue identificada por primera vez en 1887 por el doctor Samuel Gee, un médico inglés, y la describió como una condición que necesita un tratamiento nutricional constante a lo largo de toda la vida (Rubio, 2013).

En México, al igual que en muchas otras partes del mundo, la enfermedad celíaca es reconocida y diagnosticada por médicos gastroenterólogos y otros especialistas en salud. Sin embargo, muchas personas pueden estar sin diagnosticar, ya que para el diagnóstico de la enfermedad celíaca se realiza mediante pruebas médicas específicas, como pruebas serológicas y análisis de sangre con el objetivo de buscar marcadores como los anticuerpos antigliadina y el endomisio, seguido de una biopsia del intestino delgado para confirmar el diagnóstico. Sin embargo, no existe un tratamiento a base de medicamentos, por lo que el tratamiento principal de la enfermedad celíaca es seguir una dieta estricta sin gluten de por vida, la cual

implica evitar alimentos que contengan trigo, cebada, centeno y cualquier producto que pueda contener trazas de gluten (González, 2022).

Las principales causas de esta enfermedad no son bien definidas, ya que hay una variabilidad entre cada persona dependiendo de los factores genéticos, ambientales o incluso la relación que tengan con otras enfermedades, así mismo, los síntomas son diferentes entre cada persona que la padece, puede ser la falta de apetito, gases estomacales, dolores abdominales, estreñimiento, diarreas, hiperactividad, entre otros. Si no se realiza un tratamiento dietético donde se elimine el gluten se pueden llegar a generar complicaciones, dentro de las cuales destaca la anemia ferropénica, desnutrición, osteoporosis, intolerancia a la lactosa e incluso infertilidad, abortos espontáneos o malformaciones congénitas; así mismo, se ha visto que afecta directamente al sistema nervioso, es por ello la recomendación de una dieta libre de gluten en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), esta enfermedad requiere de dos partes participantes, en primer lugar que algunas partes o en su totalidad el gluten sea parte de la composición del alimento y a su vez la sensibilidad genética del intestino delgado, por lo que se generan las reacciones, como se muestra en la **Figura 1** (Hadis et al., 2011). Por otro lado, se ha demostrado una relación de la aparición de la celiaquía con otras enfermedades autoinmunes, como lo es la Diabetes Mellitus tipo I, tiroiditis, hepatitis e incluso dermatitis, así mismo, con el síndrome de Down, de Williams y Turner (Fernández et al., 2023). En los últimos años, ha habido un aumento en la conciencia pública sobre la enfermedad celíaca en México, por lo que esto ha llevado a una mayor disponibilidad de alimentos sin gluten y opciones en restaurantes y establecimientos de comida, del mismo modo, en México, existen organizaciones y grupos de apoyo para personas con enfermedad celíaca y sus familiares, los cuales proporcionan información, recursos y apoyo emocional para aquellos que viven con esta condición (Barrera, 2010).

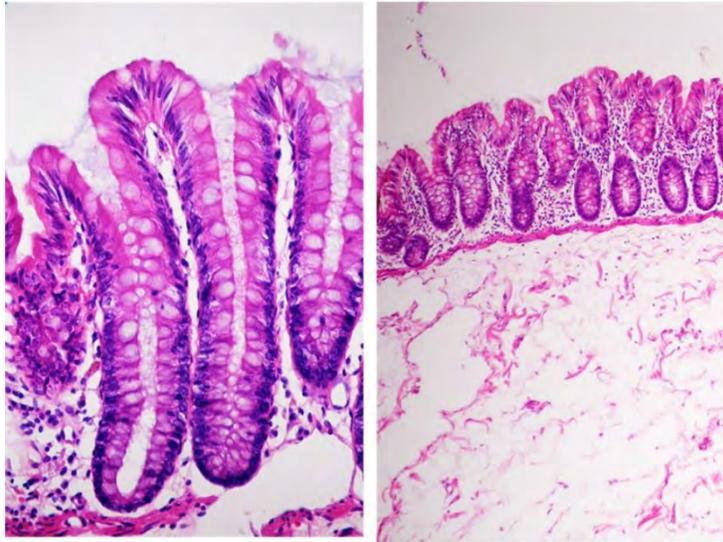


Figura 1. Biopsia endoscópica del intestino delgado donde se muestra del lado izquierdo las células epiteliales en estado sano y por el lado derecho el deterioro de las microvellosidades del intestino (Arévalo et al., 2008).

2.3. Problemáticas alimentarias actuales

Las problemáticas alimentarias actuales son una preocupación global debido a su impacto en la salud pública, el medio ambiente y la economía, como lo es la obesidad que se identifica como una epidemia global que afecta a millones de personas, y esta misma se relaciona con diversas enfermedades como la diabetes tipo II, enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer, por lo que la disponibilidad de alimentos ultraprocesados y la falta de actividad física son factores clave en su aumento. Por otro lado, a pesar de la creciente preocupación por la obesidad, la desnutrición sigue siendo un problema importante en muchas partes del mundo, incluyendo la desnutrición infantil, la deficiencia de micronutrientes y la falta de acceso a alimentos saludables (Fuentes & Estrada, 2023).

A nivel mundial, muchas personas aún no tienen acceso a alimentos seguros y nutritivos. El cambio climático, los desastres naturales y los conflictos pueden agravar esta problemática. La agricultura industrial y la producción de alimentos a gran escala a menudo tienen un impacto ambiental significativo, que incluye la deforestación, la erosión del suelo y la contaminación del agua, por lo que la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles es esencial para mitigar estos problemas (Cruz et al., 2020). En muchos países, se desperdicia una gran cantidad

de alimentos, desde la producción hasta la mesa del consumidor, esto no solo representa una pérdida de recursos, sino que también contribuye a la inseguridad alimentaria y al problema del cambio climático gracias a la generación de gases de efecto invernadero, debido a que la producción de alimentos es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático a su vez afecta la disponibilidad y calidad de los alimentos, lo que crea un círculo vicioso, ya que en muchas áreas urbanas y rurales el acceso a alimentos saludables es limitado, llevando a la dependencia de alimentos ultraprocesados y poco saludables (Mestre & Martínez, 2017).

México enfrenta diversas problemáticas alimentarias que afectan la salud y el bienestar de su población, teniendo una de las tasas de obesidad más elevadas del mundo, tanto en adultos como en niños, debido en gran parte a la disponibilidad y el consumo excesivo de alimentos ultraprocesados ricos en grasas saturadas, azúcares y sodio, así mismo, la dieta comúnmente es basada en alimentos que se componen de trigo, cebada y centeno, siendo alimentos de la canasta básica, como el pan, cereales de caja, pasteles y pastas, entre otros, esto debido a que hay versatilidad en su composición y económicamente es viable. En México ha aumentado la prevalencia de la enfermedad celiaca, lo que representa una carga significativa para el sistema de salud, así mismo es uno de los principales consumidores de bebidas azucaradas per cápita en el mundo, lo que ha llevado a preocupaciones sobre la relación entre el consumo de azúcar y las enfermedades crónicas (Angulo et al., 2024).

Sin embargo, aproximadamente una cuarta parte de la población Mexicana vive en condiciones de inseguridad alimentaria, lo que significa que no tienen acceso constante a alimentos nutritivos y suficientes; además, existe un problema significativo de desperdicio de alimentos en todas las etapas de la cadena alimentaria, desde la producción hasta el consumo (Torres & Martínez, 2019).

2.4. Tendencia plant-based en la industria alimentaria

La tendencia "plant-based" o tendencia basada en plantas se basa en la formulación de una dieta donde abunden los alimentos de origen vegetal, actualmente es una

de las más destacadas en la industria alimentaria y va en crecimiento, esta dieta es benéfica tanto para la salud como para el medio ambiente y ha llevado a la aparición de una amplia variedad de productos alimentarios diseñados para imitar o reemplazar los productos de origen animal o aprovechar en mayor medida los alimentos vegetales (Tomé & Visioli, 2023).

Actualmente, la población cada vez más presenta un mayor interés por parte de los consumidores en una variedad de productos saludables principalmente de origen vegetal. Varios factores han contribuido a este aumento de interés, como el crecimiento de la población mundial, el incremento de las poblaciones que siguen dietas veganas, vegetarianas y flexitarianas, la búsqueda de alternativas no alergénicas y funcionales, así como la preocupación por la adopción de ingredientes provenientes de cultivos más sostenibles desde el punto de vista ambiental, estos cambios en las preferencias alimentarias están comenzando a influir en los patrones de consumo, ya que las personas complementan o reemplazan productos de origen animal con opciones basadas en proteínas vegetales, en línea con la tendencia emergente de productos conocidos como "plant-based", basados en plantas en español. En consecuencia, la industria alimentaria está dedicando esfuerzos al desarrollo de nuevos procesos tecnológicos y a la innovación de productos que se ajusten a esta evolución en las preferencias de los consumidores (Schorr et al., 2024). Se han desarrollado diversas estrategias y de innovación en la industria alimentaria para lograr satisfacer las necesidades actuales en la población, el medio ambiente, la economía, entre otros aspectos, la investigación ha volteado a la exploración y diseño de nuevas fuentes de macronutrientes y compuestos bioactivos principalmente a base de plantas como algas, hongos, plantas medicinales, legumbres, entre otros, con la aplicación de métodos de obtención innovadores y así llegar a desarrollar alimentos totalmente novedosos y funcionales para la población (Duraipandian et al., 2024).

2.5. Alimentación basada en plantas

La alimentación basada en plantas, a menudo llamada "plant-based", es un enfoque dietético que se centra principalmente en el consumo de alimentos de origen vegetal y fúngico, con el objetivo de reducir o eliminar el consumo de productos de origen

animal, en comparación con estos últimos, los vegetales y hongos poseen una mayor cantidad de fibra y contenido de agua, mientras que tienen una menor proporción de grasas, lo que resulta en una menor densidad calórica, por lo que este hecho conlleva a una mayor sensación de saciedad con una ingesta calórica menor, diversos estudios han demostrado que seguir una dieta basada en plantas, puede llevar a la pérdida de peso corporal y mantenerse a largo plazo, en gran parte debido al aumento en la sensación de saciedad experimentada en cada comida (Bermejo et al., 2023).

El principal proceso mediante el cual la microbiota se relaciona con la obesidad es a través de su influencia en el control de la ingestión de alimentos, la microbiota ejerce su influencia sobre las vías gastrointestinales y neurales, particularmente a través del nervio vago, al liberar señales que pueden estimular o reducir el apetito, además de esto, la microbiota también desempeña un papel en la regulación del metabolismo energético al afectar la sensibilidad a la insulina, así como al influir en los procesos de liberación de grasa y termogénesis, debido a que las dietas que se centran en frutas, verduras y granos enteros, que son abundantes en fibra y polifenoles, se ha demostrado ampliamente que contribuyen a mantener la salud de la barrera intestinal, lo que a su vez protege al organismo contra las enfermedades mencionadas anteriormente, teniendo un efecto protector en lo que respecta a la obesidad y esto está relacionado con la microbiota intestinal (Ponce et al., 2021).

2.6. Alimentación para celíacos

Para las personas con enfermedad de celiaquía no hay un tratamiento específico con medicamentos, por lo que únicamente deben seguir una dieta sin gluten para mantener la salud y prevenir daños a su sistema digestivo (González, 2022).

La regla más importante y principal es evitar cualquier alimento o producto que contenga gluten, esto incluye alimentos como pan, pasteles, galletas, pasta, cereales entre otros, y dando prioridad a los alimentos de origen vegetal como frutas, verduras y en algunos casos considerar el consumo de carnes magras, pescado y huevo, estos alimentos son seguros para las personas con enfermedad

celíaca y al comprar alimentos procesados, es esencial leer las etiquetas con atención para identificar cualquier indicio de gluten, así mismo considerar evitar la contaminación cruzada de gluten, por lo que se han desarrollado diversas alternativas sin gluten para los alimentos con gluten, como pan sin gluten, harinas sin gluten y productos de repostería sin gluten (Estévez & Araya, 2016).

2.6.1. Pan libre de gluten

Desde tiempo atrás uno de los alimentos más consumidos a nivel mundial es el pan, por lo que se ha intentado desarrollar diversidad de formulaciones y diseño de este producto similar sin el contenido de gluten, utilizando diversas fuentes vegetales como harinas principales para su desarrollo, debido a que se ha puesto atención a la enfermedad celiaca, sensibilidad no celiaca al gluten y alergia al trigo, el mercado de alimentos sin gluten ha ido en aumento. Sin embargo, ha ido en aumento la cantidad de personas que evitan el consumo de gluten únicamente como prevención a la enfermedad celiaca, tratando de cuidar en mayor medida su salud ya que tienen una percepción de que es una opción alimentaria más beneficiosa para el organismo humano, lo cual ha generado el impulso y aumento del mercado de alimentos sin gluten (Estévez & Araya, 2016); (Babio et al., 2020).

Existen harinas sin gluten disponibles principalmente de fuentes como legumbres, dando lugar a la harina de almendras, de coco, de arroz, de maíz, de garbanzo y de papa, utilizándose para hornear y cocinar en lugar de las harinas de trigo o de otros granos con gluten, se ha desarrollado el pan sin gluten siendo esta una alternativa popular para quienes deben evitar el gluten o también existen pastas sin gluten está hecha de ingredientes como harina de arroz, harina de maíz, harina de quinoa y harina de legumbres, entre otros productos que se encuentran en el mercado y algunos más en desarrollo (Calle et al., 2020).

Se ha demostrado en base a su composición nutrimental y funcional que los productos de panificación contienen mayor cantidad de macronutrientes destacando las proteínas a comparación de panes tradicionales con gluten y a su vez los micronutrientes o compuestos bioactivos como lo es la cantidad de compuestos antioxidantes, entre otros, sin perder el comportamiento similar al pan tradicional

con gluten en aspectos visuales y organolépticos esto debido a su sustitución de alguna harina libre de gluten (Cerón & Tamayo, 2021).

2.7. Reino fúngico: Hongos comestibles

El reino fungi es considerado como uno de los más versátiles, ya que cuentan con sabores distintos, cualidades nutricionales y medicinales en algunos casos, características que los han hechos sustentables desde años atrás, los hongos por sí solos son representantes de uno de los universos con mayor variedad a nivel mundial y cada vez más, tienen mayor impacto y presencia en la alimentación de la población, la clave para una alimentación más sana es relacionar la unión del pasado con el futuro, aprovechando los recursos de manera sostenible, debido a que los hongos cuentan con un ecosistema silvestre, apoyan a prevenir y retardar el cambio climático por el que se atraviesa en la actualidad (Valdespino, 2020).

Actualmente existen más de 100,000 especies a nivel mundial de hongos, de los que se cuenta con información y conocimiento. Son organismos que cuentan con un solo núcleo nombrándoles eucariontes, ya que necesitan de otros seres vivos para alimentarse, dentro de su composición se encuentra la quitina, quien estructuralmente le proporcione su rigidez característica y su resistencia, su clasificación es compleja debido a su amplia diversidad. Sin embargo en México hay 6,000 especies endémicas que también evolucionan con los años, teniendo una gran importancia por la diversidad de sus usos entre los que destacan el alimentario, biotecnológico y medicinal (Ruan et al., 2021). Normalmente estos hongos que se encuentran de manera silvestre en el país, contienen un alto índice proteico, además de contener tiamina, riboflavina, piridoxina, cobalamina, vitamina C y minerales como fósforo, hierro y potasio, identificándolos como alimentos sumamente nutritivos, del mismo modo se subutiliza este recurso, y sus ventajas económicas se ven restringidas debido a la ausencia de una adecuada organización, procesamiento, regulación y comprensión científica y tecnológica, en consecuencia, el entendimiento ecológico establece los cimientos para un aprovechamiento sostenible. Por lo tanto, la producción global de hongos cultivados supera los 6.2 millones de toneladas y cada año su producción incrementa un 11%,

con un valor cercano a los 30 billones de dólares (Fernández et al., 2023). A pesar de que se conocen como alimentos ricos en macronutrientes, dentro de su composición se encuentra el 90% de agua y un 10% de materia seca, dentro de la cual se encuentra un equilibrio nutricional notable, aproximadamente el 27-48% consiste en proteínas de alta calidad incluyendo los β -glucanos, mientras que el 60% corresponde a carbohidratos, en particular fibras dietéticas como las D-glucanas, quitina y sustancias pécticas, aproximadamente del 2 al 8% de los lípidos presentes en los hongos son dignos de mención, en particular el ácido linoléico, que es un ácido graso esencial para el organismo humano, también cuentan con metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, carotenoides y el ergosterol, los cuales tienen la capacidad de reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y de cáncer. Así mismo, los polifenoles son sustancias químicas que presentan una efectiva actividad antioxidante en sistemas biológicos los cuales actúan como agentes antiinflamatorios y tienen propiedades que combaten el envejecimiento celular, se ha demostrado que logran intervenir en la prevención y el control del desarrollo del cáncer (Cano & Romero, 2016). Los hongos con propiedades medicinales también aportan compuestos con la capacidad de resistencia a la oxidación y a la inhibición de radicales libres, a lo que estos compuestos se atribuyen al contenido de polisacáridos que tienen propiedades biológicas, lo cual el potencial de antioxidante se sintetiza de sus extractos fenólicos, por lo que también es de importancia el solvente que se utilice, principalmente para el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos, son parte valiosa en la gastronomía y cultura de México. Sin embargo, es crucial tener conocimiento sobre las variedades específicas (Mwangi et al., 2022).

2.8. Hongos *Ganoderma* spp.

La familia *Ganodermataceae* se destaca principalmente por características morfológicas únicas, especialmente las estructuras de las basidiosporas con paredes dobles y con una ornamentación que varía en grosor, a pesar de que se ha investigado durante décadas, esta familia sigue siendo compleja y enigmática, con incertidumbres en cuanto a la diversidad de especies, su distribución geográfica,

clasificación y taxonomía. El género principal es *Ganoderma*, que se caracteriza por su distribución cosmopolita, extendiéndose por regiones tropicales y subtropicales en África, América, Asia y Europa. El nombre "*Ganoderma*" tiene raíces griegas, significando "piel brillante y reluciente" ("gános" se identifica como "brillante", y "dérma" haciendo referencia a "piel"). Sin embargo, este nombre no captura completamente las características morfológicas de todas las especies en este género, ya que no todas ellas presentan una superficie brillante y reluciente (Konara et al., 2022).

El género *Ganoderma* fue inicialmente descrito en 1881 por el micólogo finlandés Petter Adolf Karsten e incluía solamente una especie, *Ganoderma lucidum*, este hongo había sido denominado previamente como *Boletus lucidus* por Curtis en 1781 y como *Polyporus lucidus* por Fries en 1821. En 1889, Patouillard amplió este género a 48 especies, basando la clasificación en criterios como la presencia de esporas pigmentadas, tubos adheridos y una tapa que se asemeja a una concha. Esta expansión significativa del género *Ganoderma* marcó el inicio de un mayor entendimiento y exploración de esta fascinante familia de hongos y finalmente hoy en día se menciona que el género *Ganoderma* incluye 181 especies que son tanto ecológica como económicamente importantes (Sułkowska et al., 2023). Se ha demostrado que las propiedades de los hongos *Ganoderma spp.* abarcan un espectro impresionante de beneficios para la salud, los cuales destacan principalmente por sus capacidades anticancerígenas, inmunomoduladoras, antioxidantes, antiinflamatorias, antialérgicas, neuroprotectoras, hepatoprotectoras, hipoglucémicas, hipotensivas, antimicrobianas, antivirales y antipalúdicas, por lo que los componentes activos clave en *Ganoderma spp.* incluyen triterpenos y polisacáridos, en los que se han identificado y caracterizado más de 300 triterpenos y alrededor de 200 polisacáridos, cada uno con estructuras químicas únicas y diversas actividades biológicas. Sin embargo, esta diversidad de compuestos y su amplio espectro de beneficios para la salud han convertido a los hongos *Ganoderma* en un área de interés significativo para la investigación científica y la medicina tradicional en diversas partes del mundo. Sus aplicaciones potenciales van desde

el apoyo al sistema inmunológico hasta el tratamiento y la prevención de diversas enfermedades (Zheng et al., 2022).

La riqueza micológica de México es amplia, por lo que dentro de esta biodiversidad, el género *Ganoderma* es de suma importancia, ya que en todo el país, se han registrado al menos 20 especies diferentes de *Ganoderma*, pero singularmente el estado de Hidalgo implica una amplia diversidad de estos hongos medicinales floreciendo de manera sorprendente, las que se han identificado 7 especies diferentes de *Ganoderma* como lo son *G. applanatum*, *G. australe*, *G. brownii*, *G. curtisii*, *G. lobatum*, *G. oregonense* y *G. sessile*, cada una con sus propiedades singulares y sus aportaciones funcionales y medicinales. Sin embargo, a pesar de su abundancia estas especies aún no han sido exploradas en detalle en términos de su composición química, nutricional, funcional y medicinal en amplio espectro (Santillán et al., 2017).

2.8.1. Hongo *Ganoderma lucidum*

Existe desde tiempo atrás un hongo basidiomiceto que pertenece al reino Fungi, la especie se llama *Ganoderma lucidum*, de Clase es *Himenomicetes*, de Orden afiloforales y de Familia pertenece a *Ganodermataceae*, este hongo destaca por ser uno de los más utilizados a nivel mundial principalmente por sus aportaciones medicinales, comunmente crece en los troncos de árboles, debido a que se alimenta de materia orgánica en descomposición, se caracteriza físicamente por tener una estructura leñosa o maderosa, su sabor es amargo, el color más común es rojo coriáceo, aunque puede haber diversidad de colores, y así mismo, tiene forma de sombrero arriñonado y plano, se da principalmente su producción en un clima templado, a pesar de que se produce en países del Oriente, Asia y Norteamérica, China es el productor principal de este hongo y a su vez de consumo. Sin embargo, también se consume en la mayoría de países y México no es la excepción pero no hay una gran cantidad en producción debido a que se desconocen los beneficios medicinales de este hongo y a su vez los factores de producción necesarios, debido a esa razón, es por eso que en la actualidad se están generando diversos estudios sobre la estandarización de su producción, como el tipo de suelo, sustrato, clima

controlado, entre otros, con el objetivo de evaluar su crecimiento, beneficio nutricional y medicinal (Rodríguez et al., 2022).

Países como Japón y China han consumido desde tiempo atrás *Ganoderma lucidum* como parte de su medicina ancestral, principalmente en infusiones para tratar diversas enfermedades y llevar una vida más longeva y de calidad. Sin embargo, el hongo *Ganoderma lucidum* contiene diversos compuestos bioactivos, como polisacáridos en los que destaca el heteroglucano PL-1 y PL-2 y a su vez el homoglucano PL-3, triterpenos, proteínas, esteroides, nucleótidos, glicoproteínas, péptidos, esteroides, ácidos grasos, ergosteroides, oligoelementos y algunos compuestos con gran similitud a la adenosina, estos componentes bioactivos han sido objeto de investigación y estudio debido a su potencial impacto en la salud humana y su contribución al bienestar general, se le reconoce numerosos efectos benéficos para el cuerpo humano (Sheikha, 2022).

Los extractos obtenidos de *Ganoderma lucidum* han reportado un amplio porcentaje de inhibición principalmente en la peroxidación lipídica principalmente para aquellos en los que son extractos metanólicos. Entre los beneficios se incluye principalmente su potencial para inducir a la apoptosis de diferentes células de leucemia, linfoma y mieloma, así mismo, destacan propiedades como los hipocolesterolemiantes los cuales indican en la reducción de colesterol endógeno, regulando la presión arterial y reducir los niveles de colesterol en sangre, antihipertensivos, antiinflamatorios que ayudan en condiciones como artritis, antienvjecimiento, hepatoprotectores, antioxidante por lo que puede combatir el estrés oxidativo y el daño celular, antitumorales, antibacterianos, reguladores de la glucosa, anticancerígenos y antivirales. Por otro lado, también se emplea especialmente cuando el sistema inmunológico se ve comprometido, principalmente debido a su capacidad para activar este sistema, ya que puede ayudar a fortalecer el sistema inmunológico y aumentar la resistencia a enfermedades, los efectos benéficos derivan de los más de 400 componentes bioactivos presentes en el hongo, en particular, los ácidos ganodéricos que confieren al hongo su característico sabor amargo y tienen propiedades antitumorales significativas. Además, los polisacáridos también desempeñan un papel crucial al regular el sistema inmunológico así como, fenoles,

flavonoides en su mayor composición, carboximetilados, péptidos ganodéricos, ácidos ganodéricos y ganodermanontriol (Delgado & Ortiz, 2023;Mwangi et al., 2022).

En el hongo *Ganoderma lucidum*, principalmente en relación con sus polisacáridos se demuestra una reducción de neurotoxicidad y protección neuronal contra inflamaciones, y la propiedad quelante de Fe^{++} y la presencia de selenio. Sin embargo, se ha demostrado que la temperatura y el tiempo afectan el color y el pH, de la materia prima o de los extractos (Liuzzi et al., 2023;Vargas et al., 2021).

3. Justificación

En la actualidad la incidencia de enfermedades relacionadas con el consumo de gluten, como la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten no celíaca, aquejan a la población, no solo en México, sino a nivel mundial, esto ha impulsado la demanda de productos alimenticios libres de gluten, aunado a la tendencia alimentaria “Plant-based” de los últimos años, la cual contribuye a una alimentación saludable, el cual se relaciona con un disminuido impacto ambiental. Sin embargo, muchos de estos productos carecen de nutrientes esenciales y no siempre ofrecen beneficios adicionales para la salud más allá de la ausencia de gluten. En este contexto, la adición de ingredientes funcionales en alimentos libres de gluten puede representar una innovación significativa en la mejora de la salud y el bienestar de los consumidores, el mercado de alimentos funcionales se está posicionando debido a que existen consumidores cada vez más interesados en productos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud. La innovación en productos alimenticios funcionales puede abrir nuevas oportunidades de mercado y generar valor económico tanto para los productores agrícolas como para las empresas alimentarias. Por lo que se propone la caracterización del hongo *Ganoderma lucidum*, ya que se ha reportado que cuenta con propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales; y utilizarlo como un ingrediente funcional en el diseño y elaboración de un pan libre de gluten, el cual no solo responderá a una necesidad creciente en la población intolerante al gluten, sino que incorporará un ingrediente funcional que podría tener beneficios para la salud. Esta alternativa alimentaria representa una unión de nutrición, salud y sostenibilidad, con el potencial de establecer un nuevo estándar en la industria de alimentos libres de gluten, diferenciándose en un mercado competitivo y en expansión.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de harina de hongo *Ganoderma lucidum* sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y antioxidantes de un pan libre de gluten.

4.2. Objetivos específicos

- I. Caracterizar la composición fisicoquímica, fenoles, flavonoides totales y capacidad antioxidante del hongo *Ganoderma lucidum* en polvo basado en los métodos oficiales espectrofotométricos.
- II. Evaluar la inocuidad del hongo *Ganoderma lucidum* mediante análisis microbiológicos para utilizarse como ingrediente en la formulación de un pan libre de gluten.
- III. Diseñar un pan de caja libre de gluten con el hongo *Ganoderma lucidum* y evaluar su composición química proximal, perfil de textura y aceptabilidad sensorial mediante una prueba hedónica.
- IV. Cuantificar el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante del pan libre de gluten mediante métodos espectrofotométricos y cromatográficos para conocer la capacidad funcional del producto de panificación.

5. Materiales y métodos

5.1. Materia prima

Se utilizó el hongo *Ganoderma lucidum* en polvo, de la marca Healthy Superfoods, con certificación USDA Organic.

5.2. Caracterización proximal del hongo *Ganoderma lucidum*

Se realizaron las determinaciones mediante los métodos de la AACC del año 2009, humedad (44-19.01), cenizas (08-01.01), lípidos (30-10.01), fibra cruda (32-05.01), proteína (46-12.01) y finalmente los carbohidratos se calcularon por diferencia (AACC, 2009).

5.2.1. Análisis fisicoquímico

5.2.1.1. Determinación de color

La determinación de color del hongo *Ganoderma lucidum* en polvo se realizó mediante un colorímetro Hunter-Lab (colorFlex EZ, 45/0, EE.UU.), utilizando la calibración estándar de una placa blanca para asegurar precisión. El color de las muestras se expresó en el espacio de color CIELAB, empleando los parámetros L* (brillo/oscuridad), a* (rojo/verde) y b* (amarillo/azul), lo que permitió una evaluación cuantitativa del color. Este método es ampliamente utilizado en la industria para obtener mediciones objetivas y reproducibles del color en productos alimenticios y compuestos naturales.

5.2.1.2. Microscopía electrónica de barrido (SEM) y Espectroscopía de Dispersión de Energía (EDS)

Para la morfología del hongo *Ganoderma lucidum*, se utilizó el método reportado por Sukumar et al (2020). La muestra se colocó sobre una oblea de silicio, posteriormente se colocaron en un pin y se sujetó con pintura de plata para realizar el recubrimiento de oro/paladio (Denton Vacuum DeskV), así mismo, el pin recubierto se colocó en el microscopio electrónico de barrido (modelo JSM-7600F, marca JEOL), del mismo modo mediante la espectroscopía de dispersión de energía, el haz de electrones incidió sobre la muestra, excitando a los electrones de

las capas internas de los átomos, al regresar a su estado fundamental, los átomos emitieron rayos X con energías características de cada elemento, lo que permite la detección e identificación de la composición química (Sukumar, 2022).

5.2.2. Análisis de compuestos bioactivos

5.2.2.1. Extracto metanólico

La extracción metanólica del hongo *Ganoderma lucidum* se realizó utilizando una relación 1:10 (extracto: disolvente), donde se colocó el hongo en agitación con metanol a una velocidad de 150 rpm y una temperatura de 25 °C durante 24 horas. Posteriormente, la mezcla se filtró a través de papel Whatman N°4 para separar las partículas sólidas, el residuo obtenido se sometió a dos extracciones adicionales con 100 mL de metanol en cada ocasión, finalmente el extracto filtrado fue evaporado a 40 °C hasta que alcanzó su sequedad, obteniendo un extracto concentrado de *Ganoderma lucidum* listo para su análisis o uso en formulaciones posteriores (Shen, 2015).

5.2.2.2. Contenido de fenoles totales

Los compuestos fenólicos totales se determinaron a través del método de Folin-Ciocalteu siguiendo la metodología descrita por Pękal y Pyrzynska (2014). En microtubos se colocaron 100 µL de los diferentes extractos, 500 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu y 1,500 µL de Na₂CO₃ al 2 la mezcla se agitó y se dejó en reposo por 40 min, posteriormente se midió la absorbancia a 765 nm, para determinar la concentración de cada extracto se utilizó una curva estándar de 0 a 100 ppm de ácido gálico (AG), el resultado se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de *Ganoderma lucidum* (Pękal, 2014).

5.2.2.3. Contenido de flavonoides

Los flavonoides totales se determinaron mediante el método colorimétrico con cloruro de aluminio, siguiendo la metodología descrita por Calle et al. (2017). En microtubos se colocaron 500 µL de extracto de *Ganoderma lucidum*, a los cuales se les adicionaron 1,500 µL de etanol, 100 µL de acetato de potasio, 2,800 µL de agua

destilada y 100 μL de cloruro de aluminio (AlCl_3), la mezcla se agitó en un vortex durante 1 min y se dejó reposar durante 40 min a temperatura ambiente, posteriormente se midió la absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro y la concentración de flavonoides se determinó utilizando una curva estándar de 0 a 100 ppm de quercetina (Q), los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina por 100 g de *Ganoderma lucidum* (Calle, 2017).

5.2.2.4. Porcentaje de inhibición del radical DPPH•

La capacidad antioxidante del extracto de *Ganoderma lucidum* se evaluó mediante la inhibición del radical DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), siguiendo la metodología descrita por Cuapio et al., 2024. Este método permite determinar la actividad antioxidante a través de la capacidad del extracto para donar electrones o hidrógenos, reduciendo al radical DPPH•, el cual presenta un color violeta intenso en su forma oxidada y se decolora a medida que es neutralizado por los compuestos antioxidantes presentes en la muestra.

Para el análisis, se utilizaron 200 μL de extracto de hongo *Ganoderma lucidum*, a los cuales se les adicionaron 2 mL de solución DPPH• preparada previamente a una concentración de 0.1 mM en metanol, protegiéndola de la luz para evitar su degradación. La mezcla resultante se agitó suavemente para asegurar la homogeneidad y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min en oscuridad, permitiendo que la reacción de neutralización del radical libre ocurriera de forma estable; posteriormente, se midió la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda de 520 nm en un espectrofotómetro, utilizando metanol como blanco para ajustar la línea base del equipo, para determinar la capacidad antioxidante de los extractos, se construyó una curva estándar de Trolox (un antioxidante sintético) a concentraciones de 0 a 1 mM, esta curva se utilizó para calcular el valor de inhibición del DPPH• de los extractos de hongo, expresado como μM de Trolox equivalente por miligramo de extracto ($\mu\text{M TE/mg}$), el análisis se realizó por triplicado para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados por lo que los valores obtenidos fueron empleados para determinar la capacidad antioxidante total del extracto de *Ganoderma lucidum*, expresada como porcentaje

de inhibición del radical DPPH• respecto a la curva estándar de Trolox (Cuapio, 2024).

5.2.2.5. Inhibición del radical ABTS•+

La capacidad antioxidante del extracto de *Ganoderma lucidum* se determinó mediante el método ABTS•+ (2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio), siguiendo la metodología propuesta por Cuapio et al., 2024. Se preparó la solución de ABTS•+ mediante la mezcla de dos soluciones de stock: 7.4 mM de ABTS•+ y 2.6 mM de persulfato de potasio, en cantidades iguales. Esta mezcla se dejó reaccionar durante 12 h a temperatura ambiente en oscuridad para permitir la formación completa del radical ABTS•+, posteriormente, la solución de ABTS•+ se diluyó con etanol para ajustar su absorbancia a 0.70 ± 0.02 a una longitud de onda de 734 nm, utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific, Modelo GENESYS 10S VIS (E.U.A.).

A continuación, se añadieron 300 μ L de extracto de *Ganoderma lucidum* a 2,970 μ L de la solución de ABTS•+ y la mezcla se dejó reaccionar durante 6 min a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 734 nm en el mismo espectrofotómetro, los resultados se expresaron como capacidad antioxidante equivalente de Trolox, utilizando una curva estándar (0, 5, 10, 20, 30, 40 y 50 μ mol/L) de Trolox, los valores obtenidos se calcularon como μ M de Trolox equivalente por miligramo de extracto (μ M TE/mg) y se utilizaron para determinar la capacidad antioxidante del extracto de *Ganoderma lucidum* en relación con el estándar de Trolox, el análisis se realizó por triplicado para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados.

5.2.3. Análisis microbiológico

La evaluación microbiológica del hongo *Ganoderma lucidum* en polvo se realizó para detectar la presencia o ausencia de bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales (CT), hongos y levaduras (HyL), utilizando diferentes medios de cultivo específicos para cada tipo de microorganismo. Para la determinación de BMA y CT, se emplearon medios de cultivo agar cuenta estándar y agar bilis rojo

violeta, respectivamente, las placas con las muestras fueron incubadas a 36°C durante 24 h para permitir el crecimiento de los microorganismos, facilitando su posterior recuento en función del número de colonias formadas, posteriormente en el caso de los hongos y levaduras (HyL), se utilizó agar papa dextrosa como medio de cultivo, las placas se incubaron a una temperatura de 25°C durante 4 días para permitir el crecimiento de estos microorganismos, observando las colonias que se desarrollaron sobre la superficie del medio, después de los períodos de incubación establecidos, se procedió a contar el número de colonias formadas en cada placa para determinar la presencia de los microorganismos en las muestras de *Ganoderma lucidum* en polvo, permitiendo así evaluar la calidad microbiológica del producto.

5.3. Caracterización del pan libre de gluten

5.3.1. Elaboración de pan libre de gluten

La metodología de elaboración de pan libre de gluten utilizada es propia del Grupo La Otilia S.A. de C.V.. En este proceso, se emplearon harinas de garbanzo y arroz como ingredientes base, seleccionados por sus propiedades que aportan textura y consistencia al pan sin gluten, a esta mezcla se le añadió un 14% de *Ganoderma lucidum*, porcentaje propuesto tras realizar pruebas preliminares con diversas concentraciones de este hongo, las pruebas previas permitieron determinar que 14% es la proporción óptima para obtener las características deseadas en el pan, tanto en términos de textura como de capacidad funcional y nutricional, manteniendo un equilibrio entre la incorporación del hongo y las propiedades sensoriales del producto final.

5.3.2. Análisis químico proximal

El análisis químico proximal de los diferentes tipos de pan se realizó siguiendo la metodología propuesta por la AACC (2009), con el objetivo de determinar los principales componentes en cada muestra, los tratamientos evaluados incluyeron: pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial libre de gluten

(tratamiento ideal). Para la humedad, se utilizó el método de la AACC 44-19.01, que consiste en deshidratar la muestra a una temperatura controlada hasta alcanzar un peso constante, lo cual permite cuantificar la cantidad de agua presente en el pan, este parámetro es esencial para conocer la conservación y textura del pan, el contenido de cenizas se determinó mediante el método 08-01.01, que implica incinerar la muestra a alta temperatura en un horno, eliminando los componentes orgánicos y dejando solo las cenizas, que se pesan para determinar el contenido mineral del pan, posteriormente para la medición de lípidos, se empleó el método 30-10.01, que consiste en extraer los lípidos de la muestra utilizando un solvente, como el cloroformo y metanol, así mismo, se cuantificaron los lípidos presentes en cada tipo de pan, para la fibra cruda se determinó utilizando el método 32-05.01, que incluye una serie de tratamientos de la muestra con soluciones ácidas y básicas, permitiendo separar la fibra no digerible, como la celulosa y la hemicelulosa, para luego cuantificarla, del mismo modo, el contenido de proteína se midió con el método 46-12.01, basado en la técnica de Kjeldahl, que mide el nitrógeno total presente en la muestra, permitiendo calcular el contenido proteico de forma indirecta mediante un factor de conversión., finalmente, los carbohidratos se calcularon por diferencia, restando los valores obtenidos de humedad, cenizas, lípidos, fibra cruda y proteína al 100%. Cabe destacar que se emplearon las mismas condiciones experimentales para los tres tratamientos, garantizando así una comparación precisa de los resultados obtenidos en cada tipo de pan.

5.3.3. Análisis fisicoquímico

5.3.3.1. Identificación del color en miga y corteza

Para la identificación del color de los diferentes tipos de pan, se utilizó el sistema de color CIELAB, que permite determinar tres atributos principales: luminosidad (L)** , tonalidad (h) y pureza (C)** . Este espacio de color se basa en coordenadas específicas, donde los valores de a y b* corresponden a los ejes horizontal y vertical, respectivamente, el eje a* abarca el componente que va del rojo al verde, mientras que el eje b* va del amarillo al azul, de esta forma se pudo identificar con precisión las características del color tanto de la miga como de la corteza de los panes

evaluados: pan libre de gluten sin hongo *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial libre de gluten (tratamiento ideal).

El análisis se llevó a cabo con un colorímetro, dispositivo que mide las coordenadas de color en el espacio CIELAB de manera precisa, se tomaron lecturas tanto de la miga como de la corteza del pan para obtener una visión completa del color de cada muestra, este procedimiento consistió en colocar el colorímetro sobre las superficies deseadas (miga y corteza) y registrar los valores correspondientes de L*, a* y b*.

Para determinar la diferencia de color (ΔE)* entre los diferentes tratamientos, se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* representan las diferencias en luminosidad, tonalidad y pureza, respectivamente, entre las muestras comparadas. Esta ecuación proporcionó una medida cuantitativa de la diferencia perceptible entre los colores de los tratamientos y permitió evaluar las variaciones en el color entre el pan control, el tratamiento con *Ganoderma lucidum* y el pan comercial libre de gluten.

5.3.4. Análisis de perfil de textura

El perfil de textura del pan se evaluó utilizando un texturómetro Brookfield, CT3 Texture Analyzer, siguiendo la metodología propuesta por Bourne. Para ello, se prepararon muestras de pan con un ancho de 20 mm y una altura de 24 mm, esta metodología permite medir las propiedades mecánicas del pan, lo que proporciona información sobre su consistencia y comportamiento durante el consumo, el texturómetro CT3 se configuró con una serie de parámetros específicos para realizar las mediciones, durante la prueba, se realizaron ciclos de compresión y deformación para evaluar diferentes aspectos de la textura del pan, incluyendo su dureza (N), que indica la fuerza necesaria para comprimir la muestra hasta un determinado punto, y su adhesividad (mJ), que mide la energía necesaria para separar el pan de una superficie después de la deformación, así mismo, las propiedades de masticabilidad (N), que describe la facilidad con la que el pan puede ser masticado, y la resiliencia, que evalúa la capacidad del pan para recuperar su

forma después de la deformación, del mismo modo, se midió la cohesividad, que indica la fuerza que mantiene unidas las partículas del pan durante la masticación y el índice de elasticidad, un valor adimensional que refleja la capacidad del pan para recuperar su forma inicial tras la deformación.

Estos parámetros se obtuvieron a partir de la curva generada por el texturómetro, que proporciona datos cuantitativos y detallados sobre las propiedades físicas y sensoriales del pan, la información recabada a través de este análisis es crucial para comprender cómo las variaciones en los ingredientes, comprendiendo como el *Ganoderma lucidum*, afecta la textura final del pan y su aceptabilidad por parte de los consumidores.

5.3.5. Análisis de compuestos bioactivos

5.3.5.1. Extracción metanólica

Para llevar a cabo la extracción metanólica, se inició con la deshidratación del pan en rebanadas a una temperatura de 40 °C durante 24 horas para asegurar la eliminación completa de la humedad, una vez deshidratado el pan, se sometió a molienda hasta obtener un polvo homogéneo, este polvo fue luego tamizado, usando una malla con un tamaño de abertura de 0.177 mm, para eliminar cualquier partícula gruesa y obtener una muestra fina y uniforme. La muestra de pan tamizada se utilizó en una proporción de 1:10 w/V (pan:solvente), y se colocó en agitación con metanol a una velocidad de 150 rpm, la agitación se mantuvo a una temperatura constante de 25 °C durante 24 horas para asegurar una extracción eficiente de los compuestos bioactivos presentes en el pan, posterior al tiempo de agitación, la mezcla resultante fue filtrada a través de un papel Whatman N°4 para separar el extracto del residuo sólido, el residuo obtenido fue extraído adicionalmente con dos porciones de 100 mL de metanol cada una, asegurando una extracción más completa, las soluciones obtenidas fueron evaporadas a 40 °C hasta su completa sequedad, resultando en un extracto concentrado listo para su análisis y posterior evaluación de los compuestos presentes, este proceso de extracción metanólica permitió obtener una muestra concentrada y homogénea, adecuada para realizar estudios de las propiedades bioactivas del pan (Marijana, 2024).

5.3.5.2. Contenido de fenoles totales

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó mediante un método espectrofotométrico utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología estándar para la cuantificación de fenólicos en extractos alimentarios. Para ello, se utilizó el extracto metanólico previamente preparado de las muestras de pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial libre de gluten (tratamiento ideal).

El procedimiento se realizó por triplicado para asegurar la precisión de los resultados, en cada ensayo, se añadieron 12.5 mg de ácido gálico (como estándar de referencia) a 100 mL de extracto metanólico de cada muestra, posteriormente se agregaron 500 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu, un reactivo que reacciona con los compuestos fenólicos presentes en las muestras, permitiendo su cuantificación, la mezcla se dejó reposar durante 3 minutos a temperatura ambiente para que la reacción inicial ocurriera, posteriormente, se añadió 1.5 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 2%, que sirvió para neutralizar la solución y promover la formación del complejo colorido entre los compuestos fenólicos y el reactivo de Folin-Ciocalteu, esta mezcla se dejó reposar durante 30 minutos para permitir el desarrollo completo del color, finalmente, la absorbancia de la solución resultante se midió en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm, la absorbancia medida en este punto fue utilizada para calcular la concentración de compuestos fenólicos totales en las muestras, comparando los resultados con una curva estándar construida utilizando ácido gálico como referencia, los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de muestra, por lo que este método permitió la cuantificación precisa de los compuestos fenólicos presentes en los diferentes tipos de pan evaluados (Pękal, 2014).

5.3.5.3. Contenido de flavonoides

La determinación del contenido de flavonoides en los diferentes tipos de pan se realizó mediante un método espectrofotométrico. Para ello, se utilizaron 500 μ L de extracto metanólico de pan libre de gluten sin hongo *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial

libre de gluten (tratamiento ideal). A cada uno de los extractos se le adicionaron los siguientes reactivos: 1500 μ L de etanol, 100 μ L de acetato de potasio, 2800 μ L de agua destilada y 100 μ L de cloruro de aluminio, que son necesarios para la formación de un complejo flavonoide-reactivo, una vez añadidos los reactivos, las muestras se colocaron en un vórtex y se agitaron durante 1 minuto para asegurar una mezcla homogénea, después se dejaron reposar durante 40 minutos a temperatura ambiente para que la reacción alcanzara su máxima intensidad, este tiempo de reposo permite que los flavonoides presentes en el extracto interactúen con el reactivo y se forme el complejo coloreado que será medido, finalmente, la absorbancia de cada muestra se determinó mediante un espectrofotómetro a una longitud de onda de 415 nm, ya que en esta longitud de onda se alcanza el máximo de absorción para los flavonoides con cloruro de aluminio. Los resultados obtenidos se utilizaron para calcular el contenido de flavonoides en cada muestra, lo que proporcionó una medición cuantitativa del contenido de estos compuestos bioactivos en los diferentes tipos de pan evaluados (Calle, 2017).

5.3.5.4. Porcentaje de inhibición del radical DPPH•

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó mediante el método de inhibición del radical DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), el cual es ampliamente utilizado para evaluar la capacidad de los extractos en neutralizar radicales libres, este análisis se realizó por triplicado para asegurar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados. En cada ensayo, se utilizaron 200 μ L de extracto de los diferentes tipos de pan: pan libre de gluten sin hongo *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial libre de gluten (tratamiento ideal), a cada uno de los extractos se le adicionaron 2 mL de solución DPPH• al 0.1 mM, que se preparó previamente en metanol y se ajustó para obtener una absorbancia inicial de aproximadamente 0.50 ± 0.02 , la solución de DPPH• presenta un color violeta intenso, el cual disminuye en intensidad al ser neutralizado por las sustancias antioxidantes presentes en el extracto, después de añadir la solución DPPH•, se dejó reposar la mezcla durante 30 minutos a temperatura ambiente, tiempo durante el cual los compuestos antioxidantes

presentes en los extractos reaccionan con los radicales libres de DPPH• y reducen su intensidad colorimétrica, la absorbancia de la solución resultante se midió en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm, que es la longitud de onda en la cual el DPPH• muestra su máxima absorbancia, los resultados obtenidos fueron utilizados para calcular el porcentaje de inhibición del radical DPPH•, lo que permitió determinar la capacidad antioxidante de los distintos tipos de pan evaluados, este método proporcionó una medida cuantitativa de la capacidad de los extractos para neutralizar los radicales libres y, por lo tanto, su actividad antioxidante (Łysakowska, 2024).

5.3.5.5. Inhibición del radical ABTS•+

La determinación de la capacidad antioxidante también se realizó utilizando el método ABTS•+ (2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio), una técnica que mide la capacidad de las sustancias para neutralizar el radical catiónico ABTS•+. Este análisis se llevó a cabo para evaluar la actividad antioxidante de los diferentes tipos de pan: pan libre de gluten sin hongo *Ganoderma lucidum* (control), pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) y pan comercial libre de gluten (tratamiento ideal), en cada ensayo, se utilizaron 30 µL de extracto de cada muestra y se les adicionaron 2970 µL de solución ABTS•+, la cual se había preparado previamente y ajustado a una absorbancia de 0.7 a 734 nm para asegurar que la concentración del radical ABTS•+ estuviera en un rango adecuado para la medición, la mezcla resultante se dejó reposar durante 6 minutos a temperatura ambiente para que el radical ABTS•+ reaccionara con los compuestos antioxidantes presentes en los extractos, después del tiempo de incubación, la absorbancia de la solución se midió a 734 nm utilizando un espectrofotómetro, ya que esta longitud de onda corresponde al máximo de absorción del radical ABTS•+ cuando no ha sido neutralizado, la capacidad antioxidante de cada extracto se determinó en base a la disminución en la absorbancia del radical ABTS•+, lo que indica la habilidad de los compuestos presentes en los extractos para neutralizar este radical libre, este método proporcionó una medida de la capacidad antioxidante de los diferentes tipos de pan evaluados, ayudando a comparar la actividad de los

extractos en la neutralización de los radicales libres y, por lo tanto, a determinar su potencial antioxidante (Łysakowska, 2024).

5.4. Evaluación sensorial

Se realizó un análisis sensorial mediante una prueba afectiva utilizando una escala hedónica verbal aplicada a un panel no entrenado de 100 personas, compuesto por hombres y mujeres. Las muestras fueron codificadas para garantizar el anonimato y la objetividad de la evaluación sensorial. El pan libre de gluten sin hongo *Ganoderma lucidum* (control) se codificó con el número 537, el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* al 14% (tratamiento) se identificó como 931, y el pan comercial libre de gluten (tratamiento ideal) fue codificado con el número 865. El panel evaluó diversos aspectos sensoriales de cada muestra, tales como apariencia, color, olor, textura, adhesividad, dureza y sabor, para cada uno de estos atributos, los participantes calificaron su percepción utilizando una escala hedónica de 5 puntos, que incluía las siguientes opciones: "me disgusta mucho", "me disgusta", "no me gusta ni me disgusta", "me gusta", y "me gusta mucho". Esta escala permitió obtener una visión detallada de las preferencias y percepciones de los consumidores sobre las características sensoriales de los productos evaluados. El análisis sensorial proporcionó información crucial sobre la aceptación del pan en cuanto a sus cualidades sensoriales, lo que resulta fundamental para determinar el atractivo del producto para el consumidor final y realizar ajustes en la formulación si es necesario. Huerta, et al., 2016, les realizó una prueba sensorial a unas mantecadas de nivel de agrado con 70 panelistas no entrenados, mediante una escala hedónica de 5 puntos que oscila entre 1 = me desagrada mucho y 5 = me gusta mucho, por lo que se evaluaron los atributos de textura, adhesividad, dureza y sabor, además, se presentaron las mantecadas completas, cubiertas de papel film, y se pidió a los panelistas evaluar la apariencia, color y olor (Huerta, 2016).

5.5. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico mediante un análisis ANOVA de una sola vía, con el fin de encontrar diferencias significativas entre los diferentes tratamientos,

posteriormente, para identificar diferencias en las medias de los diferentes tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), lo que permitió determinar qué tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, el análisis estadístico se realizó utilizando el software SigmaPlot 12.5, el cual proporcionó las herramientas necesarias para la visualización y análisis de los resultados obtenidos, este enfoque estadístico fue fundamental para garantizar la validez de los resultados y la correcta interpretación de las diferencias entre los productos evaluados (Kuti, 2004).

6. Resultados y discusiones

6.1. Caracterización proximal del hongo *Ganoderma lucidum*

La caracterización proximal de los hongos comestibles es un aspecto clave para comprender su valor nutricional y funcional. En el caso específico de *Ganoderma lucidum*, se ha documentado que su composición varía considerablemente según diversos factores como la especie, el método de cultivo y las condiciones ambientales. En la Tabla 1 se presentan los parámetros más relevantes para este hongo, destacando que los niveles más altos se encuentran en carbohidratos ($66.93 \pm 0.94\%$), fibra ($14.11 \pm 0.77\%$), proteína ($7.7 \pm 0.21\%$), cenizas ($1.42 \pm 0.15\%$) y lípidos ($0.90 \pm 0.06\%$).

En cuanto al contenido de carbohidratos, los resultados de este estudio (66.93%) se encuentran dentro del rango esperado para hongos medicinales, siendo consistente con los reportado por Delgado & Ortiz en el año 2023, quienes indicaron un contenido de carbohidratos entre el 60% y el 70%, este alto contenido está relacionado con la presencia de polisacáridos bioactivos, como los betaglucanos, que tienen propiedades antioxidantes y beneficios para la salud, así mismo, respecto a la fibra, el contenido encontrado en *Ganoderma lucidum* fue de 14.11%, un valor relativamente alto comparado con otros alimentos, este resultado es similar al de Delgado & Ortiz en el 2023, quienes reportaron un contenido de fibra entre el 10% y el 20%, por lo que este valor resultante también concuerda con la literatura sobre los hongos medicinales, que generalmente tienen una alta cantidad de fibra insoluble, lo cual es beneficioso para el sistema digestivo, en cuanto al contenido

de proteína, el valor encontrado en este estudio fue de 7.78%, lo que está dentro del rango de 5.9% a 8.4% reportado por Zhang (2021), comprendiendo que *Ganoderma lucidum* es una buena fuente de proteínas vegetales, con una composición que incluye aminoácidos esenciales que contribuyen a su perfil nutricional, por otro lado, el contenido de lípidos en este estudio fue de 0.90%, lo que es relativamente bajo, este valor es inferior a los reportados por Torres et al. (2021), quienes encontraron un contenido de lípidos de 1.4% a 2.9%. Sin embargo, ambos valores siguen siendo bajos en comparación con otros alimentos, lo que hace que *Ganoderma lucidum* sea una opción adecuada para dietas bajas en grasa y finalmente, el contenido de cenizas de *Ganoderma lucidum* fue de 1.42%, lo que refleja la presencia de minerales como potasio, calcio y magnesio, este valor es consistente con los reportado por Cano & Romero (2016) quienes indicaron que el contenido de cenizas en hongos comestibles varía entre 1% y 3%, este contenido mineral es característico de los hongos, que suelen ser una buena fuente de nutrientes esenciales, los resultados obtenidos en este estudio para *Ganoderma lucidum* son consistentes con los valores reportados en la literatura, lo que, valida las propiedades nutricionales de este hongo, esto reafirma su potencial como un recurso alimenticio y medicinal valioso, con propiedades benéficas para la salud humana.

Tabla I. Análisis químico proximal de *Ganoderma lucidum*

Parámetros	<i>Ganoderma lucidum</i>
Humedad	8.84% ± 0.07
Cenizas	1.42% ± 0.15
Lípidos	0.90% ± 0.06
Fibra	14.11% ± 0.77
Proteína	7.78% ± 0.21
Carbohidratos	66.93% ± 0.94

6.1.1. Análisis fisicoquímico

6.1.1.1. Color

La medición del color de *Ganoderma lucidum* en polvo se realizó mediante el método CIELAB, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2. Los valores obtenidos fueron; L^* de 52.23 ± 0.49 , indicando el brillo o oscuridad del color, un valor de a^* de 9.20 ± 0.22 , lo que sugiere una tonalidad que tiende hacia el rojo, y un valor de b^* de 16.60 ± 0.70 , indicando una tonalidad hacia el amarillo, estos valores permitieron la identificación de un color específico que se reportó mediante el software Pantone Connect, con el código HEX (#937761), como se muestra en la Figura 2, los resultados de este análisis coinciden con los reportados por Inla et al. (2023), quienes indicaron que *Ganoderma lucidum* es un hongo de color marrón, lo que es consistente con los valores obtenidos en este estudio. Además, los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos en este trabajo son comparables a los reportados en otros estudios que han analizado el color de hongos medicinales, lo que valida la precisión de la medición. Por otro lado, Vargas et al. (2021) discuten que los compuestos fenólicos en presencia de oxígeno y la polifenoloxidasas pueden oxidarse a o-quinonas, generando pigmentos marrones de manera no enzimática, esta explicación química es relevante para el color marrón reportado en *Ganoderma lucidum*, ya que los compuestos fenólicos presentes en el hongo son conocidos por contribuir a la coloración característica del hongo durante procesos de oxidación, por lo tanto, tanto la medición colorimétrica realizada en este estudio como los datos de la literatura proporcionan una descripción coherente y detallada del color de *Ganoderma lucidum*.

Tabla II. Parámetros L^* , a^* y b^* de color por el método CIELAB del hongo *Ganoderma lucidum* en polvo

Parámetros	Hongo <i>Ganoderma lucidum</i>
L^*	52.23 ± 0.49
a^*	9.20 ± 0.22
b^*	16.60 ± 0.70



Figura 2. Color del hongo *Ganoderma lucidum* obtenida por el método de CIELAB

6.1.1.2. Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB)

Las micrografías del polvo de *Ganoderma lucidum*, tomadas mediante microscopía electrónica de barrido se muestran en la Figura 3, mientras que el microanálisis elemental de la muestra se observa en la Tabla 3, la cual fue obtenida mediante MEB acoplada a la técnica de espectroscopía de rayos X, en las micrografías se muestran principalmente dos tipos de estructuras, unas que parecen trozos de madera, como “astillas” y otras estructuras que parecen hilos de “algodón”. De igual forma en la micrografía se muestran las 5 zonas que fueron seleccionadas para el realizar el microanálisis. Para la zona 1 se identificó carbono (C) con el 50.05%, oxígeno (O) 46.94%, magnesio (Mg) 0.14%, silicio (Si) 0.16%, selenio (S) 0.28%, potasio (K) 0.40%, calcio (Ca) 0.81% y cobre (Cu) con el 1.18%, sin embargo, en la zona número 2 se identificaron menor cantidad de elementos como carbono (C) con el 47.80%, oxígeno (O) 47.20%, potasio (K) 1.89% y calcio (Ca) 3.09%, del mismo modo, en la zona 3 el porcentaje de carbono (C) fue del 46.94%, oxígeno (O) 47.20% y calcio (Ca) 1.15%, en la zona 4 se encontró un 46.94% de carbono (C), 48.86% de oxígeno (O), 2.76% de calcio (Ca), 1.42% de cobre (Cu) y finalmente para la zona número 5 se identificó carbono (C) con el 50.74%, oxígeno (O) con el porcentaje de 47.82%, calcio (Ca) con el 0.21% y cobre (Cu) con el 0.16%. Por lo que estos datos pueden estar relacionados con el contenido de minerales (Tabla 1) presentes en *Ganoderma lucidum*, algunos autores mencionan que este tipo de hongo contiene principalmente un contenido mayoritario de potasio, seguido del fósforo y calcio, mientras que su contenido de cobre es uno de los de menor proporción (Shamaki et al., 2012), de acuerdo con el microanálisis elemental que se encontró en este trabajo, se puede confirmar que el calcio (Ca) es uno de los elementos con mayor presencia en *Ganoderma lucidum*. Sin embargo, se

contrapone en cuestión de que el cobre (Cu) es uno de los elementos de menor proporción presentes en este hongo.

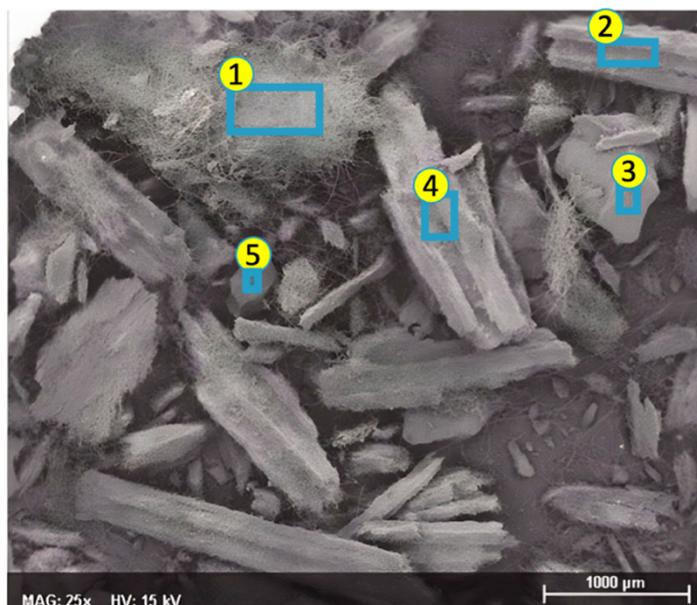


Figura 3. Fotografía tomada mediante microscopía electrónica de barrido de la estructura del hongo en polvo *Ganoderma lucidum* e identificación de 5 zonas para su microanálisis elemental.

Tabla III. Microanálisis elemental mediante MEB del hongo *Ganoderma lucidum*

Espectro	C %	O %	Mg %	Si %
1	50.06	46.94	0.14	0.16
	S %	K %	Ca %	Cu %
	0.28	0.40	0.81	1.18
2	C %	O %	K %	Ca %
	47.80	47.20	1.89	3.09
3	C %	O %	Ca %	
	51.64	47.20	1.15	
4	C %	O %	Ca %	Cu %
	46.94	48.86	2.76	1.42
5	C %	O %	Ca %	Cu %
	50.74	48.87	0.21	0.16

6.1.2. Análisis de compuestos bioactivos

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de fenoles y flavonoides en *Ganoderma lucidum* se presentan en la Tabla IV. Para el contenido de fenoles, se obtuvo un valor de 357.14 ± 14.28 mg EAG/g. En comparación, (Mueses-Mafla et al., 2022) reportaron un valor significativamente más bajo de 28.27 mg EAG/g, lo cual sugiere que el contenido de fenoles en el hongo utilizado en este estudio es considerablemente mayor, este hallazgo podría estar relacionado con factores como la variedad específica de *Ganoderma lucidum* utilizada, las condiciones de cultivo o el método de extracción empleado, por otro lado, en relación con el contenido de flavonoides, el valor obtenido en este estudio fue de 168.60 ± 9.21 mg EQ/g. Vargas et al. (2021) reportaron un valor de 27.2 ± 2.3 mg EQ/g, lo que también muestra una diferencia significativa, es importante considerar que la solubilidad de los fenoles y flavonoides en disolventes orgánicos polares, como etanol y metanol, influye considerablemente en los resultados obtenidos (Sudheer et al., 2018), las diferencias en los resultados de flavonoides podrían explicarse en parte por los distintos métodos de extracción utilizados, así como las variaciones en las condiciones experimentales, como el tipo de disolvente, la temperatura y el tiempo de extracción, por lo que los resultados obtenidos en este estudio son más altos que los reportados en la literatura, lo que sugiere que el hongo *Ganoderma lucidum* utilizado tiene una mayor concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, lo que podría ser indicativo de sus potenciales propiedades antioxidantes y beneficios para la salud.

Tabla IV. Contenido de fenoles y flavonoides del hongo en polvo *Ganoderma lucidum*.

Parámetro	<i>Ganoderma lucidum</i>
Fenoles	357.14 ± 14.28 mg EAG/g
Flavonoides	168.60 ± 9.21 mg EQ/g

6.1.3. Capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad antioxidante de *Ganoderma lucidum* mediante los métodos ABTS^{•+} y DPPH[•] se presentan en la Tabla V. En el caso de ABTS^{•+}, se reportó un valor de 1.8 ± 0.03 $\mu\text{Mol ET/g}$, mientras que para DPPH[•], el valor obtenido fue de 2.4 ± 0.01 $\mu\text{Mol ET/g}$, estos resultados son significativamente más altos en comparación con los reportados por Morales et al. (2022), quienes reportaron un valor de 0.483 ± 0.0024 $\mu\text{Mol ET/g}$ para ABTS^{•+} y 0.624 ± 0.0024 $\mu\text{Mol ET/g}$ para DPPH[•] en *Pleurotus ostreatus*, la diferencia en los resultados obtenidos puede ser atribuida a varios factores, entre los que se incluye el tipo de disolvente utilizado para el extracto, los disolventes orgánicos como metanol o etanol, comunes en estos análisis, pueden influir en la cantidad de compuestos bioactivos extraídos, lo que afecta los resultados de la actividad antioxidante (Sudheer et al., 2018), además, las diferencias en los métodos de cultivo, como las condiciones ambientales (temperatura, humedad, luz) y el sustrato utilizado, pueden tener un impacto considerable en la composición química del hongo, lo que a su vez afecta su capacidad antioxidante.

Ince (2023) reportó que la actividad antioxidante de *Ganoderma lucidum* varió significativamente según el sustrato utilizado, obteniendo mejores resultados con cultivos en madera comparado con otros medios. Ahmad (2024) reportó que las condiciones de cultivo, como la temperatura y la cantidad de luz, pueden alterar las concentraciones de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales son responsables de la actividad antioxidante observada en los ensayos ABTS^{•+} y DPPH[•], estos hallazgos sugieren que el tipo de cultivo, el proceso de extracción y el disolvente utilizado juegan un papel crucial en la variabilidad de los resultados obtenidos en estudios de capacidad antioxidante de *Ganoderma lucidum* y resalta la importancia de estandarizar estos factores para facilitar comparaciones entre estudios y mejorar la reproducibilidad de los resultados.

Tabla V. Resultados de la capacidad antioxidante mediante los métodos de ABTS•+ y DPPH•.

Parámetro	<i>Ganoderma lucidum</i>
ABTS•+	1.8 ± 0.03 µMol ET/g
DPPH•	2.4 ± 0.01 µMol ET/g

6.1.4. Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico que se realizó al hongo *Ganoderma lucidum* en polvo, mostraron <10 UFC/g para bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales (CT) y hongos y levaduras (HyL), estos resultados cumplen con los límites establecidos, ya que el límite permitido para BMA es de 150,000 UFC/g, mientras que para CT y HyL, el límite permitido es de 10 UFC/g, de acuerdo con las normativas internacionales para productos alimenticios y suplementos (WHO, 2021). Estudios previos han demostrado que los hongos medicinales como *Ganoderma lucidum* tienen un bajo contenido microbiológico, lo que puede estar relacionado con las condiciones de cultivo controladas o con los procesos de secado y procesamiento utilizados, que ayudan a reducir la carga microbiana; por otro lado, Sharma (2024) reportó que los hongos cultivados en condiciones de alta higiene y desinfección mantenían niveles microbiológicos bajos, lo que hace que estos productos sean seguros para el consumo humano; así mismo, reportaron que los hongos deshidratados a baja temperatura presentan menores niveles de colonización microbiana en comparación con los deshidratados a temperaturas más altas. Sin embargo, la presencia de microorganismos como las bacterias mesófilas y los hongos puede depender también del tipo de tratamiento post-cosecha que se utilice. Según estudios realizados por Sharma *et al.* (2024) los hongos que no se someten a un tratamiento adecuado de secado o que son procesados en ambientes no controlados pueden presentar una mayor carga microbiana, afectando la seguridad alimentaria de estos productos. En este contexto, los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el polvo de *Ganoderma lucidum* es inocuo para su uso en la industria alimentaria y farmacéutica, lo que garantiza su seguridad para el consumidor.

6.2. Caracterización del pan libre de gluten

6.2.1. Elaboración de pan libre de gluten

El método de elaboración del pan utilizado en este estudio se basa en la receta oficial de Grupo La Otilia S.A. de C.V., que consiste en una mezcla de ingredientes sin gluten, con un 30% de harina de garbanzo, 15% de harina de arroz, 1% de linaza, 2% de levadura, 2% de mantequilla y 50% de agua, este método se aplicó tanto para el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum*, como para el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, al cual se le incorporó 15% del polvo de hongo, los panes obtenidos en cada formulación se muestran en las Figuras 4 y 5.

Estudios previos, como los de Soto et al. (2021) y Losoya Sifuentes et al. (2023) utilizaron *Pleurotus ostreatus* en concentraciones del 15% en la formulación, similar al uso de *Ganoderma lucidum* en esta investigación, por lo que estos estudios demuestran que la incorporación de hongos en la elaboración de pan puede influir en la textura, el valor nutricional y las propiedades organolépticas del producto final, proporcionando una alternativa sin gluten con beneficios adicionales, como los compuestos bioactivos presentes en los hongos.

Figura 4. Fotografía del pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum*.



Figura 5. Fotografía del pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*.



6.2.2. Análisis químico proximal

En el análisis proximal realizado en este estudio, se observó que el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* presentó un contenido de humedad de $51.54\% \pm 0.45$, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* tuvo un $53.54\% \pm 0.38$. Estos

valores son relativamente altos en comparación con los reportados por otros autores en panes sin gluten, donde los contenidos de humedad en productos similares suelen ser menores, generalmente entre el 30-40% (Zhang, 2021). Por otro lado, el pan comercial libre de gluten mostró un contenido de humedad de $34.20\% \pm 0.42$, lo que marca una diferencia significativa respecto a los otros dos tratamientos, indicando que el pan comercial tiene menos contenido de agua en comparación con las versiones de pan con y sin *Ganoderma lucidum*.

En cuanto al contenido de cenizas, se observó que el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* mostró un $2.75 \pm 0.13\%$, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* presentó $2.25 \pm 0.07\%$. Estos resultados son comparables con estudios previos que indican que los productos libres de gluten suelen tener un mayor contenido de cenizas debido a los ingredientes alternativos, como harinas y otros aditivos (Rodríguez, et al., 2022), en comparación con el pan comercial presentó un contenido de cenizas significativamente más alto ($3.19\% \pm 0.03$), lo que refleja una posible diferencia en los ingredientes y/o procesos de fabricación. Respecto al contenido de lípidos, el pan con *Ganoderma lucidum* presentó un $4.95 \pm 0.07\%$, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* mostró $4.71 \pm 0.05\%$, ambos valores son relativamente bajos en comparación con estudios previos que indican que los productos de panificación sin gluten pueden tener un rango de lípidos del 2 al 5%, dependiendo de los ingredientes utilizados (Zhang, 2021). El pan comercial, sin embargo, presentó un contenido de lípidos mucho más alto, $7.68 \pm 0.27\%$, lo que puede ser atribuido a la inclusión de ingredientes como aceites y grasas en su formulación, posteriormente, en cuanto a la fibra, el pan con *Ganoderma lucidum* mostró un contenido de $2.30 \pm 0.07\%$, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* tuvo $1.14\% \pm 0.02$, estos valores son más altos en comparación con otros productos de panificación sin gluten, que suelen tener un contenido de fibra entre el 1 al 2% (Vargas et al., 2021). El pan comercial presentó un contenido de fibra de $7.68\% \pm 0.17$, mucho mayor que el de los otros dos tipos de pan, lo cual es característico de los productos comerciales que a menudo incluyen fibra adicional como parte de su formulación para mejorar la textura y la nutrición, el pan con *Ganoderma lucidum* mostró el mayor contenido de proteína con $10.81 \pm 0.19\%$, seguido del pan sin

Ganoderma lucidum con $8.43 \pm 0.19\%$, este rango es superior al de otros estudios, en los cuales el contenido proteico de productos sin gluten suele ser más bajo, generalmente entre el 4 al 7% (Soto et al., 2021; Losoya-Sifuentes et al., 2023), el pan comercial, en contraste, presentó un contenido proteico de $3.89\% \pm 0.06$, lo cual es consistente con la tendencia de los productos comerciales de panificación sin gluten que a menudo tienen menos contenido proteico, el contenido de carbohidratos en el pan con *Ganoderma lucidum* fue $28.65\% \pm 0.31$, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* tuvo ($29.92 \pm 0.41\%$), ambos valores son relativamente bajos en comparación con el pan comercial, que mostró un contenido de carbohidratos significativamente mayor ($43.07 \pm 0.78\%$), esto es coherente con la literatura, que indica que los panes comerciales suelen tener un contenido más elevado de almidón y otros carbohidratos (Zhang et al., 2021).

Tabla VI. Análisis químico proximal del pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y pan libre de gluten comercial.

Parámetros	Pan libre de gluten CON <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten SIN <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten comercial
Humedad	$51.54\% \pm 0.45^b$	$53.54\% \pm 0.38^a$	$34.20\% \pm 0.42^c$
Cenizas	$2.75\% \pm 0.13^{ab}$	$2.26\% \pm 0.07^b$	$3.19\% \pm 0.03^a$
Lípidos	$4.95\% \pm 0.07^{ab}$	$4.71\% \pm 0.05^b$	$7.68\% \pm 0.27^a$
Fibra	$2.30\% \pm 0.07^{ab}$	$1.14\% \pm 0.02^b$	$7.68\% \pm 0.17^a$
Proteína	$10.81\% \pm 0.19^a$	$8.43\% \pm 0.19^b$	$3.89\% \pm 0.06^c$
Carbohidratos	$28.65\% \pm 0.31^{ab}$	$29.92\% \pm 0.41^b$	$43.07\% \pm 0.78^a$

6.2.3. Análisis fisicoquímico

6.2.3.1. Identificación del color

En la Tabla VII se presentan los resultados de los parámetros de color L^* , a^* y b^* correspondientes a tres tipos de pan: pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum*, y pan libre de gluten comercial. Además,

se muestra la diferencia de color en la corteza, miga y en el pan total, tanto entre el pan sin *Ganoderma lucidum* y el pan con *Ganoderma lucidum*, como también entre el pan con *Ganoderma lucidum* y el pan comercial. Se observa que la diferencia de color entre el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* es perceptible, con diferencias de color en la corteza, miga y el pan total que caen dentro del rango mencionado por Biedma (2019), quien establece que la diferencia de color visible al ojo humano se encuentra entre 2 y 3.5 unidades de diferencia. Esto indica que la adición de *Ganoderma lucidum* tiene un impacto significativo en el color del pan, cuando se compara el pan con *Ganoderma lucidum* con el pan comercial, se nota que la diferencia de color es aún más pronunciada. El pan comercial presenta un color distinto, posiblemente debido a los ingredientes adicionales y las condiciones del proceso de cocción, lo cual genera diferencias en los valores de L*, a* y b*. Por lo tanto, la incorporación de *Ganoderma lucidum* cambia no solo las propiedades nutricionales, sino también el aspecto visual del producto de panificación, lo que podría influir en la percepción sensorial por parte de los consumidores.

Tabla VII. Resultados de los parámetros de color L*, a* y b* del pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y pan libre de gluten comercial; así como la diferencia de color entre el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y el que sí lo contiene y del pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* contra el comercial.

Parámetros	Pan libre de gluten SIN <i>Ganoderma lucidum</i>				Pan libre de gluten CON <i>Ganoderma lucidum</i>				Pan libre de gluten comercial		
	Masa	Corteza	Miga	Total	Masa	Corteza	Miga	Total	Corteza	Miga	Total
											
L*	84.27 ± 0.87	55.67 ± 2.42	72.16 ± 1.59	71.86 ± 0.62	67.67 ± 2.90	45.35 ± 0.48	42.66 ± 2.28	55.99 ± 0.85	73.23 ± 1.09	82.13 ± 1.32	77.83 ± 0.27
a*	0.87 ± 0.49	18.35 ± 1.10	2.21 ± 1.12	6.57 ± 0.13	5.62 ± 0.30	7.13 ± 1.10	3.78 ± 0.53	7.24 ± 0.04	10.24 ± 0.72	3.54 ± 0.55	5.29 ± 0.20
b*	16.58 ± 0.53	41.96 ± 2.87	29.60 ± 1.92	23.66 ± 0.45	17.63 ± 2.03	13.62 ± 1.89	9.77 ± 1.16	18.08 ± 0.23	26.39 ± 1.60	14.80 ± 1.09	17.24 ± 0.66
	ΔE					32.18	35.58	16.84	30.82	39.79	21.95

6.2.4. Análisis de perfil de textura

Para el análisis del perfil de textura, se evaluaron parámetros como dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad en los panes libres de gluten con y sin

Ganoderma lucidum, cuyos resultados se muestran en la Tabla VIII. Los valores obtenidos para el pan con *Ganoderma lucidum* fueron: dureza de 11.369 ± 1.22 N, cohesividad de 0.492 ± 0.01 , elasticidad de 0.859 ± 0.01 y masticabilidad de 4.837 ± 0.55 N, mientras que para el pan sin *Ganoderma lucidum* los resultados fueron: dureza de 10.860 ± 0.94 N, cohesividad de 0.521 ± 0.03 , elasticidad de 0.877 ± 0.012 y masticabilidad de 4.963 ± 0.40 N.

Comparando estos valores con los resultados de Espino (2019) para un pan libre de gluten adicionado con harina de papa roja *Oxalis tuberosa*, se obtiene una dureza de 15.49 ± 0.01 N, cohesividad de 0.44 ± 0.01 , elasticidad de 0.80 ± 0.01 y masticabilidad de 3.36 ± 1.28 . Los resultados de dureza y masticabilidad de los panes analizados en esta investigación están dentro de los valores aceptables para un análisis de perfil de textura, lo que indica que los panes libres de gluten con y sin *Ganoderma lucidum* pueden ser considerados aptos para la evaluación sensorial y la aceptación por parte de los consumidores, el análisis de estos parámetros de textura es crucial, ya que proporciona información sobre las características físicas del pan, lo que puede influir directamente en su aceptación y preferencia por parte de los consumidores.

Tabla VIII. Resultados del análisis de perfil de texturapara el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* y para el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum*.

Parámetros	Pan con <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan sin <i>Ganoderma lucidum</i>
Dureza (N)	11.369 ± 1.22^a	10.860 ± 0.94^a
Cohesividad	0.492 ± 0.01^a	0.521 ± 0.03^a
Elasticidad	0.859 ± 0.01^a	0.877 ± 0.012^a
Masticabilidad (N)	4.837 ± 0.55^a	4.963 ± 0.40^a

6.2.5. Análisis de compuestos bioactivos

En el análisis de fenoles y flavonoides de los panes libres de gluten con y sin *Ganoderma lucidum*, se observaron las siguientes concentraciones. El pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* presentó un contenido de 0.54 ± 0.03 mg EAG/g en fenoles, mientras que el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* mostró un valor

de 0.45 ± 0.01 mg EAG/g, y el pan libre de gluten comercial presentó 0.40 ± 0.79 mg EAG/g. En cuanto a los flavonoides, el pan con *Ganoderma lucidum* presentó 2.33 ± 0.04 mg EQ/g, el pan sin *Ganoderma lucidum* 2.22 ± 0.02 mg EQ/g, y el pan comercial 0.57 ± 0.53 mg EQ/g. Estos resultados se encuentran en la Tabla IX.

Comparando estos valores con los de Sułkowska et al. (2023) quienes encontraron valores de 0.81 ± 0.05 mg EAG/g en fenoles y 0.38 ± 0.08 mg EQ/g en flavonoides en una pasta elaborada con *Ganoderma lucidum* y hongo melena de león, los resultados de fenoles en los panes analizados fueron significativamente menores, por lo que esta diferencia podría atribuirse al hecho de que los compuestos bioactivos presentes en el hongo melena de león también podrían haber influido en la cantidad de fenoles, sin embargo, en flavonoides el valor es significativamente mayor, esto se podría deber a que la composición del pan puede modificar y aumentar la cantidad de flavonoides principalmente por las propiedades del garbanzo y del hongo *Ganoderma lucidum*, lo que resalta la importancia de la interacción de estos compuestos bioactivos en la matriz alimentaria, siendo fundamentales estos resultados para evaluar el contenido de compuestos bioactivos en los productos elaborados, ya que estos compuestos son responsables de diversas propiedades funcionales y saludables, como la actividad antioxidante, que es benéfica para la salud humana.

Tabla IX. Contenido de fenoles y flavonoides para pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y pan libre de gluten comercial.

Parámetro	Pan libre de gluten CON <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten SIN <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten comercial
Fenoles	0.54 ± 0.03 mg EAG/g ^b	0.45 ± 0.01 mg EAG/g ^{ac}	0.40 ± 0.79 mg EAG/g ^c
Flavonoides	2.33 ± 0.04 mg EQ/g	2.22 ± 0.02 mg EQ/g	0.57 ± 0.53 mg EQ/g

6.2.6. Capacidad antioxidante

En la Tabla X se presentan los resultados de la actividad inhibitoria de radicales libres mediante los métodos ABTS^{•+} y DPPH[•] para tres tipos de pan: libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y pan libre de gluten comercial. Para el método ABTS^{•+}, el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* presentó un valor de 9.55 ± 0.08 $\mu\text{Mol ET/g}$, en comparación con el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* que obtuvo 3.05 ± 0.03 $\mu\text{Mol ET/g}$ y el pan libre de gluten comercial que alcanzó 0.26 ± 0.03 $\mu\text{Mol ET/g}$. En el caso de DPPH[•], los resultados mostraron que el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* tuvo una actividad de 3.96 ± 0.02 $\mu\text{Mol ET/g}$, mientras que el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* alcanzó 1.83 ± 0.07 $\mu\text{Mol ET/g}$ y el pan comercial 0.03 ± 0.02 $\mu\text{Mol ET/g}$.

Comparando estos valores con los obtenidos por Sułkowska et al. (2023) en su estudio de una pasta elaborada con *Ganoderma lucidum* y hongo melena de león, donde los valores para ABTS^{•+} fueron de 1.35 ± 0.05 $\mu\text{Mol ET/g}$ y para DPPH[•] de 0.09 ± 0.08 $\mu\text{Mol ET/g}$, se observa que los resultados de la actividad antioxidante en el pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum* son significativamente mayores. Esto puede deberse a la formulación del pan y la concentración de *Ganoderma lucidum*, lo que sugiere un efecto positivo de este hongo en la mejora de las propiedades antioxidantes de los productos alimentarios, por lo que resalta la capacidad del *Ganoderma lucidum* como un potenciador de la actividad antioxidante en los productos alimenticios, lo que puede tener implicaciones para el desarrollo de alimentos funcionales con beneficios para la salud.

Tabla X. Resultados de inhibición de radicales libres mediante ABTS^{•+} y DPPH[•]

Parámetro	Pan libre de gluten CON <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten SIN <i>Ganoderma lucidum</i>	Pan libre de gluten comercial
ABTS ^{•+}	9.55 ± 0.08 $\mu\text{Mol ET/g}$	3.05 ± 0.03 $\mu\text{Mol ET/g}$	0.26 ± 0.03 $\mu\text{Mol ET/g}$
DPPH [•]	3.96 ± 0.02 $\mu\text{Mol ET/g}$	1.83 ± 0.07 $\mu\text{Mol ET/g}$	0.03 ± 0.02 $\mu\text{Mol ET/g}$

6.3. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial realizada sobre los tres tipos de pan libre de gluten (con *Ganoderma lucidum*, sin *Ganoderma lucidum* y el pan comercial) reveló diferencias significativas en la aceptación de varios atributos sensoriales como apariencia, color, olor, textura, adhesividad, dureza y sabor. En cuanto a la apariencia, los resultados indicaron que no hubo una diferencia notable entre el pan con *Ganoderma lucidum* y el pan sin *Ganoderma lucidum*, ambos siendo preferidos sobre el pan comercial. Esto sugiere que la adición de *Ganoderma lucidum* no afectó negativamente la apariencia del pan, lo cual es un aspecto importante para su aceptación por los consumidores.

En términos de color, tanto el pan con *Ganoderma lucidum* como el sin *Ganoderma lucidum* obtuvieron mejores puntuaciones que el pan comercial. Esta preferencia por el color puede estar relacionada con los efectos del *Ganoderma lucidum* en la corteza del pan, que podría haber producido un tono más atractivo. El color de los productos de panadería tiene una alta correlación con la percepción sensorial del consumidor, ya que es uno de los primeros atributos que se evalúa visualmente, para el atributo de olor también presentó una notable diferencia en la aceptación, siendo el pan con *Ganoderma lucidum* el más preferido, seguido por el pan sin *Ganoderma lucidum*, el pan comercial fue el que menos agrado generó en este sentido, el olor es otro parámetro clave que influye en la percepción sensorial de los productos de panadería, en este caso, el hongo *Ganoderma lucidum* podría haber contribuido a un perfil aromático más atractivo, en cuanto a la textura, la diferencia fue menos significativa entre los panes con y sin *Ganoderma lucidum*, pero ambos superaron al pan comercial, la textura es uno de los parámetros más influyentes en la aceptación de pan, ya que la miga y la corteza deben tener una consistencia que los consumidores encuentren agradable, aunque las diferencias no fueron tan marcadas, el pan con *Ganoderma lucidum* sigue siendo el preferido en términos de aceptación general, en cuanto al atributo de adhesividad mostró una mayor aceptabilidad en los panes con tratamiento, la adhesividad de un pan puede influir en la sensación de frescura y la facilidad con la que se mastica, factores clave para que los consumidores lo elijan repetidamente, posteriormente, para dureza, el pan

con *Ganoderma lucidum* también fue el más aceptado, lo que indica que su textura fue percibida como más suave o adecuada en comparación con el pan sin hongo y el comercial, la dureza es un factor importante en la percepción de frescura y calidad de los panes y en cuanto al sabor, el pan con *Ganoderma lucidum* fue el más valorado, lo que resalta la posibilidad de que los compuestos bioactivos del hongo puedan contribuir a un perfil de sabor interesante, este pan fue seguido por el pan comercial, mientras que el pan sin *Ganoderma lucidum* quedó en el último lugar, lo que puede sugerir que la falta de este hongo en la formulación afectó negativamente su sabor, en general, estos resultados muestran que la adición de *Ganoderma lucidum* en el pan libre de gluten no solo mejoró la aceptación sensorial de varios parámetros, sino que también hizo que los panes con este hongo fueran preferidos en comparación con el pan comercial, esta aceptación generalizada por parte del panel de jueces no entrenados sugiere que el pan con *Ganoderma lucidum* tiene un alto potencial para ser comercializado como una opción saludable y sensorialmente atractiva.

En un estudio similar realizado por Espino (2019), se encontró que una formulación óptima de pan libre de gluten con harina de papa fue la mejor valorada en cuanto a los parámetros de color, aroma y sabor. Este estudio también reflejó que el pan comercial fue el de menor aceptación, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en nuestro análisis, donde el pan comercial también fue el menos preferido.

La Figura 6 que se presenta muestra una gráfica radial con los resultados del análisis sensorial, donde se destacan los atributos evaluados: apariencia, color, olor, textura, adhesividad, dureza y sabor. En esta gráfica, los puntajes asignados a cada atributo varían de 1 a 5 (1 = me disgusta mucho, 2 = me disgusta moderadamente, 3 = me es indiferente, 4 = me gusta moderadamente, 5 = me gusta mucho). Esta visualización ayuda a entender mejor las preferencias del panel de jueces para cada tipo de pan evaluado, proporcionando un resumen claro y directo de los resultados obtenidos.

● Pan con G. lucidum ● Pan sin G. lucidum ● Pan comercial

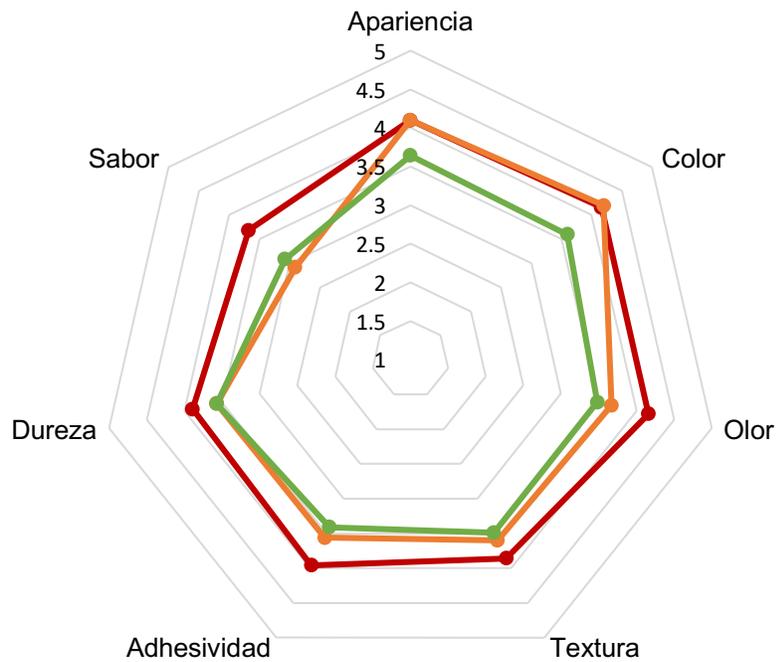


Figura 6. Gráfica radial del análisis sensorial con los atributos de apariencia, color, olor, textura, adhesividad, dureza y sabor del pan libre de gluten con *Ganoderma lucidum*, el pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum* y el pan libre de gluten comercial (1= me disgusta mucho, 2= me disgusta moderadamente, 3= me es indiferente, 4= me gusta moderadamente, 5= me gusta mucho).

7. Conclusión

Ganoderma lucidum confirma su notable valor nutricional, funcional y antioxidante, evidenciando su potencial como ingrediente bioactivo en la industria alimentaria. Desde un enfoque general, la caracterización proximal demostró que este hongo es una excelente fuente de carbohidratos ($66.93 \pm 0.94\%$) y fibra ($14.11 \pm 0.77\%$), con un moderado contenido proteico ($7.78 \pm 0.21\%$) y un bajo nivel de lípidos ($0.90 \pm 0.06\%$), lo que lo hace ideal para formulaciones con un perfil bajo en grasas. Además, su contenido mineral, representado en las cenizas ($1.42 \pm 0.15\%$), destaca por la presencia de potasio, calcio y magnesio, aportando nutrientes esenciales, de manera específica, el análisis fisicoquímico evidenció que el color característico marrón del hongo está asociado a la oxidación de compuestos fenólicos, lo cual fue validado por el método CIELAB y el software Pantone Connect, identificando un tono HEX #937761, por lo tanto, la microscopía electrónica de barrido (MEB) reveló la morfología y la composición elemental del polvo, destacando la presencia predominante de carbono ($\approx 50\%$) y oxígeno ($\approx 47\%$), además de minerales como calcio, potasio y trazas de cobre, lo que reafirma su valor nutricional. En cuanto a los compuestos bioactivos, *Ganoderma lucidum* mostró un contenido significativamente elevado de fenoles (357.14 ± 14.28 mg EAG/g) y flavonoides (168.60 ± 9.21 mg EQ/g), lo que sugiere un notable potencial antioxidante, esta capacidad fue confirmada mediante los métodos ABTS $\bullet\bullet$ y DPPH \bullet , evidenciando una actividad antioxidante superior a la reportada en la literatura, lo que subraya sus propiedades funcionales y su posible aplicación como ingrediente nutracéutico, finalmente, el análisis microbiológico indicó que el polvo de *Ganoderma lucidum* cumple con los estándares de seguridad alimentaria, presentando cargas microbianas muy bajas (<10 UFC/g para bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y hongos/levaduras), lo que garantiza su inocuidad para el consumo humano. Por lo que los resultados obtenidos validan la calidad nutricional, la riqueza en compuestos bioactivos y la seguridad microbiológica de *Ganoderma lucidum*, consolidando su potencial como un ingrediente funcional para la formulación de alimentos saludables, suplementos nutracéuticos y productos con propiedades antioxidantes. Así mismo, en relación a los resultados obtenidos de la adición del

hongo *Ganoderma lucidum* en un pan libre de gluten, se puede concluir que es viable y que aporta beneficios funcionales y nutricionales significativos sin tener que comprometer las características fisicoquímicas y siendo aceptado sensorialmente por los consumidores, ya que nutricionalmente el pan con *Ganoderma lucidum* mostró un mayor contenido de proteína (10.81%) en comparación con el pan sin el hongo *Ganoderma lucidum* y el pan comercial y fibra (2.30%), estando por arriba del pan libre de gluten sin *Ganoderma lucidum*, lo cual demuestra que es un alimento funcional. Así mismo, presentó una reducción en el contenido de carbohidratos (28.65%), lo que podría resultar atractivo para consumidores que buscan productos con un menor índice glucémico o alimentos keto.

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, el pan con *Ganoderma lucidum* mostró una diferencia significativa en el color respecto a los otros panes, atribuida al color característico del hongo *Ganoderma lucidum*, lo que podría influir positivamente en la percepción visual del producto. Sin embargo, estas diferencias se mantuvieron dentro del rango aceptable de percepción visual para el consumidor final, por otro lado, en cuestión del análisis de textura se reveló que los parámetros como dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad del pan con *Ganoderma lucidum* son similares a los del pan sin el hongo, y se encuentran dentro de rangos aceptables, lo que indica que la incorporación de *Ganoderma lucidum* no afecta las características de textura en el pan, del mismo modo en relación a los compuestos bioactivos evidenció una mayor presencia de fenoles (0.54 ± 0.03 mg EAG/g) y flavonoides (2.33 ± 0.04 mg EQ/g) en el pan con *Ganoderma lucidum*, lo que sugiere una capacidad antioxidante relevante, en relación con el parámetro ABTS^{•+} (9.55 ± 0.08 μ Mol ET/g) y DPPH[•] (3.96 ± 0.02 μ Mol ET/g), agregando valor funcional al producto y diferenciándolo de las opciones comerciales actuales, por lo que se demostró que el uso de *Ganoderma lucidum* como ingrediente funcional en la formulación de pan libre de gluten es una alternativa prometedora tanto desde la perspectiva tecnológica y sensorial, como desde la nutricional y funcional, contribuyendo así al desarrollo de productos de panificación más saludables y con valor agregado para consumidores con requerimientos dietéticos específicos o que busquen consumir alimentos funcionales.

8. Referencias

1. AACC. (2009). AACC Approved Methods of Analysis, Method 44-01.01; 26-10.02; 46-11.02; 30-10.01; 32-45.01; 08-01.01; 54-10.01; 10-10.03 and 10-05.01. AACC Approved Methods of Analysis.
2. Ahmad, M. A. (2024). *Ganoderma lucidum*: Insight into antimicrobial and antioxidant properties with development of secondary metabolites. Heliyon.
3. Alcivar Trejo, C., Ortiz Chimbo, K. S., & Muñoz Erazo, R. A. (2015). El crecimiento poblacional y su impacto la contaminación ambiental. Contribuciones a las Ciencias Sociales.
4. Alcívar, C., Ortiz, K., & Muñoz, R. (2015). El crecimiento poblacional y su impacto la contaminación ambiental. Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, 27.
5. Angulo, N. N., Céspedes, M. F., Franceschi, C., Muñoz, G., & Vega, J. E. (2024). Celiac disease: a systematic review for health care. Acta Académica, 74.
6. Arévalo, F., Castillo, J. A. S., Monge, E., & Stella, J. A. (2008). Biopsia de Colon: Características Histológicas en diferentes tipos de Colitis Crónica. Revista Gastro.
7. Babio, N., Lladó, N., Besora, M., Castillejo, G., Guillén, N., Martínez, F & Salas, J. (2020). A comparison of the nutritional profile and price of gluten-free products and their gluten-containing counterparts available in the Spanish market. *Nutrición Hospitalaria*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20960/nh.03016>
8. Barrera, J. A. C. (2010). Enfermedad celiaca en México. ELSEVIER.
9. Bermejo, L., Trabado, A., Aparicio, A., Lozano, M. d. C., & López, B. (2023). Food sustainability: keys for the consumer, advantages and disadvantages. *Nutrición Hospitalaria*, 40. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20960/nh.04960>
10. Biedma, M. (2019). Discriminación visual del color. Universidad de Sevilla.
11. Burgos, M. (2018). Los desafíos del futuro: crecimiento poblacional y desarrollo. *Journal de Ciencias Sociales*, 11.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18682/jcs.v0i11.900>
12. Burgos, M. E. (2018). Los desafíos del futuro: crecimiento poblacional y desarrollo. Palermo: Journal de ciencias sociales.
13. Calle, A. S. (2017). Evaluation of flavonoid contents and antibacterial activity of five bolivian baccharis species. *Revista Boliviana de química*, 112-122.
14. Calle, I. d. I., Ros, G., Peñalver, R., & Nieto, G. (2020). Celiac disease: causes, pathology, and nutritional assessment of gluten-free diet. A review. *Nutrición Hospitalaria*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20960/nh.02913>
15. Cano, A., & Romero, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista chilena de nutrición*.
16. Cerón, C., & Tamayo, K. (2021). Desarrollo de un pan sin gluten, a base de una mezcla de harinas de haba (*Vicia faba*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz capio Zeas mays, aplicando goma xantán y carboximetilcelulosa (CMC) como mejoradores de las características físicas. Corporación Universitaria Lasallista.

17. Castañeda, C. (2022). Humanity reaches eight billion inhabitants and its future is in embers. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46, 1038–1040.
18. Chavez Barrera, J. A. (2010). Enfermedad celiaca en México. *Revista de Gastroenterología de México*.
19. Cobos, O. H. (2017). Trastornos relacionados con el gluten: panorama actual. *Medicina Interna México*, 487-502.
20. Cortez, G., & Moreira, G. (2020). Effect of extraction solvent on chemical composition, physicochemical and biological properties of edible mushrooms extracts. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.333>
21. Cruz Hernandez, S., Torres Carral, G. A., Cruz Leon, A., Salcedo Baca, I., & Victorino Ramirez, L. (2010). Saberes tradicionales locales y el cambio climático. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*.
22. Cruz, S., Torres, G., Cruz, A., Salcedo, I., & Victorino, L. (2020). Saberes tradicionales locales y el cambio climático global. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11.
23. Cuapio, M. L. (2024). Determinación de la actividad antioxidantes por el método DPPH y ABTS en hongos comestibles . *Revista Politécnica de Aguascalientes*, 1-6.
24. Delgado, S., & Ortiz, D. (2023). Estado del arte de las propiedades nutricionales y funcionales de *Ganoderma Lucidum*. *MUTIS*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.21789/22561498.1871>
25. Duraipandian, M., Yuvarani, M., Shiyamala, G., & Abdul, M. (2024). Concepts and trends of sustainable food security and its approach at global level. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7770/safer-V12N1-art693>
26. ENSANUT. (2023). La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2022. *Salud pública de México*, 65.
27. Escamilla Nuñez, M. C., Castro Porras, L., Romero Martinez, M., Zarate Rojas, E., & Rojas Martinez, R. (2023). Detección, diagnóstico previo y tratamiento de enfermedades crónicas no transmitibles en adultos mexicanos. *Ensanut 2022. Salud Pública Mex*, 153-162.
28. Espino, S. (2019). Uso de harina de papa roja (*Oxalis tuberosa*) en la elaboración de pan tipo danés (Croissant), con actividad funcional, reducido en grasa libre de gluten. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
29. Estévez, V., & Araya, M. (2016). Gluten-free diet and gluten-free foods. *Revista chilena de nutrición*, 43. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400014>
30. Fernandez, T., Garrido, M., Soto, M., & Ureta, T. (2023). Enfermedad celiaca. *Academia española de nutrición y dietética*, 1-13.
31. Fuentes, S., & Estrada, B. (2023). Alimentación escolar y educación alimentaria: tendencias recientes en la investigación en América Latina entre 2005 y 2021. *Revista Educación*, 47. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51724>
32. Gonzáles, N. (2022). Celiaquía: la enfermedad oculta. *Minerva Repositorio Institucional Da USC*.

33. González, R. G. (2018). La transición demográfica en México. CULCyT, 61.
34. Hadis, U., Wahl, B., Schulz, O., Hardtke-Wolenski, M., Schippers, A., Wagner, N & Pabst, O. (2011). Intestinal Tolerance Requires Gut Homing and Expansion of FoxP3+ Regulatory T Cells in the Lamina Propria. *Cell press*, 237-246.
35. Hadis, U., Wahl, B., Schulz, O., Hardtke, M., Schippers, A., Wagner, N & Pabst, O. (2011). Intestinal Tolerance Requires Gut Homing and Expansion of FoxP3+ Regulatory T Cells in the Lamina Propria. *Cell Press*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2011.01.016>
36. Horwitz, W., & International, A. (2002). Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
37. Huerta, K. A. (2016). Sensory response and physical characteristics of gluten-free and gum-free bread with chia flour. *Food Science and Technology*, 15-18.
38. Ince, G., (2023). Effects of cultivation substrate composition on biological productivity and quality parameters of *Ganoderma lucidum*. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Derg*, 235-247.
39. INEGI. (2022). Estadísticas de defunciones registradas 2022. México: INEGI.
40. INEGI. (2023). Encuesta nacional de dinámica demográfica. México: INEGI.
41. Inla, K., Bunchan, S., Krittacom, B., & Luampon, R. (2023). Drying behavior, color change and rehydration of lingzhi mushroom (*Ganoderma lucidum*) under convection-assisted microwave drying. *Case Studies in Thermal Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103348>
42. Konara, U. A., Thambugala, K. M., & Hapuarachchi, K. K. (2022). *Ganoderma* (Ganodermataceae, Polyporales): Historical perspectives, recent advances, and future research in Sri Lanka. *Studies in Fungi*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.48130/SIF-2022-0017>
43. Kuti, T. H. (2004). Analysis of sensory data of different food products by ANOVA. *ELSEVIER*, 253–257.
44. Liuzzi, G., Petraglia, T., Latronico, T., Crescenzi, A., & Rossano, R. (2023). Antioxidant Compounds from Edible Mushrooms as Potential Candidates for Treating Age-Related Neurodegenerative Diseases. *Nutrients*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu15081913>
45. Losoya Sifuentes, C., Tapia Solís, M., Sígala Laguna, S., R.M., R. J., Loredó Treviño, A., Ruiz, H. A.,...Belmares, R. (2023). Desarrollo de pan de trigo enriquecido con harina de *Pleurotus ostreatus* utilizando su extracto enzimático. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 11.
46. Łysakowska, P. S. (2024). The Impact of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. Supplementation on the Technological, Chemical, and Quality Parameters of Wheat Bread. *MDPI*.
47. Marijana, D. M. (2024). Plant-Based Antioxidants in Gluten-Free Bread Production: Sources, Technological and Sensory Aspects, Enhancing Strategies and Constraints. *MDPI*, 2-43.
48. Mestre, M., & Martínez, V. (2017). Desperdicio alimentario, análisis de una problemática poliédrica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 139.

49. Morales, S., Cepeda, J., Mata, G., Ángel, A., Hernández, J., Ruiz, J. (2022). In vitro MOLECULAR IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF Pleurotus spp. STRAINS IN GUANAJUATO, MEXICO. *Agrociencia*, 1–11.
50. Mueses-Mafla, Robinson-Byron, Benavides-Calvache, & Olga-Lucia. (2022). Polifenoles totales de *Ganoderma lucidum* cultivado en residuos de *Pandala talaumanariñensis* y *Avena sativa*. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1491>
51. Mwangi, R. W., Macharia, J. M., Wagara, I. N., & Bence, R. L. (2022). The antioxidant potential of different edible and medicinal mushrooms. *Biomed Pharmacother*. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.112621>
52. N. U. (2023). Una población en crecimiento. Obtenido de Welcome to the United Nations: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Se%20estima%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,millones%20para%20mediados%20de%202080>.
53. Pękal, A. &. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay. *Food Analytical Methods*, 1776-1782.
54. Ponce, M., Ponce, D., Mariños, B., & Arteaga, C. (2021). Plants for your kidneys: A narrative review on plant-based diet and chronic kidney disease. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*. <https://doi.org/https://doi.org/10.35454/rncm.v7n1.579>
55. Rodríguez, C., Pineda, J., Barrigas, D., Ariel, F., Puetate, M., & Pineda, C. (2022). Producción de *Ganoderma lucidum* y su potencial medicinal: una revisión. *Revista Biorrefinería*, 4.
56. Ruan, F., Cifuentes, J., Pérez, L., Ordaz, M., & Caballero, J. (2021). Hongos macroscópicos de interés cultural en los Altos de Chiapas y la selva Lacandona, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3525>
57. Rubio Tapia, A. (2013). Enfermedad celiaca en México: ¿describiendo la punta del iceberg? *Revista de gastroenterología de México*, 78-82.
58. Rubio, A. (2013). Celiac disease in Mexico: Describing the tip of the iceberg? *ELSEVIER*, 78. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rgmx.2013.12.001>
59. Santillán, M. Á. I., Ovando, A. C., Delgadillo, A. Á., Garza, R. V., Romero-Bautista, L., & Torres-Valencia, J. M. (2017). Estudio preliminar de la actividad antioxidante de tres especies del género *Ganoderma* (Polyporaceae) nativas del estado de Hidalgo, México. *Scientia Fungorum*, 46.
60. Schorr, K., Agayn, V., Groot, L. C. P. G. M. d., Slagboom, E., & Beekman, M. (2024). A plant-based diet index to study the relation between diet and disease risk among adults: a narrative review. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnha.2024.100272>
61. Shamaki, B. U., Sandabe, U. K., Fanna, I. A., Adamu, O. O., Geidam, Y. A., Umar, I. I & Adamu, M. S. (2012). Proximate Composition, Phytochemical and Elemental Analysis of Some Organic Solvent Extract of The Wild Mushroom *Ganoderma lucidum*. *Journal of Natural Sciences Research*.
62. Sharma, V. S. (2024). Shelf-life extension of fresh mushrooms: From conventional practices to novel technologies—A comprehensive review. *Future Postharvest and Food*, 317-333.

63. Sheikha, A. F. E. (2022). Nutritional Profile and Health Benefits of *Ganoderma lucidum* “Lingzhi, Reishi, or Mannentake” as Functional Foods: Current Scenario and Future Perspectives. *Foods*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11071030>
64. Shen, C. E. (2015). Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Solid-State Fermented Products from a Medicinal Mushroom, *Taiwanofungus salmoneus* (Higher Basidiomycetes) from Taiwan. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 21–32.
65. Soto, C., Alvarez, I., & Mora, C. d. I. (2021). Efecto de la adición de harina del hongo *Pleurotus columbinus* en la composición químico proximal y física de una pasta para la elaboración de sopas. *Revista Iberoamericana de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.23913/ciba.v10i20.109>
66. Sudheer, S., Taha, Z., Manickam, S., Ali, A., & Cheng, P. G. (2018). Development of antler-type fruiting bodies of *Ganoderma lucidum* and determination of its biochemical properties. *Fungal Biology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.01.007>
67. Sukumar, D. M. (2022). *Ganoderma applanatum* extract mediated synthesis of silver nanoparticles. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1-14.
68. Sułkowska, K., Balik, M., Szczepkowski, A., Tropa, M., Zengin, G., Kała, K., & Muszyńska, B. (2023). A Review of Chemical Composition and Bioactivity Studies of the Most Promising Species of *Ganoderma spp.* *Diversity*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/d15080882>
69. Tomé, J., & Visioli, F. (2023). Plant-Based Diets Reduce Blood Pressure: A Systematic Review of Recent Evidence. *Nutrition And Hypertension*, 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11906-023-01243-7>
70. Torres Torres, F., & Rojas Martinez, A. (2019). The regional situation and the scales of food security in Mexico. *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, 51-93.
71. Torres, B. d. M., Vargas, R. D., Ibarra, F. J., Ibarra, E. V., Torrescano, G. R., & Sánchez, A. (2021). Effect of extraction solvent on chemical composition, physicochemical
72. Torres, F. T., & Martínez, A. R. (2019). La situación regional y las escalas de la seguridad alimentaria en México. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 12.
73. Urquidi, V. (2004). Perspectiva de la población mundial. *SCIELO*, 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.24201/edu.v20i1.1227>
74. Valdespino, F. (2020). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. *Meio Ambiente (Brasil)*, 2.
75. Vargas, R., Torrescano, G., Martínez, B. d. M. T., Rincón, F. G. R., Arias, F. J. I., & Escalante, A. S. (2021). Propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y antibacterianas de extractos de hongos comestibles tratados térmicamente. *Acta Universitaria*, 31. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174/au.2021.3234>
76. Veljović, S. T. (2019). Volatile, Colour and Sensory Quality of Spirit-Based Beverages Enriched with Medicinal Fungus *Ganoderma lucidum* and Herbal Extract. *Food Technology and Biotechnology*.

77. WHO, F. a. (2021). Microbiological risk assessment - Guidance for food. Roma: Microbiological Risk Assessment Series No. 36. .
78. Zhang, Y. C. (2021). *Ganoderma lucidum* spore oil (GLSO), a novel antioxidant, extends the average life span in *Drosophila melanogaster*. *Food Science and Human Wellness*, 38-44.
79. Zheng, M., Pi, X., Li, H., Cheng, S., Su, Y., & Zhang, Y. (2022). *Ganoderma spp.* polysaccharides are potential prebiotics: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2110035>