



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**DESARROLLO DE TLAYUDAS CON PROPIEDADES  
FUNCIONALES DEL HONGO MEDICINAL *Ganoderma  
lucidum*, SU IMPACTO POTENCIAL EN LA  
ALIMENTACIÓN SALUDABLE DE COMUNIDADES  
RURALES DE OAXACA, MÉXICO**

**GRACE ELIZABETH PRECIADO IÑIGA**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2021



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Desarrollo de tlayudas con propiedades funcionales del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*, su impacto potencial en la alimentación saludable de comunidades rurales de Oaxaca, México** realizada por la alumna: **Grace Elizabeth Preciado Iñiga**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

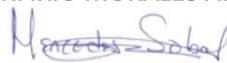
CONSEJERO:

  
DR. DANIEL CLAUDIO MARTÍNEZ CARRERA

ASESOR:

  
DR. PORFIRIO MORALES ALMORA

ASESORA:

  
DRA. MERCEDES SOBAL CRUZ

ASESORA:

  
DRA. MARÍA EUGENIA MENESES ÁLVAREZ

ASESOR:

  
DR. MIGUEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESOR:

  
DR. HERMILO LEAL LARA

Puebla, Puebla, México, 13 de octubre del 2021

# Desarrollo de tlayudas con propiedades funcionales del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*, su impacto potencial en la alimentación saludable de comunidades rurales de Oaxaca, México

Grace Elizabeth Preciado Iñiga, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2021

## RESUMEN

*Ganoderma lucidum* es un hongo muy apreciado por sus propiedades funcionales y medicinales, debido a que contiene compuestos bioactivos con efectos prometedores sobre varios padecimientos, como la hipercolesterolemia, la diabetes y el cáncer. Sin embargo, poco se han estudiado los efectos en la salud de *G. lucidum* en combinación con otros alimentos. Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de tlayudas enriquecidas con extractos de *G. lucidum* y, por otro lado, se probaron los efectos de estas tlayudas enriquecidas en un modelo animal *in vivo*. Los extractos adicionados a las masas nixtamalizadas, se elaboraron a partir de basidiocarpos de *G. lucidum* cultivados en aserrín de encino estéril hidratado con agua (*Gl-1*), o basidiocarpos de *G. lucidum* cultivados en aserrín de encino estéril hidratado con una solución de ácido acetilsalicílico 10 mM (*Gl-2*). Las tlayudas se elaboraron de manera tradicional obteniéndose: tlayudas Control (T, sin extracto) y tlayudas enriquecidas con extractos de *G. lucidum Gl-1* (T+*Gl-1*) y *Gl-2* (T+*Gl-2*) a una concentración de 25 mg/mL. La adición de los extractos se realizó agregando 5 mL de extracto de *G. lucidum* a 100 g de masa nixtamalizada, previo al prensado. Para el modelo *in vivo*, se elaboraron dietas altas en colesterol (HC, 0.5%) que se formularon con tlayudas (HC+T, HC+T+*Gl-1*, HC+T+*Gl-2*) y que se compararon con dos dietas control (AIN-93 y AIN-93 alta en colesterol), así como una dieta elaborada con tlayuda Control y con el medicamento Atorvastatina (0.03 g/100 g) (HC+T+AT). En los resultados obtenidos, se demostró que el proceso de cocción no afectó las propiedades bioactivas presentes en las tlayudas (capacidad antioxidante, polifenoles totales,  $\beta$ -glucanos), derivadas de la adición de los extractos de *G. lucidum*. El análisis sensorial desarrollado por 31 jueces-afectivos mostró alta proporción de aceptación, 94% para T+*Gl-1* y 87% para T+*Gl-2*. Con respecto al modelo *in vivo*, las dietas se administraron durante 45 días a 6 grupos experimentales (n=8), conformados por ratones machos C57BL/6. Se obtuvieron mejores resultados de reducción de peso (2.08 g) y menor peso en hígado (4.14 %), además, menor concentración de colesterol (73.9 mg/dL), LDL (13.1 mg/dL), triglicéridos (60.7 mg/dL) y glucosa en plasma (119.4 mg/dL) en el grupo alimentado con la dieta HC+T+*Gl-2*, en comparación con el grupo que recibió la dieta que contenía atorvastatina (HC+T+AT). Las tlayudas mostraron ser un alimento con gran potencial para la adición de propiedades funcionales provenientes de *G. lucidum*. Finalmente, se desarrolló una estrategia económica y de mercado para promover una alimentación más saludable en las comunidades rurales de Oaxaca, México, utilizando tlayudas enriquecidas con los compuestos bioactivos de los hongos comestibles, funcionales y medicinales.

**Palabras clave:** actividad antioxidante, enriquecimiento, *Ganoderma lucidum*, hipercolesterolemia, modelo *in vivo*, tlayudas.

# Development of tlayudas containing functional properties of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*, its potential impact on healthy eating patterns of rural communities from Oaxaca, Mexico

Grace Elizabeth Preciado Iñiga, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2021

## ABSTRACT

The medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* is highly appreciated for its functional and medicinal properties, as it contains diverse bioactive compounds having promising effects on several diseases, such as hypercholesterolemia, diabetes, and cancer. However, effects on human health from the combination of *G. lucidum* and other foods is poorly studied. Physicochemical, functional and sensory properties of tlayudas (a traditional tortilla from Oaxaca, México), enriched with hydroalcoholic extracts of *G. lucidum*, were characterized. Enriched tlayudas were tested in an *in vivo* animal essay. Hydroalcoholic extracts, added to the nixtamalized dough for tlayudas, were elaborated from basidiocarps of *G. lucidum* cultivated on sterile oak sawdust moisturized with water (*Gl-1*), or basidiocarps of *G. lucidum* cultivated on sterile oak sawdust moisturized with a solution of acetylsalicylic acid (10 mM) (*Gl-2*). Tlayudas were elaborated following the traditional procedure as follows: 1) Control Tlayudas (T, without extract), and 2) Tlayudas enriched with extracts from *G. lucidum*, *Gl-1* (T+*Gl-1*) and *Gl-2* (T+*Gl-2*), at a concentration of 25 mg/mL. *Gl* extracts (5 mL) were added to 100 g of nixtamalized dough for tlayudas before pressing. The following diets were elaborated for the *in vivo* model: high in cholesterol (HC, 0.5%) diets containing tlayudas (HC+T, HC+T+*Gl-1*, HC+T+*Gl-2*), control diets (AIN-93, high cholesterol AIN-93), and control diet containing tlayuda plus the drug atorvastatin (0.03 g/100 g) (HC+T+AT). The results showed that the cooking process did not affect the bioactive properties present in enriched tlayudas (antioxidant capacity, total polyphenols,  $\beta$ -glucans). Sensory evaluation carried out by 31 judges showed high acceptance of tlayudas, 94% for T+*Gl-1* and 87% for T+*Gl-2*. In the *in vivo* model, experimental diets were administered for 45 days to 6 groups (n= 8) of C57BL/6 male mice. Best parameters were recorded in the mice group fed with the HC+T+*Gl-2* diet, in comparison with the group fed with a diet containing atorvastatin (HC+T+AT). These parameters were weight reduction (2.08 g), lower liver weight (4.14%), lower concentration of cholesterol (73.9 mg/dL), LDL (13.1 mg/dL), triglycerides (60.7 mg/dL), and plasma glucose (119.4 mg/dL). Tlayudas were found to be an excellent food product showing great potential for the addition of functional properties from extracts of the medicinal mushroom *G. lucidum*. A strategy is discussed for promoting a healthier diet in rural communities of Oaxaca, Mexico, using enriched tlayudas containing bioactive compounds from edible, functional and medicinal mushrooms.

**Palabras clave:** antioxidant activity, food enrichment, *Ganoderma lucidum*, hypercholesterolemia, *in vivo* model, tlayudas

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios por todas sus bendiciones; a mi familia, principalmente a mis padres quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional en todo momento.

A mi esposo Genaro, por sus consejos y ayuda durante todo este tiempo de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

A México, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado mis estudios de Doctorado en el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, durante el periodo 2016-2020.

Al Colegio de Postgraduados, *Campus Puebla*, que, a través de su planta académica y mi consejo particular: Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, Dra. Mercedes Sobal Cruz, Dr. Porfirio Morales Almora, Dr. Miguel Sánchez Hernández, Dra. María Eugenia Meneses Álvarez, quienes fueron un pilar en mi formación académica durante el Doctorado.

A mis compañeras y amigas del PROEDAR Luz, Nayeli y Marly.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE CUADROS.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Los hongos como alimentos funcionales y medicinales .....	4
2.2. Alimentos enriquecidos y fortificados con hongos comestibles y medicinales .....	5
2.3. Productos nixtamalizados con propiedades funcionales de los hongos.....	7
2.4. El hongo medicinal <i>Ganoderma lucidum</i> .....	8
2.5. Compuestos bioactivos de <i>Ganoderma lucidum</i> con propiedades hipocolesterolemiantes.....	9
III. MARCO DE REFERENCIA.....	12
3.1. Alimentación prehispánica .....	12
3.2. Cambios en la alimentación después del TLC.....	13
3.3. Obesidad y enfermedades asociadas.....	13
3.3.1. Dislipidemia .....	17

3.3.2. Colesterol .....	19
3.3.3. Triglicéridos .....	20
3.3.4. Lipoproteínas.....	21
3.4. Seguridad alimentaria .....	21
3.5. Alimentación saludable .....	21
3.6. Alimentos funcionales .....	22
3.7. Beneficios del consumo de alimentos funcionales .....	24
3.8. Alimentos enriquecidos y fortificados.....	25
3.9. El maíz .....	26
3.9.1. Generalidades .....	26
3.9.2. Origen, domesticación y diversificación del maíz.....	27
3.9.3. Consumo per cápita del maíz.....	28
3.9.4. Razas de maíz utilizadas para la elaboración de productos nixtamalizados.....	29
3.10. Nixtamalización del maíz .....	30
3.11. La tortilla.....	31
3.12. Tlayudas.....	32
3.13. Otros productos del maíz.....	33
3.14. Consumo de leña para preparación de alimentos .....	34
IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	36
V. HIPÓTESIS .....	38

VI. OBJETIVOS .....	38
6.1. Objetivo general .....	38
6.2. Objetivos específicos .....	38
VII. MATERIALES Y MÉTODOS .....	40
7.1. Material biológico .....	40
7.2. Materiales.....	42
7.3. Métodos .....	43
7.3.1. Caracterización del maíz .....	43
7.3.2. Construcción de horno para elaboración de tlayudas .....	45
7.3.3. Elaboración de tlayudas .....	46
7.3.4. Caracterización del nixtamal y masa nixtamalizada.....	50
7.3.5. Efecto de la adición de extractos del hongo <i>G. lucidum</i> sobre los parámetros de calidad de las tlayudas enriquecidas .....	51
7.3.6. Evaluación sensorial .....	55
7.3.7. Modelo <i>in vivo</i> .....	56
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
8.1. Descripción del material biológico .....	60
8.1.1. Propiedades del grano de maíz y del nixtamal .....	60
8.2. Humedad (%) de las masas.....	64
8.3. Determinación de viscosidad en masas .....	65
8.4. Efecto de adición de extractos sobre la calidad, el contenido nutricional y perfil antioxidante de las tlayudas enriquecidas.....	68

8.4.1. Color en la tlayuda .....	68
8.4.2. Perfil de textura (Dureza) .....	70
8.4.3. Temperaturas y tiempo de cocción .....	73
8.5. Análisis bromatológico de las tlayudas .....	76
8.6. Contenido de compuestos bioactivos .....	79
8.6.1. Determinación de la presencia del extracto de <i>G. lucidum</i> después del proceso de cocción y tostado de las tlayudas mediante Espectroscopía Infrarroja (IR).....	79
8.6.2. Capacidad antioxidante por ORAC (Capacidad de absorbanza de radicales libres de oxígeno) .....	80
8.6.3. Polifenoles totales .....	81
8.6.4. $\beta$ - Glucanos .....	83
8.7. Características sensoriales de las tlayudas enriquecidas .....	84
8.7.1. Prueba de aceptación .....	84
8.7.2. Escala hedónica de 9 puntos .....	86
8.8. Modelo <i>in vivo</i> .....	87
8.8.1. Ingesta.....	87
8.8.2. Ganancia de peso .....	89
8.8.3. Porcentaje de peso en hígado .....	91
8.8.4. Determinaciones en plasma.....	99
IX. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	108
X. CONCLUSIONES.....	109

XI. ESTRATEGIA.....	111
XII. LITERATURA CITADA.....	115
ANEXOS.....	132
Anexo A. Formato de prueba de aceptación.....	132
Anexo B. Formato de escala hedónica de 9 puntos .....	133

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales factores de riesgo asociados con la adiposidad para desarrollar insuficiencia cardíaca y otras comorbilidades relacionadas con el peso.....	16
Figura 2. Distribución de razas de maíz en el Estado de Oaxaca .....	28
Figura 3. Maíz en proceso de nixtamalización.....	31
Figura 4. Fogón tradicional y leña utilizados para la preparación de tlayudas.....	34
Figura 5. Fogón a nivel del suelo. ....	34
Figura 6. Emisión de humo durante preparación de tlayudas.....	35
Figura 7. Proceso de producción de basidiomas de <i>G. lucidum</i> Testigo y AAS. ....	41
Figura 8. Diagrama general del proyecto de investigación. ....	42
Figura 9. Equipo para la determinación de humedad en grano de maíz. ....	43
Figura 10. Peso de 100 granos. ....	43
Figura 11. Determinación del índice de flotación. ....	44
Figura 12. Espacio de color CIELAB.....	44
Figura 13. Construcción de horno mejorado. ....	46
Figura 14. Proceso para la elaboración de tlayudas enriquecidas.....	47
Figura 15. Proceso de elaboración de tlayuda enriquecida elaborada por método tradicional.....	49
Figura 16. Mediciones de temperatura en el comal durante cocción de la tlayuda. ....	50
Figura 17. Texturómetro utilizado para realizar el análisis del perfil de textura en tlayudas. ....	52
Figura 18. Proceso de molienda de tlayudas enriquecidas.....	53
Figura 19. Proceso de elaboración de macerados.....	53
Figura 20. Rotavapor utilizado para eliminar el etanol de los macerados.....	54
Figura 21. Equipo y reactivos para la determinación de la capacidad antioxidante por ORAC.....	55
Figura 22. Panelista realizando la evaluación sensorial. ....	56

Figura 23. Actividades durante el modelo <i>in vivo</i> .....	57
Figura 24. Dietas del modelo <i>in vivo</i> .....	58
Figura 25. Determinación de L*, h* y C* en los granos de maíz criollo de Matatlán. ....	63
Figura 26. Contenido de humedad (%) en masas para la elaboración de tlayudas.....	65
Figura 27. Viscosidad en masas para tlayudas.....	67
Figura 28. Tlayudas.....	69
Figura 29. Análisis del perfil de textura (TPA) de tlayudas .....	71
Figura 30. Tiempo de cocción de tlayudas.....	74
Figura 31. Peso después de cocción de tlayudas.....	76
Figura 32. Presencia de ácido ganodérico en tlayudas .....	80
Figura 33. Determinación de la capacidad antioxidante (ORAC) en las tlayudas.....	81
Figura 34. Determinación de polifenoles totales en las tlayudas .....	82
Figura 35. Determinación de glucanos totales (%W/W) en las tlayudas.....	84
Figura 36. Prueba de aceptación de la muestra control.....	85
Figura 37. Prueba de aceptación de la muestra T+GI-1 .....	86
Figura 38. Prueba de aceptación de la muestra T+GI-2 .....	86
Figura 39. Ingesta por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	88
Figura 40. Incremento de peso por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	90
Figura 41. Peso de hígado (%) por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	91
Figura 42. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo Control .....	93
Figura 43. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol (HC).....	94
Figura 44. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control (HC+T). .....	95
Figura 45. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control + <i>G. lucidum</i> 1 (HC+T+ GI-1). .....	96

Figura 46. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control + <i>G. lucidum</i> 2 (HC+T+ GI-2). .....	97
Figura 47. Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g] (HC+T+AT). .....	98
Figura 48. Colesterol en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> . .....	101
Figura 49. Triglicéridos en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> . .....	102
Figura 50. LDL-c en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	103
Figura 51. Glucosa en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> . .....	104
Figura 52. ALTL en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	106
Figura 53. ASTL en plasma por grupo experimental del modelo <i>in vivo</i> .....	107
Figura 55. Principales actores de la cadena de valor para industria de alimentos funcionales (tlayudas enriquecidas).....	111
Figura 56. Cadena de valor para industria de alimentos funcionales (tlayudas enriquecidas).....	113

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estudios sobre el aprovechamiento de propiedades funcionales de hongos comestibles y medicinales.....	6
Cuadro 2. Estudios realizados sobre tortillas enriquecidas.....	8
Cuadro 3. Composición química de <i>Ganoderma lucidum</i> .....	9
Cuadro 4. Estudios realizados sobre el efecto hipocolesterolémico de <i>Ganoderma lucidum</i> .....	11
Cuadro 5. Niveles recomendados de lípidos.....	17
Cuadro 6. Ingesta diaria recomendada para un adulto de $\geq 30$ años, aprox 60 kg y de 1.65 m.....	22
Cuadro 7. Definiciones para Alimento Funcional. ....	24
Cuadro 8. Contenido nutricional en maíz blanco. ....	30
Cuadro 9. Contenido nutricional en tortillas de maíz nixtamalizado.....	32
Cuadro 10. Extractos de <i>Ganoderma lucidum</i> utilizados en la elaboración de tlayudas enriquecidas.....	40
Cuadro 11. Extractos de <i>Ganoderma lucidum</i> utilizados en la elaboración de tlayudas enriquecidas.....	41
Cuadro 12. Grupos experimentales para modelo <i>in vivo</i> .....	58
Cuadro 13. Composición de las seis dietas que fueron suministradas a los grupos experimentales de ratones C57BL/6, según la dieta estándar AIN-93 .....	59
Cuadro 14. Características físicas del grano de maíz criollo orgánico de Matatlán.....	61
Cuadro 15. Color del grano de maíz criollo orgánico de Matatlán .....	62

Cuadro 16. Color en tlayudas.....	69
Cuadro 17. Análisis de dureza (fuerza de corte en las tlayudas).....	70
Cuadro 18. Atributos medidos en el análisis de perfil de textura (TPA) en tlayudas. ....	72
Cuadro 19. Temperaturas de cocción .....	74
Cuadro 20. Pérdida de peso durante la cocción. ....	75
Cuadro 21. Análisis bromatológico de las tlayudas.....	77
Cuadro 22. Porcentaje de la ingesta diaria recomendada (IDR), cubierto por las tlayudas. ....	78
Cuadro 23. Puntuación del análisis sensorial en tlayudas .....	87

## ABREVIATURAS

**AAS:** Ácido acetilsalicílico.

**AGs:** Ácidos Ganodéricos.

**ALTL:** Alanina aminotransferasa.

**ASTL:** Aspartato aminotransferasa.

**ASCVD:** Enfermedad cardiovascular aterosclerótica. Por sus siglas en inglés.

**C\*:** Croma.

**CIAD:** Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

**CONACYT:** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

**Cp:** Centi-poise, unidad de medida de la viscosidad.

**ECV:** Enfermedades cardiovasculares.

**ENSANUT:** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

**FAO:** Food and Agriculture Organization. Por sus siglas en inglés.

**FDA:** Food and Drug Administration. Por sus siglas en inglés.

**FND:** Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal, y Pesquero.

**FOSHU:** Food for Specified Health Uses. Por sus siglas en inglés.

**GI-1:** Extracto de *Ganoderma lucidum* AAS.

**GI-2:** Extracto de *Ganoderma lucidum* Testigo.

**h\*:** Tonalidad.

**HDL-C:** Colesterol de lipoproteínas de alta densidad. Por sus siglas en inglés.

**HG:** Humedad en grano.

**HMG-CoA:**  $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -methylglutaryl-CoA.

**HN:** humedad del nixtamal

**IDR:** Ingesta diaria recomendada.

**IF:** Índice de flotación.

**IFT:** Institute of Food Technologists.

**IMC:** Índice de masa corporal

**L\*:** Luminosidad.

**LDL-C:** Colesterol de lipoproteínas de baja densidad. Por sus siglas en inglés.

**M+GI-1:** Masa + extracto de *Ganoderma lucidum*-1.

**M+GI-2:** Masa + extracto de *Ganoderma lucidum*-2.

**MAGyP:** Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

**OMS:** Organización mundial de la salud.

**PCG:** Peso de 100 granos

**SAGARPA:** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – SAGARPA.

**SIAP:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

**T+GI-1:** Tlayuda + extracto de *Ganoderma lucidum*-1.

**T+GI-2:** Tlayuda + extracto de *Ganoderma lucidum*-2.

**TLC:** Tratado de Libre Comercio.

**TLCAN:** Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

**VLDL:** Lipoproteínas de muy baja densidad. Por sus siglas en inglés.

**$\Delta E$ :** Cambio de color.

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un nuevo producto a partir de las tlayudas tradicionales, evaluando el efecto de la adición de extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Testigo y extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Ácido acetilsalicílico sobre el perfil de sus propiedades físicas, sensoriales y funcionales, así como, su influencia sobre los parámetros físicos y bioquímicos de un modelo animal *in vivo* (ratones C57BL/6), como una estrategia para promover la alimentación saludable en las comunidades rurales de Oaxaca, México.

El problema de investigación es que, a la fecha, no se tienen registros sobre la adición de extractos de hongos medicinales en tlayudas de la región de Oaxaca, México.

Los aspectos teóricos que se utilizaron para realizar la investigación fueron:

La adición de diferentes sustancias a masas utilizadas para la elaboración de productos tradicionales elaborados a partir de maíz nixtamalizado (tortillas, tlayudas, totopos), produce un cambio en las propiedades texturales del producto (Contreras Jiménez *et al.*, 2020; Cornejo-Villegas *et al.*, 2010; Hleap y Velasco, 2010; García-Rojas *et al.*, 2020).

Asimismo, se utilizaron como aspectos teóricos los estudios que incrementaron el valor nutricional y funcional de las tortillas, mediante la fortificación, (Amaya-Guerra *et al.*, 2006; Figueroa Cárdenas *et al.*, 2003; Mora-Avilés *et al.*, 2007; Waliszewski *et al.*, 2002; Waliszewski *et al.*, 2000), la suplementación con vitaminas o minerales (Figueroa Cárdenas *et al.*, 2003; Fleischman y Oinuma, 2011), mediante la adición de metabolitos secundarios (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016), y mediante la adición de hongos que presentan propiedades funcionales, ya sea en fresco o en forma de harina (Flores Sotelo, 2007; Páramo-Calderón *et al.*, 2019) y los estudios que demuestran que existe un efecto del hongo medicinal *G. lucidum*, sobre los parámetros físicos y bioquímicos de modelos *in vivo* (Guo *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020; Meneses *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2017; Zhong *et al.*, 2018).

En los resultados más importantes, se encontró que la adición del extracto hidroalcohólico del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* a las tlayudas incrementó significativamente la dureza (en el centro) de las tlayudas enriquecidas, sin embargo, el incremento de la dureza no fue percibido por los jueces-afectivos, ya que las tlayudas enriquecidas (T+GI-1 y T+GI-2), tuvieron una mejor aceptación al momento de realizar la evaluación sensorial (94% y 87%, respectivamente), con respecto al Control. Por otra parte, en el modelo *in vivo*, los ratones alimentados con una dieta alta en colesterol y adicionada con la tlayuda enriquecida con extracto de *G. lucidum* AAS (HC+T+GI-2), presentaron una menor concentración de colesterol (73.9 mg/dL), LDL-C (13.1mg/dL), triglicéridos (60.7 mg/dL), glucosa (119.4 mg/dL) y ALTL (106 U/L) en plasma, en comparación con el grupo Control.

La estructura del documento es como a continuación se describe.

En la sección II, se detalla sobre los estudios realizados alrededor de los hongos comestibles, funcionales y medicinales, y su adición a alimentos desarrollados a partir de maíz nixtamalizado y de otros productos alimenticios. Además, se presentan los estudios realizados sobre los efectos del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* en modelos animales *in vivo*.

En la sección III, se establece el contexto en el que se encuentra la alimentación en México y las consecuencias de los cambios en la alimentación, detallando como sería una alimentación saludable. Además, se hace referencia al consumo de maíz y sus productos como base de la alimentación mexicana.

En la sección IV. Se analizó el problema de investigación del cual se partió para iniciar el presente estudio. En las secciones V y VI, se establecieron a los objetivos e hipótesis de la investigación.

En la sección VII, se precisan los materiales y métodos aplicados para realizar la caracterización de la materia prima, determinar el efecto de la adición de los extractos sobre las propiedades físicas, sensoriales y funcionales. Además, se detalla el procedimiento necesario para llevar a cabo un modelo *in vivo* en un bioterio, con el fin de determinar los efectos de los extractos en el organismo de los ratones (C57BL/6).

En la sección VIII. Constan los cuadros y figuras de los resultados obtenidos, con su respectivo análisis, interpretación y discusión.

En la sección IX. Se presenta la contrastación de las hipótesis planteadas.

En la sección X. Se hace referencia a las conclusiones a las que se llegan luego de la investigación de los resultados obtenidos y analizados.

En la sección XI. Se desarrolla la propuesta tentativa de una estrategia de cadena de valor para la elaboración de tlayudas enriquecidas.

Finalmente concluimos con la literatura citada y Anexos.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Los hongos como alimentos funcionales y medicinales

Los hongos han sido muy apreciados en la alimentación y la medicina desde hace milenios, en México su consumo viene desde tiempos prehispánicos y constituyen el alimento de origen microbiano más importante para el consumo humano directo.

Esto se debe a sus aportaciones a la dieta, ya que contienen vitamina D, complejo B, potasio, fósforo y selenio, micronutrientes esenciales para la dieta humana y cuya función principal es proteger los lípidos de la membrana celular contra los daños ocasionados por radicales libres (Martínez-Carrera *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2012).

Sin embargo, en las últimas dos décadas ha surgido interés por el estudio de sus cuerpos fructíferos y las esporas, como una fuente alterna de compuestos bioactivos con propiedades funcionales y medicinales (actividad cardiovascular, citotóxica, inmunomodulatoria, analgésica, antidiabética, antioxidante, insecticida, y nematocida), diferentes de aquellas encontradas en alimentos de origen animal y vegetal (Guzmán, 2000; Martínez-Carrera *et al.*, 2016).

Existen distintas especies de hongos, entre las que destacan *Pleurotus*, *Agaricus*, *Lentinula* y *Grifola*, las cuales disminuyen el colesterol y el azúcar en sangre, incrementan la actividad del sistema inmunológico e inhiben el crecimiento de tumores (Adebayo *et al.*, 2018, Garza Sánchez, 2018). Sin embargo, existen macromicetos que por sus características organolépticas no se consideran comestibles, pero poseen un gran potencial como ingrediente en la elaboración de alimentos funcionales, como el hongo medicinal *G. lucidum*.

## **2.2. Alimentos enriquecidos y fortificados con hongos comestibles y medicinales**

Existen distintas especies de hongos, con propiedades medicinales y terapéuticas como, por ejemplo, *Ganoderma lucidum*, *Grifola frondosa*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*, entre muchas otras. En los países asiáticos, los hongos silvestres y cultivados (frescos o secos) y los bioproductos a base de hongos se utilizan para prevenir y tratar diferentes enfermedades, mientras que el uso de hongos medicinales en las sociedades occidentales se limita a los "nutracéuticos" (alimentos dietéticos saludables) y "nutricéuticos" (alimentos funcionales o SD). Estas propiedades han sido aprovechadas ampliamente para la generación de alimentos enriquecidos y fortificados (cuadro 1), así como para la elaboración de productos cosméticos naturales ("cosmecéuticos" y "nutricosméticos") (Taofiq *et al.*, 2017).

**Cuadro 1.** Estudios sobre el aprovechamiento de propiedades funcionales de hongos comestibles y medicinales

Macromicete	Producto alimenticio	Efecto y resultado	Referencia
Micelio de <i>Antrodia camphorata</i> , <i>Agaricus blazei</i> , <i>Hericium erinaceus</i> , y <i>Phellinus linteus</i>	Pan	Mayor intensidad del umami; mantenimiento de cantidades sustanciales de GABA y ergothioneína	Ulziijargal <i>et al.</i> , 2013
Cuerpo fructífero de <i>Pleurotus sajor-caju</i>	Biscuit	El aumento de la fibra dietética, el $\beta$ -glucano y el contenido de proteínas de la galleta y la mejora de la respuesta glucémica postprandial	Ng <i>et al.</i> , 2017
<i>Lentinula edodes</i>	Pasta de arroz	Fortalecer la extensibilidad y la firmeza de los fideos de arroz	Heo <i>et al.</i> , 2014
<i>Pleurotus sapidus</i>	Salchichas vegetarianas	Alternativa a las proteínas vegetales comerciales	Stephan <i>et al.</i> , 2018
<i>Grifola frondosa</i> , <i>Ganoderma lucidum</i>	Té fermentado	Mejorar el sabor sensorial y las cualidades terapéuticas del té fermentado	Terrien, 2017
Extracto de <i>Ganoderma lucidum</i>	Cerveza	La adición de microesferas de <i>Ganoderma</i> a la cerveza pilsner aumentó su concentración de polifenoles (CTP), hasta tres veces más	Belščak-cvitanović <i>et al.</i> , 2017
Extracto de <i>Ganoderma lucidum</i>	Cerveza	Mejora en las propiedades sensoriales y mejor sabor	Leskosek-Cukalovic <i>et al.</i> , 2010
Cuerpo fructífero de <i>Ganoderma lucidum</i>	Brandi	Propiedades sensoriales aceptables para los catadores. Mejora las características sensoriales y las propiedades saludables de las bebidas espirituosas. Aumentó el contenido de proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas, sólidos totales, ácido aspártico, serina, arginina, glicina, treonina, tirosina y alanina	Pecic <i>et al.</i> , 2011
$\beta$ -glucano de <i>Ganoderma lucidum</i>	Yogurt		Vanegas-Azuero y Gutiérrez, 2018

Adaptado de: Lu *et al.*, 2020.

### **2.3. Productos nixtamalizados con propiedades funcionales de los hongos**

El maíz se utiliza para elaborar gran variedad de alimentos, entre los que se encuentran las tortillas, chips de tortilla (totopos), tamales, atoles, entre otros (Quintanar Guzmán *et al.*, 2011). El maíz, proporciona un gran porcentaje de la ingesta diaria recomendada de proteínas, calcio, fibra, y calorías, importantes en la alimentación de la población mexicana y de otros países latinoamericanos (Amador-Rodríguez *et al.*, 2019; Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016; Martínez-Velasco *et al.*, 2018). Algunas especies de maíz, además de proporcionar estos elementos nutricionales, proporcionan ciertos compuestos que presentan actividad fotoquímica y antioxidante, pero desafortunadamente estos se ven afectados por procesos como la nixtamalización (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016). Razón por la cual se han buscado alternativas para incrementar el contenido de compuestos bioactivos y nutricionales, después del proceso de nixtamalización, algunos estudios realizados se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Estudios realizados sobre tortillas enriquecidas.

Estudio	Fuente
Producción de tortillas de maíz y galletas a partir de harina nixtamalizada enriquecida con antocianinas, flavonoides y saponinas extraídas de sacos de semilla de frijol negro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).	Chávez-Santoscoy <i>et al.</i> (2016).
Propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de harinas de maíz azul nixtamalizadas y masas agregadas con pasta de huitlacoche ( <i>Ustilago maydis</i> ).	Amador-Rodríguez <i>et al.</i> (2019).
Tortilla añadida con harina de <i>Moringa oleífera</i> : propiedades fisicoquímicas, de textura y capacidad antioxidante.	Páramo-Calderón <i>et al.</i> (2019).
Calidad de proteína <i>in vivo</i> de alimentos básicos a base de cereales seleccionados enriquecidos con proteínas de soya.	Acevedo-Pacheco y Serna-Saldivar, (2016).
Fortificación de soja y enriquecimiento de tortillas de maíz de proteínas regulares y de calidad afectan el desarrollo cerebral y el rendimiento en laberinto de las ratas.	Amaya-Guerra <i>et al.</i> (2006).
Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado fortificada con residuo de leche de soja (okara).	Waliszewski <i>et al.</i> (2002).
Fortificación de harina de maíz nixtamalizada con lisina y triptófano.	Waliszewski <i>et al.</i> (2000).

#### 2.4. El hongo medicinal *Ganoderma lucidum*

Es un hongo medicinal que pertenece a la familia Basidiomycetes, ha sido utilizado en la medicina tradicional de Asia oriental como polvo seco o como extracto de agua caliente tipo té (Quereshi *et al.*, 2010). En la actualidad es ampliamente estudiado a nivel mundial debido a sus propiedades medicinales (López Legarda y Arboleda Echavarría, 2015), y debido a la amplia variedad de actividades biológicas otorgadas por la presencia de más de 200 elementos activos (fenoles, triterpenos, polisacáridos, proteínas, enzimas y ácidos grasos) con efectos farmacológicos (cuadro 3), que incluyen propiedades carcinoestáticas ( $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-D-glucan), antialérgicas, antioxidantes, analgésicas, antifúngicas, antiinflamatorias, antitumorales, antivirales, antiparasitarias,

cardiovasculares, antidiabéticas, inmunomoduladoras, hepatoprotectoras, hipotensoras e hipertensoras, hipocolesterolémicas, hipoglicémicas, además, contribuye a la estimulación de probióticos, e inhibe la agregación plaquetaria. (Bishop *et al.*, 2015; Fraile-Fabero *et al.*, 2021; Giavasis, 2014; Illana-Esteban, 2008; Meneses *et al.*, 2016).

**Cuadro 3.** Composición química de *Ganoderma lucidum*.

<b>Nutriente</b>	<b>Valores</b>
Capacidad antioxidante (%)	4.17 5.23
<b>Contenido total de biomoléculas</b>	
Polisacáridos (mg almidón/g)	15.4
Terpenoides (mg linalool/g)	27.2
Triterpenos (mg ácido ursólico/g)	5.6
Polifenoles totales (mg EAG/100 g)	0.48 1.27
<b>Ácidos grasos</b>	
Ácido pamítico	21.3
Ácido esteárico	5.8
Ácido oléico	12.7
Ácido linolénico	42.4
Ácidos grasos saturados	39.3
Ácidos grasos monoinsaturados	14.3
Ácidos grasos poliinsaturados	46.4
<b>Tocoferoles (µg/100g)</b>	
Alfa-tocoferol	18.1
Delta-tocoferol	123

Adaptado de: Rooney y Serna-Saldivar, (2015); Sa-ard *et al.* (2014); Taofiq *et al.* (2017).

## **2.5. Compuestos bioactivos de *Ganoderma lucidum* con propiedades hipocolesterolémicas**

Como se sabe, el hongo medicinal *G. lucidum* presenta en su composición gran cantidad de compuestos (Triterpenoides, polisacáridos, proteínas, aminoácidos, moléculas con alta capacidad antioxidante, entre otras) con actividad biológica de interés para el tratamiento de enfermedades, como; como alergia, bronquitis, hiperglucemia, hipertrigliceridemia, hipertensión, entre otras (Yao *et al.*, 2019).

Entre estos compuestos con actividades biológicas se encuentran los polisacáridos ( $\beta$ -glucanos) y los terpenoides entre los cuales se encuentra el ergosterol

(principal componente terpenoidal de los hongos), a los cuales se les atribuye la actividad hipocolesterolémica (Chang *et al.*, 2015; Suárez Arango y Nieto, 2013).

También, dentro de estos compuestos se encuentran los ácidos ganodéricos (AG), que son triterpenoides de tipo lanostano C30 altamente oxigenados, son responsables de las actividades farmacológicas de *G. lucidum*. Entre los terpenos y triterpenos, los AG se consideran uno de los principales compuestos medicinales de *G. lucidum* (Yao *et al.*, 2019). Diversos estudios han comprobado que los derivados del AG tienen efectos anticancerígenos, hipocolesterolémicos (al inhibir la enzima lanosterol 14  $\alpha$ -Desmetilasa), antiinflamatorios y antidiabéticos a través de la interrupción del ciclo celular mediante la inhibición de la actividad de la  $\beta$ -catenina o de la proteína quinasa C y efectos inflamatorios a través de la reducción de la producción de citoquinas inflamatorias (Da *et al.*, 2021; Hajjaj *et al.*, 2005; Ma *et al.*, 2015).

Además, muestra un efecto beneficioso contra los radicales libres y reduciendo el daño celular inducido por los mutágenos. Algunos estudios han informado de su mecanismo de acción como agente hepatoprotector y potenciador de la inmunidad por producir una fuerte acción antioxidante (Rahman *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Además, se ha informado de que las actividades biológicas de los derivados de los AG dependen del tipo de sustituyente y de la presencia de dobles enlaces, basándose en estudios de relación estructura-actividad (Da *et al.*, 2021; Gill *et al.*, 2018; Tang y Zhong, 2002). Se han realizado varios estudios con el objetivo de conocer el efecto de los compuestos con actividad biológica presentes en *G. lucidum*, sobre la acumulación de lípidos en el tejido adiposo y ciertos órganos, así como en el desarrollo de dislipidemias; algunos de los cuales se presentan el siguiente cuadro (cuadro 4).

**Cuadro 4.** Estudios realizados sobre el efecto hipocolesterolémico de *Ganoderma lucidum*

Muestra tratamiento	Diseño experimental	Resultados	Referencia
Micelio y cultivo entero sumergido	Ratas macho Sprague Dawley de 8 semanas de edad, divididas en 6 grupos (n=8). Tratamiento con cultivo sumergido entero liofilizado (1% o 3%) y micelio en polvo liofilizado (1% o 3%)	Reducción de peso corporal, de peso del tejido adiposo y niveles de triglicéridos en plasma; incremento de niveles de colesterol de lipoproteínas de alta densidad	Huang <i>et al.</i> , 2020
Extractos de cuerpo fructífero (triterpenoides)	Ratas macho Wistar de 170 ± 20 g de peso, divididas en 4 grupos (n=5). Tratamiento con triterpenoides de <i>G. lucidum</i> (150 mg kg <sup>-1</sup> día)	Disminución de los niveles de TG, colesterol total y colesterol de LDL. mejora de los trastornos metabólicos de los lípidos	Guo <i>et al.</i> , 2018
Cuerpo fructífero (polisacáridos)	Ratas macho <i>Sprague-Dawley</i> de 107 ± 9 g de peso, divididas en 4 grupos (n=10). Tratamiento con 100, 300 y 500 mg/kg de polisacáridos de <i>G. lucidum</i> .	Reducción del aumento de peso corporal, los niveles de triacilglicerol (TG) plasmático, colesterol total plasmático y el colesterol LDL, el peso del hígado	Wu, 2018
Péptido polisacárido (polvo)	Ratones macho ob/ob C57BL6/J de 8 semanas de edad y ratones transgénicos ApoC3 de 12 semanas de edad. Distribuidos en cuatro grupos. Tratamiento con una dosis de 100 mg/kg/día del péptido polisacárido de <i>G. lucidum</i> durante cuatro semanas	Alivio de hepatosteatois, dislipidemia, disfunción hepática y resistencia a la insulina en el hígado. Reducción de acumulación de lípidos	Zhong <i>et al.</i> , 2018
Micelio fermentado	8 personas saludables, 4 hombres y 4 mujeres, se les administró 50 mL de líquido de micelio fermentado cada día durante 1 mes	Promueve el crecimiento de probióticos. Reducción de colesterol (LDL-c) en plasma	Wu <i>et al.</i> , 2017
Polisacárido del micelio	22 Ratones machos C57BL/6J de ocho semanas, asignados en tres grupos. Tratamiento 200 mg/kg de polisacárido de <i>G. lucidum</i>	Disminución de triglicéridos plasmáticos, acumulación de lípidos ectópicos en los tejidos periféricos. Regulación de la composición de la microbiota intestinal	Xu <i>et al.</i> , 2017
Cuerpo fructífero (extracto)	Ratones machos C57BL/6 de siete semanas de edad, con un peso de 26 g ± 0.50, distribuidos en 7 grupos (n=8). Tratamiento con extracto de <i>G. lucidum</i> (0,5 y 1.0 %)	Reducción de colesterol sérico total, LDL-C, concentración de triglicéridos, el colesterol y triglicéridos hepáticos	Meneses <i>et al.</i> , 2016

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Alimentación prehispánica

La alimentación es un fenómeno complejo que se realiza con el objetivo de cubrir una necesidad fisiológica, sin embargo, se observa que se presenta de diferentes maneras, debido a que se encuentra determinado por diversos factores (sociales, culturales y económicos), y que no se trata de una cuestión de hábitos sino de comportamientos característicos de cada grupo social.

A partir de estudios realizados por Francisco Bulnes durante el periodo de “el porfiriato” (1877-1911), se desarrolló una teoría dietética de la raza, en la cual el autor sostenía que, *“la inferioridad y superioridad racial se daba según el alimento básico preponderante, ya fuera trigo, arroz o maíz”*. Fue a partir de esta teoría que se afirmó que el atraso de los pueblos indios de México se debía al consumo de maíz, mientras que la superioridad que se presentaba en los pueblos europeos y en Estados Unidos se debía a su consumo de trigo.

Posteriormente, diversos investigadores buscaron mejorar las condiciones de nutrición de los indígenas, ya que él consideraba que estos no cubrían sus necesidades nutricionales debido a su alimentación basada principalmente en el consumo de maíz, chile y en menor proporción frijol, lo que provocaba desnutrición y, por lo tanto, altas tasas de mortalidad, bajo rendimiento en el trabajo físico, lo que se consideraba un problema para el desarrollo de México posrevolucionario.

La dieta carecía de leche, carne, pan y huevos, alimentos que proporcionan de elementos necesarios e indispensables (Loría y Salas, 2014), sin embargo, la dieta como la conocían los indígenas prehispánicos ha ido evolucionando, pasando de una alimentación de subsistencia y monótona a una dieta variada, determinada por los recursos económicos, los sistemas de comunicación, y una mayor disponibilidad de alimentos industriales (Beltran Vilá, 2010).

### **3.2. Cambios en la alimentación después del TLC**

Se cree que, a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, la obesidad y el sobrepeso en México se incrementaron dramáticamente; posicionando al país en segundo lugar en términos de obesidad y sobrepeso (Wang *et al.*, 2008; Beltran Vilá, 2010). El TLC generó cambios en la estructura del comercio y hábitos de consumo en la población ya que se logró una mejor distribución de alimentos (locales y externos), y una mayor circulación de ideas sobre estos, los cuales tuvieron un impacto en la forma de comer de la población, principalmente en las zonas urbanas (Beltran Vilá, 2010).

No obstante, el origen y desarrollo de la obesidad es complejo, ya que se sabe que influyen diversos factores; como, factores ambientales, socioculturales, fisiológicos, médicos, conductuales, genéticos, epigenéticos y muchos otros, que contribuyen tanto a su causalidad como a su persistencia (Gadde *et al.*, 2018).

En México, la obesidad se asocia principalmente al factor medioambiental (sedentarismo / el estilo de vida) (Calle y Kaaks, 2004; Loría y Salas, 2014), el cual se encuentra estrechamente asociado al desequilibrio entre las calorías ingeridas y consumidas (Gadde *et al.*, 2018; Loría y Salas, 2014), y que, en conjunto influyeron notablemente en el incremento de la obesidad en el país. Otros factores que han intervenido en el incremento de la obesidad en el país son la instalación de franquicias de comida con altos contenidos de grasas saturadas y carbohidratos refinados, así como el incremento y tamaño de las porciones, ocasionando un aumento en los depósitos de grasa corporal (OMS, 2018a).

### **3.3. Obesidad y enfermedades asociadas**

En las últimas cuatro décadas la prevalencia de sobrepeso y obesidad han aumentado a nivel mundial, alcanzando proporciones epidémicas; convirtiéndose así, en la principal causa de la reducción de la esperanza de vida (Lavie *et al.*, 2016; Shamah-Levy., *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2018). Este incremento se ha dado a la par del crecimiento económico,

como consecuencia de la urbanización e industrialización, que provocan cambios en el estilo de vida incluyendo sedentarismo y transición nutricional (Aschner, 2016; Shamah-Levy., *et al.*, 2020).

Un estudio realizado en 195 países reveló que la prevalencia de obesidad es el doble en más de 70 países desde 1980 y que alrededor de 600 millones de adultos resultaron obesos en 2015, lo que provocó 4 millones de muertes en todo el mundo (GDB *et al.*, 2017).

En América Latina la obesidad se ha convertido en un grave problema de salud, principalmente en México, donde se ha visto la necesidad de declarar emergencia sanitaria debido a la epidemia de obesidad.

Según los resultados obtenidos en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 (ENSANUT 2018); a nivel nacional, el 75.2% de adultos de 20 años o más presentaron sobrepeso y obesidad (39.1% sobrepeso y 36.1% obesidad), de igual forma, se observó que la prevalencia de obesidad fue más alta en mujeres (40.2%) y la prevalencia de sobrepeso fue mayor en hombres (42.5%), patrones observados en las dos encuestas nacionales previas (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006 y 2012) (Aschner, 2016; Rivera Dommarco *et al.*, 2013).

Aunado a lo anterior, hay que resaltar que los datos de obesidad infantil en México son alarmantes, ya que en la ENSANUT 2018, el 8.2% de los niños de 0 a 4 años presentaron sobrepeso, el 35.6% de los niños de 5 a 11 años presentaron sobrepeso y obesidad (18.1% y 17.5% respectivamente), el 41.1 % de mujeres de la población de 12 a 19 años presentaron sobrepeso y obesidad y el 35.8% de hombres de las mismas edades presentaron sobrepeso y obesidad (Campos Nonato *et al.*, 2018).

Como ya es de conocimiento, el origen y desarrollo de la obesidad es complejo, ya que se sabe que influyen diversos factores, como ambientales, socioculturales, fisiológicos, médicos, conductuales, genéticos, epigenéticos y muchos otros factores que contribuyen tanto a su causalidad como a su persistencia (Gadde *et al.*, 2018). En México, la tasa de prevalencia de obesidad presenta diferencias, por nivel socioeconómico, región geográfica y localidad; es así que, el sobrepeso y la obesidad se

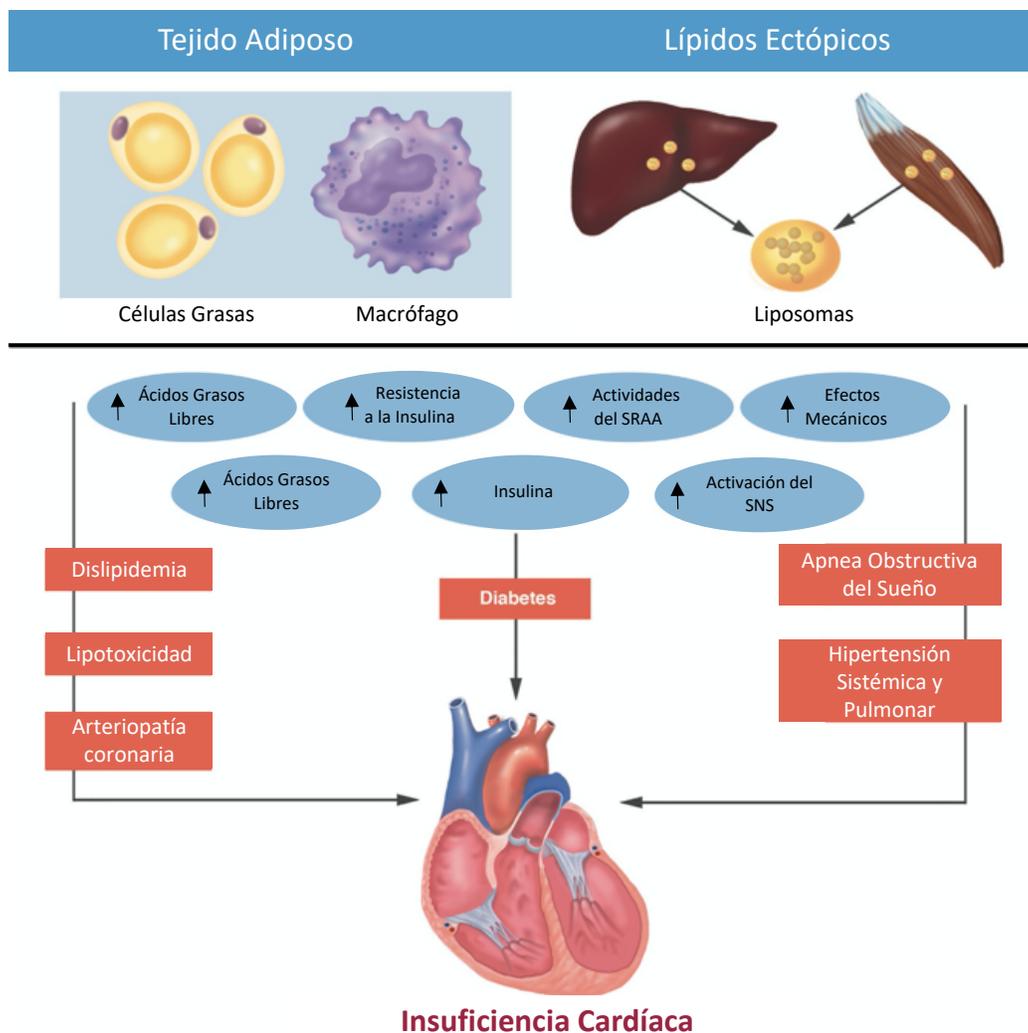
presentan con mayor frecuencia en el nivel socioeconómico alto, en las localidades urbanas y en la región norte del país (más cercanas a los Estados Unidos) en comparación con la región sur, centro y la Ciudad de México (Aschner, 2016; Barquera *et al.*, 2013). Sin embargo, según Campos Nonato *et al.* (2018), en el caso de las mujeres adultas, el sobrepeso y la obesidad se presentan con mayor frecuencia a menor nivel educativo y su aumento es más acelerado en el nivel socioeconómico bajo.

En la década de 1950, el científico Ancel Keys llevó a cabo una serie de estudios seminales, cuyo objetivo era conocer la importancia del colesterol para la salud cardiovascular, utilizando la ecuación de peso por altura al cuadrado y lo nombró como "índice de masa corporal" (IMC). No obstante, el término se generalizó hasta finales de la década de 1970, cuando se observó que el índice de masa corporal se correlacionaba con las medidas de grasa corporal y, lo que es más importante, con el estado de salud adverso entre los niños (Ahima, 2016).

En la actualidad, el índice de masa corporal (IMC) se define como el exceso de peso corporal para una altura determinada ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) (Gadde *et al.*, 2018) y es el estándar que se utiliza para clasificar un estatus nutricional en niños y adultos, que incluye al "sobrepeso" ( $\text{IMC } 25 \text{ A } 29.9 \text{ kg}/\text{m}^2$ ), y "obesidad" ( $\text{IMC } \geq 30 \text{ kg}/\text{m}^2$ ), y han sido relacionados con una serie de resultados preocupantes para la salud. Si bien, el IMC no es una verdadera medida de adiposidad, ya que no mide la distribución de la grasa y la circunferencia de la cintura, ha sido propuesta para estimar el porcentaje de grasa abdominal, una medición fácil de usar en exámenes de salud y encuestas epidemiológicas, que, con puntos de corte adecuados, pueden evaluar con fiabilidad la obesidad abdominal (Gadde *et al.*, 2018; Klünder-Klünder y Flores-Huerta, 2011; Lewis y Basu, 2016; Lavie *et al.*, 2018).

Se ha demostrado que un IMC elevado, por consiguiente, tendrá niveles elevados de ácidos grasos libres en plasma, lípidos intracelulares de tejido no adiposo, y depósitos del tejido adiposo ectópico, los cuales afectarán notablemente el sistema cardiovascular y pueden contribuir a la inflamación sistémica, a desarrollar resistencia a la insulina, y a una hiperactividad del sistema nervioso simpático. Asimismo, los efectos metabólicos y anatómicos del exceso de adiposidad pueden aumentar el riesgo de padecer muchas de

las enfermedades crónicas que constituyen los principales factores de riesgo cardiovascular y pueden conducir al desarrollo de diabetes (tanto mellitus como tipo 2), enfermedad del hígado graso no alcohólico, dislipidemias relacionadas con la obesidad, presión arterial alta y osteoartritis, hipertensión, síndrome metabólico, cáncer, demencia, arterioesclerosis, además de tener efectos adversos sobre la estructura y función cardíacas. Estos mecanismos fisiopatológicos y las enfermedades asociadas son los principales contribuyentes a la insuficiencia cardíaca relacionada con la obesidad (figura 1) (Ahima, 2016; Gadde *et al.*, 2018; Lavie *et al.*, 2016).



**Figura 1.** Principales factores de riesgo asociados con la adiposidad para desarrollar insuficiencia cardíaca y otras comorbilidades relacionadas con el peso. Fuente: Gadde *et al.* (2018).

### 3.3.1. Dislipidemia

También conocida como hiperlipidemia; es una enfermedad crónica que se presenta con niveles anormales de lípidos en plasma. Los lípidos de interés en sangre son el colesterol, triglicéridos y lipoproteínas (LDL, HDL Y VLDL) (Canalizo-Miranda *et al.*, 2013; Davidson, 2020).

Los niveles de lípidos pueden volverse anormales debido a los cambios que ocurren con el envejecimiento, diversos trastornos (incluidos los hereditarios), el uso de ciertas drogas o el estilo de vida (como consumir una dieta alta en grasas saturadas, estar físicamente inactivo o tener sobrepeso). Las dislipidemias se pueden categorizar en:

- **Primarias:** Ocasionadas por causas genéticas
- **Secundarias:** Se originan por diversos factores, como un estilo de vida sedentario, alto consumo de grasas saturadas, colesterol y grasas trans (Bañuelos Martínez *et al.*, 2016; Davidson, 2020; NOM-037-SSA2-2002). Sin embargo, existen otras causas secundarias, que pueden contribuir al desarrollo de la dislipidemia, y pueden ser: Diabetes mellitus, abuso de alcohol, enfermedad renal crónica, hipotiroidismo, cirrosis biliar primaria, tabaquismo, infección por VIH, entre otras (IMSS, 2015).

El siguiente cuadro muestra los niveles de lípidos en sangre y los criterios asociados.

Lípidos	Recomendable	Limítrofe (mg/dL)	Criterio
LDL	70 - 130	130 - 159	valores más bajos son mejores
HDL	> 50	-	valores más altos son mejores
Colesterol total	<200	200 - 239	
Triglicéridos	10 - 150	150 - 200	valores más bajos son mejores

Adaptado de: NOM-037-SSA2-2002; Davidson, 2020.

En la NOM-037-SSA2-2002 se identifican varios tipos de dislipidemias según su diagnóstico, y son:

- **Hipercolesterolemia pura o aislada:** Aumento únicamente de colesterol, siendo este > a 200 mg/dL, triglicéridos < a 200 mg/dL y colesterol LDL igual o mayor a 130 mg/dL.
- **Hipercolesterolemia leve:** Colesterol total de 200 - 239 mg/dL.
- **Hipercolesterolemia moderada:** Colesterol total de 240 - 300 mg/dL.
- **Hipercolesterolemia severa:** Colesterol total > de 300 mg/dL.
- **Hipertrigliceridemia pura o aislada:** Aumento únicamente de triglicéridos, siendo este > de 200 mg/dL, colesterol total < 200 mg/dL y colesterol LDL < de 130 mg/dL.
- **Dislipidemia mixta o combinada:** Colesterol total > de 200 mg/dL, triglicéridos > de 200 mg/dL y Colesterol de LDL  $\geq$  a 130 mg/dL.
- **Hipoalfalipoproteinemia:** Colesterol de HDL < 35 mg/dL.

### 3.3.1.1. Tratamientos para el control de dislipidemias

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) constituyen la principal causa de morbimortalidad en el mundo, estas incluyen a la aterosclerosis, la enfermedad cerebrovascular con el infarto agudo de miocardio y el ataque cerebrovascular siendo estos los que más mortalidad provocan. Diversas investigaciones, concluyen que la dislipidemia constituye un factor de riesgo para el desarrollo de ECV. Debido a esto, es de gran importancia el control del perfil lipídico, especialmente el colesterol de baja densidad (cLDL) (Fontalvo *et al.*, 2021; Muñoz *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2021).

Muchos investigadores han demostrado los efectos beneficiosos de las estatinas que reducen el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (C-LDL) sobre el riesgo de episodios de enfermedad arterial coronaria (EAC) en pacientes con o sin enfermedad CV (CVD) (Hariyanto *et al.*, 2021; Jang *et al.*, 2021; Opoku *et al.*, 2021). han reducido significativamente la carga de enfermedad CV aterosclerótica (Parolini, 2021). Por todo

esto, el manejo de la dislipidemia es clave para la prevención de eventos cardiovasculares (Shin *et al.*, 2021).

La terapia con estatinas es el tratamiento de primera línea para la prevención primaria de la enfermedad cardiovascular aterosclerótica en pacientes con factores de riesgo importantes como un nivel elevado de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL-C), diabetes mellitus, síndrome metabólico, enfermedad renal crónica y afecciones inflamatorias crónicas, constituyéndose en la actualidad, como la columna vertebral de todas las terapias para las enfermedades cardiovasculares (Jang *et al.*, 2021; Srisawasdi, *et al.*, 2021).

Las estatinas inhiben la 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A (HMG-CoA) reductasa, lo que reduce la biosíntesis de colesterol hepático y conduce a la regulación positiva de los receptores de LDL de la superficie celular, que actúan como uniones lipídicas para las moléculas de señalización intracelular (Hariyanto y Kurniawan, 2021; Srisawasdi, *et al.*, 2021).

### **3.3.2. Colesterol**

Es un componente estructural esencial de la membrana plasmática, de las células cerebrales y nerviosas, y un componente de la bilis, que mantiene la barrera entre las células y su entorno; además, ayuda al cuerpo a absorber las grasas y las vitaminas liposolubles.

El cuerpo utiliza el colesterol para la síntesis de vitamina D, ácidos biliares, y varias hormonas esteroideas como el estrógeno, la testosterona y el cortisol; puede producir todo el colesterol que necesita, pero también lo obtiene de los alimentos.

Cuando los niveles de colesterol son anormales, se pueden presentar diversos problemas; es así que, si el suministro de colesterol es insuficiente (hipolipidemia), se producen efectos perjudiciales en la función celular, desarrollo de los tejidos, y en el funcionamiento del cuerpo (Yu *et al.*, 2019); mientras que el exceso de colesterol,

también conocido como trastorno lipídico, dislipidemia, hiperlipidemia o hipercolesterolemia, tiene consecuencias patológicas como es la arterioesclerosis, que es la base patológica de la mayoría de las enfermedades cardiovasculares, incluyendo el infarto de miocardio, el accidente cerebrovascular y la enfermedad de las arterias periféricas (Canalizo-Miranda *et al.*, 2013; Davidson, 2020; NOM-037-SSA2-2002; Yu *et al.*, 2019).

### **3.3.3. Triglicéridos**

Los triglicéridos se forman de la unión de tres moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerol, y constituyen la forma que tiene el organismo para almacenar energía en forma de grasa (lípidos).

Debido a que los triglicéridos son moléculas insolubles en agua y, por lo tanto, no pueden circular libremente en la sangre, requieren de ciertos vehículos para poder circular por el torrente sanguíneo, a estos se los conoce como lipoproteínas, y son portadoras de grasas como el colesterol y los triglicéridos.

Los triglicéridos se pueden obtener a través de dos vías, una endógena (hígado) y una exógena (dieta). Las grasas consumidas en la dieta y que no son utilizadas inmediatamente por el organismo, son absorbidas por el intestino en forma de ácidos grasos, para posteriormente ser transportadas por el torrente sanguíneo por medio de las lipoproteínas, hacia el hígado para su metabolización y resíntesis; es aquí de donde se obtiene la segunda fuente de triglicéridos.

El hígado, no solo utilizará la grasa proveniente de los alimentos para formar parte de los triglicéridos, sino también carbohidratos presentes en este órgano, principalmente que han sido consumidos en exceso. Pero, para que los triglicéridos transformados en el hígado lleguen a las células para su almacenamiento, deben ser transportados por las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), que también los llevan a las células musculares y otras células, para que cuando el organismo lo requiera, ser liberados en forma de energía para sus procesos metabólicos (Canalizo-Miranda *et al.*, 2013; Davidson, 2020; Rioja salud, s.f.).

### **3.3.4. Lipoproteínas**

Son proteínas sintetizadas en el intestino y en el hígado. Su función es de empaquetar al colesterol y los triglicéridos con proteínas y otras sustancias. Existen diferentes tipos de lipoproteínas, entre las que se encuentran los quilomicrones, lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL), lipoproteínas de alta densidad (HDL).

El colesterol transportado por las LDL se llama colesterol LDL, y el colesterol transportado por las HDL se llama colesterol HDL

En el intestino, se sintetizan las lipoproteínas llamadas quilomicrones, que son los encargados de transportar a los triglicéridos (obtenidos de la dieta) a través del torrente sanguíneo hacia el hígado. Mientras que las lipoproteínas que se sintetizan en el hígado se conocen con el nombre de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (Canalizo-Miranda *et al.*, 2013; Davidson, 2020; Rioja salud, s.f.).

### **3.4. Seguridad alimentaria**

“La seguridad alimentaria se da cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos inocuos, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable” (FAO, 2019; FAO, 2013). La definición de seguridad alimentaria está formada por cuatro elementos o dimensiones primordiales: disponibilidad de alimentos, estabilidad, acceso y control, consumo y utilización biológica (CONEVAL, 2010; FAO, 2019; Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2018).

### **3.5. Alimentación saludable**

Calañas-Continente y Bellido (2006), afirman que una dieta se considera saludable cuando favorece el buen estado de salud y disminuye el riesgo de padecer enfermedades crónico-degenerativas. Debido a esto, existen diversos parámetros nutricionales que se

deben cumplir para que se considere una alimentación saludable, los cuales se encuentran determinados en función de la edad, sexo, actividad física y estado fisiológico de la persona (OMS, 2018b), y se conocen como ingesta diaria recomendada (IDR); algunos de los cuales se encuentran representados en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Ingesta diaria recomendada para un adulto de  $\geq 30$  años, aprox 60 kg y de 1.65 m<sup>1</sup>.

Análisis por 100 g	IDR/día Adulto 2000 kcal <sup>1</sup>
Calorías	2000
Grasas totales (g)	66.7
Colesterol (mg)	<200
Sodio (g)	1.5
Carbohidratos totales (g)	300
Fibra dietética (g)	35
Proteína (g)	75
Calcio (mg)	1000
Hierro (mg)	21
Potasio (mg)	4700
Vitamina D ( $\mu\text{g}$ )	5

<sup>1</sup>= Antoniazzi *et al.* (2021); Bourges-Rodríguez *et al.* (2005); Meyers *et al.* (2006).

### 3.6. Alimentos funcionales

Se han realizado investigaciones identificando sustancias bioactivas y nutrientes convencionales en alimentos que proporcionan efectos benéficos y resultan extraordinariamente útiles para la prevención de enfermedades e incluso para su tratamiento (Stephen *et al.*, 2002).

Con el paso del tiempo, y gracias a las nuevas exigencias sociales y de salud, la alimentación conceptualmente hablando ha sufrido muchos cambios, lo que ha generado la creación de los alimentos funcionales, los cuales además de sus funciones nutritivas generales, presentan ciertas propiedades para el mantenimiento de la salud (Luengo Fernández, 2007).

La convicción de desarrollar alimentos funcionales surgió por primera vez en Japón en la década de 1980 cuando se enfrentaba a una escalada de los costos de atención médica, no obstante, el término "alimento funcional" surgió por primera vez en Japón en la revista Nature en 1993 (Henry, 2010; Luengo Fernández, 2007).

En este sentido, y hasta la fecha, Japón es el único país que ha formulado un proceso de aprobación regulatorio específico para alimentos funcionales, conocidos como Alimentos para Uso Específico de la Salud (FOSHU), estos alimentos son elegibles para llevar un sello de aprobación del Ministerio de Salud y Bienestar de Japón (Arai, 2002; Olagnero *et al.*, 2007; Ono y Ono, 2015).

En la actualidad no existe un consenso sobre la definición de "alimento funcional", por lo que en la literatura se pueden encontrar distintas definiciones, entre las que se encuentran las siguientes:

- La definición proporcionada por Health Canada: "Alimentos convencionales o modificados, que se ha demostrado que tienen beneficios específicos o especiales para la salud, además de proporcionar nutrientes básicos y beneficios nutricionales" (Stephen *et al.*, 2002).
- Instituto Internacional de Ciencias de la Vida en Europa (ILSI-EUROPE): "*Un alimento puede considerarse funcional si ha demostrado satisfactoriamente que afecta de manera beneficiosa a una o más funciones del organismo, más allá de sus efectos nutricionales, de manera que es relevante tanto para mejorar el estado de salud y bienestar como para reducir alguno de los factores de riesgo de enfermedades*" (Aranceta Bartrina *et al.*, 2011).
- Functional Food Center (FFC) define a los alimentos funcionales como: "*Alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicamente activos; que, en cantidades definidas, efectivas y no tóxicas, proporciona un beneficio de salud clínicamente probado y documentado que utiliza biomarcadores específicos para la prevención, el tratamiento o el tratamiento de enfermedades crónicas o sus síntomas*" (Gur *et al.*, 2018).

Además de estas, se pueden encontrar otras definiciones para alimentos funcionales, propuestas por distintas organizaciones, y que se presentan en el cuadro 7.

---

**Cuadro 7. Definiciones para Alimento Funcional.**

---

The Institute of Food Technologists (IFT)	“Alimentos y componentes de alimentos que proporcionan un beneficio para la salud más allá de la nutrición básica. Estas sustancias proporcionan nutrientes esenciales a menudo más allá de las cantidades necesarias para el mantenimiento, crecimiento y desarrollo normales, y / u otros componentes biológicamente activos que impactan los beneficios para la salud”.
The Institute of Medicine of the U.S. National Academy of Sciences.	“Los alimentos que abarcan productos potencialmente saludables, incluidos los alimentos modificados o los ingredientes alimentarios que pueden proporcionar un beneficio para la salud más allá de los nutrientes que contiene”.
Foods for Special Dietary Use (As defined by the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act).	“Un uso particular para el cual un alimento se usa o representa para ser usado, incluyendo lo siguiente: -Asumir una necesidad dietética especial que exista por una condición fisiológica, patológica o física. -Aportar una vitamina, mineral u otros ingredientes para el uso humano para complementar la dieta al aumentar la ingesta dietética total. -Cumplir una necesidad dietética especial por ser un alimento para nosotros como único elemento de la dieta ”.
American Dietetic Association	Clasifica todos los alimentos como funcionales a cierto nivel fisiológico, ya que los alimentos proporcionan nutrientes, crecimiento o mantienen procesos vitales.
FFC (2014).	“Alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicamente activos conocidos o desconocidos; que, en cantidades definidas, efectivas y no tóxicas, proporciona un beneficio de salud clínicamente probado y documentado para la prevención, el tratamiento o el tratamiento de enfermedades crónicas ”.

---

Adaptado de: Gur *et al.* (2018).

### 3.7. Beneficios del consumo de alimentos funcionales

Para que un alimento sea considerado como funcional, en primer lugar, debe ser consumido de manera regular en la dieta, asimismo, se debe probar que tiene un efecto

nutricional adecuado y que influye de forma positiva en una o varias funciones del organismo, de tal manera que contribuya a mejorar la salud y el bienestar, así como, a reducir el riesgo de aparición de enfermedades. Sin embargo, es necesaria la combinación de estos alimentos a un estilo de vida sano, para así contribuir de forma positiva a mejorar la salud (Luengo Fernández, 2007).

Actualmente, 100 productos están autorizados como alimentos FOSHU en Japón (Hasler, 1998), entre los beneficios de estos alimentos, legalmente aprobados en dicho país, se encuentran:

Regulación inmune, aplazamiento de la senilidad, mejora de la memoria, promoción del crecimiento y desarrollo, antifatiga, reducción de peso corporal, tolerancia al déficit de oxígeno, protección contra las radiaciones, anti-mutación, antitumoral, regulación de lípidos en sangre, mejora de la potencia sexual, regulación de la glucosa en sangre, mejora de la función gastrointestinal, mejora del sueño, mejora de la anemia nutricional, protección del hígado contra el daño químico, mejora de la lactancia, mejora de la belleza, mejora de la visión, promoción de la remoción de plomo, la eliminación de "calor intenso" de la garganta y humectación de la garganta, regulación de la presión arterial y mejora de la calcificación ósea (Arai, 2002).

### **3.8. Alimentos enriquecidos y fortificados**

Existen múltiples razones por las que se adicionan nutrimentos a distintos alimentos, estas pueden ser: tener la misma cantidad de nutrimentos que presentaba el alimento antes del procesamiento; corregir la variabilidad natural de los nutrimentos (estandarización); incrementar la cantidad original de nutrimentos presentes en un alimento o producto (enriquecimiento); adicionar nutrimentos que por naturaleza no se presentan en el alimento o producto (fortificación) (Badui Dergal, 2006).

El Codex Alimentarius (1987) define la fortificación de alimentos como "*La adición de uno o más nutrientes esenciales a un alimento, ya sea que esté o no normalmente contenido en el alimento, con el fin de prevenir o corregir una deficiencia demostrada de*

*uno o más nutrientes en la población o grupos específicos de la población" (Preedy et al., 2013).*

Por otro lado, el Código Alimentario Argentino define a los "alimentos enriquecidos" como *"aquellos a los que se han adicionado nutrientes esenciales (Vitaminas y/o minerales y/o proteínas y/o aminoácidos esenciales y/o ácidos grasos esenciales) con el objeto de resolver deficiencias de la alimentación que se traducen en fenómenos de carencia colectiva"* (MAGyP, 2014).

### **3.9. El maíz**

#### **3.9.1. Generalidades**

El maíz pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas. Es la única especie cultivada de este género (*Zea*), debido a que las otras especies del género *Zea* (teocintle) y las del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo, son formas salvajes parientes de *Zea mays* (Acosta, 2009).

Es una planta anual, alta de entre 1 y 5 m de alto. Su tallo presenta pocas ramificaciones y está compuesto de nudos y entrenudos. Las hojas nacen de los nudos y se encuentran abrazadas al tallo por medio de una vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral. Es una planta monoica, por lo cual presenta flores unisexuales bien definidas. La inflorescencia masculina (Panícula o espiga) es terminal y consta de un eje central o raquis y ramas laterales, a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas las cuales están protegidas por brácteas o glumas, que contienen las flores las cuales poseen estambres donde se desarrolla el polen.

Por otro lado, las inflorescencias femeninas (mazorcas), son espigas de forma cilíndrica formadas por un raquis central (olote) donde se encuentran las espiguillas cada una con dos flores una fértil y otra abortiva estas flores tienen un ovario y un estilo donde germina el polen. Las mazorcas pueden formar de 400 a 1000 granos arreglados en un promedio de ocho a 24 hileras por mazorca. Los granos están conformados por

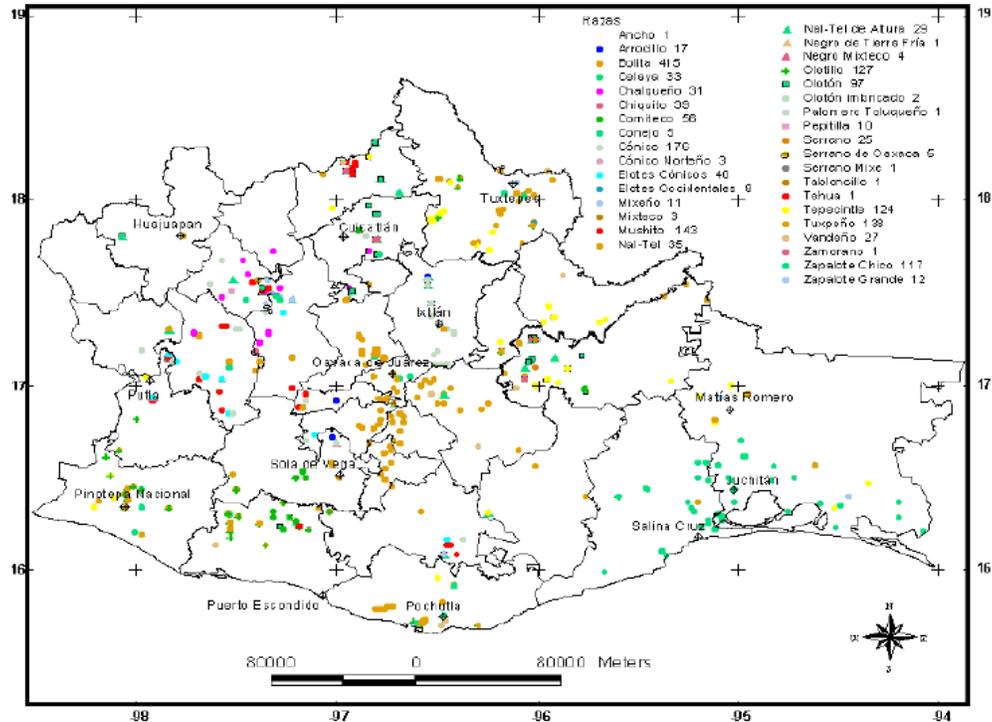
pericarpio, endospermo y embrión característico de los cereales (Kato Yamakake *et al.*, 2009).

### **3.9.2. Origen, domesticación y diversificación del maíz**

Mesoamérica es considerado el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (forma cultivada del género *Zea*). Existen varias teorías sobre el ancestro de este género, sin embargo, la teoría actualmente aceptada es que el maíz evolucionó progresivamente del teocintle, ya que entre estos existe una estrecha relación biológica.

En lo que toca a su domesticación y diversificación, existen dos teorías con respecto a su origen: a) tuvo un origen multicéntrico, y b) tuvo un origen unicéntrico.

El origen multicéntrico quiere decir que el maíz proviene de varios centros de domesticación a partir de diferentes poblaciones de teocintle; mientras que, el origen unicéntrico hace referencia a la teoría de un evento único de domesticación a partir de las poblaciones del teocintle de la raza Balsas o subespecie (*ssp.*) *parviglumis*. En todo el territorio americano se conocen entre 220 y 300 razas de maíz, mientras que, en el territorio mexicano, diversos estudios concluyen que existen entre 41 y 65 razas de maíz (Kato Yamakake *et al.*, 2009), además, señalan al Estado de Oaxaca como una de las áreas más antiguas de su domesticación y diversificación, dónde se encuentran aproximadamente 35 razas de maíz, el 54% de las razas reportadas en el país (Rendón-Aguilar *et al.*, 2015). La figura 2 ejemplifica la ubicación de las razas en el estado de Oaxaca.



**Figura 2.** Distribución de razas de maíz en el Estado de Oaxaca. Fuente: Ramírez-Jaspeado (2012).

### 3.9.3. Consumo per cápita del maíz

Se considera que el grano de maíz constituye la base de la dieta de la población mexicana (SIAP, 2017). Como ya se dijo, en México, existen entre 41 y 65 razas nativas de maíz de las cuales aproximadamente 35 se encuentran en Oaxaca (Fernández Suárez *et al.*, 2013; Rendón-Aguilar *et al.*, 2015). Estas razas presentan una amplia gama de colores, formas y tamaños; sin embargo, la mayor producción de maíz en México corresponde a maíces blancos y amarillos (Rooney y Serna-Saldivar, 2015; Kato Yamakake *et al.*, 2009), siendo la raza blanca de maíz la que se produce en México principalmente, cuyo volumen de producción satisface en su totalidad la demanda nacional y se destina casi exclusivamente para el consumo humano (51.3%). Su producción se lleva a cabo principalmente en cuatro estados: Sinaloa, Jalisco, México y Michoacán (SIAP, 2018), lo que representa el 54.5% de la producción nacional.

En el 2015, la producción anual de maíz blanco fue de 21.1 Mt (millones de toneladas), con lo que se estimaba que cada habitante de México contaba con 188

kilogramos al año para su consumo, esto equivale a poco más de medio kilo por día. Para el 2016, el consumo nacional del maíz blanco tuvo un incremento y fue de 23.67 Mt (SIAP, 2018). Sin embargo, para el año 2030 se estima que el consumo nacional de maíz blanco tendrá un decremento de 23.67 a 22.86 MMt (SAGARPA, 2017). Según el SIAP (2019), el consumo maíz blanco destinado a la producción de alimentos para humanos durante el periodo octubre 2017/septiembre 2018, fue de 13 011 Mt.

#### **3.9.4. Razas de maíz utilizadas para la elaboración de productos nixtamalizados**

De la gran variedad de razas de maíz que existen en México (41 a 65 razas de maíz) (Antuna Grijalva *et al.*, 2008; Herrera-Sotero *et al.*, 2017; Kato Yamakake *et al.*, 2009), únicamente 25 son utilizadas para consumo humano. A estas razas se les han realizado diversos estudios y cruzamientos con el objetivo de obtener razas con características genéticas mejoradas, que posean alto contenido nutricional (cuadro 8), y que presenten características de importancia para el proceso de nixtamalización y posterior producción de tortilla (Antuna Grijalva *et al.*, 2008), ya que se sabe que la calidad de la tortilla está determinada por las características del grano. Entre las características deseadas, se busca que el grano produzca masas con alto contenido de humedad, buena extensibilidad, buena cohesividad y adhesividad, resistencia, entre otras (Antuna Grijalva *et al.*, 2008; Jiménez-Juárez *et al.*, 2012).

Por lo general, en las áreas rurales del país, la elaboración de las tortillas se realiza con maíz cosechado en la misma localidad y generalmente es maíz blanco, amarillo o de colores, mientras que para la elaboración de tortillas de manera industrial se utilizan maíces de color blanco y de textura intermedia (Jiménez-Juárez *et al.*, 2012).

**Cuadro 8.** Contenido nutricional en maíz blanco.

Nutriente	Valores
Agua (mL)	30.77*
Energía (kcal)	449
Proteína (g)	11.17
Grasa (g)	4.45
Ceniza (g)	0.98
Fibra dietética total (g)	12.19
Fibra dietética insoluble (g)	10.94
Fibra dietética soluble (g)	1.25
Almidón (g)	70.4-73.4***
Calcio (mg)	38.0
Fósforo (mg)	299.6****
Magnesio (mg)	93.6
Sodio (mg)	27.5
Potasio (mg)	283.4
Hierro (mg)	-
Zinc (mg)	-
Cobre (mg)	-

Adaptado de: Rooney y Serna-Saldivar (2015); \*\*\*base seca;\*\*\*Vázquez-Carrillo *et al.* (2014); \*\*\*\*(mg/100 g); \*\*\*\*Castañeda-Sánchez, (2011).

### 3.10. Nixtamalización del maíz

La nixtamalización es un tratamiento térmico alcalino (Figura 3), en el cual los granos de maíz se cocinan en agua y cal, se remojan durante un periodo de 12 a 16 horas, y luego el grano cocido, denominado nixtamal, se lava y se muele para obtener la masa (Quintanar Guzmán *et al.*, 2011, Villada *et al.*, 2017). El proceso de nixtamalización es el responsable de las características fisicoquímicas, térmicas, nutricionales y sensoriales de los productos de maíz nixtamalizados. Gracias a este proceso se aumenta el valor nutricional del maíz, se mejora el sabor y el aroma de los productos alimenticios y se reduce el contenido de micotoxinas no deseadas (Martínez-Velasco *et al.*, 2018). Uno de los objetivos de la nixtamalización es suavizar el pericarpio del maíz y así permitir que el germen y el endospermo absorban agua y calcio, y los granos de maíz se ablanden, facilitando así su molienda húmeda (Amador-Rodríguez *et al.*, 2019).

Tradicionalmente, el maíz era procesado mediante su cocción y remojo con cal (CaO) o con ceniza de madera, desechando el líquido en el que se realizaba la cocción (*nejayotl*) y frotando el *nixtamlli* ya suave entre las manos para así remover el pericarpio. El producto lavado (nixtamal) es molido a mano, con una piedra cilíndrica sobre una

superficie de piedra plana (*metatl*). La masa resultante llamada *tamalli* fue la columna vertebral para la producción de muchos alimentos básicos como las tortillas, tamales, bebidas, entre otros (Quintanar Guzmán *et al.*, 2011; Rooney y Serna-Saldivar, 2015).



**Figura 3.** Maíz en proceso de nixtamalización. Tomado de: <http://newsnet.conacytprensa.mx/index.php/fotostock/5671-mujeres-y-agroecologia-una-alianza-natural/44233-mai-z-en-proceso-de-nixtamalizacio-n-foto-cortesi-a-dra-vero-nica-vazquez-del-colpos>.

### 3.11. La tortilla

Las tortillas se obtienen a partir de trozos de masa nixtamalizada (*textli*), que han sido colocados y prensados en discos redondos y delgados de metal, para posteriormente ser cocidos sobre una superficie de arcilla circular y caliente llamada *comalli*. El tamaño y el grosor de las tortillas es muy variable. También, existen otros tipos de tortillas prehispánicas que se conocen como *tlacoyos* o *tlatloyos*, y las tlayudas.

Los tlacoyos son tortillas gruesas y ovaladas elaboradas a partir de una mezcla de masas y frijoles cocidos y machacados (Rooney y Serna-Saldivar, 2015). La producción de masas y tortillas originó los chips de tortilla, los cuales son el segundo producto más consumido en la actualidad.

La tortilla es el producto nixtamalizado más relevante y mayormente consumido entre los mexicanos (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016; Quintanar Guzmán *et al.*, 2011; Rooney y Serna-Saldivar, 2015). Aproximadamente el 82% de los hogares consumen tortilla (Fernández Suárez *et al.*, 2013), siendo la tasa de consumo en el 2010 de

aproximadamente 90 kg/habitante/año (Martínez-Velasco *et al.*, 2018). Otros autores afirman que el consumo per cápita de tortilla de maíz en el 2012 fue de 78.5 kg; sin embargo, el consumo fue superior en algunos grupos en el territorio mexicano, alcanzando aproximadamente los 120 kg (Rooney y Serna-Saldivar, 2015).

Según Calderón-Peralta *et al.* (2016) en México, el consumo anual de tortilla es de 120 kg per cápita, lo que corresponde a 328 g de tortilla / persona por día. Son comúnmente consumidas por poblaciones urbanas y rurales de México y constituyen una fuente importante de calorías diarias (aproximadamente 50-70%), 50% de y proteínas (Martínez-Velasco *et al.*, 2018) (cuadro 9). Para febrero de 2019, el precio de la tortilla fue de 14.61 pesos (FND, 2019).

<b>Cuadro 9.</b> Contenido nutricional en tortillas de maíz nixtamalizado.	
Nutriente	Valor
Humedad (mL)	41.9
Energía (kcal)	238.3
Proteína (g)	6.5
Grasa (g)	2.53
Ceniza (g)	0.90
Fibra dietética total (g)	7.4
Fibra dietética insoluble (g)	6.3
Fibra dietética soluble (g)	1.1
Almidón (g)	44.9
Calcio (mg)	92.8
Fósforo (mg)	162.6
Magnesio (mg)	69.7
Sodio (mg)	13.3
Potasio (mg)	205.3
Hierro (mg)	2.5
Zinc (mg)	2.5

Adaptado de: Bressani, (1990); Mendoza-Elos *et al.* (2006); Rooney y Serna-Saldivar, (2015).

### 3.12. Tlayudas

Son tradicionales de los valles centrales de Oaxaca (FAO, 1991; Vasconcelos Ramírez *et al.*, 2018), de gran tamaño (aproximadamente 30 a 40 cm de diámetro), larga vida de anaquel debido a su textura semi-tostada, y a la cocción excesiva (Ramírez Jaspeado *et al.*, 2012; Rooney y Serna-Saldivar, 2015). Históricamente se preparaban con maíz de la

raza "Bolita", argumentando que con esta variedad de maíz se obtiene una textura particular debido a sus atributos para la elaboración de masa. Además, con esta raza de maíz se logra excelente sabor y color en la tlayuda (Aragón Cuevas *et al.* 2006; Mejía Ramírez, 2018; Ramírez Jaspeado *et al.*, 2012; Turrent Fernández *et al.*, 2012).

No obstante, en la actualidad debido a la escasez de esta variedad de maíz, se utiliza maíz "larguito" o maíz criollo para la elaboración de tlayudas, la producción de tlayudas con este último incrementa su precio de venta (Vasconcelos Ramírez *et al.*, 2018). Cabe señalar que la elaboración de las tlayudas recae exclusivamente sobre las mujeres, las cuales transfieren el conocimiento de su preparación de generación en generación. Para las cuales, el proceso de elaboración de tlayudas representa una fuente de ingreso para sus familias (Mejía Ramírez, 2018; Vasconcelos Ramírez *et al.*, 2018).

Vasconcelos Ramírez *et al.* (2018), en su estudio reportaron que las mujeres encargadas de la elaboración de tlayudas, preparan en un día de trabajo aproximadamente 200 tortillas entre tlayudas y blandas, las cuales pueden ser intercambiadas en el mismo municipio, en municipios cercanos y en menor número en mercados tradicionales de Oaxaca (Mejía Ramírez, 2018).

### **3.13. Otros productos del maíz**

La mayor producción de maíz en México corresponde principalmente a maíces blancos, los cuales se utilizan como ingrediente para la preparación de gran variedad de alimentos que incluyen diferentes tipos de tortillas, entre las que se encuentran los "tlacoyos" y las "tlayudas". Asimismo, se emplea para la elaboración de distintos tipos de bebidas como el atole y el champurrado, y un sinnúmero de tamales (aproximadamente 600), caldos (Pozole o menudo), bebidas (atole, champurrado, tejate, pozol), pinol, tamales (Rooney y Serna-Saldivar, 2015; Kato Yamakake *et al.*, 2009), por lo que se considera que el grano de maíz constituye la base de la dieta de la población mexicana (SIAP, 2017).

### 3.14. Consumo de leña para preparación de alimentos

En algunas zonas rurales del país se continúa empleando leña como combustible para fogones, esta leña proviene principalmente de árboles, ramas y arbustos muertos (figura 4), sirviendo como un mecanismo de ayuda para la conservación de los bosques y prevención de incendios forestales; sin embargo, su uso desmedido ha provocado el deterioro acelerado de estos (Figuroa *et al.*, 2003; Vázquez Calvo *et al.*, 2016).

Los fogones tradicionales que se han utilizado por muchos años son casi a nivel del suelo o sobre pretilos (figura 5), los cuales han demostrado que son poco eficientes en la generación de calor y emiten gran cantidad de humo (figura 6), provocando grandes efectos negativos sobre la salud, como algunas enfermedades de las vías respiratorias, molestias oculares y dolor de cabeza (Díaz Jiménez *et al.*, 2011; Figuroa *et al.*, 2003).



**Figura 4.** Fogón tradicional y leña utilizados para la preparación de tlayudas. Tomado de: <https://www.yelp.com.mx/biz/tianguis-gastronomico-gadoo-gush-santa-cruz-xoxocotlan>.



**Figura 5.** Fogón a nivel del suelo. Tomado de: <https://sipse.com/novedades/chetumal-uso-estufas-ecologicas-lena-carbon-cocinar-alimentos-cerrados-zona-rural-aumento-279277.html>.



**Figura 6.** Emisión de humo durante preparación de tlayudas. Tomado de: <https://pinodebate.blogspot.com/2017/09/humo-de-la-lena-amenaza-de-muerte-para.html>.

Con respecto a esto, se han llevado a cabo varios estudios para conocer la cantidad de leña utilizada para este fin. En un estudio realizado en la mixteca poblana se determinó que el consumo de leña es de aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/familia/año, siendo el consumo medio mensual necesario para cubrir las necesidades de energía en la cocina de las familias campesinas de 500 kg de leña (Vázquez Calvo *et al.*, 2016).

Otro estudio realizado por la Agencia de Desarrollo Rural de la mixteca poblana dio a conocer que en esta región el promedio utilizado por familia es de 10 leños/día (FAO y SAGARPA, 2007). La Agencia de Desarrollo Rural de la Sierra Mixe en Oaxaca, afirmó que el consumo de leña es de 20 a 25 m<sup>3</sup>/familia/año.

En México, alrededor de 28 millones de personas utilizan leña para preparar alimentos, debido a esto, la leña es un recurso cada vez más escaso en el cual las familias invierten cada vez más tiempo y recursos para su obtención (Vázquez Calvo *et al.*, 2016). Varias organizaciones se han interesado en buscar alternativas a las estufas tradicionales y han demostrado que el uso de estufas ahorradoras de leña reduce el consumo de esta entre un 60 y 70%, lo que representa una disminución en la tala de 32 a 10 árboles por año por familia (FAO y SAGARPA, 2007; Vázquez Calvo *et al.*, 2016). Su uso minimiza los efectos negativos sobre la salud, permiten que el humo y las cenizas salgan de la casa, mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros (Díaz Jiménez *et al.* 2011; FAO y SAGARPA, 2007; Vázquez Calvo *et al.*, 2016).

#### IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las principales causas de muerte en México y en el mundo, son la obesidad y enfermedades asociadas, las cuales se encuentran relacionadas a una vida sedentaria, edad avanzada y mala alimentación. No obstante, en la actualidad la preocupación de las personas por una mejor nutrición ha ido en ascenso, pues se ha comprobado que existe una estrecha relación entre la alimentación y la salud, en consecuencia, los consumidores prefieren alimentos que también beneficien su salud, prefiriendo productos naturales.

Los hongos, como productos naturales han sido muy apreciados en la alimentación y la medicina desde hace milenios. En México, su consumo viene desde tiempos prehispánicos y constituyen el alimento de origen microbiano más importante para el consumo humano directo. Lo anterior se debe a sus aportaciones a la dieta ya que contienen vitamina D, complejo B, potasio, fósforo y selenio, micronutrientes esenciales para la dieta humana y cuya función principal es proteger los lípidos de la membrana celular contra los daños ocasionados por radicales libres (Martínez-Carrera *et al.*, 2016). Existe información sobre el efecto potencial de las propiedades funcionales presentes en ciertos hongos como *Ganoderma lucidum*. Por ello, este hongo es utilizado como ingrediente para la elaboración de suplementos alimenticios, bebidas funcionales (Martínez-Carrera *et al.*, 2014), tés, con café, entre otros.

Por otro lado, existen numerosos estudios en los que se ha mejorado el valor nutricional de las tortillas mediante la fortificación de proteínas o utilización de maíz con alto contenido de lisina (Amaya-Guerra *et al.*, 2006; Figueroa Cárdenas *et al.*, 2003; Mora-Avilés *et al.*, 2007; Waliszewski *et al.*, 2002; Waliszewski *et al.*, 2000), así como con la suplementación con vitaminas o minerales (Figueroa Cárdenas *et al.*, 2003; Fleischman y Oinuma, 2011). También, se han llevado a cabo estudios en los que se han enriquecido tortillas mediante la adición de metabolitos secundarios (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016), y con hongos que presentan propiedades funcionales (Flores

Sotelo, 2007; Páramo-Calderón *et al.*, 2019). A la fecha, no se tienen registros sobre la adición de extractos de hongos medicinales en tlayudas de la región de Oaxaca, México.

En la presente tesis, se generaron evidencias científicas sobre el efecto de los extractos estandarizados del hongo medicinal *G. lucidum*, adicionado a tlayudas, para incorporar compuestos bioactivos fúngicos en su composición, con el fin de apoyar la alimentación saludable de las comunidades rurales de Oaxaca, México, así como agregar valor al nuevo producto desarrollado.

## V. HIPÓTESIS

### HIPÓTESIS GENERAL

La adición de extractos de *Ganoderma lucidum* Testigo y *G. lucidum* Ácido acetilsalicílico aumentarán las propiedades funcionales (antioxidantes, polifenoles totales, beta-glucanos) a tlayudas, sin modificar significativamente sus características principales, la buena aceptación en un panel de jueces-afectivos, e influyendo positivamente en los parámetros físicos y bioquímicos de un modelo animal *in vivo* (ratones C57BL/6). El nuevo producto tendrá un impacto potencial en la alimentación saludable de las comunidades rurales de Oaxaca, México, a través del diseño de una estrategia para este propósito.

## VI. OBJETIVOS

### 6.1. Objetivo general

Desarrollar un nuevo producto a partir de las tlayudas, evaluando el efecto de la adición de extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Testigo y extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Ácido acetilsalicílico sobre el perfil de sus propiedades físicas, sensoriales y funcionales, así como su influencia sobre los parámetros físicos y bioquímicos de un modelo animal *in vivo* (ratones C57BL/6). Con base en los resultados obtenidos, diseñar una estrategia para promover la alimentación saludable en las comunidades rurales de Oaxaca, México.

### 6.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las tlayudas enriquecidas con extractos estandarizados del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* (Tlayuda enriquecida con extracto de *G. lucidum*

Testigo y Tlayuda enriquecida con extracto de *G. lucidum* Ácido acetilsalicílico), de acuerdo con sus propiedades físicas (dureza y perfil de textura), funcionales (actividad antioxidante, polifenoles totales y glucanos) y sensoriales.

2. Determinar el efecto de la incorporación de los nuevos productos desarrollados (tlayudas enriquecidas con extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Testigo y extracto del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* Ácido acetilsalicílico) a la dieta de un modelo animal *in vivo*, sobre los parámetros físicos (ingesta diaria, incremento de peso y peso en hígado) y bioquímicos (colesterol, LDL-c, triglicéridos, glucosa, ALTL Y ALTS) de los ratones en estudio (C57BL/6).
3. Diseñar una estrategia para promover la producción y el consumo del nuevo producto desarrollado, las tlayudas con propiedades del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*, en las comunidades rurales de Oaxaca, México.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Material biológico

Se utilizó maíz orgánico (*Zea mays*) de la variedad criolla, cultivado en Matatlán, Estado de Oaxaca, cosechado en el 2020.

Los extractos de los hongos medicinales fueron suministrados por el Centro de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CREGEN-HCFM). La descripción de estos se encuentra detallada en el cuadro 10.

El proceso de cultivo del hongo *Ganoderma lucidum* Testigo y Ácido acetilsalicílico (AAS), se encuentra descrito en la figura 7. En esta, se puede observar que para el cultivo de *G. lucidum* se utiliza como sustrato aserrín de encino; además, se resalta que la única diferencia en el proceso de producción es, en el caso de la obtención del extracto de *G. lucidum* Testigo, la adición de 1.3 L de agua destilada a las bolsas con aserrín antes de la esterilización, mientras que, a las bolsas destinadas al tratamiento con AAS se adiciona una solución de ácido acetilsalicílico (AAS) 10 mM y 1.3 L de agua destilada, igualmente, antes del proceso de esterilización, el cual se realiza durante 90 minutos a 121 °C.

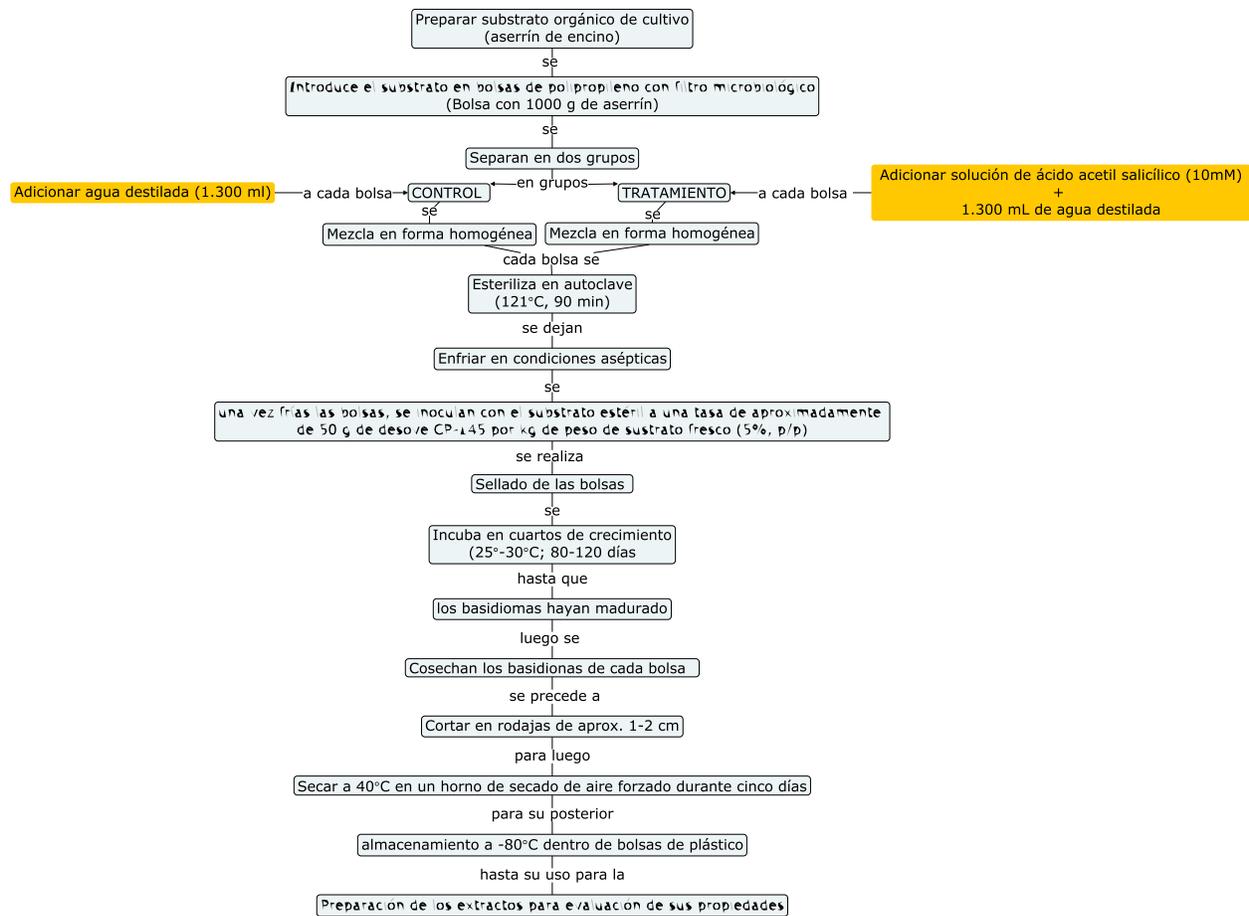
**Cuadro 10.** Extractos de *Ganoderma lucidum* utilizados en la elaboración de tlayudas enriquecidas.

Especie	Tratamientos	Concentración (mg/mL)	Clave
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst	Testigo	25	GI-1
	AAS	25	GI-2

Los tratamientos estudiados se realizaron como se detalla en el cuadro 11.

**Cuadro 11.** Extractos de *Ganoderma lucidum* utilizados en la elaboración de tlayudas enriquecidas.

#	Tratamiento	Composición
Control	Control	tlayuda sin extracto
Tratamiento 1	Tlayuda+GI-1	100 g de masa + 5 mL de extracto de <i>G. lucidum</i> Testigo
Tratamiento 2	Tlayuda+GI-2	100 g de masa + 5 mL de extracto de <i>G. lucidum</i> AAS

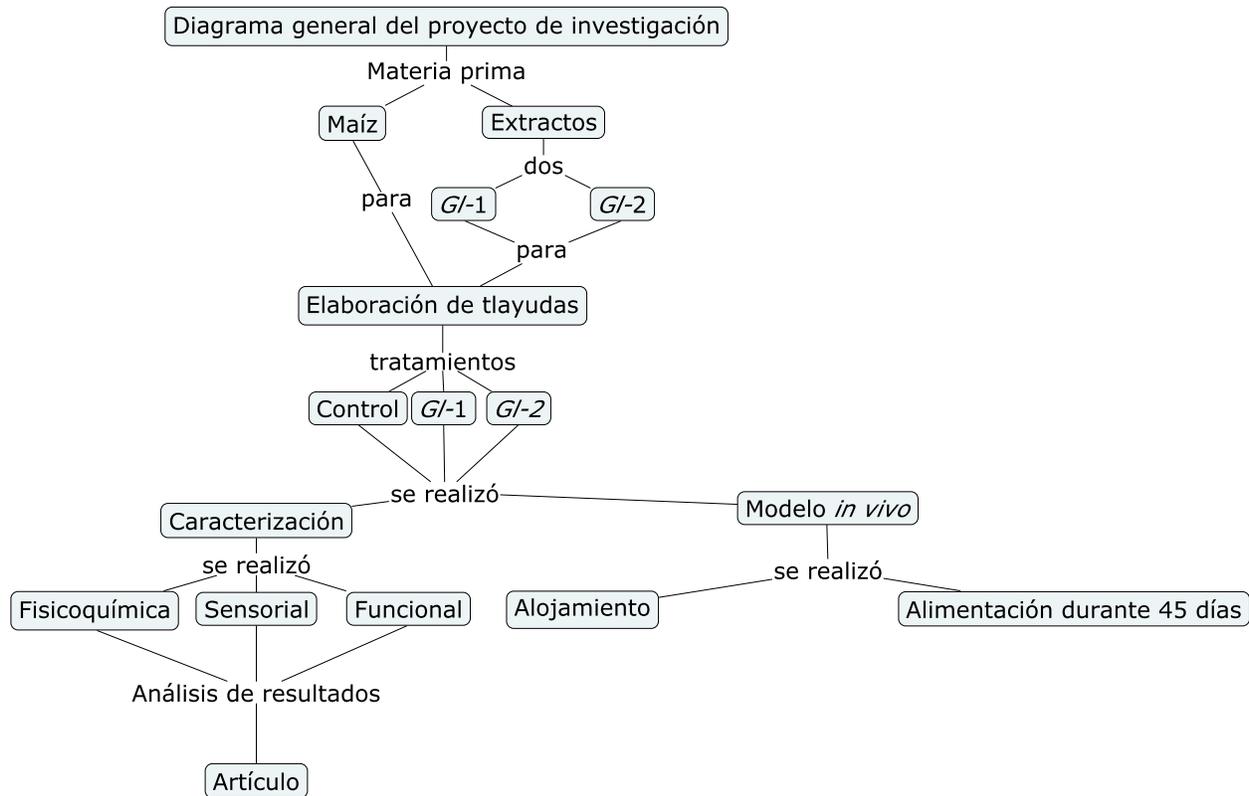


**Figura 7.** Proceso de producción de basidiomas de *G. lucidum* Testigo y AAS.

## 7.2. Materiales

Se utilizó cal comercial adquirida en un mercado de la ciudad de Oaxaca y agua destilada.

La presente investigación se realizó en el CREGEN-HCFM, siguiendo el procedimiento general descrito en la figura 8, mismo que se inició con la recepción de la materia prima (maíz y extractos), para posteriormente elaborar las tlayudas (Control, T+G/1, T+G/2), que se utilizaron para realizar las dietas que sirvieron como alimento para el modelo animal *in vivo*, durante los 45 días de estudio.



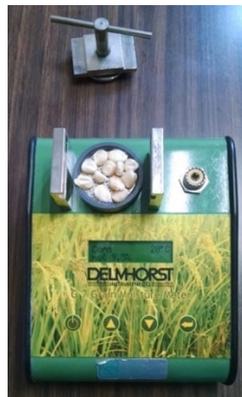
**Figura 8.** Diagrama general del proyecto de investigación.

### 7.3. Métodos

#### 7.3.1. Caracterización del maíz

##### 7.3.1.1. Humedad (%)

Se obtuvo con un determinador de humedad electrónico (DELHORST G-7, EE. UU.) (figura 9), y se determinó realizando modificaciones al método NMX-FF-034/1-SCFI-2002, debido a que se utilizaron 100 g de muestra. La medición se realizó por triplicado.



**Figura 9.** Equipo para la determinación de humedad en grano de maíz.

##### 7.3.1.2. Peso de 100 gramos

Se contaron y pesaron cien granos sanos, escogidos al azar con el uso de una báscula electrónica Rhino BAPO-10 (Rhino., México) (figura 10). Lo anterior se realizó por triplicado.



**Figura 10.** Peso de 100 gramos.

### 7.3.1.3. Índice de flotación

La dureza del grano de maíz se define como la fuerza necesaria para que este se rompa. La dureza del grano se obtuvo mediante el índice de flotación de acuerdo al método reportado en la NMX-FF-034/1-2002 (figura 11).



Figura 11. Determinación del índice de flotación.

### 7.3.1.4. Color

El espacio de color CIELAB (figura 12) usa coordenadas cartesianas para calcular un color en un espacio de color y es un sistema cartesiano formado por 3 ejes. Eje vertical  $L^*$ , el cual define la luminosidad, el eje horizontal  $a^*$  y el eje horizontal  $b^*$  (Talens Oliag, 2017).

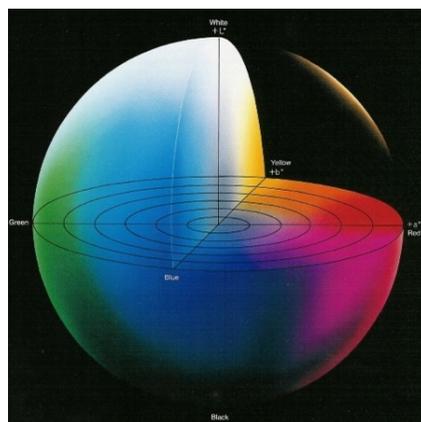


Figura 12. Espacio de color CIELAB.

El color de los alimentos se debe describir con base en 3 atributos de color. La luminosidad, tonalidad ( $h^*$ ) y pureza ( $C^*$ ) (McGuire, 1992; Cook, 2000). Para esto, se realizó una determinación colorimétrica del color del grano, para medir las variables  $L^*$  (luminosidad o brillo),  $a^*$  y  $b^*$  con el equipo Hunter Lab Modelo 45/O (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA., EE.UU.) de acuerdo al método descrito por Espinosa-Trujillo *et al.* (2006).

Con  $a^*$  y  $b^*$  se calculó:

1) El tinte, que se calculó con la fórmula:

$$H = \arctan\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (1)$$

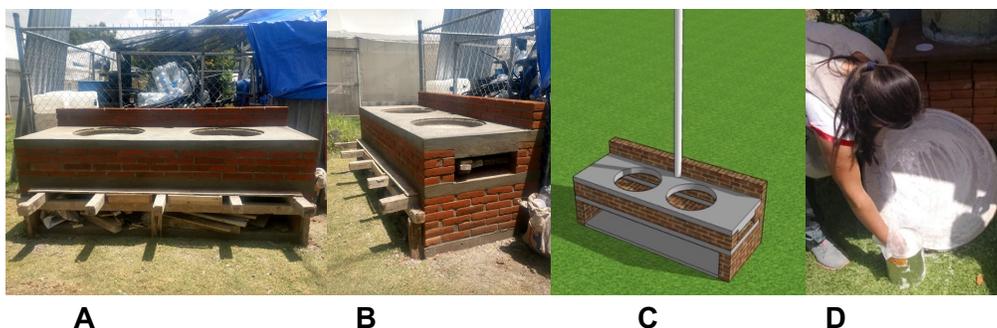
2) La cromaticidad, que se calculó con la siguiente fórmula:

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

El color en los granos de maíz se determinó con el uso de un colorímetro HunterLab ColorFlex o LabScan XE. Las mediciones se realizaron por quintuplicado.

### **7.3.2. Construcción de horno para elaboración de tlayudas**

Para la elaboración de las tlayudas se construyó un horno de tabique recocido de 2.50 m de ancho y 0.95 m de alto. Este está conformado por dos agujeros de 0.64 m de  $\emptyset$  donde se colocaron los comales, una base y dos losas de concreto de 0.08 m cada losa, además, presenta dos entradas para leña (una en cada extremo) de 0.35 m de ancho por 0.15 m de alto, y un respiradero de fierro galvanizado de 4" de diámetro. El horno se encuentra ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, *Campus Puebla* (figura 13). Los comales de barro colocados en el horno fueron adquiridos en el municipio Santiago Matatlán, estado de Oaxaca, mismos que fueron "curados" o cubiertos con cal, previo a su instalación y uso.



**Figura 13.** Construcción de horno mejorado. A: Vista frontal. B: Vista lateral. C: Plano 3D. D: Comal de barro curado.

### 7.3.3. Elaboración de tlayudas

Las tlayudas fueron elaboradas de manera tradicional (figura 14). El procedimiento detallado se muestra en la figura 15, donde se observa que el proceso para la elaboración de las tlayudas (Control, T+GI-1, T+GI-2) inicia con una cocción termo-alcalina (nixtamalización) del maíz durante 78 minutos a 87 °C. Posteriormente, se deja en reposo a fuego medio durante 27 minutos y se obtiene el nixtamal, mismo que se dejó en reposo durante 19 horas. A continuación, el nixtamal se lava (dos veces) hasta que el maíz quede blanco, desechando el nejayote. Una vez lavado el maíz, se sometió a molienda durante la cual se adicionó agua para obtener masa nixtamalizada con la textura adecuada.

Una vez obtenida la masa nixtamalizada, se pesaron 100 g de masa y se adicionaron: en el caso de los tratamientos, 5 mL de extracto de *G. lucidum* (GI-1, GI-2) a una concentración de 25 mg/mL, lo que corresponde al 11 % (V/P). Posteriormente, se prensaron los 100 g de masa con la ayuda de una prensa manual y se colocaron sobre el comal para su cocción y tostado. Para conocer los tiempos de obtención de las tlayudas enriquecidas, se determinó el tiempo de elaboración y el tiempo de cocción de estas. Se fijó como tiempo de elaboración el que transcurrió desde el acondicionamiento de la masa hasta el momento en que se colocó la tlayuda en el comal, incluyendo el moldeado previo con la mano, adición del extracto y el moldeado final con el tortillero manual (figura 16. H, I, J, K, L). El tiempo de cocción incluye desde el momento en que se colocó

la tlayuda sobre el comal, y posteriormente sobre la malla de metal hasta que la tlayuda fue retirada.

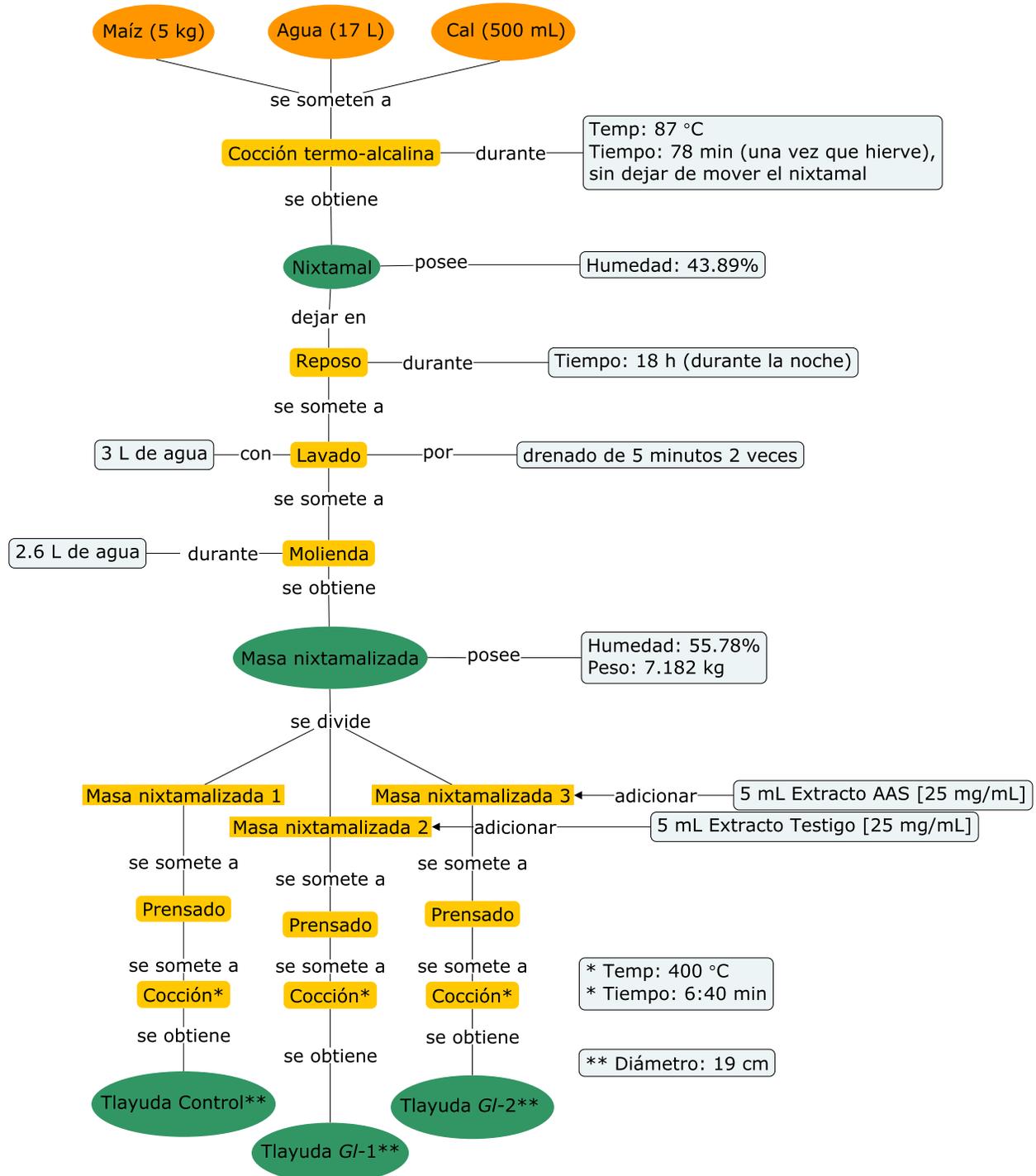


Figura 14. Proceso para la elaboración de tlayudas enriquecidas.



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**F**



**G**



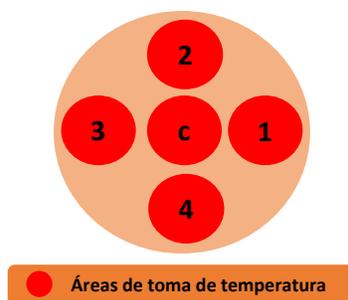
**H**



**Figura 15.** Proceso de elaboración de tlayuda enriquecida elaborada por método tradicional. A: Pesado de la materia prima. B: Elaboración del nixtamal. C: Curado del comal. D: Lavado del nixtamal. E: Molienda del nixtamal. F: Molienda de masa nixtamalizada. G: Pesado de 100 g de masa, y medición de 5 mL de extracto de *Ganoderma lucidum*. H: Homogenizado de masa nixtamalizada con extracto. I: Prensado de masa enriquecida con extracto en el tortillero. J, K: Cocción y tostado de tlayudas. L: tlayuda enriquecida.

### 7.3.3.1. Temperatura de cocción

La temperatura se determinó con el uso de un termómetro láser (KLEIN TOOLS IR2000A., EE. UU.). Las determinaciones se realizaron durante todo el proceso de cocción, cada 5 minutos, tomando medidas de los extremos y del centro del comal, tal como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Mediciones de temperatura en el comal durante cocción de la tlayuda.

### **7.3.4. Caracterización del nixtamal y masa nixtamalizada**

#### **7.3.4.1. Humedad en nixtamal y masa**

La humedad se determinó por secado de la muestra, en estufa, de acuerdo con el método 920.151 de la A.O.A.C. (2000). La medición se realizó por triplicado.

#### **7.3.4.2. Determinación de viscosidad en las masas**

La evaluación de la viscosidad de las masas con y sin extracto se realizó por medio de un viscosímetro Brookfield modelo RST-CPS (Brookfield, EE.UU.) en un a una velocidad constante de 400 rpm durante 60 s, empleando el plato RPT-25 a 25 °C.

#### **7.3.4.3. Determinación de la presencia del extracto de *G. lucidum* después del proceso de cocción y tostado de las tlayudas mediante Espectroscopía Infrarroja (IR)**

Con el objetivo de determinar la presencia del extracto de *G. lucidum* en las tlayudas después de la cocción y tostado, se llevó a cabo la identificación del Ácido ganoderico A (componente mayoritario del hongo medicinal *G. lucidum*) (Yao *et al.*, 2019) en extractos y tlayudas, por medio de FTIR o Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Para ello se utilizó un espectrómetro marca Bruker® modelo Vertex 70 (Bruker, Alemania) en el modo de muestreo por Reflectancia Total Atenuada (ATR por sus siglas

en inglés). Para llevar a cabo el análisis se colocó 1 g de tlayuda molida de cada una de las muestras y se obtuvo el espectro dentro de la región del infrarrojo medio entre 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , realizando 3 mediciones por muestra. Para el análisis de los espectros obtenidos empleó el programa OriginPro versión 6.1 (Massachusetts, U.S.A).

### **7.3.5. Efecto de la adición de extractos del hongo *G. lucidum* sobre los parámetros de calidad de las tlayudas enriquecidas**

Con el fin de medir el efecto de la adición de los extractos hidroalcohólicos sobre la calidad de las tlayudas, se determinaron las propiedades físicas y fisicoquímicas (humedad, textura) y propiedades antioxidantes (polifenoles totales y capacidad antioxidante).

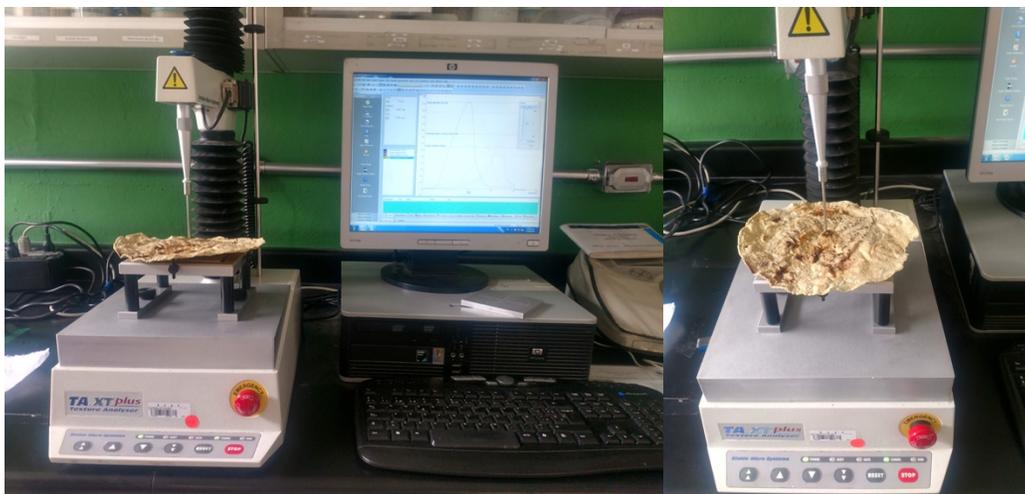
#### **7.3.5.1. Propiedades fisicoquímicas**

##### **Humedad**

La humedad (%) se efectuó en 3 g de muestra en un horno (Felisa, México), a 100 °C hasta alcanzar peso constante (Cortes Soriano *et al.*, 2016). La determinación se realizó por triplicado.

##### **Textura**

Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) (figura 17). Para lo cual se empleó un analizador de textura TA. XT Plus Texture Analyser, y el software Texture Expert Exceed, versión 2.64 (Stable Micro Systems., R.U.). Se trabajó con un aditamento o sonda de 3 mm de diámetro, el cual se desplazó a una velocidad de 0.5 mm s<sup>-1</sup>. Una vez que el aditamento toca la muestra, este recorre 2 cm. Se tomaron lecturas del centro y de los extremos de las tlayudas. Las mediciones se realizaron por triplicado.



**Figura 17.** Texturómetro utilizado para realizar el análisis del perfil de textura en tlayudas.

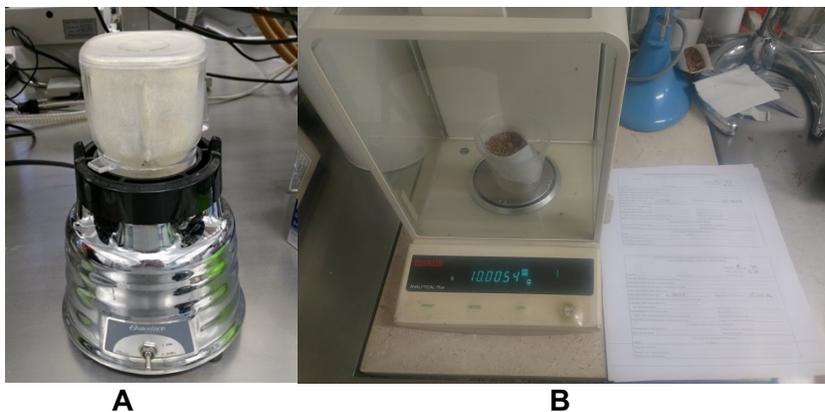
### **7.3.5.2. Análisis bromatológico de las tlayudas**

El análisis bromatológico de las tlayudas fue realizado por triplicado. Empleando la metodología de la AOAC 2000.

### **7.3.5.3. Medición de las propiedades antioxidantes**

#### **Obtención de la muestra**

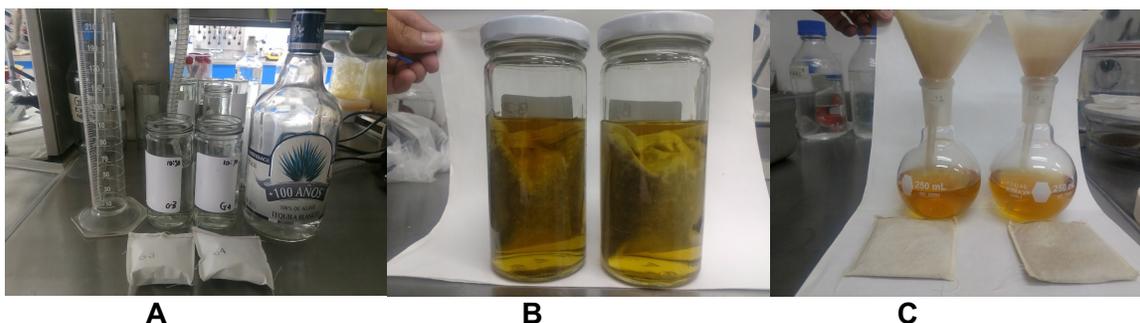
Las tlayudas enriquecidas se molieron en una licuadora (Oster, Newell Brands de México S.A. de C.V., México.). La molienda se realizó mediante 5 pulsos de 10 segundos por pulso, posteriormente, se colocaron 10 g de muestra molida en sobres de papel filtro poro medio de 6.5 cm x 9.0 cm (figura 18).



**Figura 18.** Proceso de molienda de tlayudas enriquecidas. A: Triturado de tlayudas enriquecidas. B: Pesado y llenado de bolsas.

### Maceración de las muestras

Los sobres previamente sellados, fueron introducidos a un frasco que contenía 150 mL de solvente hidroalcohólico al 35%. El sobre se dejó reposar en el solvente por 24 horas, se sacó, y exprimió para obtener el mayor volumen de macerado y filtrado usando papel filtro de poro medio (figura 19).



**Figura 19.** Proceso de elaboración de macerados. A: Bolsas selladas y frascos con solvente. B: Maceración por 24 h. C: Filtrado del macerado.

### Concentración del macerado

La concentración del macerado se realizó mediante el uso de un rotavapor (figura 20) HAHNVAPOR HS-2000NS (Hahn Shin Scientific., Corea del Sur.) a presión reducida, temperatura de 38 °C y 90 rpm, hasta obtener un peso aproximado de 7 g, con un

volumen menor de 10 mL. Posteriormente, se aforó a 10 mL con el mismo tipo solvente. Una vez aforado, el extracto se filtró al vacío con papel Whatman No. 4.



**Figura 20.** Rotavapor utilizado para eliminar el etanol de los macerados.

### **Análisis de polifenoles totales en tlayudas**

Se determinaron de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton *et al.* (1999). En una microplaca de 96 pozos, se adicionaron 100  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu, 20  $\mu\text{L}$  de extracto o curva estándar y 75  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio, la placa se colocó en oscuridad durante dos horas. Al término del tiempo de incubación se agregaron 20  $\mu\text{L}$  de extracto a los blancos y se determinó la absorbancia a 740 nm usando un espectrofotómetro (Biotek EPOCH., EE.UU.).

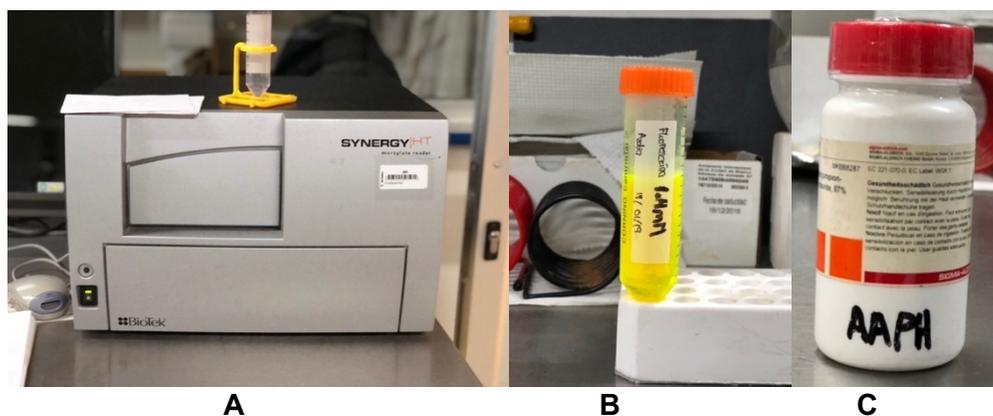
Se elaboró una curva de calibración estándar de ácido gálico, para relacionar los valores de absorbancia obtenidos con una concentración conocida de este compuesto. El contenido de compuestos fenólicos fue expresado como miligramos de ácido gálico por 100 gramos de muestra. La determinación se realizó por quintuplicado.

### **Determinación de $\beta$ - Glucanos**

En las muestras de tortilla, los  $\beta$ -glucanos (enlace 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4) se determinaron con el kit K-BGLU (Megazyme, Irlanda). Los resultados se expresan en porcentaje del peso total de la muestra.

## **Análisis de la capacidad antioxidante por ORAC (Capacidad de absorbancia de radicales libres de oxígeno)**

En un tubo de ensayo se colocó 1 g de extracto de tlayuda o tlayuda molida y 10 mL de agua desionizada y se agitó vigorosamente. Posteriormente, en una placa de 96 pozos se adicionaron 150  $\mu$ L de Fluoresceína (4 nM), 25  $\mu$ L de estandar o muestra diluida y 25  $\mu$ L de AAPH (mM), se leyó la cinética durante 90 minutos en un espectrofotómetro Biotek Synergy HT (Biotek, Winooski, VA, EUA) a longitudes de excitación de 485 nm y de emisión de 520 nm (figura 21). Para el análisis se realizó una curva estándar de Trolox a diferentes concentraciones. Los datos se expresaron como equivalentes de trolox/g de tlayuda.



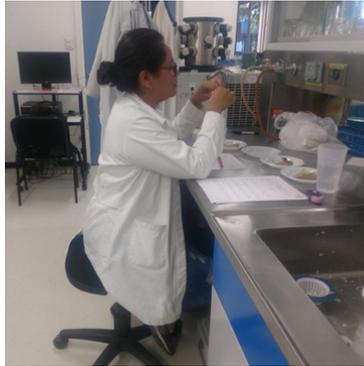
**Figura 21.** Equipo y reactivos para la determinación de la capacidad antioxidante por ORAC. A: Espectrofotómetro. B: Fluoresceína. C: Estandar (AAPH).

### **7.3.6. Evaluación sensorial**

Se realizaron dos pruebas sensoriales utilizando métodos afectivos (ANEXO A y B):

1. Prueba de nivel de agrado utilizando una escala hedónica estructurada de 9 puntos (“Hedonic Test”), donde, 1 corresponde a “disgusta muchísimo” y 9 a “gusta muchísimo”.

2. Prueba de aceptación (“Acceptance test”). Las pruebas de evaluación sensorial fueron aplicadas a un panel de 31 jueces afectivos (figura 22) (Pedrero y Pangborn, 1989).



**Figura 22.** Panelista realizando la evaluación sensorial.

#### **7.3.6.1. Análisis estadístico de la evaluación sensorial**

Para determinar si la aceptación es significativa, se utilizó la tabla estadística de estimación de significancia,  $p = 1/2$  de dos colas.

Para la prueba de nivel de agrado (“Hedonic Test”), se obtiene un valor promedio y la desviación estándar, misma que indicará la discrepancia de los consumidores respecto a cada opinión, asimismo, se les aplicó la prueba de análisis de varianza y comparaciones de medias con procedimientos estadísticos, utilizando un valor de significancia de  $p < 0,05$ . Los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab 17 Statistical 2010 (Minitab, LLC, EE.UU.).

#### **7.3.7. Modelo *in vivo***

##### **7.3.7.1. Diseño experimental**

Antes de iniciar con el experimento, el proyecto fue evaluado y aprobado por el Comité Interno de Bioética (CIB), del Centro de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CB-HCFM) del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, con el Número de registro: CIB-CB-HCFM-001.

Un total de 48 ratones macho C57BL/6 de 5 semanas de nacidos, fueron comprados al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Los animales fueron alojados en racks ventilados SmartFlow (TECNIPLAST S.p.A., Italia) a  $23 \pm 2$  °C, con una humedad relativa de 45 a 55%, en un ciclo de 12 horas de luz / 12 horas de oscuridad (figura 23, A).

Los ratones fueron asignados aleatoriamente en 6 grupos experimentales (n=8) (cuadro 12). Cada grupo fue alimentado *ad libitum* durante 45 días, incluyendo agua, para ello se elaboraron 6 tipos de dietas (figura 24). El consumo de alimentos se registró diariamente (figura 23, D), mientras que el peso corporal se registró dos veces por semana (figura 23, C-D), con el uso de una balanza analítica Ohaus Adventurer® H-5276 (Ohaus Corporation., NJ, EE.UU.). Al final del estudio, se privó a los ratones de comida y agua durante 9 h, antes de la toma de muestras de sangre. El sacrificio de los ratones se realizó mediante dislocación cervical. La sangre fue extraída a través de la vena porta con el uso de una jeringa y colocada en tubos eppendorf de 2 mL. El suero se obtuvo por centrifugación (Sigma centrifuge 4K15., Australia) a 1000 g durante 10 min a temperatura ambiente (25 °C) y se almacenó a -80 °C hasta su análisis. El hígado fue extirpado rápidamente, para luego ser congelado en N<sub>2</sub> líquido y almacenado a -80 °C, todo lo mencionado se llevó a cabo realizando modificaciones al método realizado por Meneses *et al.* (2016).

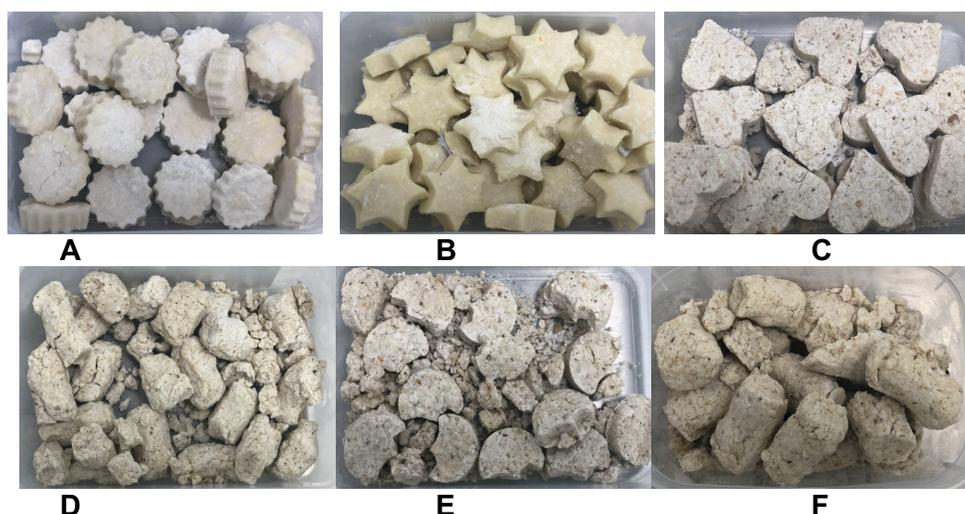


**Figura 23.** Actividades durante el modelo *in vivo*. A: Ratones C57BL/6 distribuidos aleatoriamente en seis grupos experimentales. B-C: Pesado de los ratones. D: Pesado de las dietas.

**Cuadro 12.** Grupos experimentales para modelo *in vivo*

#	CLAVE	CONTENIDO	VEHÍCULO	EXTRACTO
1	Control	Dieta control (AIN-93)	No	No
2	HC	Dieta alta en colesterol	No	No
3	HC+T	Dieta alta en colesterol	tlayuda	No
4	HC+T+GI-1	Dieta alta en colesterol	tlayuda	GI 1*
5	CH+T+GI-2	Dieta alta en colesterol	Tlayuda	GI 2*
6	CH+T+AT	Dieta alta en colesterol	No	Atorvastatina**

\*cantidad de extracto = 7.4 mg/día; \*\*cantidad de atorvastatina = 3.0 mg/día



**Figura 24.** Dietas del modelo *in vivo*. A) Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+GI-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+GI-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

### 7.3.7.2. Metodología COBAS

Las concentraciones en suero de colesterol total, triglicéridos, HDL, LDL, glucosa, transaminasas (ALT, AST), creatinina, albúmina y urea se midieron por métodos enzimáticos utilizando un equipo Cobas c111 de la marca Roche (Hoffmann-La Roche, Suiza). Se utilizaron 150 microlitros de suero para las mediciones.

### 7.3.7.3. Composición de dietas

Las dietas para los ratones fueron elaboradas mediante la mezcla y moldeo de tlayuda molida, agua (200 mL) y los ingredientes para las dietas de cada grupo experimental (cuadro. 13), de la siguiente manera: 1) Ctrl: Dieta de control (AIN-93) (Reeves, 1997); 2) HC: dieta alta en colesterol (0,5% de colesterol) (Sigma-Aldrich, Nueva Zelanda); 3) HC+T: Dieta alta en colesterol (0,5%) + Tlayuda Control (332.7 g); 4) HC+T+G/-1: Dieta alta en colesterol (0,5%) + Tlayuda G/-1 (332.7 g); 5) HC+T+G/-2: Dieta alta en colesterol (0,5%) + tlayuda G/-2 (332.7 g); 6) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0,5%) + Tlayuda Control (332.7 g) + atorvastatina (0,03 g / 100 g) (ALMUS, España). Cada grupo fue alimentado *ad libitum* durante 45 días.

**Cuadro 13.** Composición de las seis dietas que fueron suministradas a los grupos experimentales de ratones C57BL/6, según la dieta estándar AIN-93

Ingredientes (g/kg)	Control	HC	HC+T	HC+T+G/-1	CH+T+G/-2	CH+T+AT
Cisteína <sup>3</sup>	3.0	3.0	1.2	1.2	1.2	1.2
Colina <sup>3</sup>	2.5	2.5	1	1	1	1
Vitaminas <sup>2</sup>	10.0	10.0	4	4	4	4
Celulosa <sup>4</sup>	50.0	50.0	21.98	21.98	21.98	21.98
Minerales <sup>2</sup>	35.0	35.0	14	14	14	14
Aceite de soya <sup>6</sup>	70.0	70.0	59.98	59.98	59.98	59.98
Almidón <sup>4</sup>	397.5	392.5	332.7*	332.7**	332.7***	332.7****
Dextrina <sup>4</sup>	132.0	132.0	52.8	52.8	52.8	52.8
Sacarosa <sup>7</sup>	100.0	100.0	40	40	40	40
Caseína <sup>1</sup>	200.0	200.0	175.82	175.82	175.82	175.82
Colesterol <sup>3</sup>	-	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

1= INDEL (CDMX, México). 2= MP BIOMEDICALS (CDMX, México). 3= SIGMA (Sigma-Aldrich, Nueva Zelanda). 4= Fabpsa (Puebla, México). 6= AGYDSA (Guadalajara, México). 7= Great Value (CDMX, México). Se sustituye el almidón por: \*Tlayuda Control molida;\*\* T+G/-1 molida; \*\*\* T+G/-2 molida;\*\*\*\* T+AT molida.

### 7.3.7.4. Análisis estadístico

Los resultados se expresan como medias  $\pm$  SEM. La significación estadística se determinó mediante un ANOVA de una vía, y un análisis de comparación múltiple con la prueba de Tukey, utilizando software estadístico (Minitab, LLC, EE.UU.). Las diferencias se consideraron significativas a  $p < 0.05$ .

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Descripción del material biológico

#### 8.1.1. Propiedades del grano de maíz y del nixtamal

En México existen un sin número de variedades de maíz con diferentes niveles de dureza que pueden ser utilizados para elaborar tortillas (Palacios-Pola *et al.*, 2021).

Diversos investigadores, afirman que la dureza del grano está influenciada por la presencia de dos tipos de endospermo, harinoso (suave) y vítreo (duro) y que esta dependerá del tamaño, morfología, grado de compactación de los gránulos de almidón y de la matriz proteica alrededor de ellos (Palacios-Pola *et al.*, 2021; Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto, 2010).

La dureza y composición de los granos, son características que van a influenciar en las distintas variables durante el proceso de nixtamalización, debido a que están relacionadas con la absorción de agua que se produce durante la cocción y el remojo (Palacios-Pola *et al.*, 2021).

En México, la NMX-FF-034/1- SCFI-2002 menciona que la dureza máxima en los granos de maíz para la elaboración de productos nixtamalizados determinada por el Índice de flotación (IF%), debe ser máximo de 40%, y de ser así, los granos presentarían una dureza intermedia. En el cuadro 14, se presentan los valores IF (%) del maíz criollo empleado en el presente estudio (38%), los cuales fueron similares a los reportados por Rangel-Meza *et al.* (2004) y Salinas Moreno *et al.* (2013), para maíces de las razas Olotillo y Elotes cónicos; y al maíz criollo, respectivamente. Con base en lo anterior, se puede apreciar que todos estos maíces presentan una dureza intermedia, cumpliendo con las especificaciones en la Norma mexicana para maíz blanco sometido a un proceso alcalino para la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado.

<b>Cuadro 14.</b> Características físicas del grano de maíz criollo orgánico de Matatlán <sup>1</sup> .			
IF (%)	PCG	HG	HN
38 ± 3.21	46.3 ± 1.26	11.9 ± 0.34	43.9 ± 1.16

1= Promedio de cinco réplicas. PCG= peso de 100 granos. HG (%) = humedad en grano. IF= índice de flotación (%). HN (%) = humedad en nixtamal.

Varias propiedades físicas como la densidad aparente, la gravedad específica y el peso del grano están fuertemente influenciadas por la humedad en el grano de maíz (Serna-Saldívar, 2018). No obstante, los niveles de humedad superiores al 14.5% aproximadamente, proporcionan un sustrato adecuado para el crecimiento de mohos, mientras que con niveles de humedad por debajo del 10% el grano se vuelve frágil (Serna-Saldívar, 2018).

Debido a lo anterior, la mayoría de los importadores comerciales de maíz exigen un contenido de humedad del 14.5%, lo que mejora el mantenimiento de la calidad (Serna-Saldívar, 2021). Sin embargo, la NMX-FF-034/1- SCFI-2002 menciona qué para tener un manejo, conservación y almacenamiento adecuado de los granos, el porcentaje de humedad en debe ser de 14%.

En el presente estudio, el valor de humedad obtenido fue de 11.9%, similar al valor reportado en granos de dureza intermedia (11.7%) por Salinas Moreno y Aguilar-Modesto (2010).

Otra de las variables importantes a realizar durante la caracterización del maíz, es el peso de 100 granos (PCG), dado que constituye un indicador del tamaño y la densidad del grano. Esta medición es importante debido a que mientras más grandes son los granos, van a contener mayor proporción de endospermo y por lo tanto presentan mayor rendimiento de harina que los granos pequeños (Jiménez-Juárez *et al.*, 2012; Salinas Moreno *et al.*, 2013; Vázquez Carrillo *et al.*, 2012).

Los valores de PCG inferiores a 38 g se denominan granos pequeños. En el presente estudio, el resultado del peso de 100 granos fue de 46.3 g (cuadro 15), siendo este valor superior al reportado por Amador-Rodríguez *et al.* (2019), y Vázquez-Carrillo *et al.* (2011), cuyos resultados fueron de 38 y 32.4 g, respectivamente. Asimismo,

Vázquez Carrillo *et al.* (2012), reportaron un valor PCG de 40 g, valor que se asemeja más a los maíces empleados en este estudio.

Por otro lado, para conocer la calidad de nixtamalización que tiene el maíz, es necesario determinar distintos parámetros, entre ellos la humedad en el nixtamal, para lo cual, la NMX-FF-034/1- SCFI-200 especifica que la humedad en el nixtamal debe ser de 36 a 42%.

El valor de humedad obtenido fue de 43.9%, valor similar al reportado por Salinas Moreno *et al.* (2010), para maíces intermedios y suaves; sin embargo, es ligeramente menor a los valores reportados por Vázquez-Carrillo *et al.* (2011) y Torres *et al.* (2001), de 45.4 y 50.3%, respectivamente. Estas variaciones se deben principalmente a diferencias durante el proceso de nixtamalización, así como el uso de diferentes variedades de maíz.

En cuanto al color del grano, se sabe que este junto con la cocción termo-alkalina y la cocción después de la molienda, van a determinar el color de los productos a obtener y por lo tanto en la aceptación del producto final, en este caso las tlayudas. En el cuadro 15, se presentan los valores obtenidos en la determinación de color en el grano (Palacios-Pola *et al.*, 2021; Sefa-Dedeh *et al.*, 2004).

**Cuadro 15.** Color del grano de maíz criollo orgánico de Matatlán<sup>1</sup>.

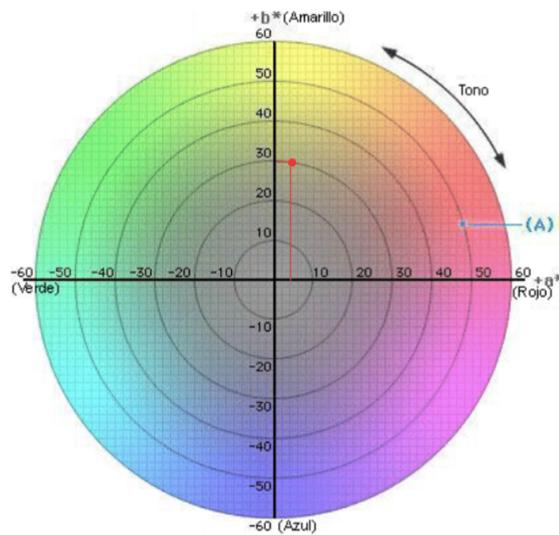
L*	a*	b*	h*	c*
68.6 ± 2.2	4.7 ± 0.8	29.6 ± 1.4	81.1 ± 1.1	30.0 ± 1.5

<sup>1</sup>=promedio de 5 réplicas. L\*= luminosidad. h\* = tono. c\*= croma

Para el maíz criollo orgánico de Matatlán analizado en el presente estudio, se obtuvieron valores de L\* = 68.6, a\* = 4.7 y b\* = 29.6. Se sabe que el valor de luminosidad (L\*), varía de 0 para color negro hasta 100 para color blanco (Salinas Moreno *et al.*, 2010; Talens Oliag, 2017). El valor obtenido de L\*, muestra que el grano presenta una alta luminosidad. El valor de h\* calculado al reemplazar los valores de a\* y b\* en la fórmula (1), determina el ángulo que va a medir la tonalidad y fue de h\* = 81.1, lo que quiere decir que el color se acerca al amarillo estricto que se presenta a los 90°, y por último, el valor

de la saturación o croma ( $C^*$ ), igualmente obtenido al reemplazar los valores de  $a^*$  y  $b^*$  con la fórmula (2), que en el presente estudio fue de 30.0 y muestra que el grano de maíz criollo evaluado presenta una baja saturación, por lo que tiene una orientación hacia el amarillo (figura 25).

Palacios-Pola *et al.* (2021), reportaron valores de  $L^*$  en 3 variedades de maíz que van de 62.9 a 63.8, valores inferiores al obtenido en el presente estudio.



**Figura 25.** Determinación de  $L^*$ ,  $h^*$  y  $C^*$  en los granos de maíz criollo de Matatlán.

El maíz, la cal y el agua, son fundamentales para la elaboración de productos nixtamalizados (Serna-Saldívar, 2021). Sin embargo, el maíz maduro es el ingrediente más relevante y el que más influye sobre la calidad, las propiedades sensoriales, el color y el sabor de los productos finales elaborados de maíz nixtamalizado (Palacios-Pola *et al.*, 2021; Ramírez-Araujo *et al.*, 2019; Serna-Saldívar, 2021). Como se observó en los resultados, es muy complicado obtener resultados homogéneos al momento de compararlos con otros estudios, ya que es muy difícil el control de distintas variables, tanto genéticas, como el medio ambiente, agronómicas y de prácticas de post-cosecha, especialmente en términos de almacenamiento, los cuales afectan la composición de la calidad y las propiedades físicas del grano, y por consiguiente influirán en la

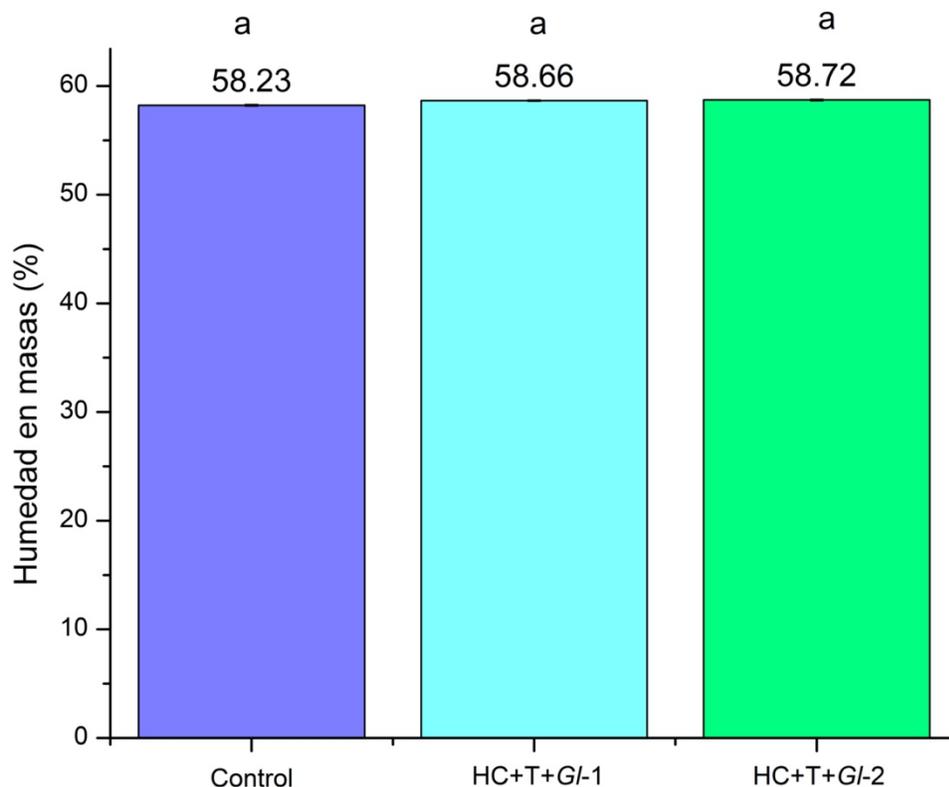
funcionalidad, los parámetros de cocción y el uso final de los granos de maíz (Ahmadi *et al.*, 1993; Serna-Saldívar, 2021).

## **8.2. Humedad (%) de las masas**

En la figura 26 se presenta el contenido de humedad de las masas para las distintas muestras después de la adición del extracto (Control, M+GI-1, M+GI-2).

Se puede observar que el valor obtenido de humedad en las muestras Control presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a las muestras M+GI-1 y M+GI-2. Sin embargo, los resultados obtenidos para estas últimas no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre sí.

Al comparar el resultado de humedad en la masa Control obtenido en este estudio (58.2%) con el valor reportado por Salinas Moreno *et al.* (2010) (56%) para masa elaborada con maíces de dureza intermedia, se observa que el valor obtenido en el presente estudio es mayor al reportado por estos autores y menor en comparación a los resultados reportados por otros autores (Chávez-Santoscoy *et al.*, 2016 y Torres *et al.*, 2001). Estas variaciones se dan debido a que el contenido de humedad en la masa está relacionado con el tiempo de cocción del nixtamal, que a su vez depende de la dureza y tamaño del grano, los cuales influyen en la capacidad de hidratación del grano (Salinas Moreno *et al.*, 2013) siendo que, a mayor tiempo de cocción del nixtamal, aumenta la humedad de la masa (Zepeda Bautista *et al.*, 2007). Además, se sabe que el contenido de humedad en la masa es muy variable, debido a que esta es muy susceptible a perder humedad a temperatura ambiente (Arámbula *et al.*, 1999).



**Figura 26.** Contenido de humedad (%) en masas para la elaboración de tlayudas. Control = 100 g de masa + 5 mL de agua. M+G/-1 = 100 g de masa + 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. M+G/-2 = 100 g de masa + 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL].

### 8.3. Determinación de viscosidad en masas

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de productos a partir de maíz nixtamalizado, y se considera que la masa tiene la textura apropiada si su adhesividad es suficiente para adherirse a los rodillos de laminación ligeramente y para separarse adecuadamente (Contreras Jiménez *et al.*, 2020).

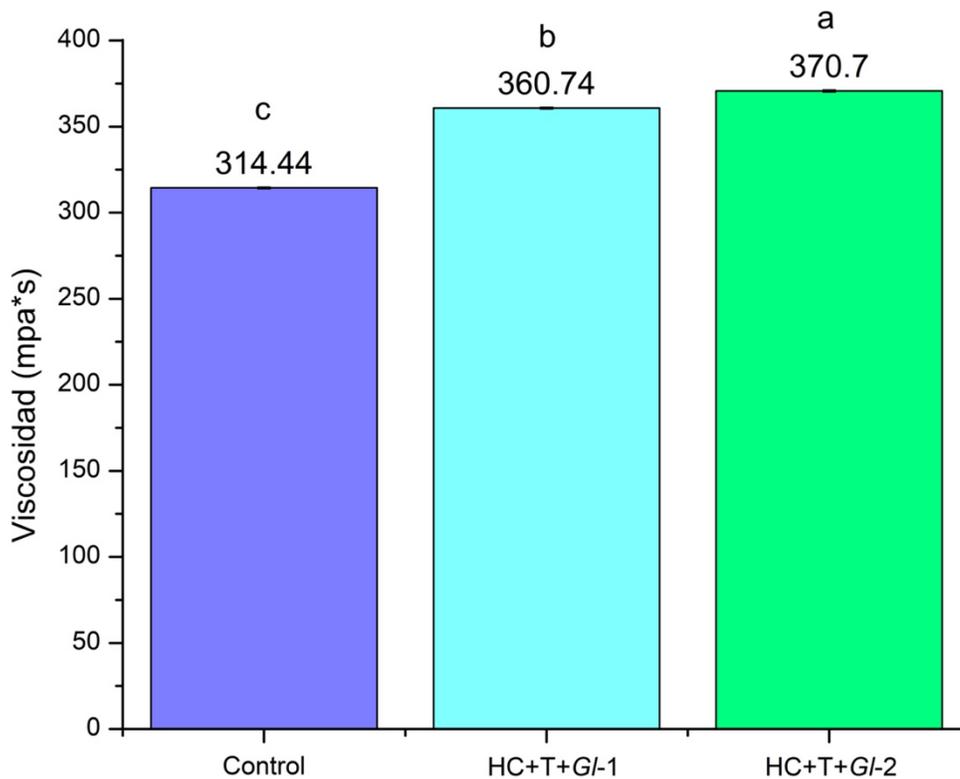
La viscosidad es un índice de calidad que se determina durante la elaboración de productos cocidos alcalinos, y es uno de los parámetros importantes que se miden en la mayoría de los alimentos a base de almidón, debido a que influye en comportamiento textural del producto final (Sefa-Dedeh *et al.*, 2003).

En la figura 27 se muestran los resultados de viscosidad en las masas (Control, M+G/ 1, M+G/-2) y se observa que los valores de viscosidad obtenidos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí ( $p < 0.05$ ), siendo el menor valor de

viscosidad el de la masa Control, seguida de muestra M+G/-1; mientras que la mayor viscosidad se observó en la muestra M+G/-2. No obstante, al comparar los valores de viscosidad obtenidos en el presente estudio con los valores reportados por García-Rojas *et al.* (2020), donde se adicionó hongo molido a la harina de maíz nixtamalizado, se puede observar que los valores obtenidos de viscosidad fueron menores a los reportados por estos autores (3059 Cp) (Centi-poise). A pesar de esto, se puede observar el mismo patrón que en el presente estudio, donde las masas enriquecidas presentan una mayor viscosidad que la masa sin enriquecer. De la misma manera, en un estudio realizado por Cornejo-Villegas *et al.* (2010), en el que se adicionaron distintos porcentajes de harina de nopal, se observó que la adición de 2 y 4% de esta harina incremento la viscosidad en las masas con respecto al Control, observándose el mismo patrón del presente y del estudio realizado por García-Rojas *et al.* (2020).

Los cambios en el comportamiento reológico de la masa son el resultado de la interacción de varios factores, como el tipo de maíz y condiciones durante el proceso de nixtamalización y molienda; todos estos contribuyen en la modificación de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de la masa (Palacios-Pola *et al.*, 2021; Serna-Saldívar, 2021).

Durante la nixtamalización, el aumento de la temperatura provoca alteraciones estructurales fundamentales, la desnaturalización de las proteínas y la gelatinización del almidón (Fernández-Muñoz *et al.*, 2002; Valderrama Bravo *et al.*, 2020). Mientras que, durante la molienda, la presión entre las superficies internas de las piedras y la cantidad de agua añadida, provocan la gelatinización del almidón que se produce por el calor entre las piedras (Serna-Saldívar, 2021; Valderrama Bravo *et al.*, 2021).



**Figura 27.** Viscosidad en masas para tlayudas: Control = masa obtenida de manera tradicional. M+G/-1 = masa enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. M+G/-2 = masa enriquecida con 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL].

Del mismo modo, Contreras Jiménez *et al.* (2020) afirman que cambios mínimos en el proceso debido a la adición de diferentes sustancias puede cambiar las propiedades de textura y, por tanto, la funcionalidad de los alimentos.

Considerando que no hay investigaciones sobre el la adición de extractos hidroalcohólicos de hongos y sus efectos, sobre las propiedades de la masa, se puede afirmar que las diferencias entre los resultados del presente estudio y los reportados, además de las arriba mencionadas, se deben a que en el presente estudio no se elaboró harina de maíz nixtamalizado sino que se utilizó masa fresca para el enriquecimiento, contrario a los estudios encontrados en la literatura, donde el enriquecimiento y acondicionamiento de la masa se da a partir de harinas de maíz nixtamalizado.

## **8.4. Efecto de adición de extractos sobre la calidad, el contenido nutricional y perfil antioxidante de las tlayudas enriquecidas**

### **8.4.1. Color en la tlayuda**

El color de la tlayuda va a depender principalmente del color del grano de maíz. El maíz de endospermo amarillo contiene cantidades significativas de  $\beta$ -carotenos, luteína, zeaxantina y criptoxano, que imparten la coloración amarillenta a las tortillas y productos elaborados a partir de maíz nixtamalizado (Rooney y Serna-Saldívar, 2015). Uno de los parámetros para analizar la variación de color en los alimentos es el cambio neto de color ( $\Delta E$ ), ya que refleja el cambio total en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

En el cuadro 16 se muestran los valores de  $\Delta E$  de las tlayudas (Control, T+G/1, T+G/2) analizadas en este estudio. Los valores correspondientes a la tlayuda Control, fueron tomados como referencia para el cálculo de este parámetro.

Se puede ver que la tlayuda Control es más luminosa que las tlayudas enriquecidas; sin embargo, únicamente se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre la tlayuda Control y la T+G/1. Con respecto a la luminosidad, también se puede apreciar que, los valores de luminosidad de las tlayudas enriquecidas son menores al valor observado en el grano (cuadro 15), contrario a lo observado en la tlayuda Control, cuyo valor de luminosidad es mayor a la luminosidad en el grano (68.6).

En cuanto a la tonalidad ( $h^*$ ) se puede observar que las tlayudas presentan una tonalidad amarilla, acercándose al amarillo estricto, siendo la tonalidad mayor en la tlayuda Control, lo que se puede apreciar en la figura 28, ya que las tlayudas Control tienen una coloración más amarillenta.

El color en las tlayudas T+G/1, tienen una pureza mayor que las tlayudas Control y T+G/2, no obstante, estas diferencias no son estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

También, en el cuadro 16, se puede apreciar que la diferencia de color para las tlayudas T+G/1 con respecto al Control, es mayor y corresponde a 8.06 unidades, lo que quiere decir que presenta un mayor cambio de coloración tomando como referencia la tlayuda Control.

Tratamiento	L*	a*	b*	h*	c*	$\Delta E^*$
Control	71.98 ± 1.85 <sup>a</sup>	1.78 ± 0.09 <sup>a</sup>	20.60 ± 0.14 <sup>a</sup>	85.17 <sup>a</sup>	20.68 <sup>a</sup>	
T+G/1	66.12 ± 0.29 <sup>b</sup>	3.72 ± 0.19 <sup>a</sup>	25.78 ± 0.19 <sup>a</sup>	82.29 <sup>a</sup>	26.12 <sup>a</sup>	8.06
T+G/2	67.81 ± 0.14 <sup>ab</sup>	2.41 ± 0.08 <sup>a</sup>	23.32 ± 0.21 <sup>a</sup>	84.08 <sup>a</sup>	23.45 <sup>a</sup>	5.03

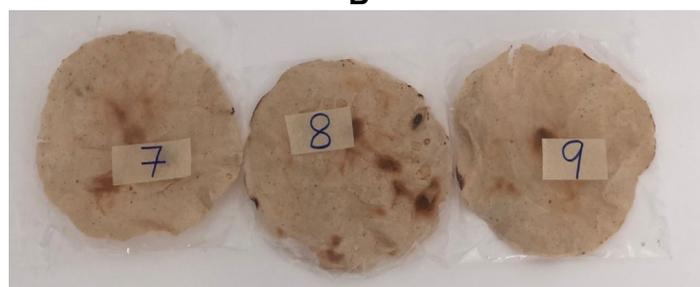
1= promedio de 5 réplicas. L\*= luminosidad. h\* = tono. c\*= croma. Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa (p>0.05).



**A**



**B**



**C**

**Figura 28.** Tlayudas: A) Control = tlayuda obtenida de manera tradicional. B) T+G/1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]. C) T+G/2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL].

Se conoce que el color de los productos elaborados a partir de maíz nixtamalizado son el resultado de varios factores como, propiedades físicas del maíz, la cantidad de cal, tiempo y temperatura de cocción durante el procesamiento termo-alcalino, tiempo de

reposo y grado de lavado del nixtamal, así como su pH final (Sahai *et al.*, 2001; Serna-Saldívar, 2021; Serna-Saldívar, 2018).

Por otro lado, diversos autores afirman que, durante la cocción, debido a las altas temperaturas, la masa pierde humedad, el almidón se gelatiniza más, las proteínas se desnaturalizan y se desarrollan colores más intensos debido a las reacciones de Maillard (Serna-Saldívar, 2021; Zilic *et al.*, 2013).

#### 8.4.2. Perfil de textura (Dureza)

Mediante el análisis de TPA realizado en el centro y extremos de las tlayudas (Control, T+G/1, T+G/2) se determinó la fuerza de corte necesaria para perforar una tlayuda; los resultados de esta prueba se presentan en el cuadro 17, donde se puede observar que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre la muestra Control y las muestras T+G/1, T+G/2, requiriendo estas últimas una mayor fuerza de corte que la muestra Control. Además, se observa que la muestra T+G/2 requiere de mayor fuerza de corte que la muestra T+G/1; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

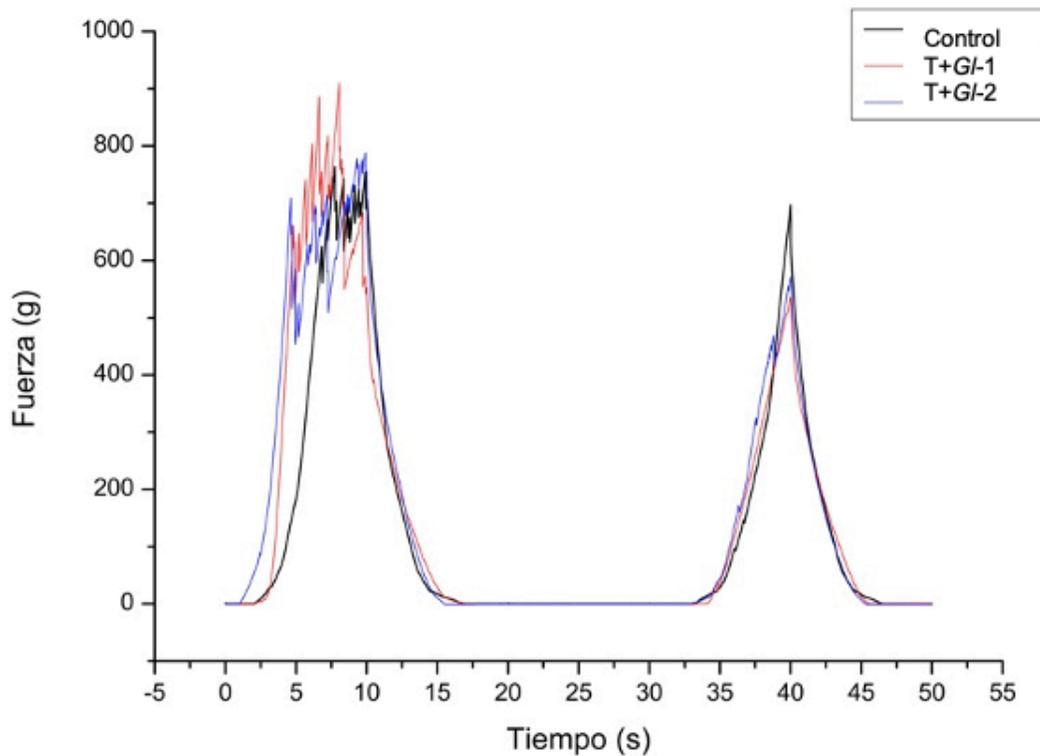
Mismo patrón se presenta en los extremos de las tlayudas, no obstante, la diferencia entre las muestras (Control, T+G/1, T+G/2) no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). No obstante, con los resultados obtenidos, se puede afirmar que al momento de consumir una tlayuda con extracto (T+G/2) se va a requerir de más trabajo para su masticación.

**Cuadro 17.** Análisis de dureza (fuerza de corte en las tlayudas).

Muestras	Centro (g FUERZA)	Extremos (g FUERZA)
Control	440.50±183.14 <sup>b</sup>	976.00±107.48 <sup>a</sup>
T+G/1	1260.50±149.20 <sup>a</sup>	1409.50±340.12 <sup>a</sup>
T+G/2	1369.50±120.92 <sup>a</sup>	1450.50±188.80 <sup>a</sup>

Control = tlayuda de manera tradicional. T+G/1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]. T+G/2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]. Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

En ambos casos (lecturas tomadas de los extremos y del centro), los resultados apuntan que al adicionar el extracto del hongo medicinal *G. lucidum* se obtiene un producto final más duro, comparado con el producto Control (figura 29). En estos casos, el factor que contribuyó a que se presente una mayor dureza en las tlayudas enriquecidas comparadas con las tlayudas Control, es que las primeras, están elaboradas con extractos hidroalcohólicos (etanol al 35%). El mismo comportamiento se puede observar en el estudio realizado por García-Rojas *et al.* (2020), quienes analizaron la fuerza de corte necesaria para perforar tortillas enriquecidas con extracto de *P. agaves*, donde se observa que las tortillas que fueron adicionadas con extracto, requirieron una mayor fuerza de corte que las tortillas sin extracto.



**Figura 29.** Análisis del perfil de textura (TPA) de tlayudas: Control = tlayuda de manera tradicional. T+G/-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. T+G/-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL].

En este sentido, se sabe que, el agua es el constituyente más abundante en ciertos alimentos, y es de importancia crítica para las cualidades deseables de estos,

siendo un factor determinante de muchas reacciones químicas, tanto deseables como no deseables (Fennema, 2010). En las tlayudas, la textura dependerá de la cantidad de agua que tenga el producto, el grosor, la temperatura, las interacciones entre los componentes y el tiempo de cocción, así como el almacenamiento.

Es así que, para la elaboración de las tlayudas enriquecidas, se decidió disminuir la cantidad de agua adicionada durante la molienda y el amasado (figura 15 E-F). Esto con el objetivo de que el extracto adicionado cumpla las funciones del agua durante la obtención de la masa que normalmente se utiliza durante dicho proceso y que otorga las características deseables en la masa y posteriormente la tlayuda.

Debido a que el etanol tiene un punto de ebullición de 78°C, este se volatilizará más rápido en las tlayudas elaboradas con extracto que en las tlayudas sin adición de este, ocasionando que la masa quede con menor cantidad de agua, lo que redundará en una masa más dura (Albores *et al.*, 2006).

Además de la dureza, en el análisis instrumental de perfil de textura (TPA), se midieron varios atributos de calidad, que se presentan en el cuadro 18, donde se puede observar que con respecto al atributo de fracturabilidad, se requiere menos g fuerza en la tlayuda T+G/1 (893.30 gf) y más gramos fuerza en la tlayuda T+G/2 (1038.60 gf). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto a la tlayuda Control.

**Cuadro 18.** Atributos medidos en el análisis de perfil de textura (TPA) en tlayudas<sup>1</sup>.

Muestra	Fracturabilidad (g fuerza)	Cohesividad (g)	Masticabilidad (N)
Control	970.59±21.54 <sup>ab</sup>	0.44±0.01 <sup>a</sup>	235.30±3.09 <sup>a</sup>
T+G/1	893.30±14.76 <sup>b</sup>	0.35±0.01 <sup>b</sup>	262.09±9.25 <sup>a</sup>
T+G/2	1038.60±48.82 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>a</sup>	202.75±29.25 <sup>a</sup>

1= Promedio de dos mediciones. Control = tlayuda de manera tradicional. T+G/ 1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/ 1 [25 mg/mL]. T+G/ 2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/ 2 [25 mg/mL]. Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

En cuanto a la cohesividad (cuadro 18), se observa que la única diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) se da entre la tlayuda Control y la tlayuda T+GI-1, teniendo esta última una menor cohesividad (0.35 g) que la T+GI-2 (0.44).

Con respecto a la masticabilidad, se aprecia que se requiere menor fuerza para masticar la tlayuda T+GI-2 (202.75 N), seguida de la tlayuda Control (235.30 N) y mayor fuerza en la tlayuda T+GI-1 (262.09 N), no obstante, las diferencias no son estadísticamente significativas entre las tres muestras ( $p > 0.05$ ).

Las diferencias que se notaron con respecto a la dureza, fracturabilidad, masticabilidad y cohesividad entre las tlayudas enriquecidas (T+GI-1 y T+GI-2) con respecto al Control, indica que el proceso de deshidratación afecta significativamente los parámetros de TPA, reduciendo la cohesión y aumentando consecuentemente su dureza y masticabilidad (Hleap y Velasco, 2010; Quintero-García *et al.*, 2021; Rahman, y Al-Farsi, 2005), ya que al adicionar el extracto a la masa y someterla a cocción, el alcohol presente en la muestra se evapora más rápido que el agua, provocando una mayor pérdida de humedad en las tlayudas enriquecidas.

En lo que respecta a las variables de textura evaluadas en la prueba de TPA, en el presente y dado que no existen estudios previos para tlayudas enriquecidas con extractos de *Ganoderma lucidum*, lo que demuestra que los resultados obtenidos son novedosos.

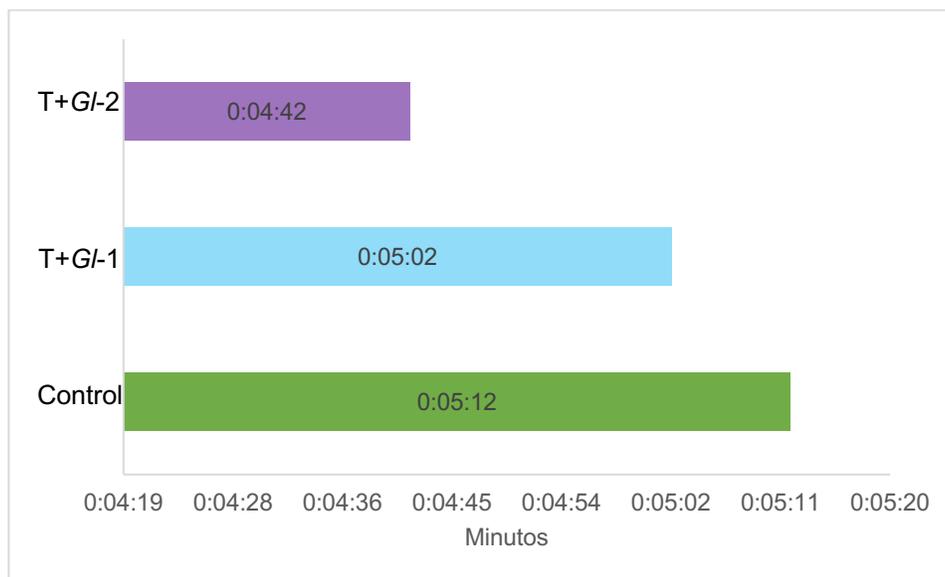
#### **8.4.3. Temperaturas y tiempo de cocción**

Las determinaciones de temperatura y tiempo de cocción fueron tomadas en distintos puntos del comal (figura 16). La mayor temperatura se registra en el centro del comal (363 °C), mientras que, durante el periodo de tostado se requirió una temperatura menor, de entre 261 y 342 °C (cuadro 19).

<b>Cuadro 19. Temperaturas de cocción<sup>1</sup>.</b>					
	Temperatura del comal (°C)				
	C	1	2	3	4
<b>Promedio</b>	363 ± 37.0	330± 38.1	342± 24.5	261± 17.0	272 ± 31.4

1= Promedio de cinco mediciones.

En la figura 30, se presentan los resultados obtenidos para los tiempos de cocción de los distintos tratamientos. Se puede observar que el tiempo de cocción (desde el momento en que se colocó la tlayuda sobre el comal, posteriormente sobre la malla de metal, y hasta que la tlayuda se retiró), no presentó una tendencia definida, sólo que el mayor tiempo de cocción se presentó en las muestras Control, esto debido a que las tlayudas T+G/-1 y T+G/-2 se deshidrataron con mayor velocidad ya que presentan en su composición alcohol y por eso su rápida cocción.



**Figura 30.** Tiempo de cocción de tlayudas: Control = tlayuda de manera tradicional. T+G/-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. T+G/-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL].

Además, se sabe que el tiempo de cocción va a depender tanto de la experiencia de la persona que elabora las tlayudas, como de la temperatura en el comal, la cual está influenciada por varios factores como: El lugar donde se encuentra ubicada la estufa, el tipo de leña, la humedad de la leña, el tamaño de la leña, el viento, la temperatura

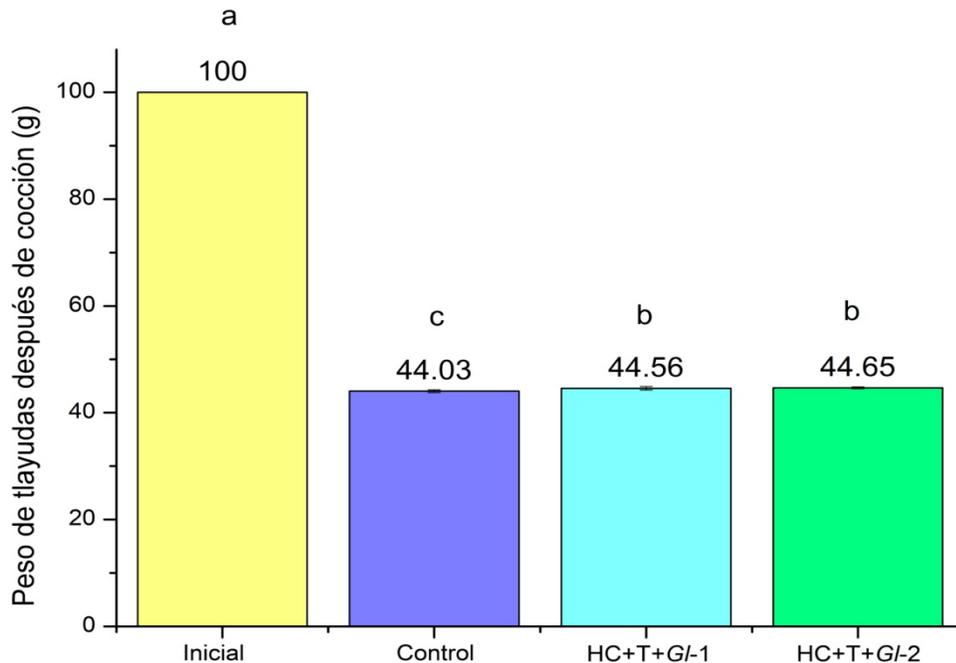
ambiente, entre otros (Vera Romero *et al.*, 2015) por lo que es necesario controlar todas estas variables para mantener una temperatura constante durante todo el proceso estandarizado.

En la figura 31, se muestran los resultados obtenidos de peso en las tlayudas, se observa que todas las muestras presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al Control. Empero, también se puede apreciar que no hay diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) de peso entre las muestras: T+GI-1 y T+GI-2.

El peso inicial de las masas para la elaboración de las tlayudas antes de la cocción fue de 100 g, a partir de este valor se calculó la pérdida de peso en las muestras de tlayudas Control, T+GI-1, T+GI-2, y se pudo observar que la mayor pérdida de peso entre las muestras evaluadas se presentó en la tlayuda Control con un 56%, mientras que la menor pérdida de peso se observó en la muestra T+GI-2, misma que presentó una pérdida de peso de 55% (cuadro 20).

<b>Cuadro 20.</b> Pérdida de peso durante la cocción.				
Muestras	Peso después de cocción (g)		Pérdida de peso	
			(g)	(%)
Control	44.03	0.27	55.97	56.0
T+GI-1	44.56	0.34	55.44	55.4
T+GI-2	44.65	0.17	55.35	55.4

Control = tlayuda elaborada de manera tradicional. T+GI-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]. T+GI-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL].



**Figura 31.** Peso después de cocción de tlayudas: Inicial = tlayuda elaborada de manera tradicional con masa tal como se obtiene después de la molienda. Control = tlayuda de manera tradicional. T+GI-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]. T+GI-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL].

### 8.5. Análisis bromatológico de las tlayudas

El cuadro 21 muestra los resultados de análisis bromatológico de las tlayudas (Control, T+GI-1, T+GI-2). El contenido de grasa y carbohidratos totales fue mayor en la tlayuda Control y menor en la tlayuda T+GI-2. Asimismo, el contenido de fibra dietética y proteína fue mayor en la tlayuda Control seguido de la tlayuda T+GI-1. En lo que respecta al contenido de calcio, este fue mayor en la tlayuda T+GI-1 y menor en la tlayuda Control.

El contenido calórico más alto se presentó en la tlayuda Control, mientras que el menor contenido calórico lo presentó la tlayuda T+GI-2.

En un estudio realizado por García-Rojas *et al.* (2020), donde se enriquecieron tortillas con harina del hongo *Pleurotus agaves*, se observó que, a diferencia del presente estudio, el contenido de grasa aumentó al enriquecer las tortillas con dicho hongo. No obstante, al igual que en el presente estudio, el contenido calórico fue mayor en las tortillas sin enriquecimiento elaboradas de manera tradicional.

**Cuadro 21.** Análisis bromatológico de las tlayudas.

Análisis por 100 g	Control	T+GI-1	T+GI-2
Calorías	378	377	371
Grasas totales	5.40 g	5.38 g	4.81 g
Grasas saturadas	18%	17%	17%
Grasas monoinsaturadas	39%	39%	39%
Grasas poliinsaturadas	43%	44%	44%
Grasas trans	0 %	0%	0%
Colesterol	0 mg	0 mg	0 mg
Humedad	6.40 g	7.21 g	7.95 g
Ceniza	1.47 g	1.59 g	1.56 g
Sodio	9.94 mg	12.8 mg	13.0 mg
Carbohidratos totales	77.83 g	77.13 g	77.07 g
Fibra dietética	8.8 g	7.3 g	7.7 g
Azúcares totales	0.6 g	0.6 g	0.6 g
Azúcares añadidos	0.6 g	0.6 g	0.6 g
Proteína	8.90 g	8.69 g	8.60 g
Calcio	179 mg	250 mg	231 mg
Hierro	3.33 mg	3.29 mg	3.02 mg
Potasio	277 mg	278 mg	273 mg
Vitamina D	0 µg	0 µg	1 µg

A pesar de que se puede observar que nutrimentalmente no hay diferencias notorias entre la tlayuda Control y las tlayudas enriquecidas (cuadro 21), la importancia del desarrollo de este alimento funcional radica en su notable incremento de compuestos bioactivos (polifenoles totales y glucanos) y el incremento en su capacidad antioxidante (como se verá más adelante), esto debido a que se conoce el enorme potencial biológico de estos compuestos, principalmente en el desarrollo de dislipidemias, ya que diversos estudios afirman que el hongo medicinal *Ganoderma lucidum*, presenta un sin número de propiedades, entre las que se encuentran, las propiedades hipoglicémica e hipocolesterolémica (Da et al.,2021; Meneses et al., 2016., Othman et al 2011).

Es importante resaltar que las dislipidemias constituyen uno de los factores de riesgo más importantes de las enfermedades cardiovasculares, entre las que se encuentran la enfermedad aterosclerótica y la enfermedad cerebrovascular con infarto

agudo de miocardio y el ataque cerebrovascular como los que generan la mayor carga de mortalidad (Fontalvo *et al.*, 2021; Jang *et al.*, 2021; Shin *et al.*, 2020).

En el cuadro 22, se presentan los porcentajes de la ingesta diaria recomendada (IDR) cubiertos por 100 g de tlayuda (Control, T+G/1, T+G/2), lo que corresponde a la ingesta de 2 tlayudas. Se puede observar que, las tlayudas Control y T+G/1, cubren en mayor porcentaje la IDR, con base en una dieta de 2000 kcal/día para un adulto.

Con respecto al porcentaje de la IDR de grasas totales cubierto por las tlayudas, fue menor en las T+G/2 (7.2). En el caso de los carbohidratos totales, las tlayudas enriquecidas (T+G/1 y T+G/2), cubren en menor porcentaje las IDR, que las tlayudas Control. En cuanto al contenido de proteína, las tlayudas Control, cubren en mayor porcentaje la IDR, seguidas de las tlayudas T+G/1.

**Cuadro 22.** Porcentaje de la ingesta diaria recomendada (IDR), cubierto por las tlayudas.

Análisis por 100 g	IDR/día Adulto 2000 kcal <sup>1</sup>	Tlayuda Control 100 g (2 tlayudas) %IDR	T+G/1 100 g (2 tlayudas) %IDR	T+G/2 100 g (2 tlayudas) %IDR
Calorías	2000	18.9	18.9	18.6
Grasas totales (g)	66.7	8.1	8.1	7.2
Colesterol (mg)	<200	0	0	0
Sodio (g)	1.5	0.6	0.9	0.9
Carbohidratos totales (g)	300	25.9	25.7	25.7
Fibra dietética (g)	35	25.1	20.9	22
Proteína (g)	75	11.9	11.6	11.5
Calcio (mg)	1000	17.9	25	23.1
Hierro (mg)	21	15.9	15.7	14.4
Potasio (mg)	4700	5.9	5.9	5.8
Vitamina D (µg)	5	0	0	20

<sup>1</sup> = Antoniazzi *et al.* (2021); Bourges-Rodríguez *et al.* (2005); Meyers *et al.* (2006).

## 8.6. Contenido de compuestos bioactivos

### 8.6.1. Determinación de la presencia del extracto de *G. lucidum* después del proceso de cocción y tostado de las tlayudas mediante Espectroscopía Infrarroja (IR)

Los Ácidos Ganodéricos (AGs), son compuestos bioactivos, en su mayoría triterpenoides, responsables de las actividades farmacológicas de *Ganoderma lucidum* y se consideran uno de los principales compuestos medicinales de este hongo (Yao *et al.*, 2019).

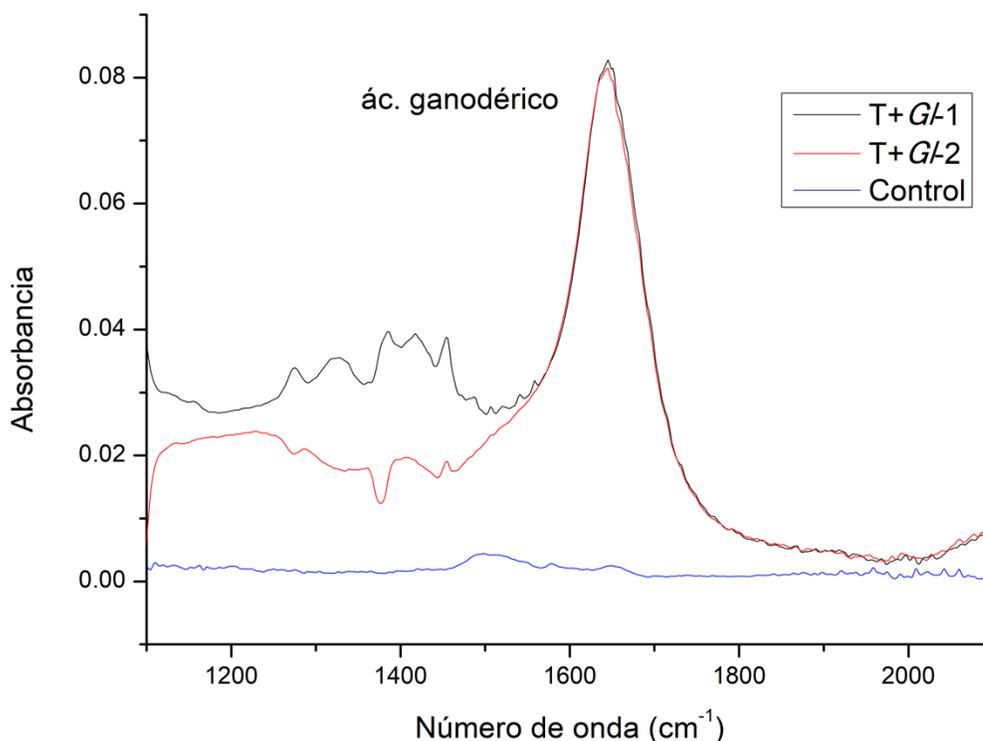
Existen más de cien isoformas de ácidos ganodéricos (como los ácidos ganodéricos C, D, E, F... X, Y, Z, Df, DM, Me) aisladas y caracterizadas de los cuerpos fructíferos, esporas y micelios de *G. lucidum*. Sin embargo, el ácido ganodérico A (AGA) es el primer AG descubierto y también uno de los triterpenoides más abundantes en *G. lucidum* (Da *et al.*, 2021; Gill *et al.*, 2018; Rahman *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2019).

Yao *et al.* (2019), realizaron un estudio donde reportan que la región espectral de  $1500\text{ cm}^{-1}$  a  $1800\text{ cm}^{-1}$  es particularmente útil para distinguir diferentes tipos de AGs.

En este estudio, afirman que en esta región hay varias bandas fuertes que provienen de los modos vibracionales de estiramiento de los enlaces dúplex, entre estas está la banda IR fuerte de  $1659\text{ cm}^{-1}$  que es el modo vibracional de estiramiento de los enlaces dúplex C11\_O33, que corresponde al AGA.

Debido a lo ya mencionado, se consideró determinar la presencia del AGA en las tlayudas (Control, T+GI-1, T+GI-2), para conocer si la cocción de la masa con extracto para la obtención de las tlayudas enriquecidas se ve afectada por la aplicación de calor; para ello se realizó un análisis de espectroscopia infrarroja (IR) de las tlayudas, que se muestra en la figura 32, donde se observa la presencia de AGA en los extractos de T+GI-1 y T+GI-2, en la banda IR fuerte de  $1659\text{ cm}^{-1}$ , como lo reportaron Yao *et al.* (2019).

Sin embargo, se puede apreciar que la muestra T+GI-2 tiene mayor concentración de AGA que el mostrado en T+GI-1.



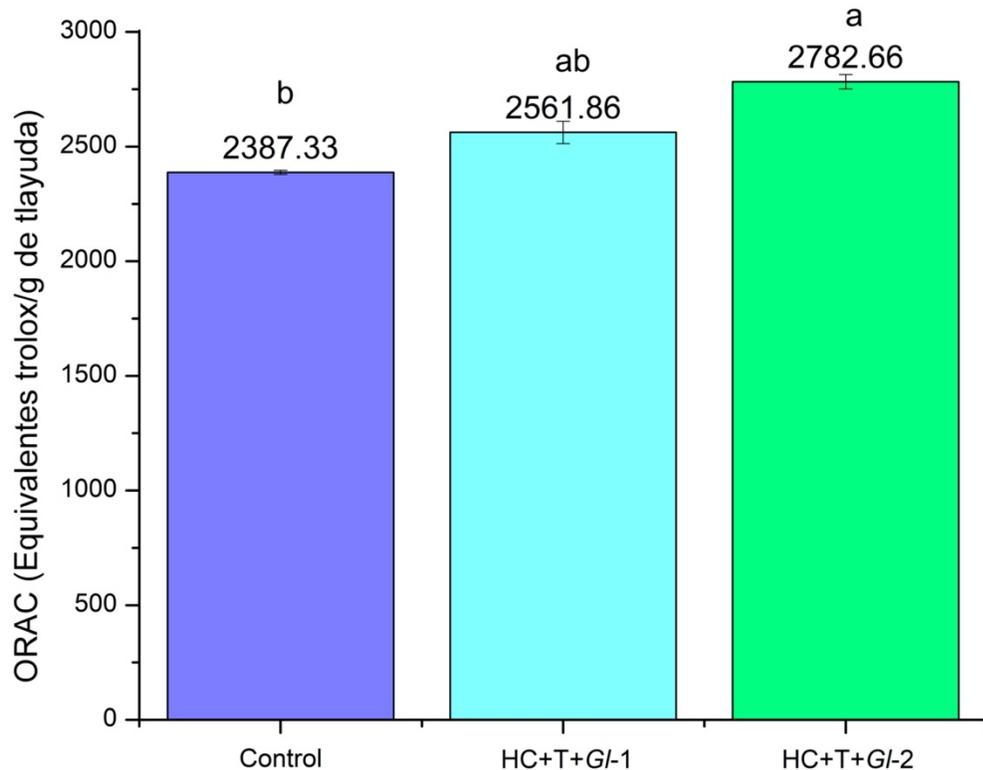
**Figura 32.** Presencia de ácido ganodérico en tlayudas: Control = tlayuda de manera tradicional. T+G/-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. T+G/-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL].

### 8.6.2. Capacidad antioxidante por ORAC (Capacidad de absorbancia de radicales libres de oxígeno)

Diversos autores afirman que los polisacáridos constituyentes activos de *G. lucidum* poseen muchos tipos de bioactividades entre las que se encuentran las propiedades antioxidantes (Alcazar et al., 2021; Wang et al., 2021). Los polisacáridos de *G. lucidum* que muestran actividad antioxidante protegen los tejidos contra la toxicidad de las especies reactivas del oxígeno (ROS) y también ayudan a mantener el estado oxidativo del organismo (Seweryn et al., 2021).

La capacidad antioxidante en las tlayudas (Control, T+G/-1, T+G/-2), se muestra en la figura 33. Se observó una mayor capacidad antioxidante en las muestras enriquecidas (T+G/-1, T+G/-2) con respecto a la muestra Control. Sin embargo, la única diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) se presentó entre la muestra Control y T+G/-2. El comportamiento de estas muestras fue similar al que reportan García-Rojas

et al. (2020) para tortillas elaboradas de manera tradicional y tortillas enriquecidas con 9% de hongo *Pleurotus agaves* (aumento de 306.21 a 495.08  $\mu\text{mol ET/g}$  de base seca).

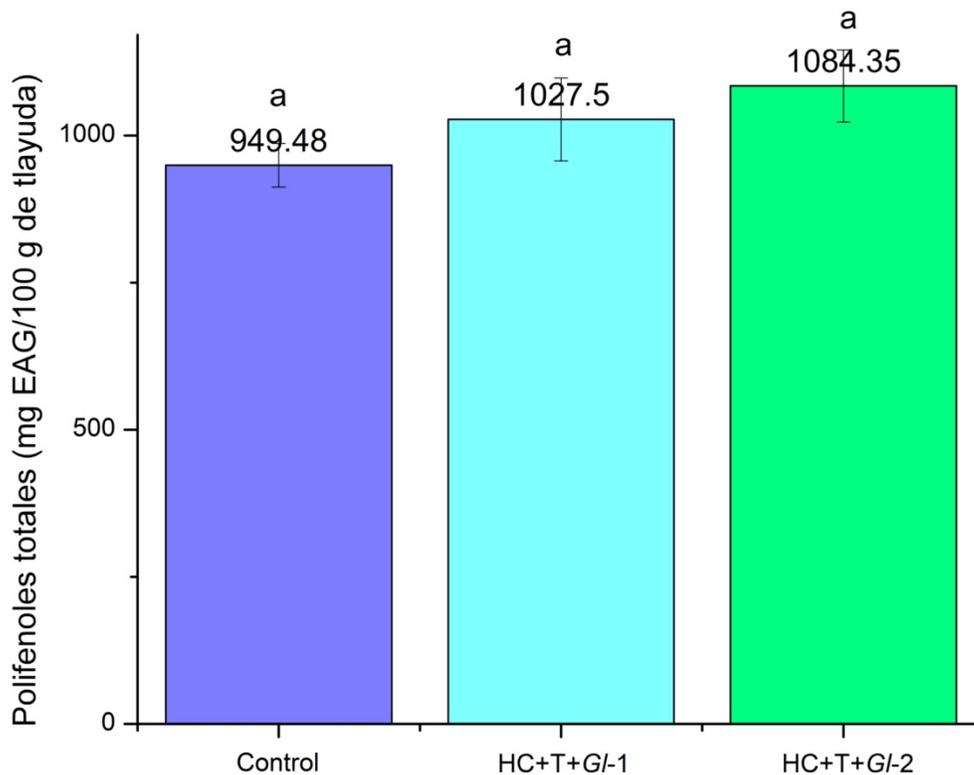


**Figura 33.** Determinación de la capacidad antioxidante (ORAC) en las tlayudas. 1= Promedio de cuatro réplicas. 2= Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa ( $p>0.05$ ). Control = tlayuda elaborada de manera tradicional. T+G/1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]. T+G/2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL].

### 8.6.3. Polifenoles totales

Se analizó y comparó el contenido de polifenoles totales en tlayudas (Control, T+G/1, T+G/2). Los resultados obtenidos mostraron que las tlayudas enriquecidas (T+G/1, T+G/2) presentan un contenido de polifenoles totales mayor al Control, y que, a su vez, la muestra T+G/2 presenta mayor contenido de polifenoles totales que la muestra T+G/1. Sin embargo, las diferencias observadas entre las muestras (Control, T+G/1, T+G/2) no son estadísticamente diferentes ( $p>0.05$ ). Estos resultados muestran que con la

adición del extracto se incrementó el contenido de polifenoles totales en un 14.2 % para la muestra *T+GI-2* con respecto al Control y en un 7.6 % para la muestra *T+GI-1*, igualmente, con respecto al Control (figura 34). No obstante, contrario a esta tendencia, en un estudio realizado para conocer la influencia de *Pleurotus agaves* sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de tortillas de maíz (García-Rojas *et al.*, 2020), se reportó que, al comparar tortillas elaboradas de forma tradicional con tortillas enriquecidas, se observó una reducción de los fenoles totales en tortillas enriquecidas con 9% del hongo.



**Figura 34.** Determinación de polifenoles totales en las tlayudas. 1= Promedio de cuatro réplicas. 2= Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Control = tlayuda elaborada de manera tradicional. *T+GI-1* = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto *GI-1* [25 mg/mL]. *T+GI-2* = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto *GI-2* [25 mg/mL].

Varios factores podrían influir en el contenido fenólico total y en el poder antioxidante, como condiciones durante el cultivo y el procedimiento de deshidratación. Por ejemplo,

si el sustrato es rico en AAS (ácido acetilsalicílico), tanto el contenido fenólico como el poder antioxidante aumentan (Fraile-Fabero *et al.*, 2021).

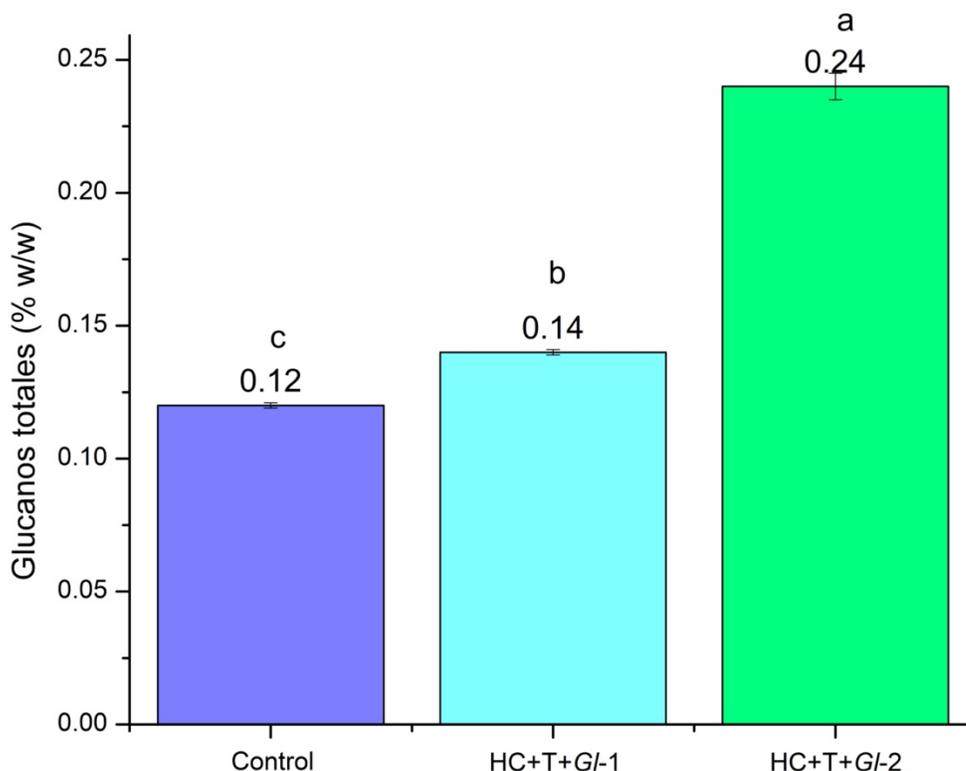
#### **8.6.4. $\beta$ - Glucanos**

Los polisacáridos, como los  $\beta$ -glucanos, son uno de los principales componentes de las paredes celulares de los hongos y desempeñan un importante papel en la inmunidad adaptativa, las propiedades terapéuticas y la mejora del bienestar general (Kiss *et al.*, 2021). son compuestos que se consideran fibra dietética con actividades antiinflamatorias, inmunomoduladoras, antioxidantes, antitumorales, hipocolesterolémicas, antimicrobianas (Morales *et al.*, 2019).

En la figura 35 se presentan los resultados del contenido de glucanos totales en las muestras de tlayudas Control, T+GI-1 y T+GI-2. Se observa que las tres muestras presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre sí. Siendo menor el contenido de glucanos totales en la muestra Control y mayor en la muestra T+GI-2. Esta tendencia coincide con lo reportado por García-Rojas *et al.* (2020), para tortillas elaboradas con y sin adición de hongo, donde en la tortilla enriquecida con 9% de hongo presentó mayor contenido de glucanos totales que la tortilla sin hongo (2.17 y 5.80% en base seca, respectivamente). A pesar de observarse los mismos patrones en comparación con otros productos enriquecidos, se observan diferencias con respecto al contenido de glucanos, esto se debe a diferencias durante las condiciones de crecimiento, las prácticas de cultivo y los métodos de extracción y técnicas de cuantificación aplicados (Kiss *et al.*, 2021).

El consumo de alimentos funcionales (tlayudas enriquecidas) que aporten  $\beta$ -glucanos a la dieta es de gran importancia ya que recientemente se ha reconocido que los  $\beta$ -glucanos son especialmente importantes contra una de las principales causas de muerte más común en los países industrializados, es decir, las enfermedades cardiovasculares (como la fibra, promueven niveles saludables de colesterol y glucosa en sangre) (Barsanti *et al.*, 2011; Pizarro *et al.*, 2014; Wood, 2007). Con base en numerosos estudios clínicos, en 1997 la Administración de Drogas y Alimentos de los

EE. UU. (FDA) aprobó una declaración de propiedades saludables de que los  $\beta$ -glucanos de avena en un nivel de 3 g por día pueden reducir el colesterol y reducir el riesgo de enfermedades coronarias (Barsanti *et al.*, 2011).



**Figura 35.** Determinación de glucanos totales (%W/W) en las tlayudas. 1= Promedio de cuatro réplicas. 2= Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa ( $p>0.05$ ). Control = tlayuda elaborada de manera tradicional. T+G/-1 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]. T+G/-2 = tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL].

## 8.7. Características sensoriales de las tlayudas enriquecidas

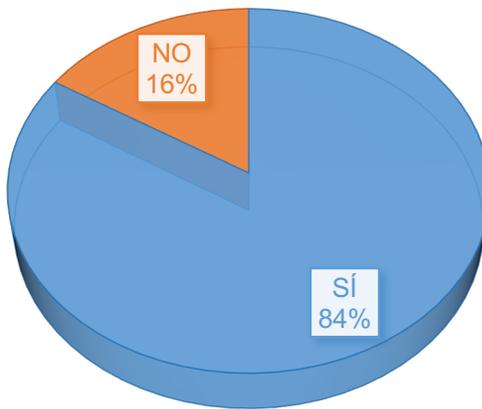
### 8.7.1. Prueba de aceptación

En la figura 37, se presenta el resultado obtenido en la prueba de aceptación de la muestra T+G/-1, misma que fue aplicada a 31 jueces-afectivos. Los resultados muestran que a 29 participantes (94%) sí les gusta la tlayuda enriquecida con extracto G/-1, por lo que estarían dispuestos a adquirirla. Dado que, para establecer significancia en los datos

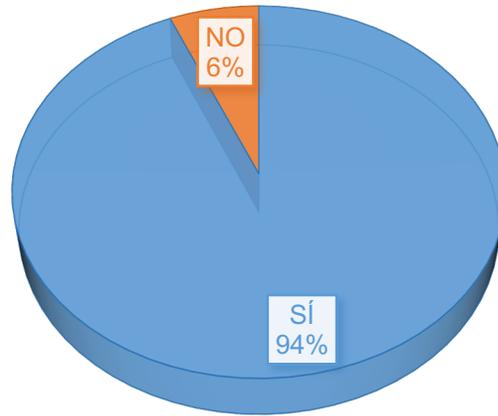
se requieren de 22 juicios correctos, se determina que los resultados obtenidos en el presente estudio para la tlayuda T+G/1 (29 juicios correctos) son aceptados de manera significativa por la población de estudio.

Situación similar se puede observar en los resultados obtenidos para las muestras T+G/2 (Figura 38) (27 juicios correctos), debido a que la mayoría de jueces-afectivos afirmaron que sí les gustaron las tlayudas y estarían dispuestos a adquirirlos, resultados igualmente significativos.

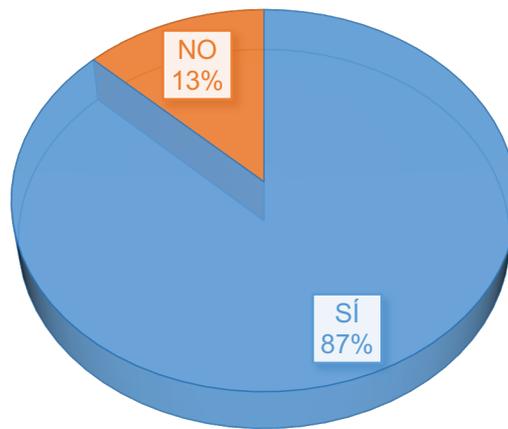
Es importante resaltar que, las tlayudas enriquecidas con extractos de *Ganoderma lucidum* (T+G/1 y T+G/2) tuvieron una mayor aceptación con respecto a las tlayudas Control (figura 36).



**Figura 36.** Prueba de aceptación de la muestra Control (Control = tlayuda elaborada de manera tradicional).



**Figura 37.** Prueba de aceptación de la muestra T+G/1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]).



**Figura 38.** Prueba de aceptación de la muestra T+G/2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]).

### 8.7.2. Escala hedónica de 9 puntos

Los resultados de la evaluación sensorial realizada a 31 jueces-afectivos mediante la aplicación de una prueba de “nivel de agrado” (escala hedónica de 9 puntos) de las tlayudas: Control, T+G/1, T+G/2, se muestran en el cuadro 23. En este se puede observar que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en cada una de las muestras, para todos los atributos evaluados. Asimismo, se observa que la aceptabilidad general para la muestra Control y T+G/2, fue de 7, interpretándose como que las tlayudas Control tuvieron una aceptación regular (gusta moderadamente).

Además, se puede observar que los jueces afectivos presentaron una mejor aceptabilidad general hacia las muestras T+G/-1, donde el promedio de las calificaciones para aceptabilidad general se situó en 8 (gusta mucho). Por otro lado, se puede observar que la menor puntuación se presentó en el atributo “olor” en las muestras Control y T+G/-1.

**Cuadro 23.** Puntuación del análisis sensorial en tlayudas<sup>1,2</sup>.

Atributos	Control	T+G/-1	T+G/-2
Apariencia	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Color	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Olor	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Sabor	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Textura	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Aceptabilidad general	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>

1= promedios de 31 Jueces-afectivos. 2= Letras iguales en la misma fila indican que no existe diferencia significativa ( $p>0.05$ ). Control = 100 g de masa. T+G/-1= 100 g de masa + 5 mL de extracto (20 mg/mL). T+G/-2 = 100 g de masa + 5 mL de extracto (25 mg/mL).

## 8.8. Modelo *in vivo*

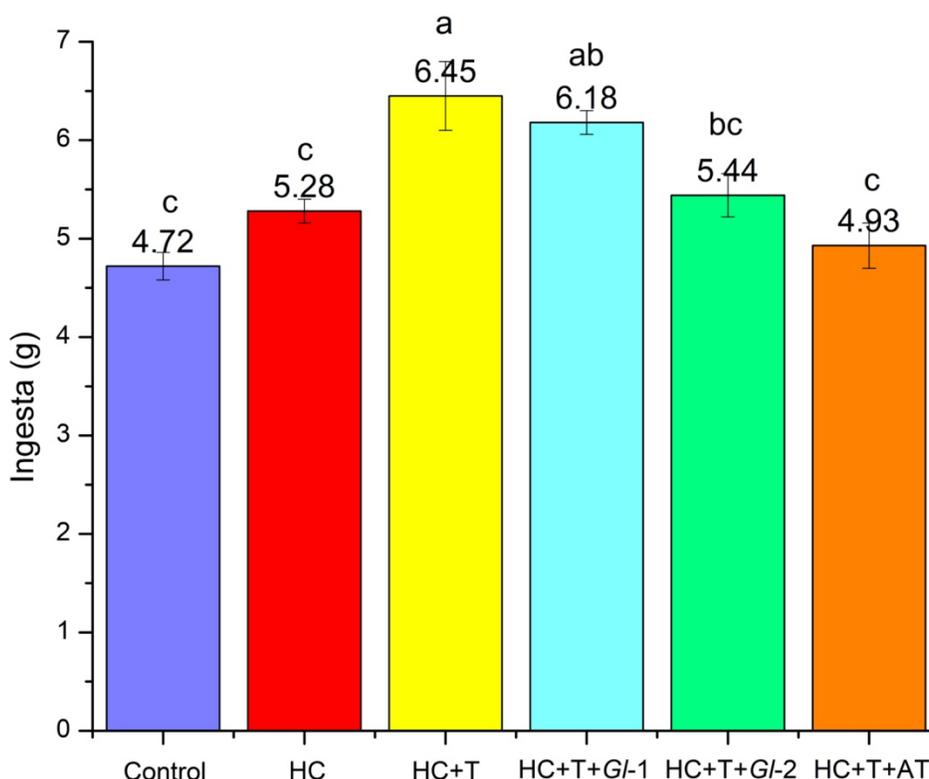
### 8.8.1. Ingesta

En lo que respecta a la ingesta promedio de dietas entre los grupos experimentales, el resultado fue de 5.5 g/día, durante los 45 días de estudio.

Durante este tiempo se pudo apreciar que los ratones aceptaron de mejor manera las dietas: HC+T, HC+T+G/-1 y HC+T+G/-2, como se aprecia en la figura 39, donde la ingesta de los ratones pertenecientes a estos grupos experimentales es superior a la ingesta de los ratones de los grupos: Control, HC y HC+T+AT; a pesar de esto, únicamente se presentan diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en dos de los seis grupos experimentales (HC+T y HC+T+G/-1).

Pese a ello, se observa que el grupo experimental HC+T tuvo una ingesta diaria de alimentos superior que los demás grupos experimentales; sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa ( $p>0.05$ ) con respecto al grupo HC+T+G/-1.

En un estudio realizado por Meneses *et al.* (2016), donde se alimentaron ratones con una dieta alta en colesterol y con extracto de *G. lucidum*, se observó que el promedio de ingesta de los ratones por día fue de: Control: 3.6 g/día, Ch: 3.1 g/día, Ch+Simvastatina: 3.3 g/día, Ch+GI-1: 3.5 g/día, Ch+GI-2: 3.7 g/día; valores menores a los observados en el presente estudio.



**Figura 39.** Ingesta por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+GI-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+GI-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

### 8.8.2. Ganancia de peso

A pesar de que las ingestas diarias de las dietas fueron mayores en los grupos: HC+T, HC+T+GI-1 y HC+T+GI-2, con respecto a los grupos Control y HC, no hubo diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en la ganancia de peso entre estos, a excepción del grupo experimental HC+T+GI-2, que fue uno de los grupos con mayor ingesta de dieta/día, empero, presentó la menor ganancia de peso de todos los grupos experimentales, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ) en comparación con los grupos: Control, HC, HC+T, HC+T+GI-1.

Asimismo, es importante resaltar que, a pesar de que el grupo experimental HC+T+AT tuvo una de las menores ingestas de dieta/día, presentó la mayor ganancia de peso, con respecto a los demás grupos experimentales (figura 40), a pesar de que se elaboró la dieta con atorvastatina.

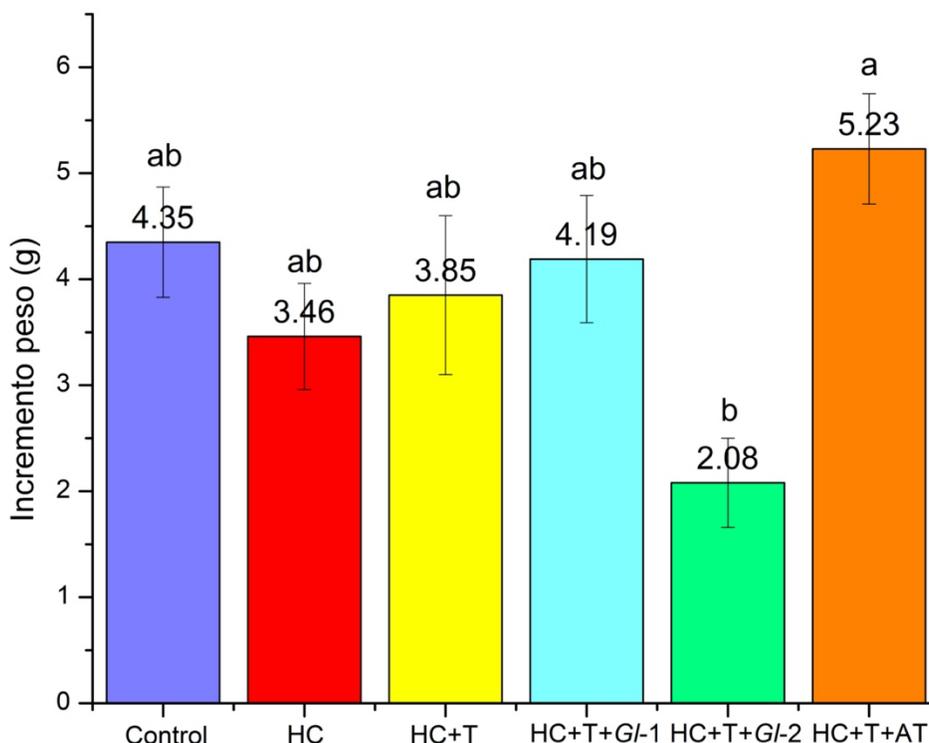
Según Sima *et al.* (2018), los  $\beta$ -glucanos pueden ser más eficaces ya que tienen un mecanismo de acción diferente al de las estatinas; mientras que las estatinas bloquean la acción de la enzima hepática responsable de la producción de colesterol, los  $\beta$ -glucanos promueven un reequilibrio de los niveles de colesterol de base más fisiológica.

En el estudio realizado por Meneses *et al.* (2016), en ratones C57BL/6, a los cuales se les alimentó con una dieta alta en colesterol y con una dieta a la que se adicionó extractos de *G. lucidum* (GI-1 y GI-2), reportaron que la ingesta diaria de alimentos fue de  $3,45 \pm 0,22$  g/d para todos los grupos, siendo esta menor que a la ingesta obtenida en el presente estudio.

Además, al igual que en este estudio, el grupo experimental alimentado con una dieta HC a la que se le adicionó extracto GI-2 (10 mM), la ganancia de peso fue menor que en el resto de los grupos.

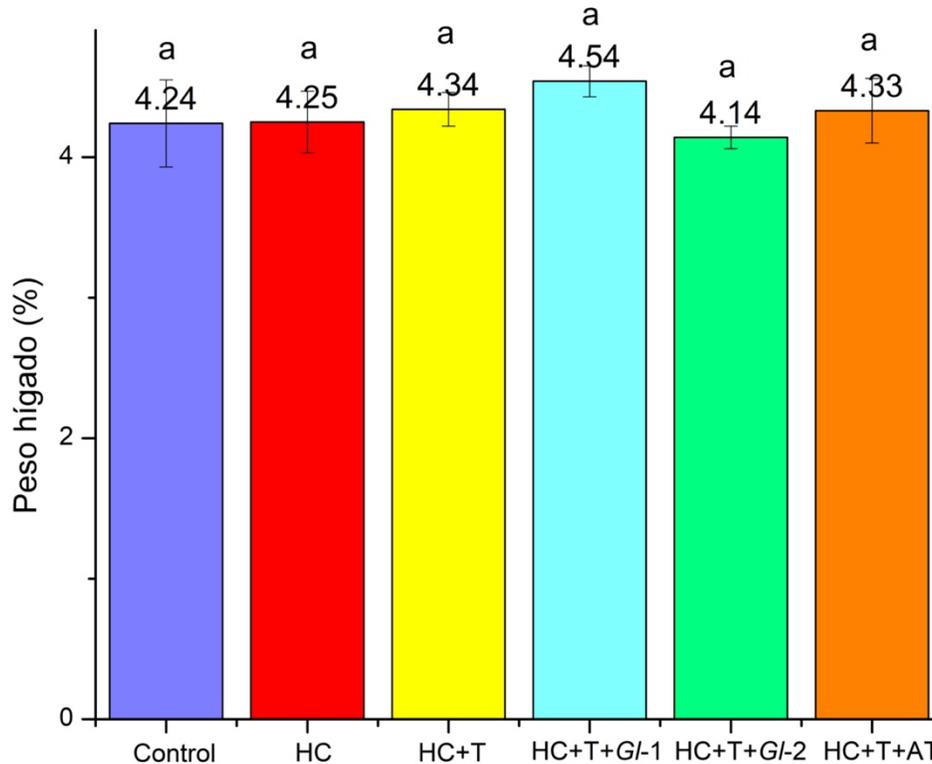
Esta diferencia en la ganancia de peso se atribuye a la presencia de  $\beta$ -glucanos, que son fibras solubles viscosas presentes en los hongos y el maíz (Serna-Saldivar, 2021), los cuales tienen entre sus propiedades, la modulación de la microbiota intestinal (Volman *et al.*, 2010) contribuyendo a la prevención de la obesidad (Nakashima *et al.*,

2018). Además, se ha demostrado que los  $\beta$ -glucanos fúngicos son activadores de la cinasa activada por monofosfato de adenina (por sus siglas en inglés AMPK), enzima involucrada en el balance energético sistémico, considerándose el mayor regulador de la homeostasis energética (Liu *et al.*, 2018; Sima *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2021).



**Figura 40.** Incremento de peso por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+G/1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]). E) HC+T+G/2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

### 8.8.3. Porcentaje de peso en hígado

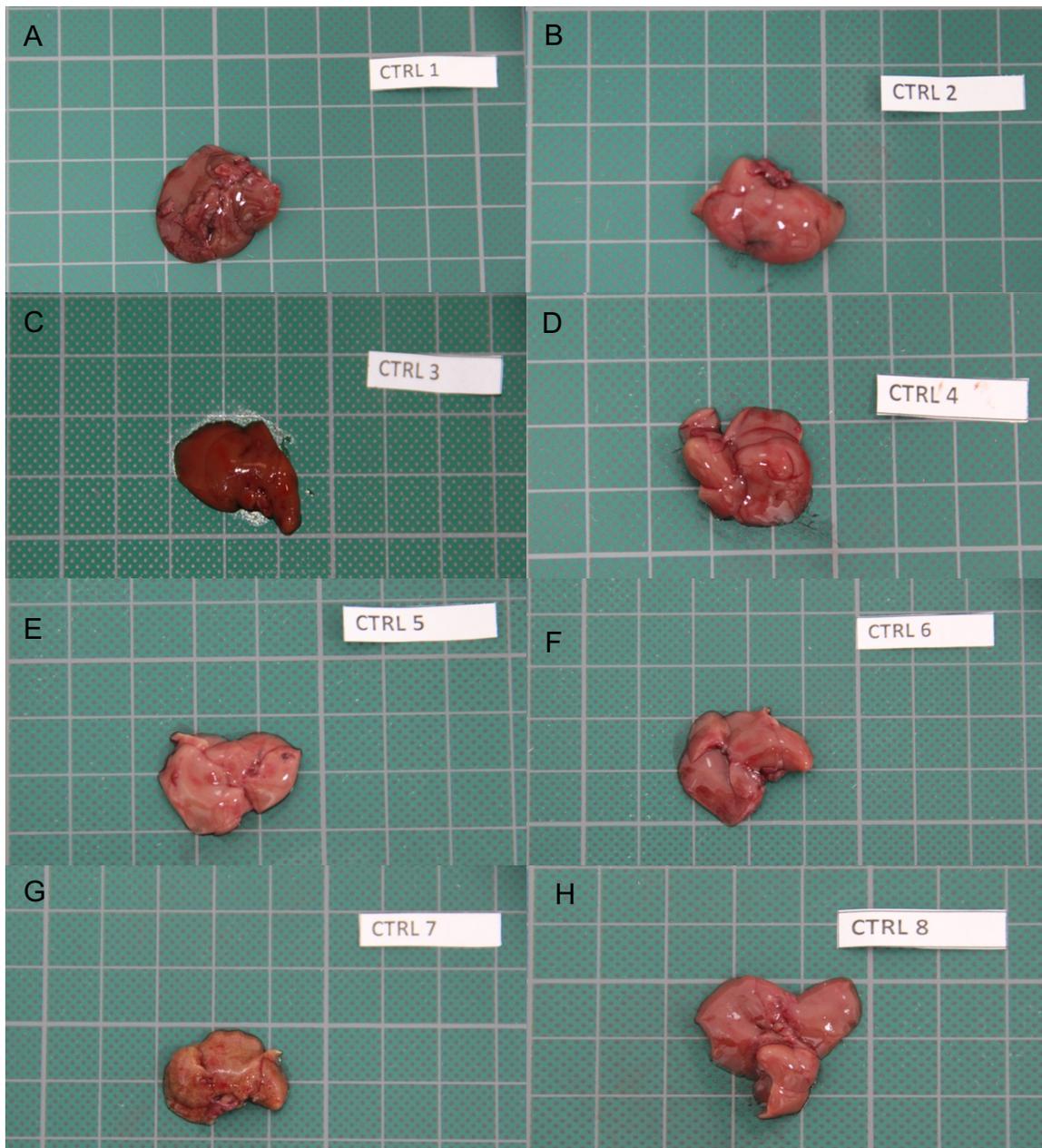


**Figura 41.** Peso de hígado (%) por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+G/-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+G/-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

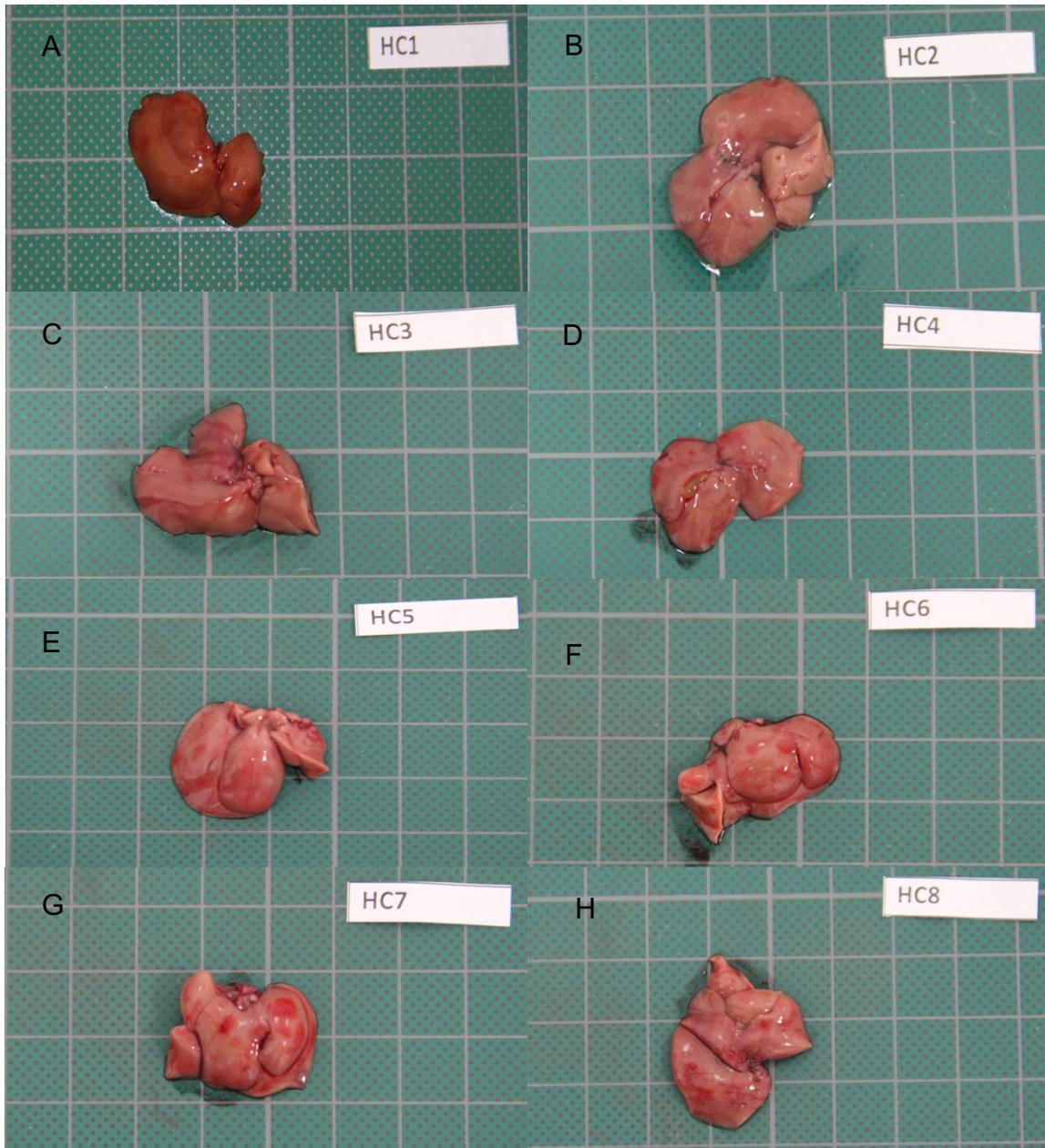
Pese a que se presentaron diferencias significativas de ingesta de dieta/día en dos de los seis grupos experimentales, con respecto al Control y HC, no se observaron diferencias significativas en el incremento de peso y % de peso en el hígado, como se puede ver en la figura 41. Sin embargo, al igual que en la ganancia de peso, el grupo experimental alimentado con la dieta HC+T+G/-2 presenta el menor % de peso en el hígado. Esto se debe a que como se pudo observar en la figura 34, la tlayuda T+G/-2 presentó mayor contenido de glucanos totales, mismos que tienen la propiedad de

reducir el aumento del peso corporal, reducción en la acumulación de lípidos, reducción en de peso del hígado (Meneses *et al.*, 2016; Wu, 2018; Zhong *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020).

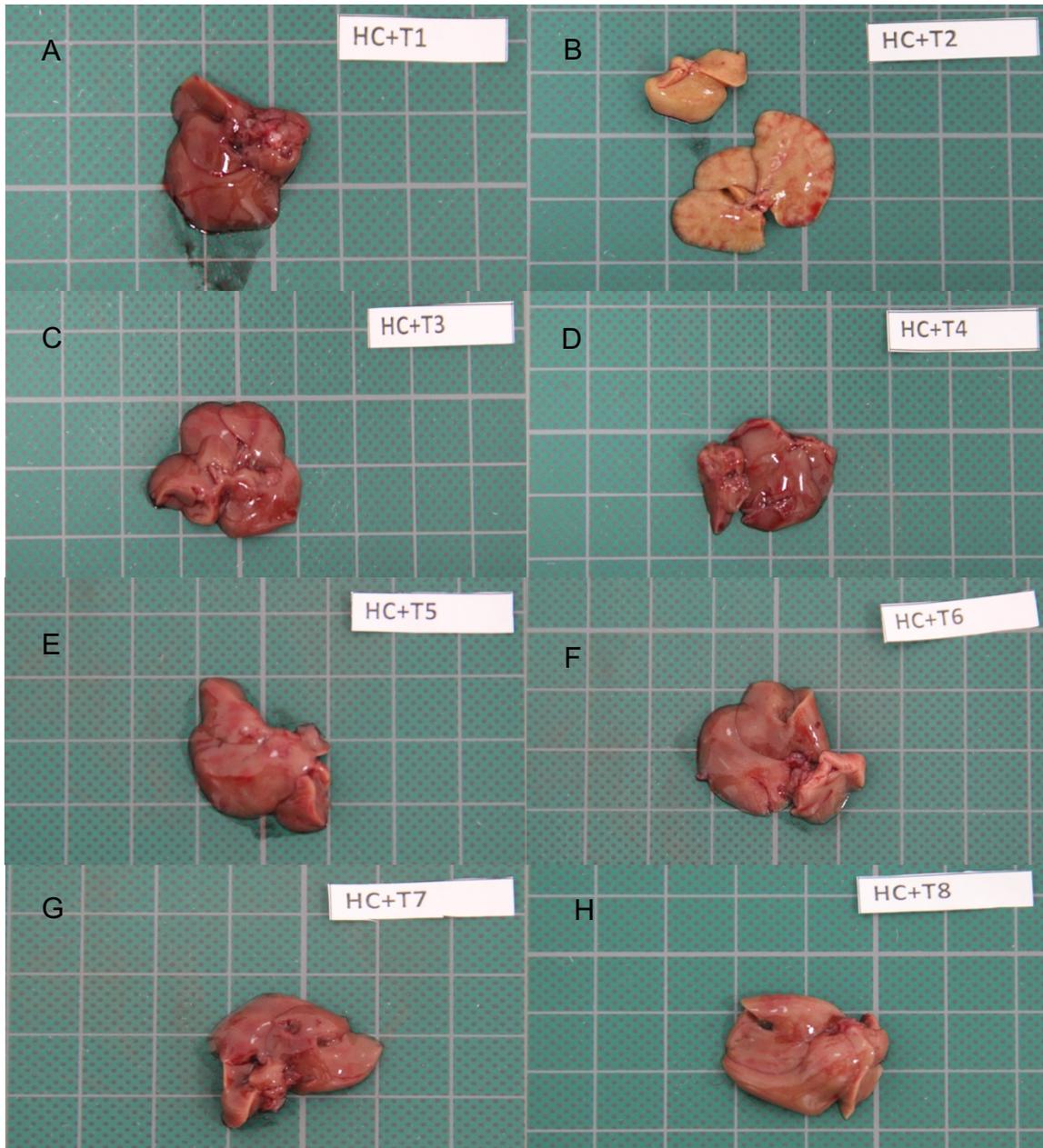
Así también, en los hígados del grupo experimental alimentado con la dieta HC+T+GI-2, se puede observar que la mayoría de estos presentan una coloración más roja (figura 46), debido a la menor acumulación de lípidos en el mismo, en comparación con los hígados de los otros grupos experimentales (figuras 42, 43, 44, 45 y 47, pertenecientes a los grupos: Control, HC, HC+T, HC+T+GI-1 y HC+T+AT, respectivamente) donde la mayoría de los hígados de cada grupo experimental, presentan una coloración blanquecina.



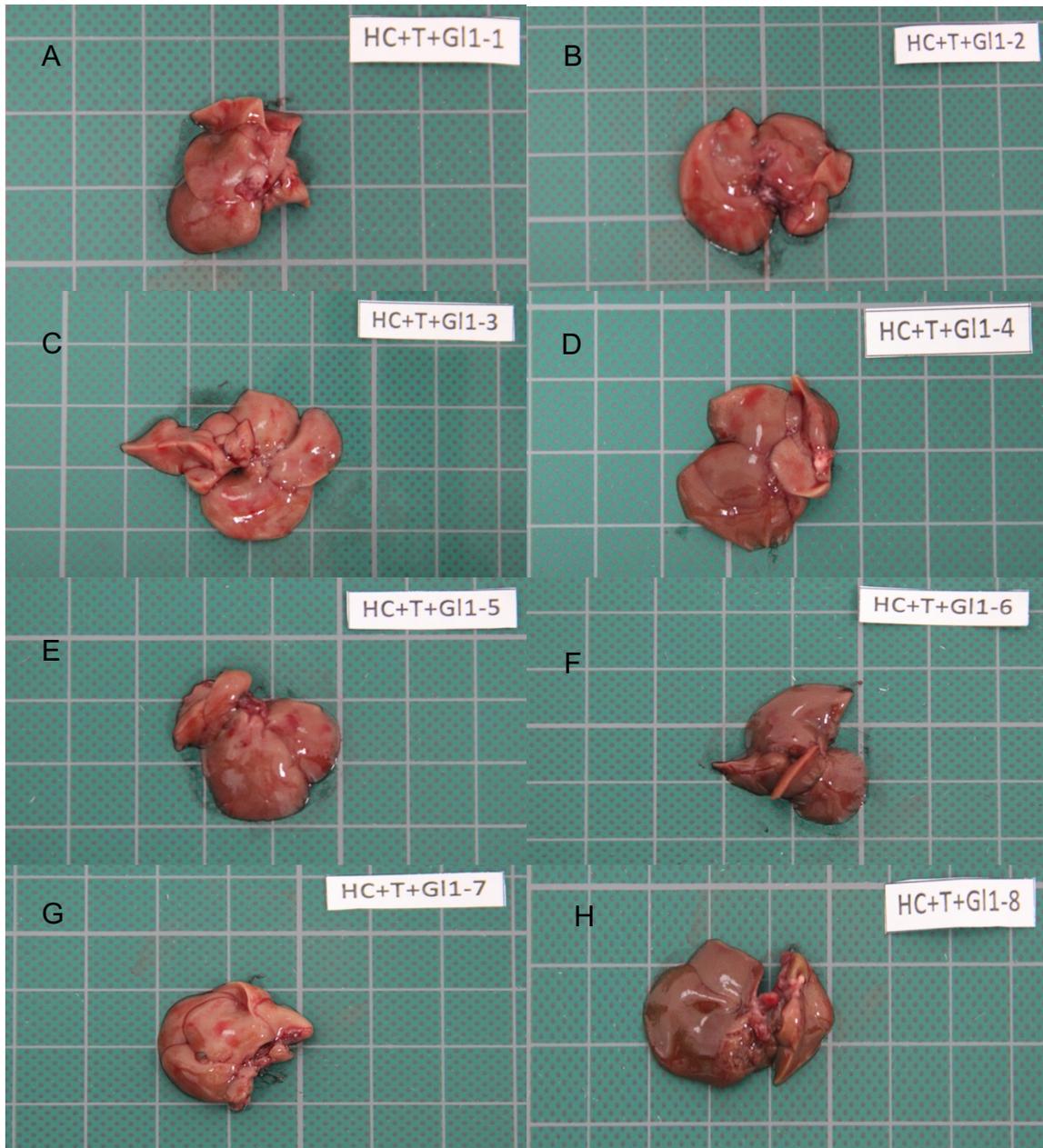
**Figura 42.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo Control. A: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 1. B: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 2. C: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 3. D: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 4. E: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 5. F: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 6. G: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 7. H: Dieta control (AIN-93): Ratón jaula 8.



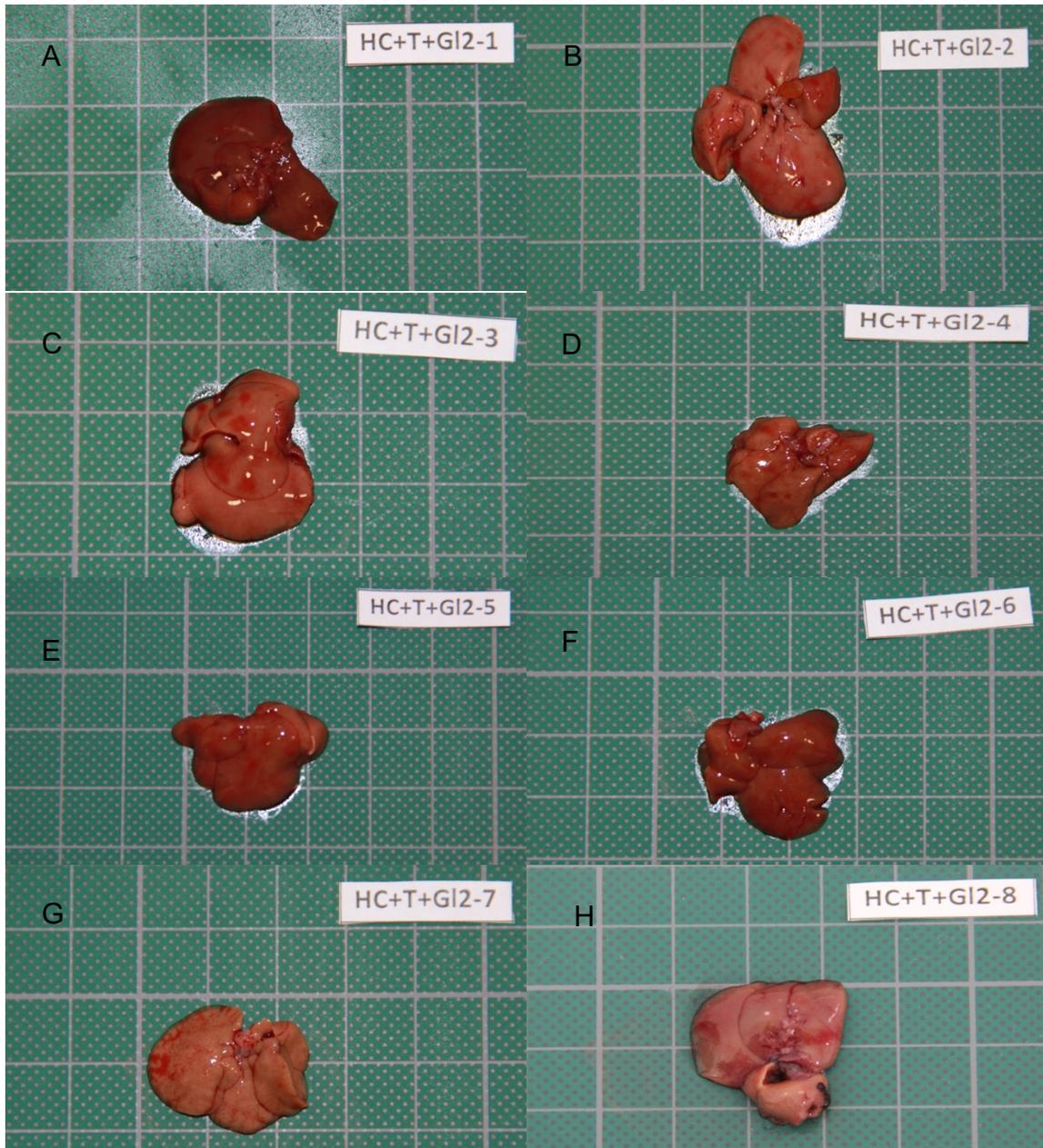
**Figura 43.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol (HC). A: Dieta HC: Ratón jaula 1. B: Dieta HC: Ratón jaula 2. C: Dieta HC: Ratón jaula 3. D: Dieta HC: Ratón jaula 4. E: Dieta HC: Ratón jaula 5. F: Dieta HC: Ratón jaula 6. G: Dieta HC: Ratón jaula 7. H: Dieta HC: Ratón jaula 8.



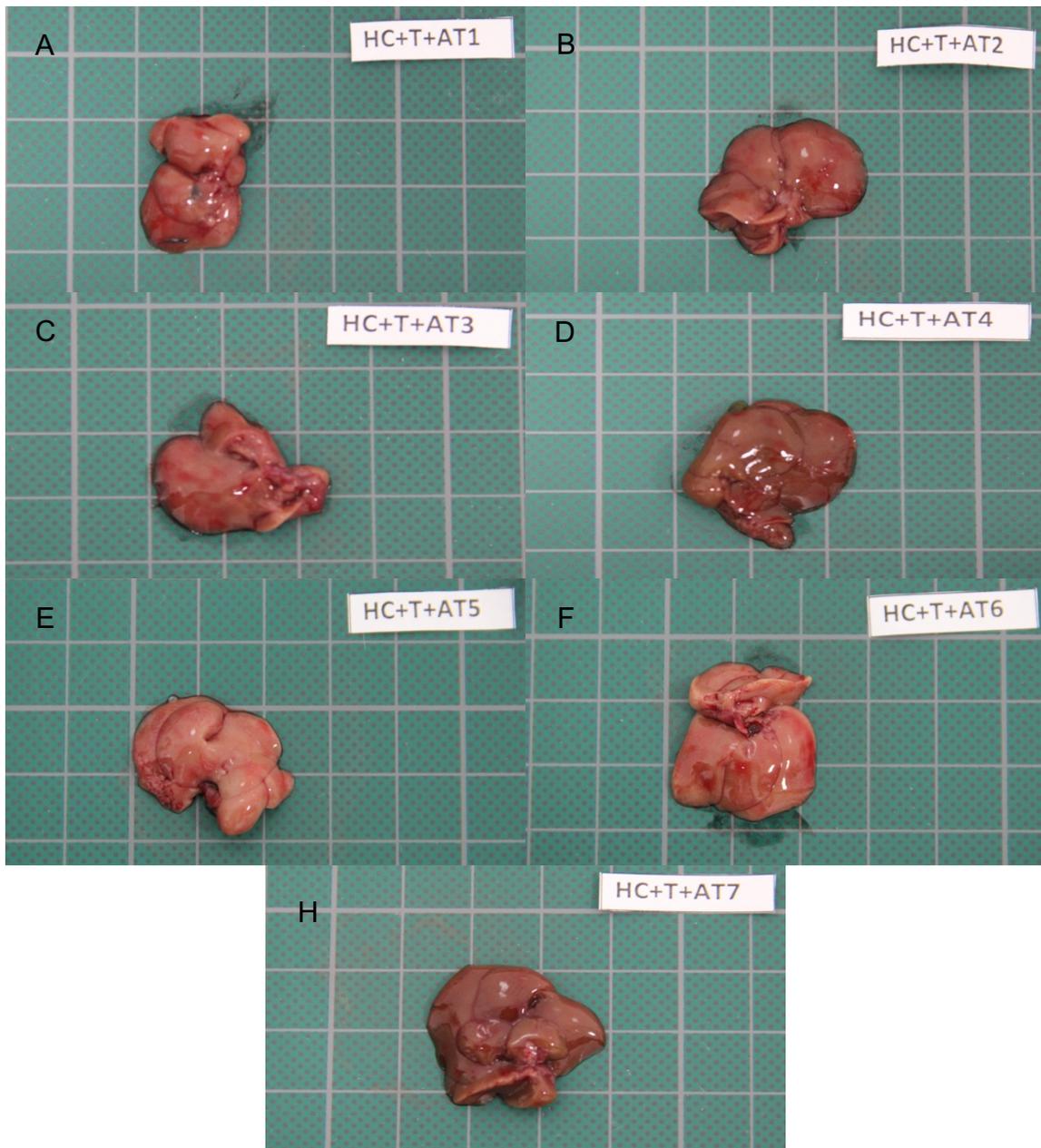
**Figura 44.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control (HC+T). A: Dieta HC+T: Ratón jaula 1. B: Dieta HC+T: Ratón jaula 2. C: Dieta HC+T: Ratón jaula 3. D: Dieta HC+T: Ratón jaula 4. E: Dieta HC+T: Ratón jaula 5. F: Dieta HC+T: Ratón jaula 6. G: Dieta HC+T: Ratón jaula 7. H: Dieta HC+T: Ratón jaula 8.



**Figura 45.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control + *G. lucidum* 1 (HC+T+ *GI*-1). A: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 1. B: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 2. C: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 3. D: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 4. E: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 5. F: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 6. G: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 7. H: Dieta HC+T+*GI*-1: Ratón jaula 8.



**Figura 46.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 del grupo alto en colesterol + tlayuda Control + *G. lucidum* 2 (HC+T+ *GI*-2). A: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 1. B: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 2. C: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 3. D: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 4. E: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 5. F: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 6. G: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 7. H: Dieta HC+T+*GI*-2: Ratón jaula 8.



**Figura 47.** Efecto de dietas experimentales sobre la acumulación de lípidos en el hígado de ratones C57BL / 6 *del* grupo alto en colesterol + tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g] (HC+T+AT). A: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 1. B: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 2. C: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 3. D: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 4. E: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 5. F: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 6. G: Dieta HC+T+AT: Ratón jaula 7.

## 8.8.4. Determinaciones en plasma

### 8.8.4.1. Colesterol

Como era de esperar, al consumir una dieta alta en colesterol, los niveles de colesterol sérico incrementan, como se aprecia en la figura 48, donde el nivel de colesterol en sangre en el grupo HC (101.90 mg/dL) es mayor a la concentración de colesterol en sangre del grupo Control (71.81 mg/dL).

Asimismo, se puede observar que las concentraciones de colesterol en los grupos HC+T, HC+T+GI-1 y HC+T+AT, son menores a la concentración de colesterol en sangre del grupo experimental HC; sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ( $p>0.05$ ).

Por otro lado, se puede observar que al utilizar atorvastatina, medicamento utilizado para disminuir los niveles de colesterol, no se obtienen resultados estadísticamente significativos ( $p>0.05$ ) con respecto al grupo HC, lo que no sucede con la concentración de colesterol en plasma del grupo experimental alimentado con la dieta HC+T+GI-2 (73.88 mg/dL) misma que presenta diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ) con respecto al grupo Control HC, y su concentración en plasma se redujo notablemente, llegando a ser similar a la concentración en plasma del grupo Control las cuales no son estadísticamente diferentes ( $p>0.05$ ).

Es importante resaltar que, al adicionar tlayuda a la dieta en el grupo experimental HC+T (91.16 mg/dL), disminuye el contenido de colesterol en plasma con respecto al grupo HC, esto se debe a la presencia de fibra soluble ( $\beta$ -glucanos) presentes el maíz (Serna-Saldívar, 2021).

Al igual que en el presente estudio, en un estudio realizado por Meneses *et al.* (2016), el uso de extractos de *G. lucidum* en ratones C57BL/6 alimentados con una dieta alta en colesterol, disminuyó significativamente el colesterol en sangre.

Caso similar se reportó en un estudio realizado por Guo *et al.*, 2018, en el cual utilizaron extractos etanólicos obtenidos del cuerpo fructífero de *G. lucidum*, donde se

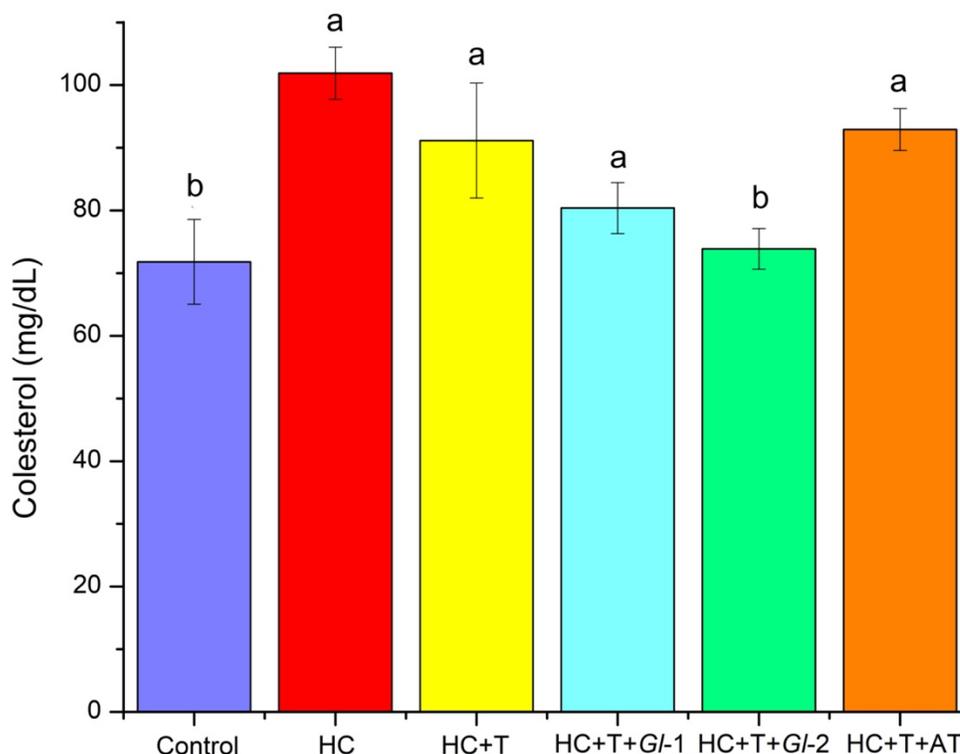
observó una disminución en los niveles de colesterol de ratas Wistar alimentadas con una dieta alta en grasa.

La reducción en el colesterol se debe a la presencia de triterpenos (AGs) y polisacáridos (glucanos) presentes en el hongo medicinal *Ganoderma lucidum*.

Los glucanos, considerados fibra soluble importantes en el metabolismo del colesterol debido a su capacidad para formar una capa viscosa en la superficie de absorción en el intestino delgado, atenuando la absorción intestinal del colesterol alimentario y la reabsorción de los ácidos biliares. La inhibición de la reabsorción de ácidos biliares puede, por tanto, aumentar la síntesis de ácidos biliares a partir del colesterol y reducir los niveles de colesterol LDL circulante.

Además, el b-glucano puede aumentar la excreción fecal de ácidos biliares y mejorar la conversión hepática de colesterol en ácido biliar. La reducción de los niveles de ácidos biliares hepáticos activa la colesterol 7  $\alpha$ -hidroxilasa, la enzima limitante de la síntesis de ácido biliar a partir del colesterol, lo que reducirá el contenido de colesterol en las células hepáticas, lo que aumenta la síntesis de receptores de LDL y mejora la eliminación del colesterol LDL en el plasma. La disminución del contenido de colesterol intracelular también puede regular al alza la síntesis hepática de la 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A reductasa, la enzima limitante de la síntesis de colesterol. El b-glucano de avena también puede reducir la captación de ácidos grasos de cadena larga yeyunales e ileales, y reguló a la baja la expresión de los genes implicados en la síntesis de ácidos grasos y el metabolismo del colesterol (Othman *et al* 2011).

Por otro lado, los Ácidos ganodéricos (AGs), también intervienen en el metabolismo de colesterol al inhibir la enzima lanosterol 14  $\alpha$ -Desmetilasa (Hajjaj *et al.*,2005).



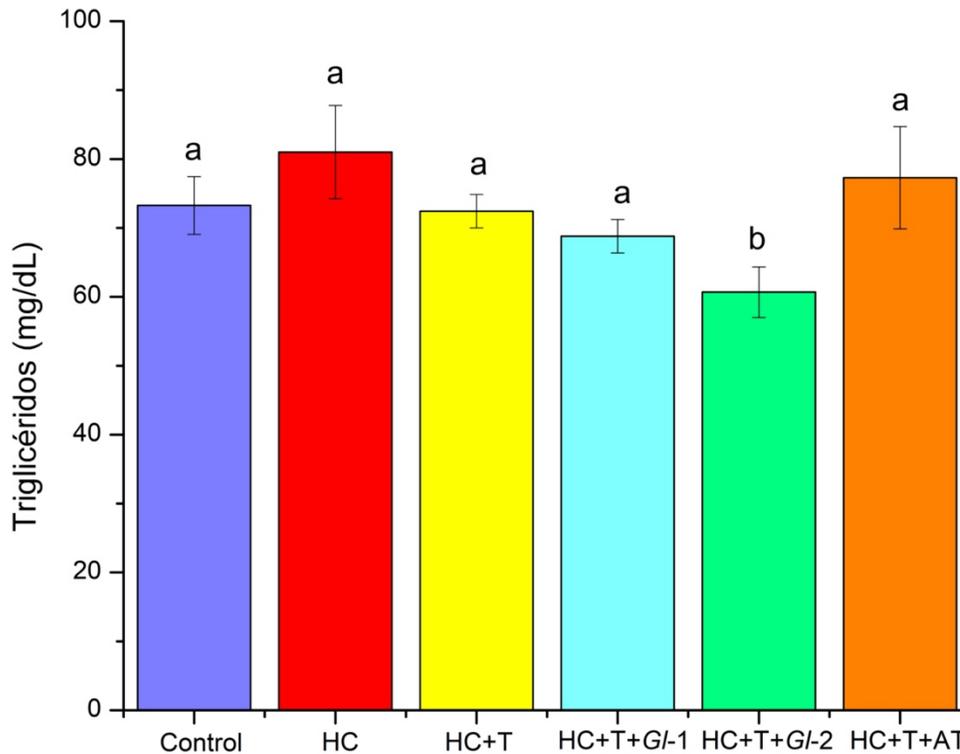
**Figura 48.** Colesterol en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+GI-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+GI-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

#### 8.8.4.2. Triglicéridos (Tg)

Como se puede observar en la figura 49, el grupo experimental alimentado con la dieta HC+T+GI-2 y el grupo alimentado con la dieta HC presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en su concentración de triglicéridos; mientras que en el resto de los grupos experimentales no sucede así.

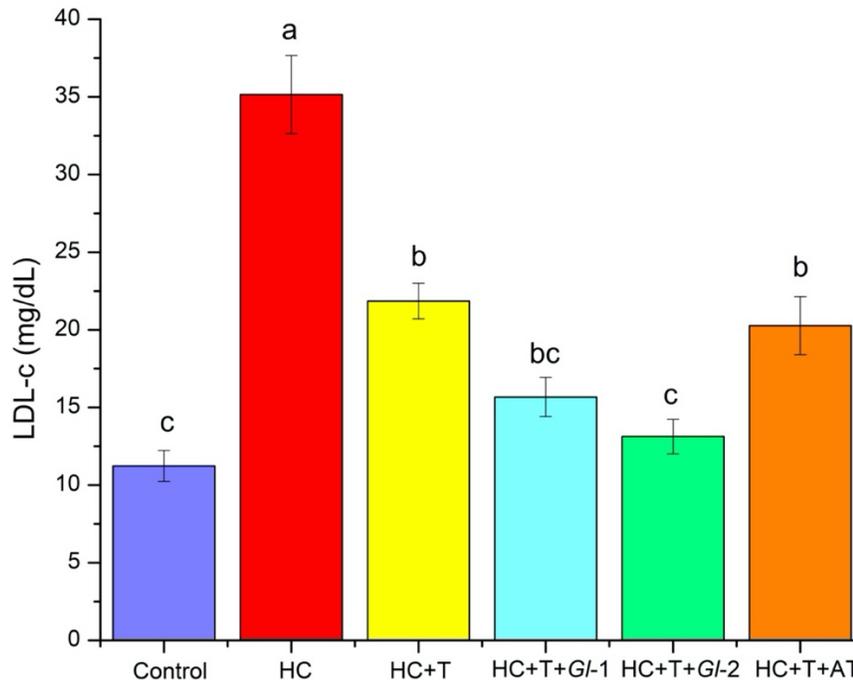
Se puede apreciar que en los grupos experimentales que consumieron dietas elaboradas con extractos de *G. lucidum* (HC+T+GI-1 y HC+T+GI-2), la concentración de triglicéridos es menor que en el grupo experimental donde se alimentaron a los ratones con una dieta a la que se le adicionó atorvastatina (HC+T+AT), medicamento utilizado para disminuir

la concentración de triglicéridos en sangre. Al igual que en el estudio realizado por Meneses *et al* (2016), la concentración de triglicéridos en plasma fue menor en los grupos experimentales en los que se adicionó extracto hidroalcohólico de *G. lucidum* a la dieta de los ratones.



**Figura 49.** Triglicéridos en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+G/1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]). E) HC+T+G/2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

### 8.8.4.3. LDL-c

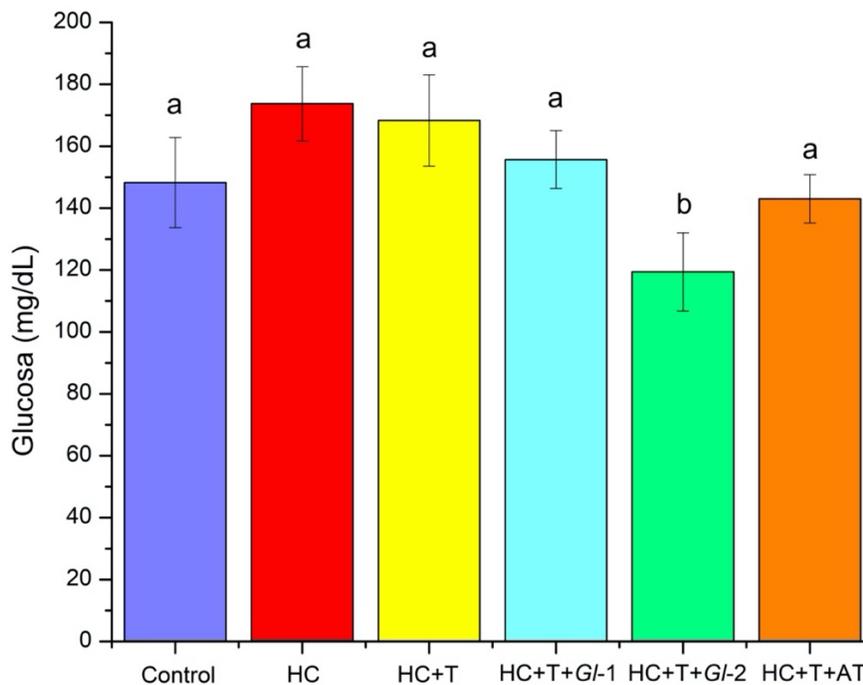


**Figura 50.** LDL-c en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+GI-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+GI-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

Al incrementarse los niveles de colesterol en sangre debido a la ingesta de una dieta alta en colesterol, los niveles LDL-C incrementan, como se puede observar en la figura 50. Se puede apreciar que la concentración de LDL-c en el grupo experimental alimentado con una dieta alta en colesterol (HC) incrementa en un 213% con respecto al Control (11.24 mg/dL), sin embargo, al igual que en la concentración de colesterol en plasma, al adicionar a la dieta tlayudas (HC+T) disminuye la concentración de LDL-c en sangre en un 10.6 % con respecto al grupo HC (35.15 mg/dL). No obstante, se puede observar que al adicionar a la dieta tlayudas enriquecidas con extracto de *Ganoderma lucidum*, HC+T+GI 1 (55.41 %) y HC+T+GI 2 (62.67 %) la disminución de LDL-c en sangre es

mayor que al adicionar únicamente tlayudas (HC+T) o que al adicionar atorvastatina (42.33 %). Es de conocimiento que, las enfermedades cardiovasculares están estrechamente relacionadas con las patologías del metabolismo de los lípidos (Múñoz *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2021). Sin embargo, se ha demostrado que los  $\beta$ -glucanos pueden disminuir el colesterol de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y aumentar las lipoproteínas de alta densidad (HDL), aliviando la dislipidemia (Barsanti *et al.*, 2011).

#### 8.8.4.4. Glucosa



**Figura 51.** Glucosa en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+GI-1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-1 [25 mg/mL]). E) HC+T+GI-2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+GI-2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto GI-2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

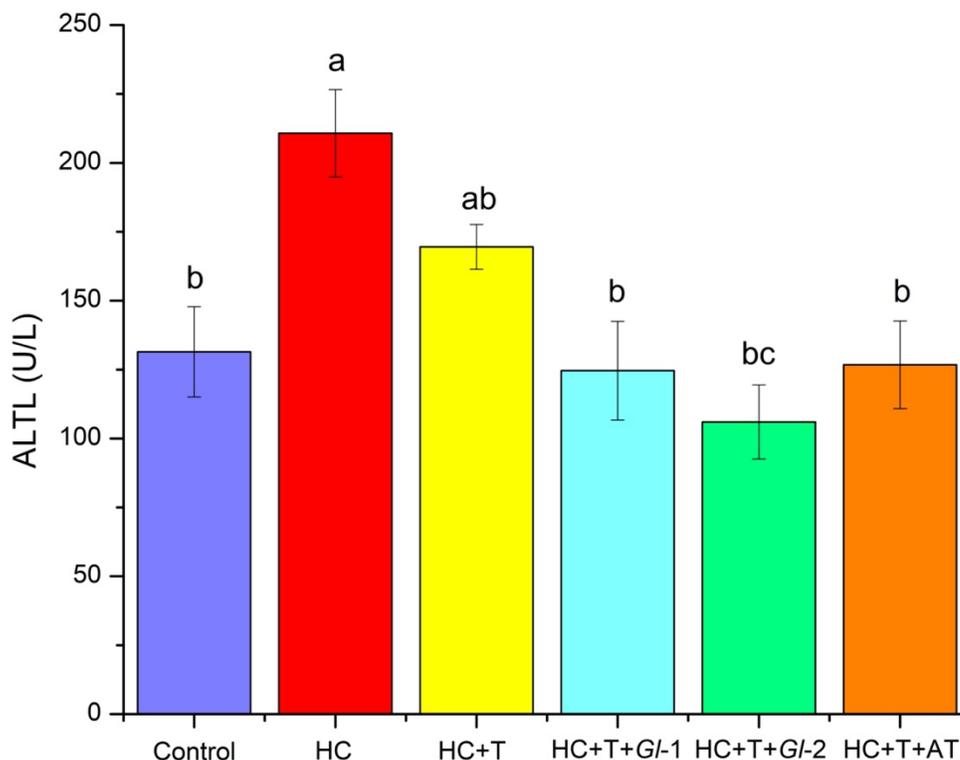
La concentración de glucosa sérica no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) en la mayoría de los grupos experimentales con respecto al grupo Control (figura 51). La única diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) se observó en el grupo HC+T+GI 2 (119.40 mg/dL), mismo que presentó una disminución significativa de glucosa en plasma. La reducción en la concentración de glucosa se debe a la presencia de polisacáridos presentes en los extractos del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*, a los cuales se les ha comprobado que tienen potencial antidiabético, actuando a través de la regulación de enzimas (glucoquinasa hepática, fosfofructoquinasa, glucosa -6-fosfato deshidrogenasa, etc.) relacionadas con las vías mediadas por glucosa (Da et al., 2021).

#### **8.8.4.5. ALTL**

Se presentaron diferencias en las transaminasas séricas ALTL en relación con los distintos tratamientos (figura 52), es así que, al proporcionar una dieta alta en colesterol, los niveles de transaminasas séricas ALTL incrementaron significativamente ( $p < 0.05$ ) en un 60.3 % con respecto al grupo Control (131.44 U/L).

Empero, al adicionar tlayudas a la dieta (HC+T) la concentración de transaminasas séricas ALTL disminuyó en un 19.5 % con respecto al grupo HC, no obstante, la disminución de transaminasas séricas ALTL con respecto al grupo experimental HC fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en los grupos experimentales HC+T+GI 1 (40.9%) y HC+T+GI 2 (49.7%), siendo este último el que mayor reducción presentó.

En lo que respecta al grupo experimental HC+T+AT, la disminución de transaminasas séricas ALTL (39.9%) también fue significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto al grupo HC, sin embargo, fue menor a la disminución presentada por el grupo HC+T+GI 2.



**Figura 52.** ALTL en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+G/1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]). E) HC+T+G/2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

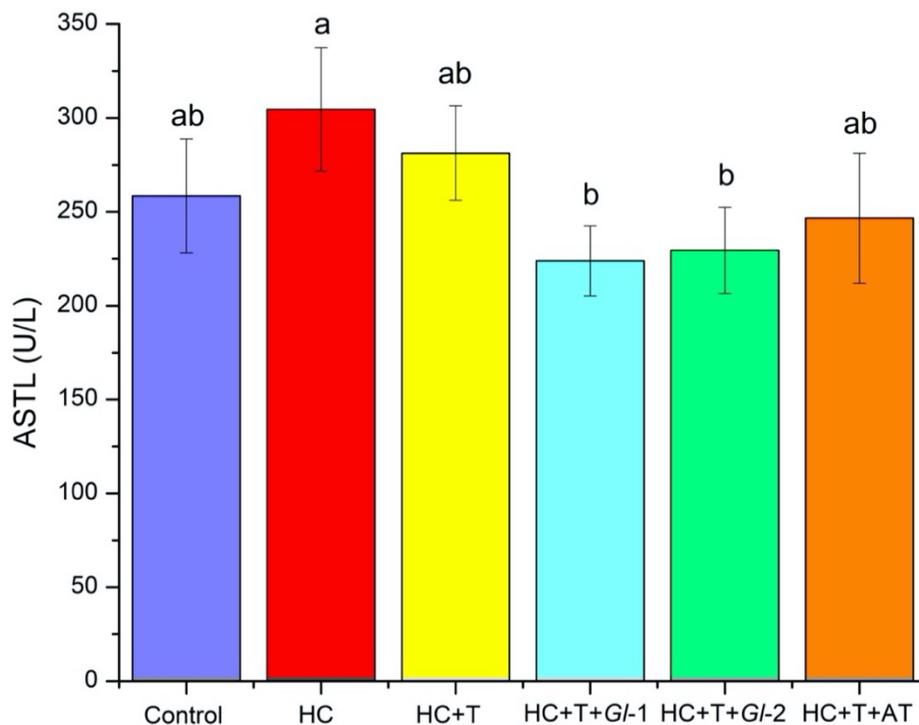
#### 8.8.4.6. ASTL

En la figura 53 se presentan los resultados obtenidos de los niveles de transaminasas séricas ASTL, y se puede apreciar que al igual que en las ALTL, se presentaron diferencias en las transaminasas séricas en relación con los distintos tratamientos.

Se puede observar que, al suministrar una dieta alta en colesterol las transaminasas séricas ASTL (HC) incrementaron en un 17.8% con respecto al Control, no obstante, este incremento no fue estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ).

En los grupos experimentales que fueron alimentados con dietas que contenían extracto de *G. lucidum* (HC+T+G/1 y HC+T+G/2) las concentraciones de transaminasas séricas ASTL al final del experimento fueron significativamente menores (223.86 y 229.43 U/L, respectivamente) a la concentración de transaminasas séricas ASTL del grupo HC.

En lo que respecta a los grupos experimentales HC+T y HC+T+AT, se observó que las transaminasas séricas ASTL (281.34 y 246.60 U/L, respectivamente) fueron menores que las transaminasas séricas ASTL del grupo experimental HC, sin embargo, estos resultados no fueron estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ).



**Figura 53.** ASTL en plasma por grupo experimental del modelo *in vivo*. Los datos se presentan como media  $\pm$  ESM. Las medias en una columna que muestra letras diferentes indican una diferencia estadísticamente significativa,  $p < 0,05$ . A). Control: Dieta control (AIN-93). B) HC: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol). C) HC+T: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + Tlayuda Control (tlayuda elaborada de manera tradicional). D) HC+T+G/1: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/1 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/1 [25 mg/mL]). E) HC+T+G/2: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+G/2 (tlayuda enriquecida con 5 mL de extracto G/2 [25 mg/mL]). F) HC+T+AT: Dieta alta en colesterol (0.5% de colesterol) + T+AT (Tlayuda Control + atorvastatina [0.03 g/100 g]).

## IX. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Con base a los resultados obtenidos en el presente estudio, la hipótesis planteada, de que la adición de extractos hidroalcohólicos del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* a tlayudas, generará un producto novedoso con propiedades funcionales del hongo (gran actividad antioxidante, contenido polifenoles totales y mayor contenido de glucanos totales) y con gran potencial en la salud y alimentación de comunidades rurales de Oaxaca, México, es aceptada, por lo que se establecen las bases para la generación y diversificación de productos tradicionales funcionales y como parte de una cadena agroalimentaria microbiana para la agregación de valor a los hongos funcionales y medicinales.

## X. CONCLUSIONES

1. La adición de los extractos de *G. lucidum* influyó sobre el contenido de humedad de las masas con respecto al Control (58.23 %), sin embargo, no de manera significativa (58.66 T+GI-1 y 58.72 T+GI-2). Esta influencia sobre el contenido de humedad incrementó la viscosidad de las masas M+GI-1 (360.74 mpa\*s) y M+GI-2 (370.7 mpa\*s) con respecto al control (314.44 mpa\*s) y afectó directamente algunos de los atributos de calidad de las tlayudas enriquecidas.
2. La adición de extractos de *G. lucidum* influyó sobre el perfil de textura (dureza) de las tlayudas, el cual registró un incremento de 13.59% en el centro, y de 43.19% en los extremos.
3. Las tlayudas enriquecidas presentaron un mayor contenido de polifenoles totales (1619.54 EAG µg/mL) que las tlayudas sin adición de extractos (1410.80 EAG µg/mL). La temperatura utilizada durante todo el proceso de cocción (272.6°C - 363°C) no desnaturalizó las propiedades funcionales aportadas por los extractos del hongo medicinal *G. lucidum*.
4. La elaboración de tlayudas con extractos de *G. lucidum* no influyó significativamente en la calidad sensorial (sabor, color, olor) de las tlayudas T+GI-1 y T+GI-2 (puntuación de 8 y 7, respectivamente), mismas que tuvieron una buena aceptación.
5. A pesar de que la adición de extractos influyó sobre algunas propiedades físicas de las tlayudas, el efecto no es percibido a través de los sentidos al momento de la evaluación sensorial, ya que las tlayudas T+GI-1 y T+GI-2 (94 % y 87 %, respectivamente), tuvieron incluso mejor aceptación que las tlayudas Control.
6. Las dietas elaboradas con tlayudas tuvieron una mayor vida útil que las dietas sin tlayudas en su formulación. Además, fueron mejor aceptadas que las dietas control AIN-93 (4.72 g) y HC (5.28 g), ya que los grupos experimentales alimentados con las dietas: HC+T (6.45 g), HC+T+GI-1 (6.18 g) y HC+T+GI-2 (5.44 g), registraron mayor ingesta de alimento/día durante los 45 días de estudio.

7. Las dietas elaboradas con T+GI-2, influyeron positivamente en la ganancia de peso (2.08 g) y en el peso del hígado (%) del grupo experimental HC+T+GI-2 (4.14 %).
8. Las dietas elaboradas con T+GI-2, presentaron mayor efecto sobre la reducción del colesterol en sangre (27 %), LDL-C (63 %) y triglicéridos (25 %), que aquel observado cuando se trató a los ratones con el medicamento atorvastatina.
9. Las dietas elaboradas con T+GI-2, presentaron mayor efecto sobre la concentración de glucosa en sangre (reducción del 31 %).
10. Se observaron menores concentraciones de enzimas ALT en plasma, en el grupo experimental que fue alimentado con la dieta que contenía tlayudas T+GI-2 (106.0 U/L), y menores concentraciones de enzimas AST en plasma, en el grupo experimental que fue alimentado con la dieta que contenía tlayudas T+GI-1 (223.0 U/L).
11. Se diseñó una estrategia que permita la caracterización cualitativa de la cadena de valor de la producción de tlayudas enriquecidas, que presentan las propiedades funcionales y medicinales del hongo *G. lucidum* para posteriormente, motivar la vinculación entre productores, empresas del ramo alimenticio, consumidores, academia y gobierno, con el objetivo de diversificar el uso del hongo y el desarrollo de productos funcionales a base de extractos.

## XI. ESTRATEGIA

Para desarrollar alimentos de alto valor agregado, como es el caso de las tlayudas enriquecidas, es necesario el reconocimiento de los principales actores que forman parte de la cadena de valor como de las empresas con los centros de investigación y desarrollo. Debido a esto, se requiere que los actores que conforman la cadena de valor, se coordinen estrechamente para lograr una correcta inmersión en los mercados, satisfaciendo las necesidades actuales, contribuyendo al desarrollo económico y social.

Al realizar la caracterización cualitativa de la cadena de valor de la tlayuda enriquecida, se encontró que está conformada por cuatro eslabones o actores principales (figura 55), que son:



**Figura 54.** Principales actores de la cadena de valor para industria de alimentos funcionales (tlayudas enriquecidas). Adaptado de Jordán (2013).

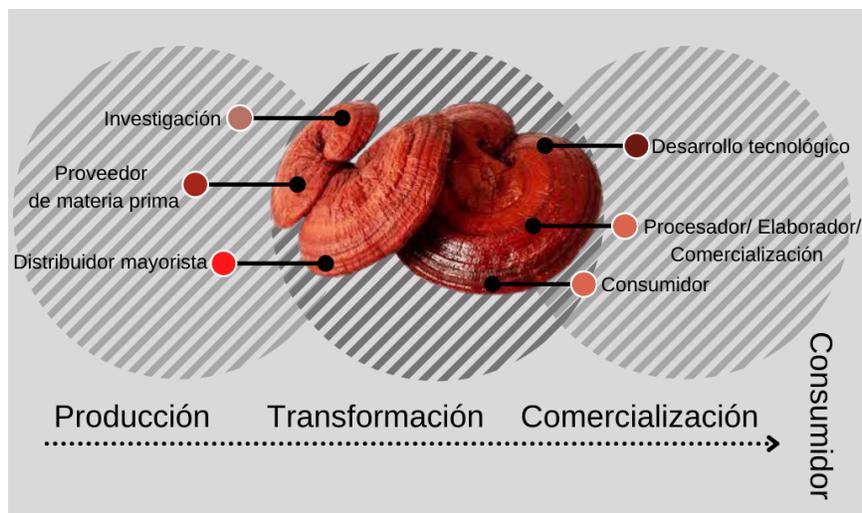
**Privados:** Empresas o microempresas productoras de alimentos de alimentos tradicionales a base de maíz nixtamalizado (tlayudas) y empresas o microempresas productoras de materias primas, encargados de proveer los hongos medicinales para la elaboración de extractos. Responsables de la transformación del material biológico (tlayudas y extractos) en productos funcionales, actuando también como medio de distribución para promover el consumo y la inclusión a la dieta de los hongos medicinales. Responsables de generar una marca, nombre y logo en relación con el producto.

**Centros de investigación:** Responsable de aportar el personal capacitado para la investigación y desarrollo de productos funcionales empleando el hongo medicinal.

**Sector público:** Relacionados con el fomento productivo, la regulación, la promoción de inversiones y atingentes a la actividad productora de alimentos, tienen un rol fundamental que jugar en esta actividad.

**Consumidores o demanda:** Eslabón final y decisivo de la cadena productiva, quienes van a adquirir e integrar los productos funcionales a su dieta, a partir de quienes se van a desarrollar los nuevos productos.

Los eslabones, muestran cómo la agregación de valor se hace a través de un enfoque polifuncional, donde intervienen organismos públicos y privados que intervienen en 3 procesos principales, que son: los procesos de producción, transformación y comercialización (figura. 56).



**Figura 55.** Cadena de valor para industria de alimentos funcionales (tlayudas enriquecidas).

En el proceso de producción, los productores se encargan del abastecimiento del extracto del hongo *G. lucidum*, incluyendo las etapas previas a la obtención del extracto (siembra y cosecha). También se encuentran los productores de maíz bolita y productoras de tlayudas.

Durante la etapa de transformación, también participan los productores (hongos y tlayudas), realizando el manejo postcosecha, limpieza, elaboración del extracto, se involucra el valor agregado.

En la comercialización, el producto se transporta hasta el mercado final.

La estrategia contempla el reto de situar el cultivo de *G. lucidum* dentro de un sistema agroalimentario innovador, logrando un crecimiento en la producción del hongo y productos con alto valor agregado, para posteriormente, divulgar los beneficios a la salud y en sus prometedoras aportaciones al tratamiento de enfermedades y a la economía de los mexicanos.

### 11.1. Recomendaciones

1. Determinar empresas o productos similares presentes en el mercado.

2. Identificación y cuantificación de productores de maíz bolita, productoras de tlayudas y consumidores, mediante entrevistas y encuestas.
3. Cuantificación de todas las actividades realizadas por los eslabones dentro de la cadena de valor.

## XII. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (2000). "Official methods of analysis". Association of Official Analytical Chemists. 17a. Ed. EE.UU.
- Acevedo-Pacheco, L., & Serna-Saldívar, O. (2016). *In vivo* protein quality of selected cereal-based staple foods enriched with soybean proteins. *Food & nutrition research*, 60: 1-9.
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación; el maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113-120.
- Adebayo, E., Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Escudero, H., Meneses, M., Avila-Nava, A., Castillo, I., & Bonilla, M. (2018). Comparative study of antioxidant and antibacterial properties of the edible mushrooms *Pleurotus levis*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* and *P. tuber-regium*. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-15 doi:10.1111/ijfs.13712.
- Ahima, R. S. (2016). Overview of Metabolic syndrome. En S. Ahima (Ed.). *Metabolic Syndrome A Comprehensive Textbook*. (pp. 3-12). Philadelphia: Springer International Publishing AG Switzerland.
- Ahmadi, M., Wiebold, W. J., Beuerlein, J. E., Eckert, D. J., & Schoper, J. (1993). Agronomic practices that affect corn kernel characteristics. *Agronomy Journal*, 85(3), 615-619.
- Albores, M., Caballero, Y., González., & Pozas, R. (2006). *Grupos Funcionales: Nomenclatura y Reacciones Principales*. 1ra edición. México: UNAM.
- Alcazar, A., Dulay, R. M. R., Kalaw, S., & Reyes, R. (2021). Effect of Light-Emitting Diodes on the Mycelial Biomass Production and Antioxidant Activity of *Ganoderma lucidum* (W. Curt.: Fr.) *P. Karst.* CLSU. *International Journal of Science & Technology*, 5(1), 1-10.
- Amador-Rodríguez, K., Pérez-Cabrera, L., Guevara-Lara, F., Chávez-Vela, N., Posadas-Del Río, F., Silos-Espino, H., & Martínez-Bustos, F. (2019). Physicochemical, thermal, and rheological properties of nixtamalized blue- T corn flours and masas added with huitlacoche (*Ustilago maydis*) paste. *Food Chemistry*, 278: 601–608.
- Amaya-Guerra, C., Serna-Saldívar, S., & Alanis-Guzmán, M. (2006). Soyabean fortification and enrichment of regular and quality protein maize tortillas affects brain development and maze performance of rat. *British Journal of Nutrition*, 96: 161–168.
- Antoniazzi, L., Acosta-Navarro, J., Oki, A. M., Bonfim, M. C., & Gaspar, M. C. A. (2021). Better Adequacy of Food Intake According to Dietary Recommendations of National Cholesterol Education Program in Vegetarian Compared to Omnivorous Men. *International Journal of Cardiovascular Sciences*.

- Antuna Grijalva, O., Rodríguez Herrera, S., Arámbula Villa, G., Palomo Gil, A., Gutiérrez Arías, E., Espinoza Banda, A., Navarro Orona, E., & Andrio Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (3): 23-27.
- Aragón Cuevas, F., Taba, S., Hernández Casillas, J., Figueroa Cárdenas, J., & Serrano Altamirano, V. (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Hoja de cálculo SNIB-CONABIO. México D. F.
- Arai, S. (2002). Global view on functional foods: Asian perspectives. *British Journal of Nutrition*, 88 (S2): S139-S143.
- Arámbula, V., Mauricio, S., Figueroa, F., González-Hernández, J., & Ordorica, F. (1999). corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*, 64(1): 120-124.
- Aranceta Bartrina, J., Blay Cortés, G., Echevarría Gutiérrez, F., Gil Canalda, I., Hernández Cabria, M., Iglesias Barcia, J., & López Díaz-Ufano, M. (2011). Guía de buena práctica clínica en alimentos funcionales. OMC-IM&C.
- Aschner, P. (2016). Obesity in Latin America. En S. Ahima (Ed.). *Metabolic Syndrome A Comprehensive Textbook*. (pp. 33-40). Philadelphia: Springer International Publishing AG Switzerland.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de alimentos* (4a. ed.). México: Pearson Educación.
- Bañuelos Martínez, I., Hernández de la Garza, M., Treviño Baez, J., & Briones Lara, E. (2016). Dislipidemia y embarazo: prevalencia y evidencia actual. *Clínica e Investigación en Ginecología y Obstetricia*. 2016;45(3):109-13.
- Barquera, S., Campos-Nonato, I., Hernández-Barrera, L., Pedroza, A., & Rivera-Dommarco, J. A. (2013). Prevalencia de obesidad en adultos mexicanos, 2000-2012. *Salud pública de México*, 55, S151-S160.
- Barsanti, L., Passarelli, V., Evangelista, V., Frassanito, A. M., & Gualtieri, P. (2011). Chemistry, physico-chemistry and applications linked to biological activities of  $\beta$ -glucans. *Natural product reports*, 28(3), 457-466.
- Belščak-Cvitanović, A., Nedović, V., Salević, A., Despotović, S., Komes, D., Nikšić, M., Bugarski, I., & Leskošek-Ćukalović, I. (2017). Modification of functional quality of beer by using microencapsulated green tea (*Camellia sinensis* L.) and *Ganoderma* mushroom (*Ganoderma lucidum* L.) bioactive compounds. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 23(4), 457-471
- Bertran Vilá, M. (2010). Acercamiento antropológico de la alimentación y salud en México. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 20 (2): 387-411.

- Bishop, K. S., Kao, C. H., Xu, Y., Glucina, M. P., Paterson, R. R. M., & Ferguson, L. R. (2015). From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemistry*, 114: 56-65.
- Bourges-Rodríguez, H., Casanueva, E., & Rosado, J. L. (2005). Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. Bases fisiológicas. México: Médica Panamericana.
- Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, R., & Ortiz, A. (1990). Changes in selected nutrient contents and in protein quality and in protein quality of common and quality-protein maize during rural tortilla preparation. Changes in Selected Nutrient Contents and in Protein Quality. *Cereal Chem*, 67(6): 515-518.
- Calañas-Continente, A., & Bellido, D. (2006). Bases científicas de una alimentación saludable. *Revista Médica Universidad de Navarra*, 50 (4): 7-14.
- Calderón-Peralta, C., Jiménez-Hernández, J., Maldonado-Astudillo., & Flores-Casamayor, V., Aámbula-Villa, G. y Salazar, R. (2016). Influence of *Hymenaea courbaril* gum as a new additive on nixtamalized flour properties and quality of tortilla. *Journal of Food Process Engineering*, DOI: 10.1111/jfpe.12525.
- Calle, E., & Kaaks, R. (2004). Overweight, obesity and cancer: epidemiological evidence and proposed mechanisms. *Nature*, 4: 579-591.
- Campos-Nonato, I., Hernández-Barrera, L., Pedroza-Tobías, A., Medina, C., & Barquera, S. (2018). Hipertensión arterial en adultos mexicanos: prevalencia, diagnóstico y tipo de tratamiento. *Ensanut MC 2016. Salud Pública de México*, 60, 233-243.
- Canalizo-Miranda, E., Favela-Pérez, E. A., Salas-Anaya, J. A., Gómez-Díaz, R., Jara-Espino, R., del Pilar Torres-Arreola, L., & Viniegra-Osorio, A. (2013). Guía de práctica clínica. Diagnóstico y tratamiento de las dislipidemias. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(6), 700-709.
- Castañeda-Sánchez, A. (2011). Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 5 (2): 75.83.
- Chang, C., Lin, C., Lu, Chia-Chen., Martel, J., Ko, Y., Ojcius, D., Tseng, S., Wu, T., Chen, Y., Young, J., & Lai, H. (2015). *Ganoderma lucidum* reduces obesity in mice by modulating the composition of the gut microbiota. *Nature communications*. 6:7489; DOI: 10.1038/ncomms8489.
- Chávez-Santoscoy, R., Gutiérrez-Urbe, J., Serna-Saldivar, S., & Perez-Carrillo, E. (2016). Production of maize tortillas and cookies from nixtamalized flour enriched with anthocyanins, flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris*) seed coats. *Food Chemistry*, 192: 90–97.
- CONEVAL. (2010). Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto. México, DF. [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx).

- Contreras Jiménez, B., Oseguera Toledo, M. E., Garcia Mier, L., Martínez Bravo, R., González Gutiérrez, C. A., Curiel Ayala, F., & Rodríguez-García, M. E. (2020). Physicochemical study of nixtamalized corn masa and tortillas fortified with "chapulin" (grasshopper, *Sphenarium purpurascens*) flour. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 527-534.
- Cook R. (2000). *A Guide to Understanding Color Communication*. Grand- ville, MI, EEUU. 28 p.
- Cornejo-Villegas, M. A., Acosta-Osorio, A. A., Rojas-Molina, I., Gutiérrez-Cortéz, E., Quiroga, M. A., Gaytán, M., Herrera, G., & Rodríguez-García, M. E. (2010). Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 401-409.
- Cortes Soriano, I., Buendía González, M., Palacios Rojas, N., Martínez Cruz, E., Villaseñor, H., Hortelano Santa Rosa, R. (2016). Evaluación de la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena (*Avena Sativa* L.) nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7: 1715-1725.
- Da, H. R., Cho, J. Y., Sadiq, N. B., Kim, J. C., Lee, B., Hamayun, M., Lee, T. S., Kim, H. S., Park, S. H., Nho, C. W., & Kim, H. Y. (2021). Optimization of antioxidant, anti-diabetic, and anti-inflammatory activities and ganoderic acid content of differentially dried *Ganoderma lucidum* using response surface methodology. *Food Chemistry*, 335, 127645.
- Davidson, M. (2020). Dyslipidemia. *The Merck Manual Professional Edition*. <https://www.merckmanuals.com/home/hormonal-and-metabolic-disorders/cholesterol-disorders/dyslipidemia>.
- Díaz Jiménez, R., Berrueta Soriano, V., & Masera Cerutti, O. (2011). Estufas de leña. Cuadernos temáticos sobre Bioenergía No. 3. México: Red mexicana de bioenergía AC.
- Doumet-Párraga, A. S., Ruiz-Cedeño, A. B., & Sánchez-Briones, A. (2021). Cadena de valor del cultivo del árbol de balsa. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 539-551.
- Espinosa-Trujillo, E., del Carmen Mendoza-Castillo, M., & Castillo-González, F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(Es2), 19-23.
- FAO–SAGARPA. (2007). Proyecto tipo Estufas ahorradoras de leña. <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/FAO-y-SAGARPA-2007.-Estufas-ahorradoras-de-le--a-.pdf>.
- FAO. (1991). Cinco estudios de caso sobre el uso de dendroenergía en industrias rurales de México. <http://www.fao.org/3/AD096S/AD096S00.htm>.
- FAO. (2013). Seguridad y soberanía alimentaria. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications).

- FAO. (2019). Estadísticas sobre seguridad alimentaria. <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>.
- Fennema, O. (2010). Food Chemistry (3rd. ed.). New York. Marcel Dekker, INC.
- Fernández Suárez, R; Morales Chávez, L., & Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (3-A): 275 - 283.
- Fernández-Muñoz, J. L., Rodríguez, M. E., Pless, R. C., Martínez-Flores, H. E., Leal, M., Martínez, J. L., & Baños, L. (2002). Changes in nixtamalized corn flour dependent on postcooking steeping time. *Cereal Chemistry*, 79(1), 162-166.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2018). Seguridad Alimentaria y Nutricional. <https://www.gob.mx/firco/articulos/seguridad-alimentaria-y-nutricional>.
- Figueroa Cárdenas, J., Acero Godínez, M., Vasco Méndez, N., Lozano Guzmán, A., & Flores Acosta, L. (2003). Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54 (3): 189-200.
- Figueroa, P., Cruz, G., Villalvazo, V., & Gerritsen, P. R. (2003). Tecnología apropiada para el desarrollo endógeno: La experiencia de la estufa Lorena y el ahorro de leña en la comunidad indígena de Cuзалapa. *Reunión Nacional de Educación y Capacitación Forestal*, 7.
- Fleischman, A., & Oinuma, M. (2011). fortification of corn masa flour with folic acid in the United States. *American Journal of Public Health*, 101 (8): 1360-1364.
- Flores Sotelo, M. T., 2007. Tortillas de maíz enriquecidas con hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*), como una alternativa para mejorar la alimentación en dos comunidades del Estado de Puebla. Colegio de Postgraduados, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, *Campus Puebla*, Puebla. Becaria del CONACYT-PNP. Septiembre, 2000-agosto 1, 2007 (83 meses).
- Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FND). (2019). Precios de productos e insumos agropecuarios y forestales. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precios-de-productos-e-insumos-agropecuarios-y-forestales>.
- Fontalvo, J. E. R. (2021). Guía de práctica clínica para la enfermedad renal diabética. *Revista Colombiana de Nefrología*, 8(2).
- Fraile-Fabero, R., Ozcariz-Fermoselle, M. V., Oria-de-Rueda-Salgueiro, J. A., García-Recio, V., Córdoba-Díaz, D., del P Jiménez-López, M., & Girbés-Juan, T. (2021). Differences in Antioxidants, Polyphenols, Protein Digestibility and Nutritional Profile between *Ganoderma lingzhi* from Industrial Crops in Asia and *Ganoderma lucidum* from Cultivation and Iberian Origin. *Foods*, 10(8), 1750.

- Gadde, K. M., Martin, C. K., Berthoud, H. R., & Heymsfield, S. B. (2018). Obesity: pathophysiology and management. *Journal of the American College of cardiology*, 71(1), 69-84.
- García-Rojas, D. A., Meneses, M. E., Martínez-Carrera, D., Figueroa-Cárdenas, J. D., Sánchez-Medina, M. A., Bonilla-Quintero, M., & Pérez-Herrera, A. (2020). Effect of *Pleurotus agaves* mushroom addition on the physicochemical and sensory properties of blue maize tortillas produced with traditional and ecological nixtamalization. *Food & Function*, 11(10), 8768-8779.
- Garza Sánchez, P. (2018). Propiedades funcionales de *Ganoderma lucidum* agregadas a las pastas (fideo, lasaña y macarrón) de amplio consumo en las comunidades de México (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla, Puebla, México.
- GBD. (2017). Obesity Collaborators, Afshin A, Forouzanfar MH, *et al.* Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *N Engl J Med*. 2017;377(1):13-27. doi:10.1056/NEJMoa1614362.
- Giavasis, I. (2014). Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Current Opinion in Biotechnology*, 26: 162–173.
- Gill, B. S., Mehra, R., Kumar, V., & Kumar, S. (2018). Ganoderic acid, lanostanoid triterpene: a key player in apoptosis. *Investigational new drugs*, 36(1), 136-143.
- Guo, W. L., Pan, Y. Y., Li, L., Li, T. T., Liu, B., & Lv, X. C. (2018). Ethanol extract of *Ganoderma lucidum* ameliorates lipid metabolic disorders and modulates the gut microbiota composition in high-fat diet fed rats. *Food & function*, 9(6), 3419-3431.
- Gur, J., Mawuntu, M., & Martirosyan, D. (2018). FFC's Advancement of Functional Food Definition. *Functional Foods in Health and Disease*, 8 (7): 385-297.
- Guzmán, G. (2000). *Genus Pleurotus* (Jacq.: Fr.) P. Kumm. (Agaricomycetidae): Diversity, taxonomic problems, and cultural and traditional medicinal uses. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2: 95-123.
- Hajjaj, H., Macé, C., Roberts, M., Niederberger, P., & Fay, L. B. (2005). Effect of 26-oxygenosterols from *Ganoderma lucidum* and their activity as cholesterol synthesis inhibitors. *Applied and environmental microbiology*, 71(7), 3653-3658.
- Hariyanto, T. I., & Kurniawan, A. (2021). Statin and outcomes of coronavirus disease 2019 (COVID-19): a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*.
- Hasler, C. M. (1998). Functional Foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food technology*, 52 (11): 62-70.
- Henry, J. (2010). Functional Foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64 (7): 657-659. DOI. 10.1038/ejcn.2010.101.

- Heo, S., Jeon, S., & Lee, S. (2014). Utilization of *Lentinus edodes* mushroom  $\beta$ -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 627-631.
- Herrera-Sotero, M., Cruz-Hernández, C., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H., Chávez-Servia, J., Oliart-Ros, M., & Guzmán-Gerónimo, R. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11 (110): 1-8.
- Hleap, J. I., & velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8 (2): 46-56.
- Huang, C. H., Lin, W. K., Chang, S. H., & Tsai, G. J. (2020). *Ganoderma lucidum* culture supplement ameliorates dyslipidemia and reduces visceral fat accumulation in type 2 diabetic rats. *Mycology*, 1-11.
- Illana-Esteban, C. (2008). El hongo maitake (*Grifola frondosa*) y su potencial terapéutico. *Rev. Iberoamericana de Micología*, 25: 141-144.
- IMSS. (2015). Intervención nutricional, dietoterapia y tratamiento de la dislipidemia en el paciente que vive con vih /sida. Disponible en: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/773GRR.pdf>.
- Jang, A. Y., Lim, S., Jo, S. H., Han, S. H., & Koh, K. K. (2021). New trends in dyslipidemia treatment. *Circulation Journal*, 85(6), 759-768.
- Jiménez-Juárez, J., Arámbula-Villa, G., Cruz-Lázaro, E., & Aparicio-Trapala, M. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del tropico mexicano. *Universidad y Ciencia*, 28 (2):145-152.
- Jordán, G. (2013). Las oportunidades para las empresas de Chile en los alimentos funcionales y nutracéutico. Disponible en: <http://www.agrimundo.cl/?publicacion=las-oportunidades-para-las-empresas-de-chile-en-los-alimentos-funcionales-y-nutracéuticos>.
- Kato Yamakake, T., Mapes Sánchez, C., Mera Ovando, L., Serratos Hernández, J., & Bye Boettler, R. (2009). Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. UNAM - CONABIO. México, D. F. 116 p. 22-22.
- Kiss, A., Grünvald, P., Ladányi, M., Papp, V., Papp, I., Némedi, E., & Mirmazloun, I. (2021). Heat treatment of reishi medicinal mushroom (*Ganoderma lingzhi*) basidiocarp enhanced its  $\beta$ -glucan solubility, antioxidant capacity and lactogenic properties. *Foods*, 10(9), 2015.
- Klünder-Klünder, M., & Flores-Huerta, S. (2011). Waist circumference values according to height percentiles: a proposal to evaluate abdominal obesity in Mexican children and adolescents between 6 and 16 years of age. *Archives of Medical Research*, 42(6), 515-522.

- Lavie, C. J., De Schutter, A., Parto, P., Jahangir, E., Kokkinos, P., Ortega, F. B., Arena, R., & Milani, R. V. (2016). Obesity and prevalence of cardiovascular diseases and prognosis—the obesity paradox updated. *Progress in cardiovascular diseases*, 58(5), 537-547.
- Lavie, C. J., Laddu, D., Arena, R., Ortega, F. B., Alpert, M. A., & Kushner, R. F. (2018). Healthy weight and obesity prevention: JACC health promotion series. *Journal of the American College of Cardiology*, 72(13), 1506-1531.
- Leskosek-Cukalovic, I., Despotovic, S., Lakic, N., Niksic, M., Nedovic, V., & Tesevic, V. (2010). *Ganoderma lucidum*—medical mushroom as a raw material for beer with enhanced functional properties. *Food Research International*, 43(9), 2262-2269.
- Lewis, K. H., & Basu, S. (2016). Epidemiology of Obesity in the United States. In: *Metabolic syndrome a comprehensive textbook*. (pp. 13-32). Philadelphia: Springer International Publishing AG Switzerland.
- Liu, B., Yang, T., Luo, Y., Zeng, L., Shi, L., Wei, C., Nie, Y., Cheng, Y., Qinlu, L., & Luo, F. (2018). Oat  $\beta$ -glucan inhibits adipogenesis and hepatic steatosis in high fat diet-induced hyperlipidemic mice via AMPK signaling. *Journal of functional foods*, 41, 72-82.
- López Legarda, X., & Arboleda Echavarría, C. (2015). Producción de polisacáridos a partir de *Ganoderma* sp., aislado en la región andina. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 17 (2): 44-54. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.47060.
- Loría, E., & Salas E. (2014). Sobrepeso e integración económica en México. *Economía Informa*, 389: 3-18.
- Lu, H., Lou, H., Hu, J., Liu, Z., & Chen, Q. (2020). Macrofungi: A review of cultivation strategies, bioactivity, and application of mushrooms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2333-2356.
- Luengo Fernández, E. (2007). Alimentos funcionales y nutraceuticos. (págs. 5-6). <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>.
- Ma, H. T., Hsieh, J. F., & Chen, S. T. (2015). Anti-diabetic effects of *Ganoderma lucidum*. *Phytochemistry*, 114, 109-113.
- MAGyP. (2014). Alimentos fortificados y enriquecidos: ¿Dónde están las diferencias?. [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha\\_34\\_fortificadosEnriquecidos.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_34_fortificadosEnriquecidos.pdf).
- Martínez-Carrera, D., B. Pérez Armendáriz, Y. Mayett, M. Sobal, P. Morales, P. Ramírez, I., & Tello. (2014). Propiedades funcionales agregadas al Tequila, otros mezcales y destilados de Agave convencionales, derivadas del extracto de un hongo comestible de uso tradicional en México (*Lentinula boryana*). Colegio de Postgraduados,

Campus Puebla. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, Título de patente IMPI no. 322035, julio 8, 2014.

- Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Tovar, A., Torres, N., Meneses, M. E., Sobal, M., Morales, P., Bonilla, M., Escudero, H., Tello-Salgado, I., Bernabé- González, T., Martínez, W., & Mayett, Y. (2016). Contribución de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México. Capítulo 30. Pp 581-640. En: Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México Hacia un enfoque integral de la producción, la dieta, la salud y la cultura en beneficio de la sociedad. Eds. Daniel Martínez-Carrera y Javier Ramírez Juárez. Colegio de Postgraduados- AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP. México.
- Martínez-Velasco, A., Alvarez-Ramirez, J., Rodríguez-Huezo, E., Meraz-Rodríguez, M., Vernon-Carter, E., & Lobato-Calleros, C. (2018). Effect of the preparation method and storage time on the in vitro protein T digestibility of maize tortillas. *Journal of Cereal Science*, 84: 7–12.
- McGuire R G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort Science*, 27(12), 1254-1255.
- Mejía Ramírez, M. (2018). Análisis del impacto económico del mercado tradicional de la tlayuda en el ingreso de las familias de San Agustín de las Juntas, Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-30-0000-0, AMECIDER: 978-607-96649-7-8.
- Mendoza-Elos, M., Andrio-Enríquez, E., Juárez-Goiz, J., Mosqueda-Villagómez, J., Latournerie-Moreno, L., Castañón-Nájera, G., López-Benítez, A., & Moreno-Martínez, E. (2006). Contenido de lisina y triptofano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y ciencia*, 22 (2): 153-161.
- Meneses, M., Martínez-Carrera, D., Torres, N., Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Morales, P., Sobal, M., Bernabé, T., Escudero, H., Granados-Portillo, O., & Tovar, A. (2016). Hypocholesterolemic Properties and Prebiotic Effects of Mexican *Ganoderma lucidum* in C57BL/6 Mice. *PloS one*, 11(7), e0159631.
- Meyers, L. D., Hellwig, J. P., & Otten, J. J. (Eds.). (2006). *Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements*. National Academies Press.
- Mora-Avilés, A., Lemus-Flores, B., Miranda-López, R., Hernández-López, D., Pons-Hernández, J., Acosta-Gallegos, J., & Guzmán-Maldonado, S. (2007). Effects of common bean enrichment on nutritional quality of tortillas produced from nixtamalized regular and quality protein maize flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 880–886.

- Morales, D., Smiderle, F. R., Villalva, M., Abreu, H., Rico, C., Santoyo, S., Iacomini, M., & Soler-Rivas, C. (2019). Testing the effect of combining innovative extraction technologies on the biological activities of obtained  $\beta$ -glucan-enriched fractions from *Lentinula edodes*. *Journal of Functional Foods*, 60, 103446.
- Múñoz, O., García, Á. A., Fernández, D. G., Higuera, A. M., Ruiz, Á. J., Aschner, P., Toro, J., Arteaga, J., Merchán, Alonso., Sánchez Vallejo, G., & Villalba, Y. (2015). Guía de práctica clínica para la prevención, detección temprana, diagnóstico, tratamiento y seguimiento de las dislipidemias: tratamiento farmacológico con estatinas. *Revista Colombiana de Cardiología*, 22(1), 14-21.
- Nakashima, A., Yamada, K., Iwata, O., Sugimoto, R., Atsuji, K., Ogawa, T., Ishibashi-Ohgo, N., & Suzuki, K. (2018).  $\beta$ -Glucan in foods and its physiological functions. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 64(1), 8-17.
- Ng, S. H., Robert, S. D., Ahmad, W. A. N. W., & Ishak, W. R. W. (2017). Incorporation of dietary fibre-rich oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) powder improves postprandial glycaemic response by interfering with starch granule structure and starch digestibility of biscuit. *Food Chemistry*, 227, 358-368.
- NMX-FF-034/1-2002 NORMA Oficial Mexicana NOM-037-SSA2-2002, Para la prevención, tratamiento y control de las dislipidemias. Secretaría de Salud. México. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/037ssa202.html>.
- NMX-FF-034/1-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Salud. México. Disponible: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>.
- NOM-037-SSA2-2002. Para la prevención, tratamiento y control de las dislipidemias. Secretaría de Salud. México. Disponible: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/037ssa202.html>.
- Olagnero, G., Genevois, C., Irei, V., Marcenado, J., & Bendersky, S. (2007). Alimentos funcionales: conceptos, definiciones y marco legal global. *Dieta (B. Aires)*, 25 (119): 33-41.
- OMS. (2018a). Obesidad y sobrepeso. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- OMS. (2018b). Alimentación sana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.
- Ono, M., & Ono, A. (2015). Impacts of the FoSHU (Food for Specified Health Uses) system on food evaluations in Japan. *Journal of Consumer Marketing*, 32 (7): 542-550.

- Opoku, S., Gan, Y., Yobo, E. A., Tenkorang-Twum, D., Yue, W., Wang, Z., & Lu, Z. (2021). Awareness, treatment, control, and determinants of dyslipidemia among adults in China. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
- Othman, R. A., Moghadasian, M. H., & Jones, P. J. (2011). Cholesterol-lowering effects of oat  $\beta$ -glucan. *Nutrition reviews*, 69(6), 299-309
- Palacios-Pola, G., Rivera, H. P., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., & Estrada, Z. J. H. (2021). Changes in the physical, chemical, and sensory properties from three native corn landraces from Chiapas using two nixtamalization times. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100373.
- Páramo-Calderón, D., Aparicio-Saguilán, A., Aguirre-Cruz, A., Carrillo-Ahumada, J., Hernández-Uribe, P., Acevedo-Tello, S., & Torruco-Uco, J. (2019). Tortilla added with *Moringa oleifera* flour: Physicochemical, texture properties and antioxidant capacity. *LWT - Food Science and Technology*, 100: 409–415.
- Parolini, C. (2021). Biotechnology approaches for the treatment of dyslipidemia. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 35, 167-183.
- Pecic, S., Veljovic, M., Despotovic, S., Tesevic, V., Nikicevic, N., & Niksic, M. (2011). The sensory properties of special brandy with *Ganoderma lucidum*. *Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists*, 89.
- Pedrero, D. L., & Pangborn, R. M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos; métodos analíticos (No. 641.1 P43).
- Pizarro, S., Ronco, A. M., & Gotteland, M. (2014). Beta-glucanos: ¿ qué tipos existen y cuáles son sus beneficios en la salud?. *Revista chilena de nutrición*, 41(4), 4339-446.
- Preedy, V., Srirajaskanthan, R., & Patel, V. (2013). *Handbook of Food Fortification and Health. From Concepts to Public Health Applications.*
- Quereshi, S., Pandey, A., & Sandhu, S. (2010). Evaluation of antibacterial activity of different *Ganoderma lucidum* extracts. *People's Journal of Scientific Research*, 31: 9-13.
- Quintanar Guzmán, A., Jaramillo Flores, M., Solorza Fera, J., Méndez Montealvo, M., & Wang, Y. (2011). Rheological and thermal properties of masa as related to changes in corn protein during nixtamalization. *Journal of cereal science*, 53: 139-147.
- Quintero-García, M., Gutiérrez-Cortez, E., Bah, M., Rojas-Molina, A., Cornejo-Villegas, M. D. L. A., Del Real, A., & Rojas-Molina, I. (2021). Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated *Opuntia ficus indica* Cladodes. *Foods*, 10(9), 2137.
- Rahman, M. S., & Al-Farsi, S. A. (2005). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 505-511.

- Rahman, M., Beg, S., Alharbi, K. S., Alruwaili, N. K., Alotaibi, N. H., Alzarea, A. I., Almalki, W., Khulaif, S., Altowayan, W., Alshammari, M., Afzal, M., Saleem, S., & Kumar, V. (2021). Implications of solid lipid nanoparticles of ganoderic acid for the treatment and management of hepatocellular carcinoma. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 16(2), 359-370.
- Ramírez Jaspeado, A., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Castillo González, F., Serratos, J., & Cadena Iñiguez, J. (2012). Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (6): 895-907.
- Ramírez-Araujo, H., Gaytán-Martínez, M., & Reyes-Vega, M. L. (2019). Alternative technologies to the traditional nixtamalization process. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 34-43.
- Rangel-Meza, E., Orozco, A. M., Vázquez-Carrillo, G., Cuevas-Sánchez, J., Merino-Castillo, J., & Miranda-Colín, S. (2004). Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia*, 38(1), 53-61.
- Reeves, P. G. (1997). Components of the AIN-93 diets as improvements in the AIN-76A diet. *The Journal of nutrition*, 127(5), 838S-841S.
- Reis, F.S., Martins, A., Barros, L., & Ferreira, I.C.F.R. (2012). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: A comparative study between in vivo and in vitro samples. *Food and Chemical Toxicology*, 50: 1201–1207.
- Rendón-Aguilar, B., Aguilar-Rojas, V., Aragón- Martínez, M., Ávila-Castañeda, J., Bernal-Ramírez, L., Bravo-Avilez, D., Carrillo-Galván, G., Cornejo-Romero, A., Delgadillo-Durán, E., Hernández-Cárdenas, G., Hernández-Hernández, M., López-Arriaga, A., Sánchez-García, J., Vides-Borrell, E., & Ortega-Packzca, R. (2015). 'Diversidad de maíz en la sierra sur de Oaxaca, México: Conocimiento y manejo tradicional'. *Polibotánica*, 39: 151–174. doi: 10.18387/polibotanica.39.9.
- Rioja salud. (s.f). ¿Qué son los triglicéridos?. <https://www.riojasalud.es/ciudadanos/catalogo-multimedia/medicina-interna/i-que-son-los-trigliceridos>.
- Rivera, D. J. A., Campos, N. I., Barquera, C. S., & González, C. T. (2013). Situación de la obesidad en México epidemiología de la obesidad en México: magnitud, distribución, tendencias y factores de riesgo. Sección 2. Obesidad en México. Recomendaciones para una política de Estado, 1ª edición, UNAM, 92-118
- Rooney, L., & Serna-Saldivar, S. (2015). Nutrition and fortification of corn and wheat tortillas. *Tortillas*, 29-63. 10.1016/B978-1-891127-88-5.50002-5.
- Sa-ard, P., Sarnthima, R., Khammuang, S., & Kanchanarach, W. (2014). Antioxidant, antibacterial and DNA protective activities of protein extracts from *Ganoderma*

- lucidum*. Journal of Food Science and Technology. DOI 10.1007/s13197-014-1343-5.
- SAGARPA. (2017). Planeación Nacional agrícola 2017-2030. [https://www.gob.mx/cms/.../Planeaci\\_n\\_Agr cola\\_Nacional\\_2017-2030-\\_parte\\_uno.pdf](https://www.gob.mx/cms/.../Planeaci_n_Agr cola_Nacional_2017-2030-_parte_uno.pdf).
- Sahai, D., Mua, J. P., Surjewan, I., Buendia, M. O., Rowe, M., & Jackson, D. S. (2001). Alkaline processing (nixtamalization) of white Mexican corn hybrids for tortilla production: Significance of corn physicochemical characteristics and process conditions. *Cereal chemistry*, 78(2), 116-120.
- Salinas Moreno., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar López, B., & Sosa Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(1), 23-31.
- Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1).
- Sefa-Dedeh, S., Cornelius, B., & Afoakwa, E. O. (2003). Effect of fermentation on the quality characteristics of nixtamalized corn. *Food research international*, 36(1), 57-64.
- Sefa-Dedeh, S., Cornelius, B., Sakyi-Dawson, E., & Afoakwa, E. O. (2004). Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. *Food Chemistry*, 86(3), 317-324.
- Serna-Saldivar, S. O. (2021). Understanding the functionality and manufacturing of nixtamalized maize products. *Journal of cereal science*, 103205.
- Serna-Saldivar, S. O. (Ed.). (2018). *Corn: chemistry and technology*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 435–467.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Atlas agroalimentario 2017. <https://www.gob.mx/siap>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Atlas agroalimentario 2018. <https://www.gob.mx/siap>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Maíz blanco. [http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosAgricolas/carga\\_rPagina/5#](http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosAgricolas/carga_rPagina/5#).
- Seweryn, E., Ziała, A., & Gamian, A. (2021). Health-Promoting of Polysaccharides Extracted from *Ganoderma lucidum*. *Nutrients*, 13(8), 2725.
- Shamah-Levy, T., Campos-Nonato, I., Cuevas-Nasu, L., Hernández-Barrera, L., Morales-Ruán, M. D. C., Rivera-Dommarco, J., & Barquera, S. (2020). Sobrepeso y

- obesidad en población mexicana en condición de vulnerabilidad. Resultados de la Ensanut 100k. Salud pública de México, 61(6), 852-865.
- Shin, S., Wook Shin, D., Young Cho, I., Jeong, S. M., & Jung, H. (2021). Status of dyslipidemia management and statin undertreatment in Korean cancer survivors: A Korean National Health and Nutrition Examination Survey study. *European journal of preventive cardiology*, 28(8), 864-872.
- Sima, P., Vannucci, L., & Vetvicka, V. (2018).  $\beta$ -glucans and cholesterol (Review). *International journal of molecular medicine* 41: 1799-1808.
- Singleton, V., Orther, R., & Lamuela-Raventós, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299: 152-178.
- Srisawasdi, P., Rodcharoen, P., Vanavanan, S., Chittamma, A., & Sukasem, C. (2021). Association of CETP Gene Variants with Atherogenic Dyslipidemia Among Thai Patients Treated with Statin. *Pharmacogenomics and Personalized Medicine*, 14, 1.
- Stephan, A., Ahlborn, J., Zajul, M., & Zorn, H. (2018). Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages. *European Food Research and Technology*, 244(5), 913-924.
- Stephen, A. M., Liston, A. J., Anthony, S. P., Munro, I. C., & Anderson, G. H. (2002). Regulation of foods with health claims: A proposal. *Canadian journal of public health*, 93(5), 328-331.
- Suárez Arango, C., & Nieto, I. (2013). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutracéuticos. *Rev. Iberoamericana de Micología* 30, (1): 1-8.
- Talens Oliag, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tang, Y. J., & Zhong, J. J. (2002). Fed-batch fermentation of *Ganoderma lucidum* for hyperproduction of polysaccharide and ganoderic acid. *Enzyme and microbial Technology*, 31(1-2), 20-28.
- Taofiq, O., Heleno, S., Calhelha, R., Alves, M., Barros, L., González-Paramás, A., Barreiro, M., & Ferreira, I. (2017). The potential of *Ganoderma lucidum* extracts as bioactive ingredients in topical formulations, beyond its nutritional benefits. *Food and Chemical Toxicology*, 108: 139-147.
- Terrien, C. (2017). *Meat Analogs: Challenges and Perspectives*. Elsevier. Oxford, UK, 2017; 201p.
- Torres, P., Guzmán-Ortíz, M., & Ramírez-Wong, B. (2001). Revising the Role of pH and Thermal Treatments in Aflatoxin Content Reduction During the Tortilla and deep-frying Processes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 4 (6): 2825-2829.

- Turrent Fernández, A., Wise, T., & Garvey, E. (2012). Achieving Mexico's Maize Potential. GDAE Working Paper No. 12-03.
- Ulziijargal, E., Yang, J. H., Lin, L. Y., Chen, C. P., & Mau, J. L. (2013). Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. *Food Chemistry*, 138(1), 70-76.
- Valderrama Bravo, M. D. C., Sánchez Lara, M. J., Contreras Padilla, M., Pahuá Ramos, M. E., & Jiménez Ambríz, S. (2021). Effect of wet grinding and drying of the nixtamal on physicochemical, morphologic, and vibrational properties of flours and rheological changes of masa. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15415.
- Valenzuela, A., Valenzuela, R., Sanhueza, J., & Morales, G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación?. *Revista Chilena de Nutrición*, 41 (2): 198-204.
- Vanegas-Azuero, A. M., & Gutiérrez, L. F. (2018). Physicochemical and sensory properties of yogurts containing sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and  $\beta$ -glucans from *Ganoderma lucidum*. *Journal of dairy science*, 101(2), 1020-1033.
- Vasconcelos Ramírez, A., López, J., & Tapia, L. (2018). El sistema de producción de tlayudas y la dinámica económica en Tlalixtac de Cabrera, Oaxaca. *Dinámica económica y procesos de innovación en el desarrollo regional*. ISBN UNAM: 978-607-30-0000-0, AMECIDER: 978-607-96649-7-8.
- Vázquez Calvo, M., Cruz León, A., Santos Cervantes, C., Pérez Torres, M., & Sangerman-Jarquín, D. (2016). Estufas Lorena: uso de leña y conservación de la vegetación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16: 3159-3172.
- Vázquez Carrillo, G., Mejía Andrade, H., Tut Couoch, C., & Noel Gómez Montiel. (2012). Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles altos centrales de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 23-31.
- Vázquez-Carrillo, G., García-Lara, S., Salinas-Moreno, Y., Bergvinson, D., & Palacios-Rojas, N. (2011). Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant foods for human nutrition*, 66: 203–208.
- Vázquez-Carrillo, M., Santiago-Ramos, D., Salinas-Moreno, Y., López-Cruz, J., Ybarra-Moncada, M., & Ortega-Corona, A. (2014). Genotipos de maíz (*zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia*, 48 (2): 159-172.
- Vidal, I. (2011). El principio de valor compartido de Porter y Kramer. *Foment del Treball Nacional (Fomento del trabajo)*, 2134, 30-33.
- Villada, J., Sánchez-Sinencio, F., Zelaya-Ángel, O., Gutiérrez-Cortez, E., & Rodríguez-García, M. (2017). Study of the morphological, structural, thermal, and pasting corn transformation during the traditional nixtamalization process: From corn to tortilla. *Journal of Food Engineering*, 212: 242-251.

- Volman, J. J., Mensink, R. P., Ramakers, J. D., de Winther, M. P., Carlsen, H., Blomhoff, R., Buurman, W., & Plat, J. (2010). Dietary (1→3),(1→4)-β-d-glucans from oat activate nuclear factor-κB in intestinal leukocytes and enterocytes from mice. *Nutrition Research*, 30(1), 40-48.
- Waliszewski, K., Estrada, Y., & Pardo, V. (2000). Lysine and tryptophan fortification of nixtamalized corn flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 35: 523-527.
- Waliszewski, K., Pardo, V., & Carreon, E. (2002). Physicochemical and Sensory Properties of Corn Tortillas Made from Nixtamalized Corn Flour Fortified with Spent Soymilk Residue (okara). *Journal of food science*, 67(8): 3194-3197.
- Wang, Y., Beydoun, M., Liang, L., Caballero, B., & Kumanyika, S. (2008). Will all americans become overweight or obese? Estimating the progression and cost of the US obesity epidemic. *Obesity*, 16 (10): 2323–2330. doi:10.1038/oby.2008.351.
- Wang, Z. X., Li, N., & Xu, J. W. (2021). Effects of efficient expression of vitreoscilla hemoglobin on production, monosaccharide composition, and antioxidant activity of exopolysaccharides in *Ganoderma lucidum*. *Microorganisms*, 9(8), 1551.
- Wood, P. J. (2007). Cereal β-glucans in diet and health. *Journal of cereal science*, 46(3), 230-238.
- Wu, Q., Zhang, H., Wang, P. G., & Chen, M. (2017). Evaluation of the efficacy and safety of *Ganoderma lucidum* mycelium-fermented liquid on gut microbiota and its impact on cardiovascular risk factors in human. *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7(71), 45093-45100.
- Wu, S. (2018). Hypolipidaemic and anti-lipidperoxidant activities of *Ganoderma lucidum* polysaccharide. *International journal of biological macromolecules*, 118, 2001-2005.
- Xu, S., Dou, Y., Ye, B., Wu, Q., Wang, Y., Hu, M., Ma, F., Rong, X., & Guo, J. (2017). *Ganoderma lucidum* polysaccharides improve insulin sensitivity by regulating inflammatory cytokines and gut microbiota composition in mice. *Journal of functional foods*, 38, 545-552.
- Xu, W., Zhang, J., & Xiao, J. (2021). Roflumilast suppresses adipogenic differentiation via AMPK Mediated Pathway. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 667.
- Yao, G., Ma, Y., Muhammad, M., & Huang, Q. (2019). Understanding the infrared and raman spectra of ganoderic acid A: An experimental and DFT study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and biomolecular spectroscopy*, 210, 372-380.
- Yu, X.-H., Zhang, D.-W., Zheng, X.-L., & Tang, C.-K. (2019). Cholesterol transport system: An integrated cholesterol transport model involved in atherosclerosis. *Progress in lipid research*, 73, 65-91. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.12.002>.
- Zepeda Bautista, R., Carballo Carballo, A., Muñoz Orozco, A., Mejía Contreras, J. A., Figueroa Sandoval, B., & González Cossio, F. V. (2007). Fertilización nitrogenada y

características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 17-24.

Zhang, G., Zhang, C., Leng, D., Yan, P., Wang, Z., Zhang, M., & Wu, Z. (2021). The non-canonical functions of telomerase reverse transcriptase gene *GITert* on regulating fungal growth, oxidative stress, and ganoderic acid biosynthesis in *Ganoderma lucidum*. *Applied microbiology and biotechnology*, 1-13.

Zhao, Y., Lin, L., Li, J., Xiao, Z., Chen, B., Wan, L. M., Wu, X., Cho, C., & Shen, J. (2018). CD4<sup>+</sup> T cells in obesity and obesity-associated diseases. *Cellular immunology*, 332, 1-6.

Zhong, D., Xie, Z., Huang, B., Zhu, S., Wang, G., Zhou, H., Lin, S., Lin, Z., & Yang, B. (2018). *Ganoderma lucidum* polysaccharide peptide alleviates hepatocellular carcinoma via modulating bile acid metabolism dependent on FXR-SHP/FGF. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 49(3), 1204-1220.

Žilić, S., Mogol, B. A., Akıllıoğlu, G., Serpen, A., Babić, M., & Gökmen, V. (2013). Effects of infrared heating on phenolic compounds and Maillard reaction products in maize flour. *Journal of cereal science*, 58(1), 1-7.

## ANEXOS

### Anexo A. Formato de prueba de aceptación

NOMBRE:	FECHA:	SERIE:	
Indique con una "x" su aceptación al probar cada muestra de <b>tlayuda</b>			
MUESTRA	Acepta:	SÍ	NO
438		_____	_____
941		_____	_____
176		_____	_____

## Anexo B. Formato de escala hedónica de 9 puntos

<b>EVALUADOR:</b>						
<b>SERIE:</b>						
<b>FECHA:</b>						
Se le está proporcionando una muestra de <b>tlayuda</b> . Deguste la muestra e indique su nivel de agrado marcando el punto en la escala que mejor describa su reacción para cada uno de los atributos.						
<b>ATRIBUTOS</b>	<b>APARIENCIA</b>	<b>COLOR</b>	<b>OLOR</b>	<b>SABOR</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>ACEPTABILIDAD GENERAL</b>
GUSTA MUCHÍSIMO						
GUSTA MUCHO						
GUSTA MODERADAMENTE						
GUSTA UN POCO						
ME ES INDIFERENTE						
DISGUSTA UN POCO						
DISGUSTA MODERADAMENTE						
DISGUSTA MUCHO						
DISGUSTAMUCHÍSIMO						
<b>OBSERVACIONES:</b>						