



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**PROPIEDADES FUNCIONALES DE *Ganoderma lucidum*
AGREGADAS A LAS PASTAS (FIDEO, LASAÑA Y MACARRÓN) DE
AMPLIO CONSUMO EN LAS COMUNIDADES DE MÉXICO**

PATRICIO FAVIO GARZA SÁNCHEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ


DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Patricio Favio Garza Sánchez**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Propiedades funcionales de *Ganoderma lucidum* agregadas a las pastas (fideo, lasaña y macarrón) de amplio consumo en las comunidades de México**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 7 de marzo del 2018



Patricio Favio Garza Sánchez



Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera
Vo. Bo. Profesor Consejero


La presente tesis, titulada: **Propiedades funcionales de *Ganoderma lucidum* agregadas a las pastas (fideo, lasaña y macarrón) de amplio consumo en las comunidades de México**, realizada por el alumno: **Patricio Favio Garza Sánchez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. DANIEL CLAUDIO MARTÍNEZ CARRERA

ASESORA:



DRA. MERCEDES SOBAL CRUZ

ASESOR:



DR. PORFIRIO MORALES ALMORA

ASESOR:



DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESORA:



DRA. CONSUELO DEL CARMEN BAUTISTA MUÑOZ

Puebla, Puebla, México, 7 de marzo del 2018.

PROPIEDADES FUNCIONALES DE *Ganoderma lucidum* AGREGADAS A LAS PASTAS (FIDEO, LASAÑA Y MACARRÓN) DE AMPLIO CONSUMO EN LAS COMUNIDADES DE MÉXICO

Patricio Favio Garza Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2018

Los hongos funcionales y medicinales contienen compuestos activos de suma importancia, lo que los sitúa en un lugar privilegiado para su uso como aditivos funcionales. El hongo medicinal *Ganoderma lucidum* ha sido estudiado por sus propiedades funcionales y medicinales. En el presente estudio, se caracterizaron las propiedades funcionales de pastas adicionadas con extractos de *G. lucidum*. Las pastas funcionales se elaboraron con sémola de trigo *durum* y extractos de basidiocarpos de *G. lucidum* cultivados en aserrín de encino estéril hidratado con agua (T) o hidratado con una solución de ácido acetilsalicílico 10 mM (Tx). Con los extractos del hongo cultivado en ambas condiciones, se prepararon soluciones de 5 mg/mL y 10 mg/mL para elaborar tres formatos de pasta: fideo, lasaña y macarrón. Las propiedades antioxidantes y el contenido de polifenoles aumentaron significativamente en comparación con los controles y las pastas comerciales usadas como referencia. La pasta con mayor actividad antioxidante fue el fideo adicionado con extracto de *G. lucidum* cultivado en AAS a una concentración de 10 mg/mL, obteniendo niveles de 56.74%, 64.70% y 53.15% con las técnicas de DPPH, ABTS y β carotenos, respectivamente, así como 4.92 mgEAG/g de polifenoles totales. Estos resultados mostraron una alta correlación de 0.85 ($P < 0.0001$) entre la actividad antioxidante por DPPH y el contenido de polifenoles totales. Las pruebas de cocción mostraron que las pastas elaboradas con los extractos de *G. lucidum* incrementaron su resistencia. El análisis sensorial de las pastas adicionadas con extractos de *G. lucidum* tuvo buena aceptación, ya que no mostró diferencia significativa con las pastas comerciales. Las soluciones de *G. lucidum* utilizadas aportaron propiedades bactericidas y fungistáticas a las pastas estudiadas, lo que incrementó su inocuidad. Estos datos demostraron que las pastas son un alimento con gran potencial para la adición de propiedades funcionales provenientes del hongo medicinal *G. lucidum*.

Palabras clave: Actividad antioxidante, análisis sensorial, *Ganoderma lucidum*, pastas funcionales.

FUNCTIONAL PROPERTIES OF *Ganoderma lucidum* ADDED TO PASTA (NOODLES, LASAGNA AND MACARON) OF WIDE CONSUMPTION IN THE COMMUNITIES OF MEXICO

Patricio Favio Garza Sánchez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2018

Functional and medicinal fungi contain active compounds of great importance, which can be used as functional food additives. The medicinal fungus *Ganoderma lucidum* has been studied for its functional and medicinal properties. In the present study, functional properties of pastas added with extracts of *G. lucidum* were characterized. The functional pastas were made with durum wheat semolina and extracts of *G. lucidum* basidiocarps grown on sterile oak sawdust substrate hydrated with water (T) or a solution of acetylsalicylic acid 10 mM (AAS, Tx). Solutions of 5 mg/mL and 10 mg/mL of *G. lucidum* extracts were prepared to make three pastas: noodles, lasagna and macaroon. Antioxidant properties and the content of polyphenols increased significantly compared to controls and the commercial pasta used as reference. The pasta showing the greatest antioxidant activity was noodles added with *G. lucidum* extract grown on AAS at a concentration of 10 mg/mL. Data recorded were 56.74%, 64.70% and 53.15% for DPPH, ABTS and β carotene, respectively, as well as 4.92 mgEAG/g of total polyphenols. There was a high correlation of 0.85 ($P < 0.0001$) between the antioxidant activity by DPPH and the content of total polyphenols. The cooking tests showed that pastas made with the extracts of *G. lucidum* increased their resistance. Sensory evaluation of pastas added with extracts of *G. lucidum* had good acceptance, since they did not show significant difference with the commercial pasta. The solutions of *G. lucidum* also added bactericidal and fungistatic properties to the pastas studied, which increased their safety. These data indicated that pastas show great potential for the addition of functional properties from the medicinal mushroom *G. lucidum*.

Key words: Antioxidant activity, functional pastas, *Ganoderma lucidum*, sensory evaluation.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi esposa Fanny, quien en todo momento me apoyo de forma incondicional y siempre estuvo motivándome y alentándome.

A mis padres por todo su amor y cariño, por las enseñanzas y valores, y que gracias a eso se concretó este logro, en especial a mi madre, su amor y apoyo me han ayudado a afrontar los problemas, y a mis hermanos que siempre han estado ahí para darme su mano en cualquier momento.

Agradecimientos

Al pueblo de México a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado mis estudios de Maestría en el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla durante el periodo 2016-2018.

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. Benito Ramírez Valverde y Dra. Consuelo del Carmen Bautista Muñoz, fueron el pilar en mi formación académica y profesional.

A mis compañeros y amigos del PROEDAR y a los integrantes del Laboratorio de Biotecnología de Hongos: Alfredo, Víctor, Myrna, Willi, Helios, Bety, Nora y Joan.

	Página
I. CONTENIDO	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Biotecnología y desarrollo.....	3
2.2 Biotecnología de hongos comestibles, funcionales y medicinales..	3
2.3 Compuestos bioactivos de hongos medicinales.....	4
2.4 Características generales de <i>G. lucidum</i>	5
2.5 Alimentación mexicana.....	5
2.6 La canasta básica.....	6
2.7 Consumo de pastas.....	7
2.8 Valor nutricional y funcional de las pastas.....	8
2.9 Norma mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002 para pastas.....	9
2.10 Alimentos funcionales.....	11
2.11 Compuestos funcionales.....	12
2.12 Propiedades antimicrobianas en hongos.....	14
III. MARCO DE REFERENCIA	15
3.1 Biotecnología y alimentos funcionales.....	15
3.2 Hongos como alimentos funcionales y medicinales.....	16
3.3 <i>G. lucidum</i> como suplemento alimenticio.....	17
3.4 Obtención de compuestos funcionales.....	18
3.5 Pastas funcionales.....	19
3.6 Pastas funcionales con hongos.....	21
3.7 Estabilidad microbiana en pastas.....	21
IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	23
V. HIPÓTESIS	24
VI. OBJETIVOS	24
6.1 Objetivo general.....	24
6.2 Objetivos específicos.....	24
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	25
7.1 Descripción del experimento.....	26
7.1.1 Materias primas.....	26
7.1.2 Estandarización de las pastas.....	26
7.1.3 Elaboración de pastas funcionales.....	27
7.1.4 Descripción del formato, calibres y contenido de humedad.....	28
7.2 Análisis de las pastas.....	29
7.2.1 Muestreo.....	29
7.2.2 Obtención de extractos de pastas.....	29
7.3 Caracterización de las soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> y extractos de pastas.....	30
7.3.1 Espectro de absorción de barridos.....	30
7.3.2 Rendimiento por gravimetría.....	30
7.3.3 pH, conductividad y resistividad.....	31
7.3.4 Grados Brix.....	31
7.3.5 Determinación de proteínas.....	31
7.3.6 Determinación de polifenoles totales.....	32

7.3.7	Actividad antioxidante por DPPH.....	34
7.3.8	Actividad antioxidante por ABTS.....	35
7.3.9	Actividad antioxidante por β Carotenos.....	37
7.3.10	Determinación de glucanos (alfa, beta y totales).....	37
7.4	Análisis estadístico.....	37
7.5	Caracterización sensorial de las pastas.....	38
7.5.1	Pruebas de cocción.....	38
7.5.2	Análisis sensorial.....	38
7.6	Análisis microbiológico usando el método AOAC 990.12 y 997.02.....	39
VIII.	RESULTADOS	40
8.1	Características de los formatos.....	40
8.2	Propiedades físicas de las pastas.....	49
8.3	Contenido proteico de las pastas.....	55
8.4	Funcionalidad de las pastas.....	57
8.4.1	Contenido de polifenoles totales.....	57
8.4.2	Actividad antioxidante.....	59
8.4.3	Contenido de glucanos (alfa, beta y totales).....	66
8.4.4	Correlación de las propiedades funcionales.....	68
8.5	Propiedades sensoriales de las pastas.....	70
8.5.1	Características de cocción de las pastas.....	70
8.5.2	Análisis sensorial de pastas comerciales y funcionales.....	71
8.6	Inocuidad de pastas.....	76
8.6.1	Bacterias aerobias.....	76
8.6.2	Hongos y levaduras.....	81
IX.	DISCUSIÓN	84
X.	CONCLUSIONES	88
XI.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	89
XII.	ESTRATEGIA PARA LA AGREGACIÓN DE PROPIEDADES FUNCIONALES DE <i>G. lucidum</i> A ALIMENTOS DE AMPLIO CONSUMO	90
12.1	Introducción.....	90
12.2	Actores.....	91
12.3	Objetivos.....	92
XIII.	LITERATURA CITADA	94

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Pirámide poblacional de México en el 2015 (INEGI).....	6
Figura 2.	Diagrama de flujo para la elaboración y caracterización de pastas funcionales y comerciales.....	25
Figura 3.	Sémola utilizada para la elaboración de pastas.	26
Figura 4.	Formatos comerciales. A= Fideo comercial. B= Lasaña comercial. C= Macarrón comercial.	27
Figura 5.	Proceso para elaboración de pastas funcionales mediante pasta maker. A=. Pesado de la sémola. B= Mezclado de la sémola. C=Extrusión de la pasta. D= Secado en horno a 40 °C.	28
Figura 6.	Proceso de elaboración de extractos. A= Tamizado de la muestra. B=Maceración. C= Prensado de la muestra. D=filtrado del macerado. E= Concentración del extracto. F= Esterilización por micro filtración con sistema Sterifilm. G= Obtención del extracto estéril.	30
Figura 7.	Potenciómetro utilizado para la medición de pH, conductividad y resistividad.	31
Figura 8.	Refractómetro utilizado para la medición de grados Brix.....	31
Figura 9.	Metodología para la determinación de polifenoles totales en microplaca.	34
Figura 10.	Metodología para la generación del radical ABTS.....	36
Figura 11.	Metodología para prueba microbiológica de hongos, levaduras y bacterias aerobias.....	39
Figura 12.	Formatos de pastas funcionales frescas. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	41
Figura 13.	Formatos de pastas funcionales frescas vistas al microscopio. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	42
Figura 14.	Formatos de pastas comerciales y funcionales deshidratadas. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	43
Figura 15.	Formatos de pastas comerciales y funcionales deshidratadas vistas al microscopio. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	45
Figura 16.	Formatos de pastas comerciales y funcionales cocidas. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	46
Figura 17.	Formatos comerciales y funcionales cocidos vistos al microscopio. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1=	

	Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	47
Figura 18.	Barridos de soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> . S= Solución. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	49
Figura 19.	Barridos de extractos de fideo comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	50
Figura 20.	Barridos de extractos de lasaña comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	51
Figura 21.	Barridos de extractos de macarrón comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	52
Figura 22.	Contenido de proteínas en soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> . T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	56
Figura 23.	Contenido de proteínas en extractos de pastas comerciales y funcionales. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	57
Figura 24.	Contenido de polifenoles totales en soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> . T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	58
Figura 25.	Contenido de polifenoles totales en extractos de pastas comerciales y funcionales. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	59
Figura 26.	Actividad antioxidante (%) de extractos de fideo comercial y funcional por DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). F= Fideo. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	61
Figura 27.	Actividad antioxidante (%) de extractos de lasaña comercial y funcional DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). L= Lasaña. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	63
Figura 28.	Actividad antioxidante (%) de extractos de macarrón comercial y funcional por DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). M= Macarrón. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	65
Figura 29.	Contenido de glucanos (%) en soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> . T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	67

Figura 30.	Análisis de regresión por coeficiente de Pearson entre ensayos y variables estudiados en los extractos de pastas. A= Correlación inversa entre actividad antioxidante por DPPH y el contenido de polifenoles totales. B= Correlación inversa entre la actividad antioxidante por ABTS y el contenido de polifenoles totales. C= Correlación inversa entre la actividad antioxidante por β carotenos y el contenido de polifenoles totales. D= Correlación entre el rendimiento de las soluciones de <i>G. lucidum</i> y el contenido de polifenoles totales. E= Correlación entre la actividad antioxidante por DPPH y la actividad antioxidante por ABTS. F= Correlación entre la actividad antioxidante por DPPH y la actividad antioxidante por β carotenos. G= correlación inversa entre la actividad antioxidante por DPPH y el rendimiento de las soluciones de <i>G. lucidum</i> . H= Correlación entre la actividad antioxidante por ABTS y la actividad antioxidante por β carotenos. I= Correlación entre la actividad antioxidante por ABTS y el rendimiento del extracto de las pastas. J= Correlación inversa entre el rendimiento de las soluciones de <i>G. lucidum</i> y la actividad antioxidante por β carotenos.....	70
Figura 31.	Análisis sensorial de la apariencia en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	73
Figura 32.	Análisis sensorial del color en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	74
Figura 33.	Análisis sensorial del olor en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	75
Figura 34.	Análisis sensorial de la textura en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	75
Figura 35.	Análisis sensorial del sabor en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	76
Figura 36.	Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en fideo comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	77

Figura 37.	Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en lasaña comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	77
Figura 38.	Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en macarrón comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	78
Figura 39.	Bacterias aerobias (UFC/mL) en pastas comerciales y funcionales a 48 horas de incubación. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	80
Figura 40.	Bacterias aerobias (UFC/mL) en pastas comerciales y funcionales a 48 horas de incubación sin la condición blanco. Co= Comercial. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	80
Figura 41.	Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en fideo comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	81
Figura 42.	Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en lasaña comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.	82
Figura 43.	Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en macarrón comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.....	82

LISTA DE CUADROS		Página
Cuadro 1.	Consumo de pasta a nivel internacional en 2011.....	8
Cuadro 2.	Valor nutricional de las pastas por 100 g de producto.....	9
Cuadro 3.	Clasificación del secado aplicado a pastas.....	10
Cuadro 4.	Especificaciones permitidas por NMX-F-023 para pasta para consumo humano.	11
Cuadro 5.	Categorías de alimentos funcionales.....	12
Cuadro 6.	Soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> (CP-145) usadas para la elaboración de pastas funcionales.	26
Cuadro 7.	Formulaciones de pastas funcionales.....	27
Cuadro 8.	Preparación de curva de albúmina de suero bovino (Sigma).	32
Cuadro 9.	Preparación de curva de ácido gálico (Sigma).....	33
Cuadro 10.	Preparación de curva estándar, soluciones y extractos.....	34
Cuadro 11.	Instrumento de evaluación para análisis sensorial de pastas (prueba hedónica).	38
Cuadro 12.	Grosor (mm) de pastas comerciales y funcionales deshidratadas.	48
Cuadro 13.	Contenido de humedad (%) en pastas funcionales frescas y deshidratadas.	49
Cuadro 14.	pH, conductividad y resistividad de soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i>	52
Cuadro 15.	° Brix y rendimiento de soluciones de <i>Ganoderma lucidum</i> .	53
Cuadro 16.	pH, conductividad y resistividad de extractos de pastas comerciales y funcionales.	54
Cuadro 17.	Grados Brix y rendimiento de extractos de pastas comerciales y funcionales.	55
Cuadro 18.	Actividad antioxidante considerando la concentración inhibitoria del 30% (IC 30) de los radicales libres de extractos de pastas comerciales y funcionales obtenidos por el ensayo de DPPH, ABTS y β carotenos.....	66
Cuadro 19.	Aporte de glucanos totales (mg) por 100 g de pasta deshidratada.....	67
Cuadro 20.	Tiempo de cocción óptimo (min) de pastas comerciales y funcionales.	71
Cuadro 21.	Absorción de agua (%) de pastas comerciales y funcionales.	71
Cuadro 22.	Puntuación del análisis sensorial de fideo comercial y funcional.	72
Cuadro 23.	Puntuación del análisis sensorial de lasaña comercial y funcional.	72
Cuadro 24.	Puntuación del análisis sensorial de macarrón comercial y funcional.	73
Cuadro 25.	Conteo de bacterias aerobias (UFC/mL) de pastas comerciales y funcionales con incubación de 24, 48 y 72 horas.	79

Cuadro 26.	Área (cm ²) de crecimiento de hongos y levaduras en pruebas microbiológicas de pastas comerciales y funcionales.....	83
Cuadro 27.	Matriz de potencialidades, limitaciones y problemas de la estrategia propuesta.	91
Cuadro 28.	Asignación de objetivos de la estrategia para la elaboración de alimentos adicionados con extractos de <i>Ganoderma lucidum</i>	92

I. INTRODUCCIÓN

El patrón de consumo a nivel mundial ha tenido un gran cambio en las últimas décadas; pasando de una alimentación basada en productos de origen vegetal a productos mayormente industrializados y de origen animal; así mismo, el modo de vida y la globalización ha tenido un efecto creciente sobre el sedentarismo lo que conlleva a un incremento de las enfermedades crónicas como la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, la osteoporosis, el cáncer, etc. (González *et al.*, 2015). Debido al aumento de enfermedades relacionadas con los hábitos alimentarios, en las últimas décadas se ha incrementado la demanda por alimentos y bebidas que mejoren o beneficien la salud, en este contexto los alimentos funcionales desempeñan un papel importante al ofrecer un nuevo tipo de herramienta de salud que promete efectos específicos relacionados con componentes particulares de los alimentos (Ozen *et al.*, 2012).

Los hongos comestibles tienen una gran diversidad de propiedades nutricionales, funcionales y medicinales, muy diferentes a las que aportan otros alimentos; razón por la cual tienen un alto impacto no solo en la seguridad alimentaria, sino también en la sociedad y el medio ambiente. Dentro de las propiedades funcionales los hongos son reconocidos por su efecto anticancerígeno, antibiótico, antioxidante, reductor del nivel de colesterol y de hipertensión entre otros efectos. Debido a esto los hongos son un excelente producto para la generación de valor agregado y la activación de las cadenas productivas. Actualmente estos productos tienen un mercado superior a los 6 billones de dólares en la industria alimenticia y farmacéutica, y se observa una creciente demanda en productos derivados de hongos como suplementos alimenticios, capsulas, tabletas, bebidas y alimentos funcionales. *G. lucidum* es uno de los hongos más estudiados por sus efectos benéficos a la salud, sin embargo, la utilización del mismo es través de extractos en los cuales se encuentran las propiedades bioactivas, ya que tiene una estructura semejante al corcho lo que dificulta su consumo en forma de alimento (Mayett y Martínez-Carrera, 2016; Tello, *et al.*, 2016).

En el presente trabajo se elaboraron pastas adicionadas con extractos de Reishi (*Ganoderma lucidum*) para el mejoramiento funcional de las mismas. Las pastas han sido el objeto de muchas investigaciones ya que la Organización Mundial de la Salud y la Food and Drug Administration de Estados Unidos, han considerado a la pasta como un alimento apropiado para el agregado de nutrientes, siendo uno de los primeros alimentos para el cual se permitió el enriquecimiento con vitaminas y hierro (Martínez, 2010); además al formar parte de la canasta básica mexicana son un excelente alimento para la adición de compuestos bioactivos obtenidos de hongos. El mejoramiento funcional de las pastas ayudaría a prevenir los principales problemas de salud que aquejan a la sociedad mexicana y ayudará a fortalecer la cadena productiva de los hongos comestibles, funcionales y medicinales.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Biotecnología y desarrollo

Según la ONU (1992), la biotecnología se define como “toda aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”. En la actualidad los avances biotecnológicos han tenido una gran repercusión y desarrollo en todos los ámbitos de la sociedad; y la alimentación no es la excepción, ya que se ha recurrido a esta innovación para elaborar productos funcionales y así propiciar un mayor desarrollo y bienestar de la sociedad en general. Parte fundamental de la biotecnología tiene sus inicios con levaduras, fermentos, enzimas y otros productos; sin embargo existen nuevas aplicaciones las cuales se basan en el control más preciso de la actividad de estos “biológicos”; ello permite, en algunos casos, nuevos productos, en otros, una reducción de costos y/o un mejor control sobre la variabilidad de la calidad de los productos. La creación y provisión de las tecnologías para la biotecnología así como la investigación y el desarrollo biotecnológico se está generando desde el sector académico proyectando a la biotecnología como uno de los principales rubros para la investigación a nivel mundial (CEPAL, 2009).

2.2 Biotecnología de hongos comestibles, funcionales y medicinales

Los hongos comestibles son organismos del reino *Fungi* que producen estructuras macroscópicas llamadas esporocarpos (cuerpos fructíferos) a partir de una fase vegetativa conocida como micelio; son un alimento tradicional consumido desde épocas prehispanicas que presentan una gran cantidad de compuestos bioactivos muy diferentes de los presentes en alimentos de origen vegetal y animal (Martínez-Carrera *et al.*, 2016), poseen un excelente aporte nutrimental gracias a su alto contenido proteico (20-30% con presencia de todos los aminoácidos esenciales), al aporte de vitaminas B y D, a su fibra dietética presente en la quitina y a su bajo contenido de grasas (Trigos y Suárez, 2010).

Los hongos comestibles, funcionales y medicinales se definen como subgrupos que integran especies cultivadas o potencialmente cultivables que se diferencian entre sí por sus propiedades relevantes para la alimentación y salud humana; a los hongos comestibles pertenecen todos aquellos hongos utilizados esencialmente para la alimentación, en los funcionales corresponden aquellas especies que poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, hipoglucémicas, antivirales o anticancerígenas entre otras, y los hongos medicinales son de un reducido grupo de los cuales se han purificado compuestos bioactivos específicos utilizados como medicamentos aprobados por instituciones oficiales (Martínez-Carrera *et al.*, 2016).

La producción de hongos comestibles, funcionales y medicinales representan un proceso biotecnológico microbiano el cual se adapta a los requerimientos de un mundo globalizado siendo rentable, controlado y ecológico con el uso eficiente del agua, teniendo un gran potencial como alternativa de alimentación en México, convirtiéndose en la biotecnología microbiana productora de alimentos más importante en el país y con un gran potencial para la producción de alimentos a bajo costo y preparada para enfrentar los efectos adversos al cambio climático. Parte fundamental de la biotecnología de los hongos se debe a su mecanismo de alimentación, el cual libera enzimas para la degradación del sustrato y da lugar a su uso biotecnológico mediante: a) la producción a gran escala de micelio y basidiocarpos en condiciones controladas, b) La extracción de compuestos bioactivos y c) La obtención de productos naturales (extractos naturales o modificados) (Martínez-Carrera *et al.*, 2016).

2.3 Compuestos bioactivos de hongos medicinales

Los hongos comestibles, funcionales y medicinales están formando una cadena agroalimentaria emergente en México con impacto en la producción de alimentos de consumo directo y para la obtención de productos de valor agregado con propiedades funcionales y medicinales (Martínez-Carrera *et al.*, 2016). Numerosos estudios destacan las propiedades funcionales de los hongos comestibles: al ergosterol se le atribuye la reducción del dolor asociado a procesos inflamatorios, inhibición del crecimiento de tumores cancerosos, disminución de enfermedades cardiovasculares,

así como actividad antioxidante y antimicrobiana (Kobori *et al.*, 2007), distintas especies de hongos entre las que destacan *Pleurotus*, *Agaricus*, *Lentinula* y *Grifola* disminuyen el colesterol y el azúcar en sangre, incrementan la actividad del sistema inmunológico e inhiben el crecimiento de tumores (Hu *et al.*, 2006). Además de la presencia de ergosterol y otros compuestos bioactivos en hongos comestibles, también 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 es el caso de *G. lucidum* (Trigos y Suárez, 2010).

2.4 Características generales de *G. lucidum*

G. lucidum mejor conocido como “reishi”, es una de las especies de hongos más utilizados en la medicina tradicional de Asia y también uno de los más estudiados por sus propiedades benéficas para la salud, principalmente como inmunomodulador. Contiene compuestos bioactivos tales como polisacáridos, triterpenos, esteroides, lecitinas y proteínas; por lo que esta especie es ampliamente utilizada para la elaboración de suplementos alimenticios. Estos hongos crecen sobre madera en descomposición bajo condiciones elevadas de calor y humedad por lo que se encuentran en regiones tropicales o subtropicales. Es un hongo relativamente grande, satinado al exterior y leñosos por dentro. El consumo de este hongo a diferencia de otros se debe más a sus propiedades medicinales que a su valor nutritivo, y su consumo principalmente es mediante infusiones (Tello *et al.*, 2016; Bidegain *et al.*, 2014).

2.5 Alimentación mexicana

La ubicación de México se encuentra al norte del continente americano junto con Canadá y Estados Unidos, al norte colinda con Estados Unidos y al sur con Belice y Guatemala. La extensión territorial del país es de 1.96 millones de Km². Debido a sus condiciones geográficas y de clima México es considerado como un país mega diverso el cual alberga 200 mil especies diferentes, lo que representa del 10 al 12% de la

biodiversidad mundial (FAO, 2003). De acuerdo con el INEGI en el 2015 la población total de México fue de 119 millones 530 mil 753 habitantes considerado dentro de los 11 países más poblados del mundo, de los cuales el 48.6% son hombres y 51.4% mujeres. En la figura 1 se muestra la pirámide poblacional de México (INEGI, 2015).

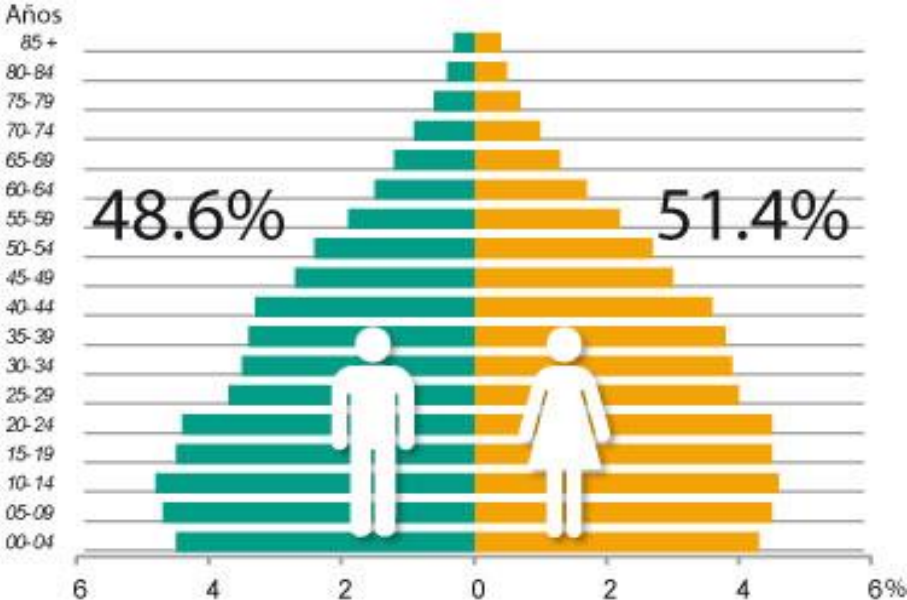


Figura 1. Pirámide poblacional de México en el 2015 (INEGI).

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Nutrición, en México persisten condiciones elevadas de desnutrición relacionados directamente con el sector social y con los hábitos alimentarios de la población; si bien es conocido que la dieta de los mexicanos está basada en el consumo de maíz, frijol y vegetales, el cambio en la alimentación mexicana ligada al desarrollo socioeconómico y la urbanización de las localidades ha afectado a la salud de los mexicanos (Martínez y Villezca, 2003).

2.6 La canasta básica

La canasta básica se define como el conjunto de bienes y servicios indispensables y necesarios para que los trabajadores y sus familias puedan satisfacer sus necesidades básicas; dicha definición abarca también servicios como lo son el transporte y la luz; sin embargo, también existe la canasta básica alimentaria que es un conjunto de alimentos seleccionados de acuerdo a su aporte calórico y frecuencia de consumo, entre otros factores. En México, la canasta básica alimentaria se divide en 7 grupos de alimentos

básicos: cereales, leguminosas, verduras, frutas, carnes, lácteos y otros. De estos grupos, los cereales son los principales productos de consumo representando el 42.9% de los alimentos ingeridos diariamente per cápita. Ahí se encuentran las pastas para sopa a base de trigo las cuales forman parte importante de la dieta mexicana por su bajo costo, rendimiento y practicidad (Martínez, 2001).

2.7 Consumo de pastas

Las pastas son un producto que se consume en todo el mundo, siendo un alimento tradicional y de gran aceptación debido a sus cualidades; son de bajo costo, fáciles de preparar y versátiles, lo que hace que puedan ser consumidas por todos los sectores de la población (Acosta, 2007).

El origen de las pastas ha sido discutido grandemente, debido a que existen pruebas que apuntan a China como posible lugar de origen; sin embargo, los primeros indicios sobre la pasta pueden localizarse en tierras italianas en tiempos de la civilización etrusca, varios siglos antes de Cristo. Aunque es difícil precisar el origen de la pasta podría ser posible su invención en distintas zonas geográficas por la factibilidad de sus materias primas (trigo y agua). La elaboración de pasta en Italia se consideraba una especialidad napolitana en el siglo XIX y fue en Nápoles donde la producción comenzó a comercializar e industrializarse, lo que necesitó un proceso de secado de la pasta para su conservación (Kill y Turnbull, 2001).

La producción de pastas a nivel mundial es de 12 millones de toneladas por año siendo Italia el principal productor con 3,160,000 toneladas (26% de la producción total), seguido por Estados Unidos con 2,000,000 toneladas (16%), y en tercer lugar Brasil con 1,500,000 toneladas (12%) (Martínez, 2010). No obstante el consumo de pasta per cápita no sigue esta tendencia, ya que de acuerdo con Organización Internacional de Pasta, Italia, Venezuela y Túnez tienen los primeros lugares de consumo con 26, 12.3 y 11.9 Kg per cápita, respectivamente. México se posiciona en el lugar 42 con 2.7 Kg de pasta per cápita, lo que lo proyecta con una gran potencial de crecimiento. En el cuadro 1 se muestra el consumo per cápita de pastas a nivel mundial durante 2011.

Cuadro 1. Consumo de pasta a nivel internacional en 2011.

País	Kg/per cápita	País	Kg/per cápita
Italia	26.0	España	5.0
Venezuela	12.3	República	5.0
		Eslovaca	
Túnez	11.9	Bolivia	4.8
Grecia	10.5	Países bajos	4.4
Suiza	9.3	Lituania	4.4
Suecia	9.0	Polonia	4.4
Estados Unidos	8.8	Letonia	4.1
Irán	8.5	República	4.0
		Dominicana	
Chile	8.4	Australia	4.0
Perú	8.2	Israel	4.0
Francia	8.1	Ecuador	3.9
Alemania	8.1	Panamá	3.8
Argentina	7.9	Costa Rica	3.2
Rusia	7.8	Finlandia	3.2
Hungría	7.5	Colombia	3.0
Uruguay	7.5	México	2.7
Croacia	7.3	Romania	2.7
Austria	7.0	Reino Unido	2.5
Eslovenia	6.7	Guatemala	2.0
Portugal	6.6	Dinamarca	2.0
Canadá	6.5	Libia	2.0
Brasil	6.2	Japón	1.7
Turquía	6.1	Egipto	1.2
República checa	6.0	Irlanda	1.0
Bélgica	5.4	El Salvador	1.0
Estonia	5.3		

Fuente: Organización internacional de pasta, 2011.

2.8 Valor nutricional y funcional de las pastas

Las pastas alimenticias son consumidas prácticamente por toda la población del país, ya que es un producto que forma parte de la alimentación básica por su bajo costo y su valor nutricional (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valor nutricional de las pastas por 100 g de producto.

Nutrientes	Valores	Vitaminas	Valores
Calorías	342 (Kcal)	Ácido ascórbico	0 (mg)
Proteínas	12 (g)	Tiamina	0.22 (mg)
Grasas	1.8 (g)	Riboflavina	0.31 (mg)
Carbohidratos	74 (g)	Niacina	3.1 (mg)
Fibra dietética	2.9 (g)	Ácido pantotínico	0.3 (mg)
Minerales		Vitamina B6	0.17 (µg)
Calcio	25 (mg)	Ácido fólico	34 (µg)
Hierro	2.1 (mg)	Vitamina B12	0 (µg)
Magnesio	190 (mg)	Colesterol	0 (µm)
Fósforo	250 (mg)		
Sodio	3 (mg)		
Cinc	1.5 (mg)		
Cobre	0.32 (mg)		
Magnesio	0.9 (mg)		

Fuente: kill y Turnbull, 2001.

Por su valor nutricional las pastas son un alimento importante ya que forman parte de una dieta sana y equilibrada, es un producto bajo en grasa con una buena fuente de carbohidratos complejos, los cuales pueden atribuirle propiedades funcionales por su digestión lenta; sin embargo, fuera de esta característica (que en gran medida depende de la calidad de la sémola) no tiene ninguna otra propiedad funcional. Debido a esto la Organización Mundial de la Salud y la Food and Drug Administration de Estados Unidos (FDA) consideraron a las pastas como un alimento propicio para el agregado de nutrientes y compuestos funcionales (Martínez, 2010; Granito *et al.*, 2014).

2.9 Norma mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002 para pastas

Según la norma mexicana NMX-F-023 la pasta es un producto obtenido por el amasado mecánico de sémola, semolina o harinas (cualquiera de estas procedente en su totalidad de trigos duros) con agua y otros ingredientes opcionales permitidos, el cual es moldeado, laminado o extruido y sometido o no a un proceso térmico de desecación.

El proceso de elaboración de pastas empieza con el mezclado de las materias primas secas con el líquido, siendo el principal objetivo distribuir los ingredientes uniformemente e hidratar las partículas de la sémola; destacando que a diferencia del proceso de panificación las pastas son un proceso no fermentativo con un nivel de humedad mucho más bajo (cercano al 30%); siendo de suma importancia la calidad de la harina y la cantidad de agua (Martínez, 2010). La extrusión sirve para dar forma a la pasta y mejorar la estructura del amasado en la cual la estructura del gluten es definida por la presión generada durante este proceso, el cual tiende a lograr una masa lisa de espesor deseado y con una matriz de gluten continua y uniforme. El desarrollo de una matriz uniforme de gluten con un buen balance de elasticidad y tenacidad es crítico para la calidad final de las pastas (Acosta, 2007). Por último, el proceso de secado tiene la función de prolongar la vida de anaquel y asegurar su estabilidad microbiológica y bioquímica llevando al producto hasta un contenido de humedad menor al 12.5%. Este proceso se lleva a cabo extrayendo la humedad de la superficie hasta el centro de la pasta, esta operación no debe ser muy rápida ya que puede generar tensiones hídricas que dan lugar a grietas en el producto terminado lo cual confiere la opacidad y disminuye su resistencia. Existen diferentes tipos de secado en base a la temperatura y tiempo de secado los cuales se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación del secado aplicado a pastas.

Secado	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
Estándar	50 °C	14-20 horas
Alta temperatura	75 °C	7-10 horas
Muy alta temperatura	100 °C	2-4 horas

Fuente: (Kill y Turnbull, 2001).

De acuerdo con la normatividad mexicana las pastas deben de provenir en su totalidad de trigos de la especie *triticum durum*, y no se permiten mezclas con harinas de otros cereales; las especificaciones de las pastas según la NMX-F-023 se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Especificaciones permitidas por NMX-F-023 para pasta para consumo humano.

Especificaciones	Valores
Humedad mínima	NA (%)
Humedad máxima	12.5 (%)
Cenizas máximas	1.1 (%)
Proteínas mínimas	11(%)
Fibra cruda mínima	NA(%)
Hongos UFC/g	100 (máximo) (UFC/g)
Coliformes totales	< 10 (UFC/g)
<i>E. coli</i>	Ausente
<i>Salmonella ssp.</i>	NA
<i>S. aureus</i>	NA

2.10 Alimentos funcionales

Un alimento funcional se define como “aquel alimento que, además de aportar su valor nutritivo convencional, tiene algunos efectos benéficos para la salud, más allá de la estricta nutrición, porque mejora el estado de salud o reduce el riesgo de contraer determinadas enfermedades” (Escobar y Agrimbau, 2007). Para obtener dicho efecto el alimento tiene que ir enriquecido con compuestos con actividad biológica que no estén presentes de forma natural o en cantidad suficiente en los alimentos.

Para incrementar dichos compuestos existen diversas formas como:

- Adición o suplemento con sustancias o ingredientes con efectos benéficos.
- Sustitución de las sustancias con efectos negativos por otras con efectos benéficos.
- Eliminación de componentes que pueden tener efectos negativos.
- Aumento de la concentración de un componente de efectos beneficiosos.

A pesar de la modificación del alimento este debe de conservar sus propiedades de alimento y también demostrar sus efectos en las cantidades en que normalmente se consumen en la dieta (Ozen *et al.*, 2012). Las categorías de los alimentos funcionales se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Categorías de alimentos funcionales.

Categoría	Tipo de alimentos
Convencionales	No modificados
Modificados	Fortificados, enriquecidos o mejorados
Medicinales	Formulados para ser consumidos o administrados bajo supervisión médica.
Para usos dietéticos especiales	Infantiles e hipoalergénicos.

Fuente: Millone *et al.*, (2011).

De manera más simple, los alimentos funcionales son aquellos alimentos convencionales que contienen sustancias bioactivas naturales a través de enriquecimiento con sustancias benéficas o bien que se le han quitado componentes nocivos a través de la modificación de los mismos (Trigos y Suárez, 2010).

2.11 Compuestos funcionales

Existen un sinnúmero de alimentos que al consumirlos comúnmente en la dieta proveen beneficios para la salud, estos alimentos presentan compuestos bioactivos de diversos orígenes a los cuales se les atribuyen propiedades funcionales como grasas, fibras y antioxidantes.

Grasas: las grasas o lípidos son los componentes nutricionales que aportan principalmente energía al organismo e intervienen en procesos fisiológicos. Algunas grasas que muestran actividad funcional son: los ácidos grasos sustituyentes de los triglicéridos y de los lípidos complejos, los cuales pueden clasificarse como ácidos grasos saturados (proceden principalmente de grasa animal) y los insaturados los cuales se les atribuyen beneficios a la salud. Dentro de los ácidos grasos con actividad funcional se encuentran los omega-3,6 y 9 que son compuestos bioactivos los cuales no sintetiza el ser humano, pero que son necesarios para mejorar el metabolismo del colesterol, el sistema reproductivo y el crecimiento de la piel y el cabello, también se le han relacionado de forma benéfica con problemas cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. El efecto de estos ácidos grasos es atribuido a su habilidad de reducir la inflamación (Cruz, 2007). Los fitoesteroles son esteroides de origen vegetal que se

asemejan en su estructura y función al colesterol. Los más representativos son el sitosterol, stigmasterol y campesterol. Los aceites vegetales y sus derivados son una buena fuente de fitoesteroles, seguido de los cereales, frutos secos y hortalizas. Dichos compuestos son capaces de reducir los niveles de colesterol total (Olmedilla y Granado, 2007).

Fibras: dicho término hace referencia a la fibra vegetal definiéndose como los constituyentes de la pared de la célula vegetal que son resistentes a las enzimas del tracto digestivo humano; este concepto engloba a la celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo, este término se modificó al de fibra dietética el cual es el remanente de los componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas intestinales humanas; en este concepto se engloban una serie de compuestos unidos por sus propiedades fisiológicas independientemente de su similitud química (Olmedilla y Granado, 2007). Unos de los principales compuestos funcionales que forma parte de la fibra son los beta glucanos, que juegan un papel importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares por reducir los niveles de lípidos plasmáticos, presión sanguínea y niveles de azúcar. Los beta glucanos son polímeros lineales no ramificados, compuestos por moléculas de glucosa unidos por enlaces beta (1-4) y beta (1-3) (Cruz, 2007).

Antioxidantes: los antioxidantes se pueden definir como sustancias que son capaces de retrasar o prevenir la oxidación de un sustrato como estructuras protéicas, lípidos, hidratos de carbono y ADN (Murcia *et al.*, 2003). Esta definición puede aplicarse a alimentos que contienen sustancias que causan este efecto antioxidante en nuestro cuerpo; algunas de estas sustancias son: micronutrientes como el selenio y en menor medida el cinc, el cobre, el hierro y el manganeso los cuales intervienen en actividades enzimáticas con capacidad antioxidante. Vitaminas o provitaminas como la vitamina E, C y los carotenos que son antioxidantes celulares liposolubles que evitan especialmente la peroxidación lipídica, la oxidación por radicales libres y reducción de radicales de oxígeno. Compuestos fenólicos de los cuales existen distintos alimentos ricos en polifenoles y que se han asociado con un menor riesgo a enfermedades

relacionadas con la oxidación; más de 8,000 compuestos químicos constituyen este grupo antioxidante y sus estructuras químicas son constituyentes de frutas, vegetales, semillas, flores y hongos. Los compuestos fenólicos se clasifican en grupos según su estructura en: fenoles y ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos, flavonoides y taninos.

2.12 Propiedades antimicrobianas en hongos

El consumo de hongos ha aumentado en los últimos años debido a los componentes bioactivos que les confieren propiedades funcionales y medicinales. Dado que los hongos necesitan de compuestos antibacterianos que les permitan su supervivencia en la naturaleza no es de extrañarse que los hongos hayan demostrado ser una fuente rica de compuestos biológicamente activos con gran variedad de estructuras químicas que son útiles como compuestos antimicrobianos (Radulović *et al.*, 2013). Dicha actividad está relacionada a la producción de metabolitos secundarios pertenecientes a varios grupos químicos como polisacáridos y triterpenos. Tal es el caso de las hidroquinonas sesquiterpenoides, también llamadas ganomicinas que presentan actividad frente a *Staphylococcus aureus* (Lindequist *et al.*, 2005; Zjawiony *et al.*, 2004), y cuyo mecanismo de acción consiste en la inhibición de la síntesis de la pared celular (Alves *et al.*, 2014), los terpenoides que son moléculas formadas por unidades de isopreno, clasificándose como hemiterpenos, monoterpenos, diterpenos, sesterpenos triterpenos, tetraterpenos y sesquiterpenos exhiben una amplia gama de actividades biológicas entre las que destacan las antimicrobianas (Duru *et al.*, 2015). De entre los triperneoides de mayor abundancia y relevancia en los hongos se encuentran los esteroides como el ergosterol que presenta propiedades anticancerígenas y antimicrobianas (Smannia *et al.*, 2003; Nieto, 2010).

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Biotecnología y alimentos funcionales

La biotecnología alimentaria hace referencia al uso de un organismo vivo o parte de él que interviene en un proceso para la elaboración o producción de algún alimento; teniendo esta definición como referencia podemos decir que la biotecnología alimentaria ha existido desde la antigüedad teniendo una historia tan larga como la producción del pan o la cerveza. La utilización de la biotecnología en procesos industriales tuvo un gran crecimiento a partir de los años 50 con la explicación y modificación del ADN, en los años 70 y 80 este desarrollo fue mayor debido a que fue posible la transferencia de genes a otros organismos (Villate y Castellanos, 2011); sin embargo, la biotecnología alimentaria va más allá de la modificación genética abarcando también procesos de transformación como el mejoramiento de características organolépticas, químicas, fisicoquímicas o nutricionales. Estas aplicaciones se ven mayormente en los alimentos funcionales los cuales son adicionados con componentes de otros organismos u alimentos para desempeñar una función fisiológica específica que va más allá de su contenido nutricional.

Parte fundamental del desarrollo de los alimentos funcionales son los avances científicos que han permitido establecer el efecto benéfico del consumo de estos alimentos, por ejemplo: se ha demostrado que las fibras tienen un efecto benéfico en las funciones gastrointestinales, por lo que ayuda a prevenir enfermedades como cáncer, obesidad y diabetes; los probióticos pueden ser usados para el tratamiento de diarreas y enfermedades alérgicas e inflamatorias del intestino, también se les puede atribuir un efecto de disminución en los niveles séricos de colesterol; las sustancias bioactivas, las vitaminas y proteínas tienen efectos diversos sobre la salud de quienes los consumen, pueden funcionar como antioxidantes, precursores de enfermedades cardiovasculares, enfermedades crónicas degenerativas y activadores del sistema inmune entre muchas otras funciones (Sarmiento, 2006).

Actualmente el consumo de alimentos no solo está enfocado en satisfacer las necesidades nutrimentales, sino que también se enfoca en reducir el riesgo de enfermedades y mejorar la salud física, por lo que la investigación, la innovación y el desarrollo de alimentos funcionales revolucionaron la industria a partir de su surgimiento en los años 80; dicho mercado se estima en 167 mil millones de dólares con un crecimiento estimado de 48% anual, lo que representa el 37% del mercado mundial de la nutrición. Sus expectativas son amplias a nivel mundial generando un gran impacto no solo en la nutrición, sino también en el aspecto de la salud, la economía, la investigación y el desarrollo social entre otros (Fuentes *et al.*, 2015).

3.2 Hongos como alimentos funcionales y medicinales

Durante las últimas dos décadas del siglo XX, con el aumento en las enfermedades cardiovasculares, el sedentarismo y los cambios en los hábitos alimenticios también se acrecentó el interés por la salud de las personas, sobre todo en países desarrollados, dicha preocupación llevo a la industria alimentaria a generar alimentos a los cuales se les atribuyen beneficios para el consumidor debido a los compuestos bioactivos presentes en los mismos o añadidos. En este enfoque, los hongos comestibles son apreciados no solo por su excelente aporte nutricional sino también por considerarse un alimento funcional y fuente de compuestos bioactivos para la suplementación en otros alimentos (Trigos y Suárez, 2010).

Los hongos contienen varios compuestos bioactivos que le atribuyen efectos inmunomoduladores, antitumorales, anti-hipercolesterolemia, antibacterianos, anti fúngicos, antiinflamatorios, antidiabéticos y cardiovasculares entre otros. A pesar de que han sido ampliamente estudiadas las propiedades funcionales de los hongos, la incorporación de dichas propiedades a alimentos aún se encuentra en su fase experimental debido a la gran variedad de alimentos, procesos y formas de adición de los mismos; esto implicaría un estudio especializado para cada alimento, proceso y hongo; ya que es bien conocido que la bioactividad de los hongos puede verse afectada por los métodos de extracción y procesamiento. Debido a estos efectos es recomendable adicionar los compuestos bioactivos a alimentos mínimamente

procesados y con una cantidad mínima de aditivos, ya que los mismos pueden afectar la funcionalidad de los hongos (Reis *et al.*, 2017).

Las aplicaciones de hongos a alimentos funcionales es muy variada; sin embargo buen número de investigaciones tienen por objetivo la sustitución de las harinas derivadas del trigo por harinas o compuestos bioactivos provenientes de hongos. Kim *et al.* (2011), obtuvieron fracciones enriquecidas de beta glucanos a partir de *Lentinus edodes* para sustituir parcialmente harina de trigo en productos horneados, obteniendo que la adición de las fracciones de beta glucanos afecta propiedades como el volumen; sin embargo, no existen diferencias significativas en los productos sin la adición de dichos compuestos, siendo viable la adición de beta glucanos en productos de panificación. Ulziijargal *et al.* (2013), sustituyeron el 5% de harina de trigo por micelio de diversas especies de hongos para preparar pan, el cual tuvo menor aceptabilidad por la disminución del volumen y cambió en el color; sin embargo, se logró la adición de compuestos bioactivos. Además de la suplementación también existen estudios donde los hongos son ayudantes de proceso. Okamura *et al.* (2001), sustituyeron las bacterias empleadas en la elaboración de quesos por el hongo *Schizophyllum commune* obteniendo un producto similar al queso con aumento en el contenido de beta glucanos.

3.3 *G. lucidum* como suplemento alimenticio

Un suplemento o complemento alimenticio se define como un producto diseñado para complementar la dieta que contiene ciertos ingredientes dietarios específicos como vitaminas, minerales, aminoácidos, metabolitos, extractos, etc. dichos productos no pueden considerarse como medicamentos ya que su función es más bien preventiva, lo que hace que dichos productos se rijan por la normatividad de la industria alimentaria y no de la industria farmacéutica, dichos productos son ingeridos en forma de cápsulas, tabletas, gotas o similares (Trigos y Suarez, 2010).

G. lucidum es un hongo usado en la medicina tradicional de Asia desde la antigüedad el cual es consumido como polvo seco o como extracto en agua caliente; es utilizado

más frecuentemente como suplemento alimenticio que por su acción farmacológica siendo una de las especies más usadas para este fin. La formulación de alimentos funcionales y suplementos a base de *G. lucidum* se estima entre 5 y 6 billones de dólares y su producción se estima en 5,000 toneladas de hongo de manera anual, dichos productos son producidos para el tratamiento de cáncer, hipertensión, hepatitis, hipercolesterolemia, diabetes, neoplasia entre otras enfermedades (Giavasis, 2014; Tello *et al.*, 2016).

Los productos de *G. lucidum* en su mayoría son vendidos como suplementos dietéticos; sin embargo, en algunos países asiáticos estos productos se venden bajo receta médica; y varían de acuerdo a la parte del hongo procesado, al método de extracción, así como la forma de ingerirlos. Algunos productos de Reishi ya son comercializados en el mercado en forma de capsulas adjudicándose beneficios sobre la presión arterial, la circulación, el corazón entre otros; otro producto se comercializa en forma de té mezclado con otros hongos y sus efectos son sobre el sistema inmune, la vitalidad y la digestión (Bishop *et al.*, 2015). Taofiq *et al.* (2017), elaboraron un cosmeceútico a partir de extractos de *G. lucidum* el cual conservó los componentes bioactivos con efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos. Actualmente, existe un sinnúmero de estudios involucrando modelos animales y técnicas de investigación molecular para demostrar los efectos farmacológicos. Meneses *et al.* (2016), estudiaron los efectos de los extractos de *G. lucidum* sobre ratones C57BL alimentados con una dieta rica en colesterol, evaluando parámetros fisiológicos y obteniendo como resultado la reducción significativa del colesterol y los triglicéridos, mostrando en algunos casos mayor efecto aún que fármacos especializados para disminuir el colesterol.

3.4 Obtención de compuestos funcionales

La utilización de hongos para diversos propósitos alimenticios, medicinales y culturales ha formado parte de la vida humana desde hace cientos de años (Pavel, 2012). Hoy en día gracias a la comprobación de las propiedades funcionales de los metabolitos bioactivos presentes en los hongos es que se ha logrado la intensificación de su cultivo

y consumo. Dichas propiedades pueden ser concentradas mediante extractos acuosos o alcohólicos obteniéndose compuestos como lecitinas y polisacáridos de alto peso molecular (Pérez *et al.*, 2010).

Para la extracción de los componentes bioactivos se suelen utilizar extracciones sólido-líquido, donde los componentes del hongo en fase sólida (sólido) se transfieren a la fase líquida (solvente) (Bruijin *et al.*, 2010). En este sentido las condiciones de extracción deben ser controladas para asegurar la mayor obtención de compuestos bioactivos. De acuerdo a Bruijin *et al.* (2010), quienes analizaron el estudio de caso de *Grifola garga*, los extractos preparados con etanol, acetona o agua presentaron una mayor actividad antioxidante debido a la presencia de un mayor contenido en flavonoides, así también la mezcla de agua/etanol como solvente (90:10% v/v) mostró la mayor cantidad de desplazamiento de radicales libres y ninguna actividad antimicrobiana frente a bacterias como *Bacillus subtilis*; *Escherichia coli*; *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*. Por otro lado Noguchi *et al.* (2005), demostraron actividad inhibitoria fuerte de la 5^a-reductasa con un extracto metanólico de *G. lucidum* comparado con 19 hongos de consumo alimenticio y medicinal. Hleba *et al.* (2016), realizaron la extracción de los componentes bioactivos mediante un extracto alcohólico de etanol al 99.5% para su posterior evaporación.

3.5 Pastas funcionales

Las pastas cumplen un papel primordial en la alimentación de las personas y de acuerdo con la FDA se le considera un buen vehículo para la adición de diferentes nutrientes y compuestos para mejorar la salud de los consumidores; sin embargo aunque la adición representa un método eficiente para mejorar la calidad nutricional y funcional de la pasta; también pueden verse afectadas las propiedades culinarias de la misma (Lorusso *et al.*, 2017). Debido a esto existen una gran variedad de estudios para el mejoramiento de pastas a partir de diversas fuentes nutricionales y funcionales, en un principio los estudios se enfocaron en el aspecto nutricional. Ugarcic *et al.* (2007), suplementaron las pastas con maíz, harina de soya y lecitina para producir pastas sin huevo y con un contenido de colesterol reducido, además de aumentar su

contenido de fibra; sin embargo, a pesar de obtener una pasta de buena calidad la aceptación sensorial del producto no fue buena. Granito *et al.* (2009), sustituyeron el 10% de la formulación por frijol y chícharo elevando así su contenido proteico y fibra dietaria presente en la pasta; sin embargo, se disminuyeron los colores amarillos característicos de la misma e incrementaron los tiempos de cocción y la pérdida de sólidos. Astaiza *et al.* (2010), fortificaron las pastas con harina de quinua y zanahoria hasta en un 50% para aumentar el valor biológico de las proteínas presentes en la sémola de trigo; la cual carece de algunos aminoácidos esenciales como lo es la lisina, y para aumentar el contenido de fibra soluble y vitamina A; sin embargo, esta sustitución disminuyó la calidad de cocción de la pasta. Todos estos estudios cumplen con el objetivo de fortificar o adicionar algún componente de importancia para la nutrición; sin embargo, la aceptación del producto y la calidad de la pasta se vio afectada de manera significativa, además de que por normatividad no se puede adicionar ningún otro tipo de harina que no sea de trigo *durum*.

Recientemente, con el aumento en la producción y consumo de alimentos funcionales, las investigaciones de innovación en pastas han cambiado de objetivo procurando crear productos que además de la nutrición tengan un efecto benéfico en las personas que lo consumen. Aravind *et al.* (2012), elaboraron espaguetis adicionados con fibra de salvado para aumentar las propiedades funcionales y antioxidantes teniendo buena aceptabilidad a sustituciones menores del 30%. Sant´Anna *et al.* (2014), incorporaron bagazo de uva en polvo en un 25, 50 y 75% para la elaboración de fettuccini y así otorgarle las propiedades funcionales de la uva a la pasta, obteniendo aumento en los polifenoles totales, taninos y capacidad antioxidante; sin embargo, redujo la aceptación sensorial del producto al modificar su aroma, sabor y apariencia. Cárdenas *et al.* (2016), evaluaron los efectos de las hojas secas y harina de amaranto en la elaboración de pastas con propiedades antioxidantes aumentando la proteína, la fibra, las cenizas y los minerales como hierro, zinc, magnesio y potasio; además aumentaron su capacidad antioxidante con efectos ligeros sobre las propiedades de cocción. A pesar de cumplir con los objetivos de aumentar las propiedades funcionales de las pastas, la adición de otras harinas se ve reflejado en la calidad culinaria de la pasta.

3.6 Pastas funcionales con hongos

El estudio de hongos por sus propiedades benéficas para la salud ha ido en aumento junto con su consumo, donde muchos de sus compuestos bioactivos han sido aislados y utilizados como materia prima para el desarrollo de agentes terapéuticos para tratar diversas enfermedades como es el caso de los suplementos alimenticios cuyo enfoque va dirigido al aspecto nutricional y preventivo (Mizuno y Zhuang, 1995; Roberfroid, 2002). En este sentido las pastas enriquecidas con hongos han sido una opción para crear alimentos con propiedades funcionales. Kim *et al.* (2008), estudiaron la calidad y propiedades de pastas enriquecidas con *Lentinula edodes* en polvo con concentraciones de 10, 20 y 30% demostrando que las pastas añadidas con más del 30% mejoraban la calidad de la pasta en términos de propiedades de cocción, textura y evaluación sensorial. Oh *et al.* (2010), investigaron el efecto de añadir *Hericium erinaceum* en polvo y extracto en la calidad de pastas, encontrando que la proporción de mayor aceptabilidad fue la de 2%. Kim *et al.* (2016), evaluaron el efecto de la adición de fracciones ricas de beta glucanos del hongo *Pleurotus eryngii* en pasta de trigo con sustitución del 2, 4 y 6%, teniendo un efecto positivo en la calidad de la pasta con la formulación del 4%, también se observó un aumento en la coloración marrón de la pasta. Lu *et al.* (2016), realizaron la sustitución parcial de la sémola de trigo por polvo de diferentes especies de hongo para mejorar la calidad nutricional de la pasta, resultando en mejor la calidad culinaria, mayor firmeza y resistencia. La mayoría de las investigaciones en donde se incorpora algún tipo de hongo para mejorar las propiedades nutricionales de la pasta no evalúa su efecto nutricional y funcional y tampoco existen trabajos donde se haya añadido *G. lucidum* a las pastas.

3.7 Estabilidad microbiana en pastas

Diversos estudios en extractos de hongos muestran que los mismos tienen efecto bacteriostático y en algunos casos bactericida. Pletlactalco (2016), mostró que las soluciones exploratorias de *G. lucidum* en una concentración de 20 mg/mL pueden tener un efecto bacteriostático o bactericida sobre *E. coli* dependiendo de las condiciones de extracción. De igual forma Mitzi (2015), encontró que suplementos

alimentos adicionados con extractos de *G. lucidum* tienen un efecto bacteriostático contra *Listeria monocytogenes* y *Streptococcus agalactiae* a una concentración de 50.44 mg/mL. En base a estos resultados existen estudios donde se utilizan compuestos antimicrobianos naturales para mejorar la estabilidad microbiológica de pastas frescas y dependiendo de la naturaleza del extracto, tendrá o no crecimiento bacteriano. Del Nobile (2009), realizó estudios utilizando como antimicrobianos el aceite de orégano, el extracto de limón, de semillas de toronja y de quitosano los cuales redujeron el crecimiento de bacterias mesófilas, psicotróficas y de *Staphylococcus spp*; además en otro estudio hace referencia sobre las ventajas de los métodos combinados para mejorar la calidad microbiológica en pastas frescas como lo es la utilización de compuestos naturales con atmósferas modificadas.

IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La globalización y el desarrollo del sistema agroalimentario a nivel mundial ha traído consigo cambios en los patrones de producción y consumo de alimentos, lo que se ha visto reflejado en la calidad de la salud de muchos países; debido a esta razón, en México se tienen graves problemas de obesidad y enfermedades asociadas, las cuales representaron un costo estimado de más de 12.9 mil millones de dólares en 2017 (Martínez-Carrera *et al.*, 2016). Uno de los factores decisivos en esta epidemia, es el sobrepeso y la obesidad; la Organización Mundial de la Salud los define como una acumulación anormal o excesiva de grasa. Existe evidencia de que esta condición es el principal factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles; en el caso de México se asocia con *diabetes mellitus*, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. Dichos padecimientos se encuentran dentro de las principales causas de mortalidad en el país (IMCO, 2015). Todos estos padecimientos asociados a la alimentación se ven reflejados en los índices de mortalidad de nuestro país; las enfermedades por deficiencias nutrimentales representan el 12% del total de muertes, mientras que las enfermedades cerebrovasculares en el período 1998-2011 se incrementaron en un 9.16% global. A nivel mundial la alimentación se está convirtiendo en un determinante de enfermedades crónicas, lo que está desarrollando una conciencia creciente de la relación entre la alimentación y el estado de salud; generando así un gran desafío para la industria alimentaria, ya que en ella recae la responsabilidad de ofertar alimentos que vayan más allá de la simple nutrición como lo son los alimentos funcionales. Debido a esto, es de suma importancia desarrollar alternativas de alimentos que beneficien la salud de las personas que los consumen; mediante la adición de compuestos funcionales a alimentos de consumo popular, así mismo es importante fundamentar y comparar el efecto funcional que tienen dichos alimentos en comparación con sus equivalentes comerciales.

V. HIPÓTESIS

La adición de extractos de *Ganoderma lucidum* agregará las propiedades funcionales (antioxidantes, polifenoles totales e inocuidad) a las pastas elaboradas a partir de sémola de trigo *durum*, teniendo buena aceptación entre los consumidores potenciales.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Elaborar pastas funcionales deshidratadas (fideo, lasaña y macarrón) a partir de la adición de extractos de *Ganoderma lucidum* evaluando sus propiedades funcionales, sensoriales y microbiológicas.

6.2 Objetivos específicos

1. Analizar las propiedades funcionales de las soluciones utilizadas para la elaboración de las pastas funcionales.
2. Comparar las pastas elaboradas en el laboratorio (fideo, lasaña y macarrón) con pastas comerciales de mayor consumo, a través de pruebas sensoriales y análisis de sus propiedades microbiológicas.
3. Proponer una estrategia para la producción de pastas (fideo , lasaña y macarrón) adicionadas con extractos de *G. lucidum* como un producto nuevo de mayor valor agregado.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. El diagrama general de trabajo se muestra en la figura 2.

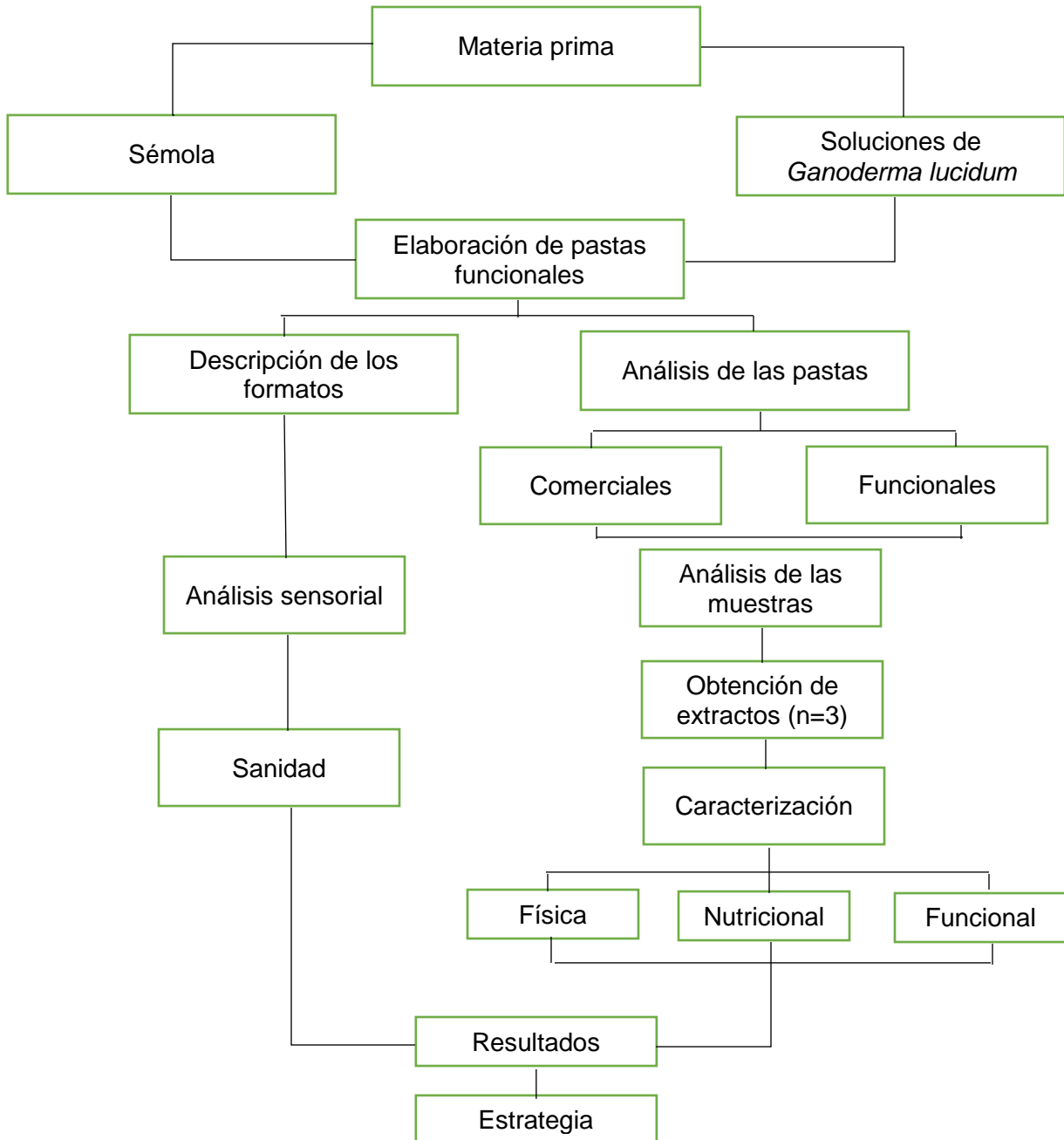


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración y caracterización de pastas funcionales y comerciales.

7.1 Descripción del experimento

7.1.1 Materias primas

La sémola marca San Blas se adquirió en “La Italiana S.A. de C.V.” proveniente de la molienda de trigo *durum* en presentación de 44 Kg (Fig. 3).



Figura 3. Sémola utilizada para la elaboración de pastas.

Las soluciones de *G. lucidum* fueron provistas por el CREGEN-HCFM con las características mostradas en el cuadro 6.

Cuadro 6. Soluciones de *Ganoderma lucidum* (CP-145) usadas para la elaboración de pastas funcionales.

Extracto según el sustrato de cultivo	Clave	Concentración (mg/mL)
Aserrín de encino	T1	5.20
Aserrín de encino	T2	10.25
Aserrín de encino + AAS 10 mM	Tx3	5.50
Aserrín de encino + AAS 10 mM	Tx4	10.70

ASS= Ácido acetilsalicílico. T= Testigo. Tx= Testigo + AAS 10 mM.

7.1.2 Estandarización de las pastas

Las pastas se elaboraron mediante una maquina comercial “pasta maker” marca Phillips modelo HR2357/05 con la cual se elaboraron el fideo, la lasaña y el macarrón. Se usaron 3 formatos comerciales como referencia (Fig. 4).

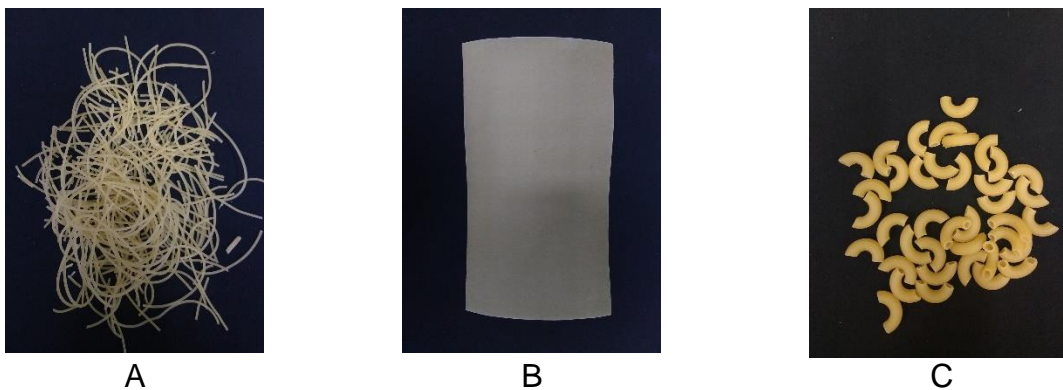


Figura 4. A= Fideo comercial. B= Lasaña comercial. C= Macarrón comercial.

7.1.3 Elaboración de pastas funcionales

Las pastas funcionales se elaboraron mezclando las soluciones de *G. lucidum* y la sémola de acuerdo a las formulaciones descritas en el cuadro 7.

Cuadro 7. Formulaciones de pastas funcionales.

Condición	Sémola (g)	Agua (mL)	Solvente hidroalcohólico al 35% (mL)	Extracto (mL)
Blanco	250	100		
Control	250		100	
T1	250			100
T2	250			100
Tx3	250			100
Tx4	250			100

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Para elaborar las pastas funcionales primeramente se pesó la sémola (250 g), posteriormente se colocó en la maquina pasta maker, una vez encendida la máquina y en funcionamiento se añadieron lentamente los 100 mL del solvente a utilizar (agua, solvente hidroalcohólico o extracto), dependiendo de la formulación y se mezcló por 15 minutos, finalizado este tiempo se extruyó la masa por el molde formador y se cortó la pasta según el tamaño deseado realizando 5 lotes de cada formulación. Este procedimiento se repitió para cada una de las seis formulaciones (blanco, control, T1, T2, Tx3 y Tx4) y para los tres formatos elegidos (fideo, lasaña y macarrón) obteniendo 18 tratamientos. La pasta fresca se colocó en charolas de plástico para secarla en un

horno (SHEL-LAB FX28-2) a 40 °C por 12 h. Al finalizar el secado las muestras fueron almacenadas en bolsas con cierre hermético (Fig. 5).

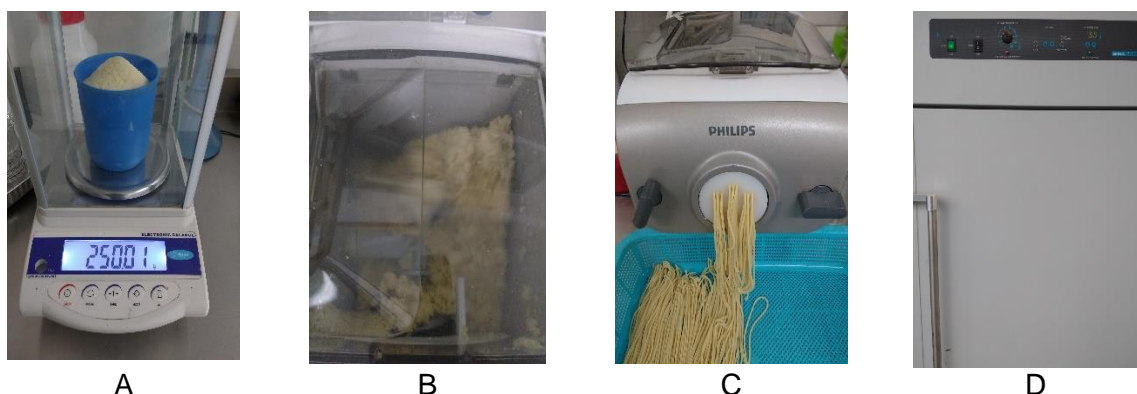


Figura 5. Proceso para elaboración de pastas funcionales mediante pasta maker. A=. Pesado de la sémola. B= Mezclado de la sémola. C=Extrusión de la pasta. D= Secado en horno a 40 °C.

7.1.4 Descripción del formato, calibres y contenido de humedad

Para la descripción del formato se compararon las pastas comerciales y funcionales mediante la descripción visual y microscópica (estereoscopio ZEUZ Discovery.V8 a 2X) y su captura fotográfica con una cámara digital (Sony DSC-H7). Las imágenes fueron tomadas durante el proceso de elaboración, secado y cocción de las pastas, anotando los cambios de la pasta fresca, deshidratada y cocida. La medición del calibre de las pastas se efectuó mediante un vernier digital tomando 10 réplicas de cada formato y formulación. La determinación de humedad se realizó para pastas frescas y deshidratadas mediante la norma oficial mexicana NMX-F-083-1986 Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios. Los cálculos de humedad se determinaron mediante la siguiente formula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P2 - P1}{P2} * 100$$

Donde:

P1 = peso de la muestra seca en gramos

P2 = peso de la muestra húmeda en gramos

7.2 Análisis de las pastas

7.2.1 Muestreo

De los 5 lotes de pasta elaborados se tomaron muestras de forma aleatoria (n=3) y de cada uno se molieron 20 g, las cuales se colocaron en un vaso de licuadora (marca Oster) y se molieron por 20 s. Posteriormente, se pasaron por un juego de tamices eligiendo el tamaño de partícula > 1000 mn para su uso.

7.2.2 Obtención de extractos de pastas

Se colocó la muestra molida (10 g) en sobres de papel filtro de poro medio de 7.5 cm x 9.0 cm (ancho y largo respectivamente), los cuales fueron cosidos con hilo blanco (marca Seralón). Las muestras se colocaron dentro de frascos de boca ancha y se le añadieron 150 mL de solución hidroalcohólica al 35% v/v, dicho frasco se tapó y conservó en reposo a temperatura ambiente en obscuridad por 24 h. Finalizado el tiempo, el sobre se presionó manualmente y después con una prensa hidráulica a 2.6 toneladas de presión (manómetro 300 Kg/cm²) para recuperar todo el líquido posible. El extracto obtenido se filtró con papel filtro de poro medio y concentrado en rotavapor (Hahn Shin Scientific) a 38 °C y 90 rpm hasta obtener un volumen final de 7 mL del concentrado, posteriormente se recuperó el extracto con una pipeta Pasteur utilizando el mismo solvente hidroalcohólico al 35% para lavar el matraz en el cual se concentró el macerado aforando a 10 mL. Para esterilizar dicho extracto se utilizó un sistema Sterilfil (Merck-Millipore) con membrana de filtro de 0.45 µm. Se almacenó en tubos Falcon estériles de 15 mL a 4 °C (Fig. 6). Este procedimiento se realizó aleatoriamente a 3 lotes de cada formulación de pasta, de cada formato y en las pastas comerciales.

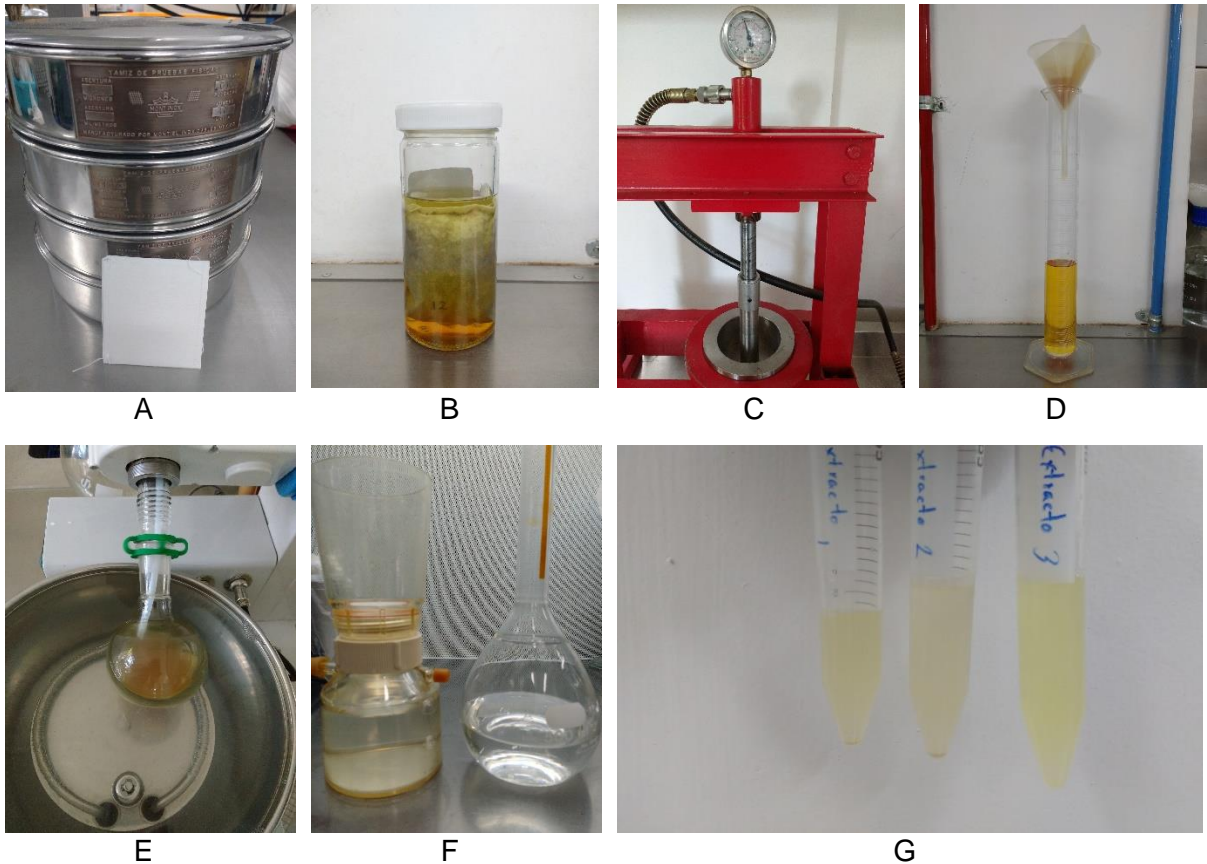


Figura 6. Proceso de elaboración de extractos. A= Tamizado de la muestra. B=Maceración. C= Prensado de la muestra. D=filtrado del macerado. E= Concentración del extracto. F= Esterilización por micro filtración con sistema Sterifilm. G= Obtención del extracto estéril.

7.3 Caracterización de las soluciones de *Ganoderma lucidum* y de los extractos de pastas

7.3.1 Espectro de absorción de barridos

De cada muestra de extracto se tomaron 100 μL con una micropipeta (Thermo Scientific, Finnpiett). Se colocaron en una microplaca de fondo curvo de 96 pozos y se leyó en un espectrofotómetro de microplacas (EPOCH, Biotek) a longitudes de onda de 200 a 1000 nm.

7.3.2 Rendimiento por gravimetría

El rendimiento del extracto se evaluó pesando 200 μL con ayuda de una micropipeta de 1000 μL (marca Thermo Scientific, Finnpiette) en cajas de Petri previamente

taradas y se colocaron en un horno de secado (Lab-line, U.S.A.) a 40 °C por 24 horas hasta la evaporación del solvente y peso constante. Posteriormente, se realizaron los cálculos del rendimiento en mg/mL de cada muestra.

7.3.3 pH, conductividad y resistividad

Se llevó a cabo la medición de pH, conductividad y resistividad, con un potenciómetro (Mettler Toledo E.U.A), se realizaron 3 réplicas utilizando 1 mL de muestra.



Figura 7. Potenciómetro utilizado para la medición de pH, conductividad y resistividad.

7.3.4 Grados Brix

Se utilizó un refractómetro (PAL-1ATAGO) utilizando agua destilada para su calibración. Para la determinación se utilizaron 300 μ L del extracto (n=3) y se colocaron en el refractómetro.



Figura 8. Refractómetro utilizado para la medición de grados Brix.

7.3.5 Determinación de proteínas

Se preparó una solución Stock de Albúmina de Suero Bovino (BSA) en agua con concentración (1 mg/mL) en un tubo eppendorf de 2 mL, se agitó en vortex por 1

minuto. La curva de calibración se preparó con concentraciones conocidas (0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 µg/mL) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Preparación de curva de albúmina de suero bovino (Sigma).

Concentración de BSA (µg/mL)	Solución stock requerida (µL)	Agua requerida (µL)
0	0	1000
10	10	990
20	20	980
40	40	960
60	60	940
80	80	920
100	100	900

BSA= Albúmina de suero bovino.

Para la reacción se colocó cada concentración de la curva de calibración y las muestras con réplicas (n=5) en cada pozo de la microplaca con 80 µL de muestra a analizar y 20 µL de colorante (Bio-Rad protein stains). Se dejaron reaccionar durante 30 minutos en oscuridad previo a su lectura en el espectrofotómetro “EPOCH” a la longitud de onda de 595 nm. El espectrofotómetro UV (EPOCH) cuenta con el “protocolo protein stains” integrado, el cual hizo el cálculo y generó el valor de la concentración de proteína correspondiente a cada muestra en forma directa.

7.3.6 Determinación de polifenoles totales

Para la cuantificación de los polifenoles totales en las muestras se usó el método colorimétrico-espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Müller *et al.*, 2010). Para la determinación de polifenoles totales se prepararon las siguientes soluciones:

Solución saturada de carbonato de sodio (Sigma, Aldrich): Se disolvieron 7.5 g de carbonato de sodio en 100 mL de agua destilada. Para inducir a la precipitación se agregaron 0.3 g de carbonato de sodio y se colocó en refrigeración durante una hora.
Reactivo Folin-Ciocalteu: En un matraz volumétrico de 10 mL se puso 1 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma, Aldrich) y se aforó con agua.

Solución stock de ácido gálico (Sigma, Aldrich) a 1 mg/mL: Se pesaron 0.010050 g de ácido gálico y se disolvió en 1 mL de etanol para ayudar a su disolución, se aforó a 10 mL con agua destilada.

Curva de calibración de ácido gálico: En eppendorfs envueltos con papel aluminio para evitar la luz, se pusieron 0, 25, 50, 100, 150 y 200 μ L de la solución stock de ácido gálico (Meyer) y se completó con agua destilada a 1 mL. Dichas soluciones tuvieron una concentración de 0, 25, 50, 100, 150 y 200 μ g/mL, respectivamente (Cuadro 9).

Cuadro 9. Preparación de curva de ácido gálico (Sigma).

Concentración de ácido gálico (μ g/mL)	Solución stock requerida (μ L)	Agua requerida (μ L)
0	0	1000
25	25	975
50	50	950
100	100	900
150	150	850
200	200	800

Para la reacción en una microplaca de 96 pozos se agregaron 100 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu, 20 μ L de extracto o curva estándar y 75 μ L de solución saturada de carbonato de sodio. La placa se incubó a temperatura ambiente y en oscuridad por 2 horas. Al término del tiempo de incubación se agregaron 20 μ L de extracto a los blancos y se leyó la placa en un espectrofotómetro de microplacas (EPOCH, Biotek) a una longitud de onda de 740 nm. La secuencia para el método de Folin se muestra en la figura 9.

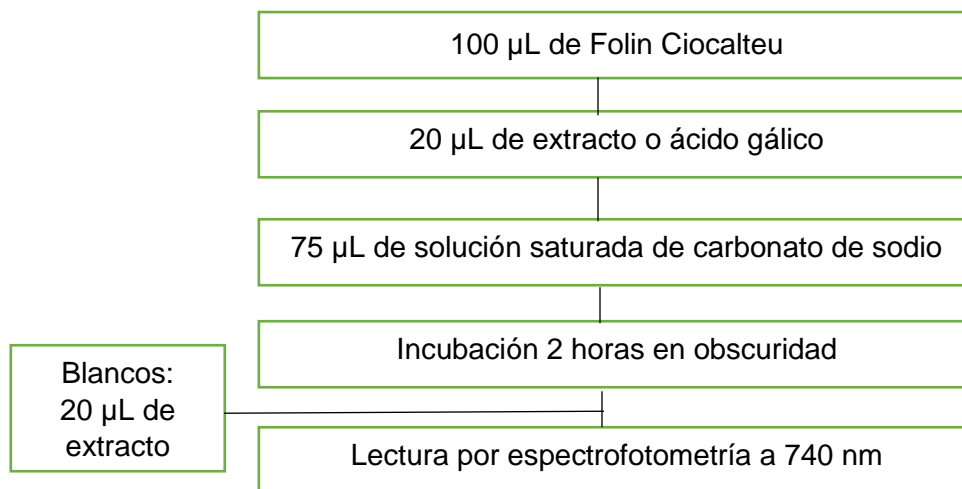


Figura 9. Metodología para la determinación de polifenoles totales en microplaca.

7.3.7 Actividad antioxidante por DPPH

Preparación del estándar: a partir de una solución stock de BHT (Butilhidroxitolueno) en el programa Excel archivo “DPPH Original” se hicieron diluciones para determinar las curvas de concentración mostradas en el cuadro 10.

Preparación de la muestra: a partir de las soluciones de *G. lucidum* y de los extractos de pastas se prepararon las diluciones, en el programa Excel “Diluciones”, donde se determinaron las respectivas alícuotas necesarias para preparar concentraciones que se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Preparación de curva estándar, soluciones y extractos.

Concentración de BHT (µg/mL)	Soluciones de <i>G. lucidum</i> (µg/mL)	Extractos de pastas (µg/mL)
0	0	0
0.5	250	1500
1.0	500	3000
5.0	750	4500
10.0	1000	6000
25.0	1500	7500

BHT= Butilhidroxitolueno.

Preparación de la solución de DPPH: La solución del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (0.4 mM) se realizó en un matraz completamente cubierto con papel aluminio y con metanol grado analítico. El volumen a preparar depende de la

cantidad de muestras a evaluar (4 mL por microplaca de 96 pozos). Se prepararon 10 mL a una concentración 0.4 mM añadiendo 0.0015 g de 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH).

Preparación de la microplaca: Se hicieron 5 réplicas por columnas; y se pusieron 160 μ L de cada muestra, en sus diferentes concentraciones. Posteriormente, se adicionaron 40 μ L de la solución de DPPH (0.4 mM). Las placas se incubaron en oscuridad por 30 minutos; posteriormente, se leyó en el espectrofotómetro (Epoch, Biotek) a la longitud de onda de 517 nm.

Cálculos: a partir de las absorbancias obtenidas se determinó el porcentaje de actividad antioxidante con la siguiente ecuación (Murillo *et al.*, 2007):

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = \frac{A \text{ control (-)} - A \text{ extracto}}{A \text{ control}} * 100$$

Donde:

A control (-): Absorbancia del DPPH (solo) al tiempo 0.

A extracto: Absorbancia de los extractos.

7.3.8 Actividad antioxidante por ABTS

Para la preparación de la muestra y el estándar de BHT se tomó como referencia el cuadro 10 utilizado en la actividad antioxidante por DPPH.

Generación del radical catión ABTS: La solución del radical catión ABTS solo es estable durante máximo dos días; por tal razón se preparó el volumen para el experimento programado para cada día; en un matraz completamente cubierto con papel aluminio se pesaron 77.6 mg del reactivo ABTS, se adicionaron 20 mL de agua destilada para obtener una concentración de 7 mM en solución acuosa; se pesaron 13.2 mg de persulfato de potasio (2.45 mM), para hacerlo reaccionar, se homogenizó en un equipo vortex y se almacenó a temperatura ambiente de 12 a 16 horas antes de usarse, posterior a este tiempo se leyó a una longitud de onda de 734 nm y se ajustó la absorbancia a $0.7 \pm (0.02)$ diluyendo con etanol grado analítico al 99%. El protocolo para la preparación de la solución de ABTS se describe en las figura 10 (Öztürk *et al.*, 2011).

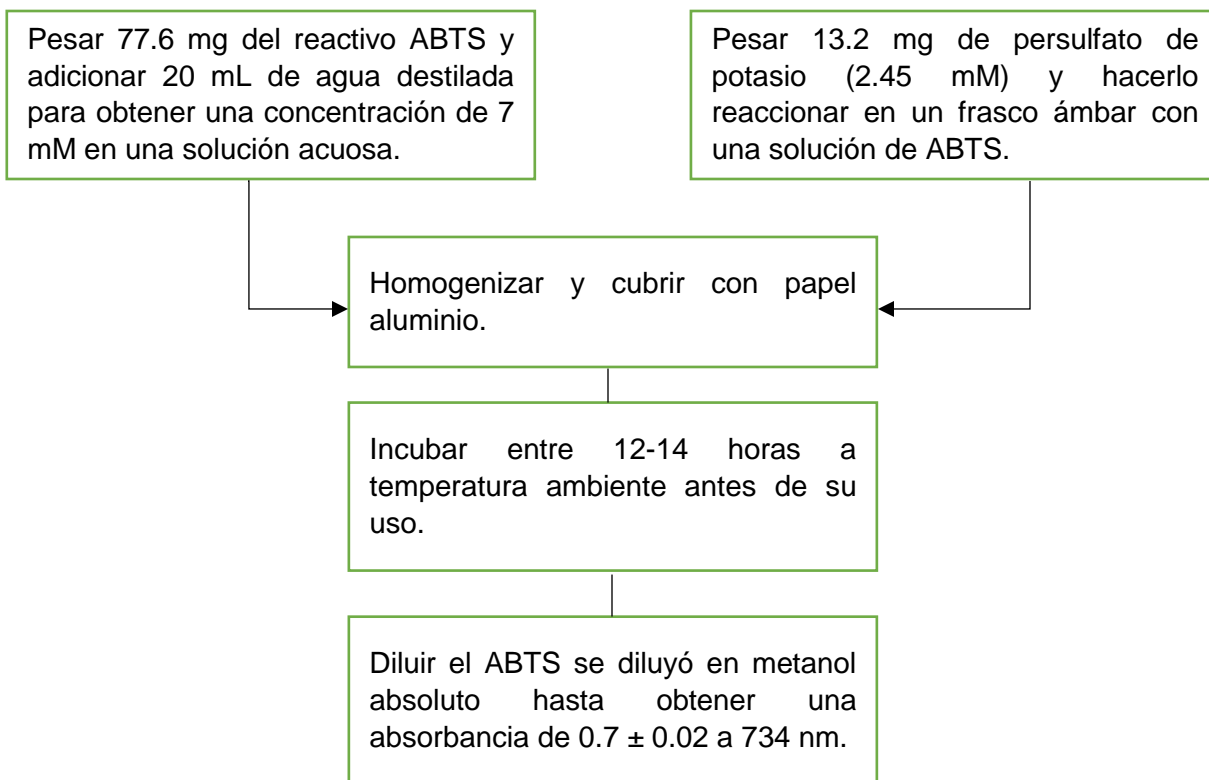


Figura 10. Metodología para la generación del radical ABTS.

Preparación de la microplaca: Se hicieron 5 réplicas por columnas; y se pusieron 40 μL de cada extracto, en sus diferentes concentraciones. Posteriormente, se adicionaron 160 μL de la solución de ABTS. Las placas se incubaron en obscuridad por 10 minutos; posteriormente, se leyeron en el espectrofotómetro (Epoch, Biotek) a una longitud de onda de 734 nm.

Cálculos: a partir de las absorbancias obtenidas se determinó el porcentaje de actividad antioxidante con la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = \frac{A_{\text{control (-)}} - A_{\text{extracto}}}{A_{\text{control}}} * 100$$

Donde:

A control (-): Absorbancia del ABTS (solo) al tiempo 0.

A extracto: Absorbancia de los extractos.

7.3.9 Actividad antioxidante por β carotenos

La actividad antioxidante mediante β carotenos se determinó por el método de blanqueamiento y lectura de la densidad óptica en un espectrofotómetro, basado en la prueba de β caroteno-linoleico (Adebayo *et al.*, 2018). En un matraz se colocaron 4 mg de β caroteno, 0.5 mL de ácido linoleico, 4 g de Tween 80 y 20 mL de cloroformo, la suspensión se agitó en vortex. El cloroformo se evaporó en rotavapor con vacío a 40 °C por un tiempo de 15 minutos. El residuo aceitoso se dividió en alícuotas de 1 mL en tubos de 30 mL, los cuales se mantuvieron a -28 °C hasta su uso. Para su uso, se adicionan 30 mL de bufer Briton 100 mM, pH de 6.5 en agua (mili-Q), previamente calentada a 45 °C. La reacción se realizó con 35 mL de la muestra a analizar (en sus diferentes concentraciones) y 165 mL del reactivo. La absorbancia se mide en tiempo 0 y 120 minutos a 517 nm. El contenido de β -carotenos se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = \frac{A \text{ control (-)} - A \text{ extracto}}{A \text{ control}} * 100$$

Donde:

A control (-): Absorbancia del ABTS (solo) al tiempo 0.

A extracto: Absorbancia de los extractos.

7.3.10 Determinación de glucanos (alfa, beta y totales)

La determinación de Beta glucanos se realizó mediante el kit enzimático Megazyme para hongos y levaduras K-YGBL 12/16. Dicha determinación solo se realizó para las soluciones de *G. lucidum* debido a limitantes propias del kit para pruebas con muestras amilaceas.

7.4 Análisis estadístico

Todos los experimentos se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar y se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), se les aplicó la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$), y se realizó un análisis de componentes principales en el programa SAS 9.4.

7.5 Caracterización sensorial de las pastas

7.5.1 Pruebas de cocción

Tiempo de cocción óptimo (TCO): La pasta cruda (50 g) se cocinó en 500 mL de agua hirviendo, cada 30 s se sacaron muestras del agua y se realizó un corte fino a las pastas. El tiempo en el que el núcleo blanco interno de la pasta desapareció se usó como tiempo de cocción óptimo (Método AACC 16-50 2000).

Absorción de agua (%): Se determinó cocinando 10 g de pasta cruda en 300 mL de agua hirviendo por 10 minutos, anotando el peso antes de la cocción y después de la cocción calculado mediante la fórmula:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{\text{Peso de la pasta cocida} - \text{Peso de la pasta cruda}}{\text{Peso de la pasta cruda}} * 100$$

7.5.2 Análisis sensorial

Para el análisis sensorial se realizó una prueba hedónica de 5 puntos donde participaron 10 panelistas y se evaluó la apariencia, color, olor, textura (en la boca) y sabor. Las pastas se cocinaron a tiempo óptimo de cocción para cada formato, se enjuagaron inmediatamente en agua fría y se sirvieron con salsa de jitomate casera de forma aleatoria. Agua y manzana fueron tomados entre cada muestra para limpiar el paladar. La puntuación 1 correspondió a "me disgusta mucho" mientras que la puntuación 5 correspondió a "me gusta mucho". El instrumento de evaluación usado se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Instrumento de evaluación para análisis sensorial de pastas (prueba hedónica).					
Clave:					
Escalas	Atributos				
	Apariencia	Color	Olor	Textura (boca)	Sabor
Me gusta mucho					
Me gusta					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta					
Me disgusta mucho					
	Consistencia				
	Dura		Sobre cocida		Al dente

7.6 Análisis microbiológico usando el método AOAC 990.12 y 997.02

Para la determinación de la calidad microbiológica de las pastas se realizó el recuento de microorganismos aerobios mediante el método oficial AOAC 990.12 y el recuento de mohos y levaduras mediante el método oficial AOAC 997.02 con kits de pretifilm (3M). Dichas metodologías se describen en la figura 11.

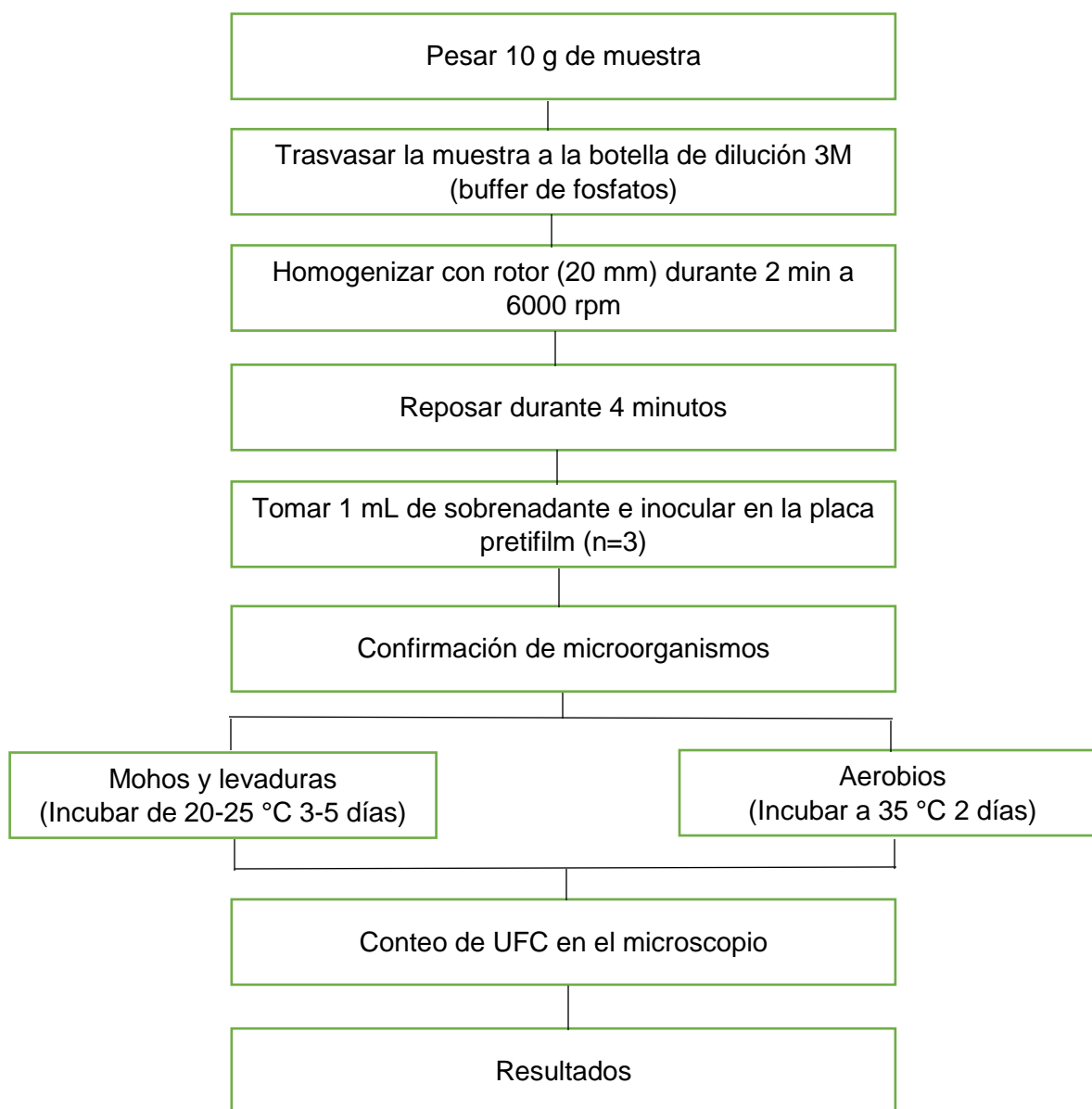


Figura 11. Metodología para prueba microbiológica de hongos, levaduras y bacterias aerobias.

VIII. RESULTADOS

8.1 Características de los formatos

Las características del fideo, la lasaña y el macarrón funcional frescos en cada una de sus condiciones se muestran en la figura 12. Las condiciones blanco y control se observaron ligeramente más blanquizas que las pastas adicionadas con extractos, a la vez la condición blanco mostró mayor pegajosidad, en el caso del macarrón ocasionó que las puntas del formato se pegaran y permanecieran así en el secado; en cambio en las pastas elaboradas con extractos y solución hidroalcohólica presentaron una mejor manipulación. Las características de los formatos de pastas funcionales vistas al microscopio se muestran en la figura 13. Las pastas blanco (elaboradas con agua) muestran una superficie más lisa, con brillo, sin imperfecciones y con una buena incorporación de la sémola, se observan puntos marrones propios de la sémola de trigo *durum*; sin embargo, estos puntos no son excesivos y no afectan la presentación de los mismos. Los formatos añadidos con soluciones de *G. lucidum* presentan una coloración ligeramente marrón. En el caso del macarrón los tratamientos T1 y T2 mostraron grietas a lo largo de la figura, siendo menos visible este efecto en los tratamientos Tx3 y Tx4. Las características de las pastas comerciales y funcionales deshidratadas, en los tres formatos se muestran en la figura 14. Se observa que las pastas comerciales tuvieron un color más amarillo a comparación de las pastas funcionales, también se observó que la pasta blanco (elaborada con agua) tuvo una coloración ligeramente más amarilla que la pasta control y las elaboradas con soluciones de *Ganoderma*. La pasta blanco presentó mayor adhesión entre las figuras y una menor resistencia siendo más evidente en el macarrón el cual presentó fractura en la mayoría de las piezas.



Figura 12. Formatos de pastas funcionales frescas. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

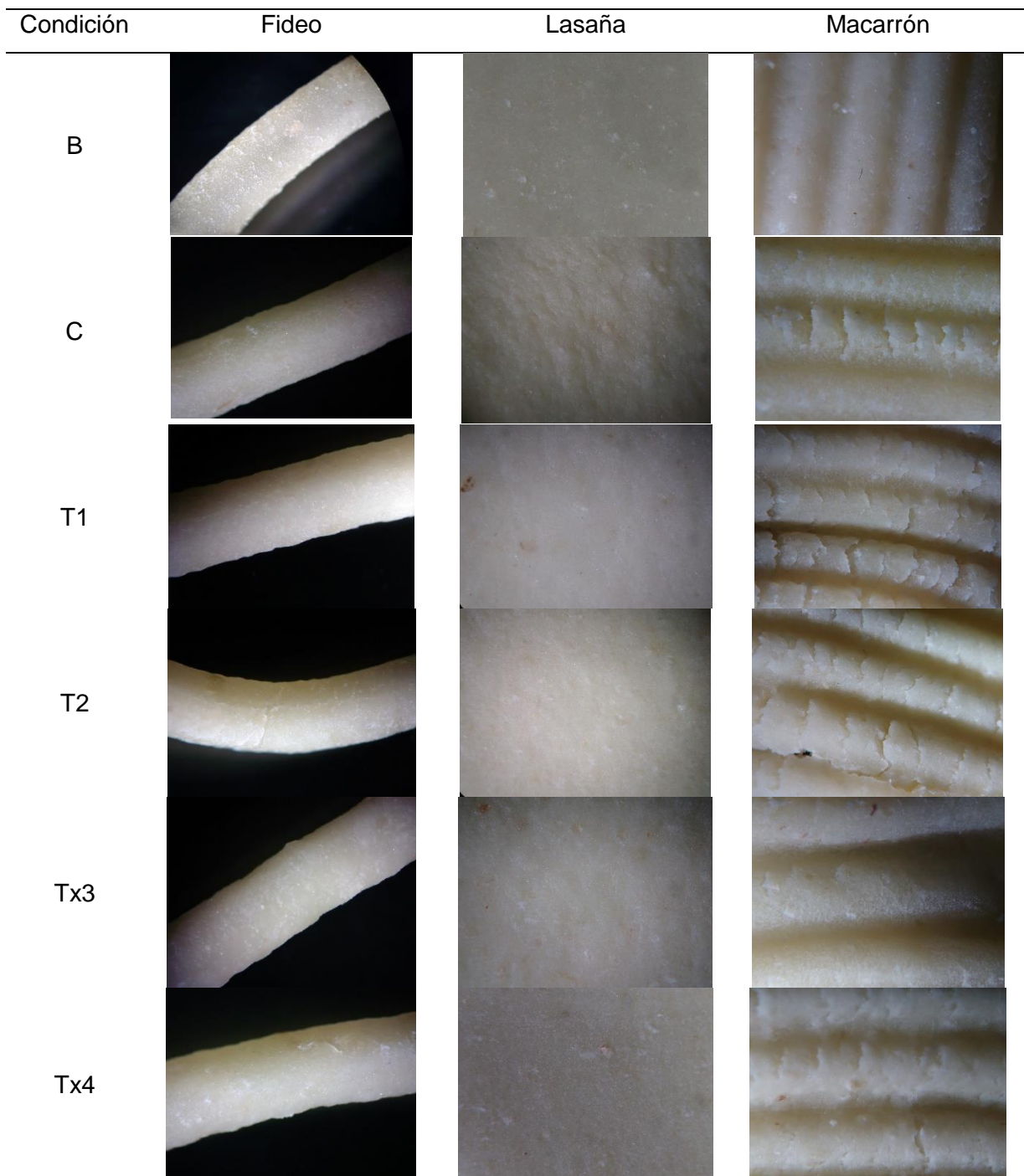


Figura 13. Formatos de pastas funcionales frescas vistas al microscopio. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

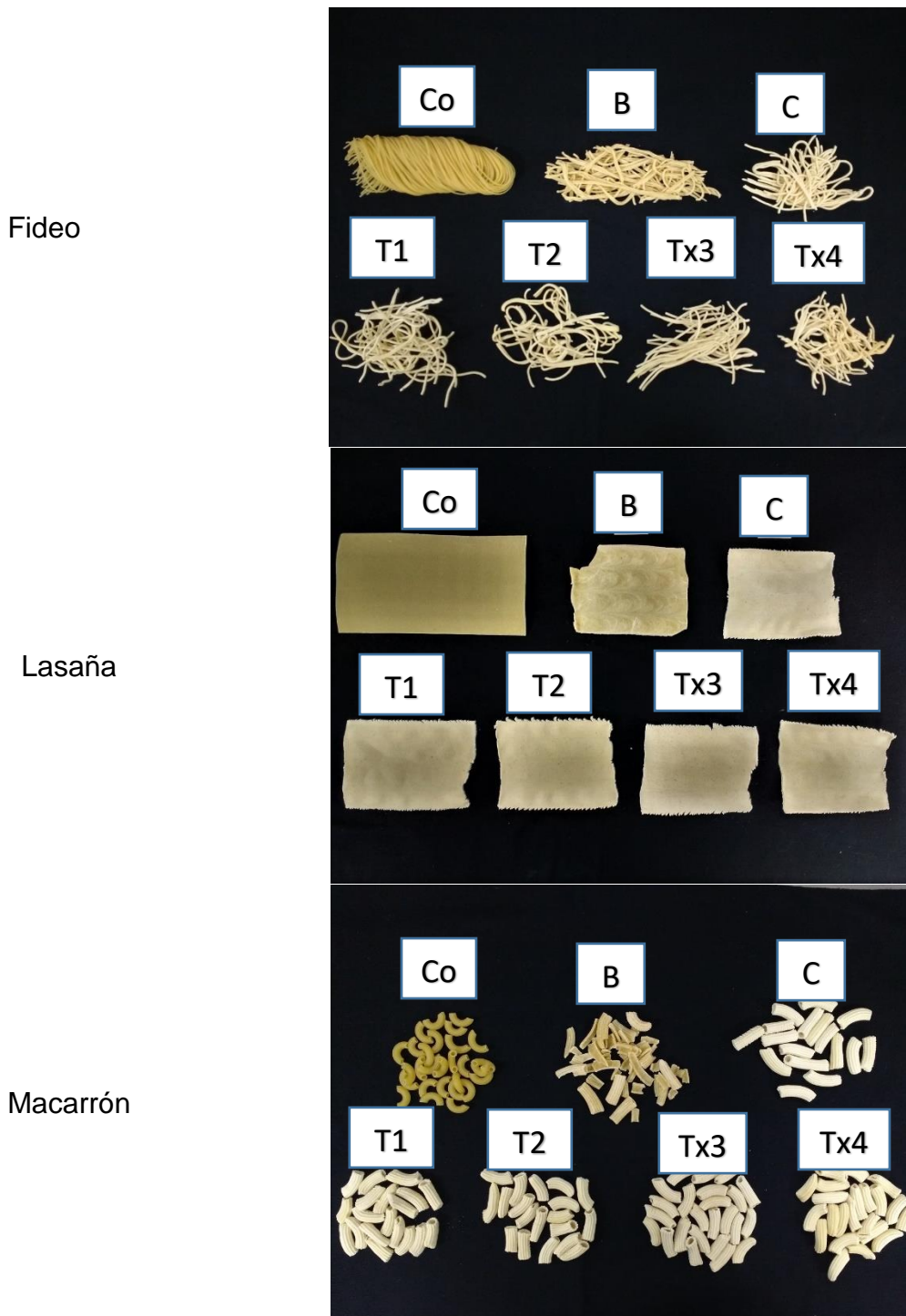


Figura 14. Formatos de pastas comerciales y funcionales deshidratadas. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Las características de las pastas comerciales y funcionales deshidratadas vistas al microscopio se muestran en la figura 15. Las pastas comerciales tuvieron una textura

más uniforme y translúcida sin grietas. En la condición blanco la pasta mostró también una apariencia translúcida y ligeramente amarilla, sin embargo, su superficie no fue uniforme y presentó grietas en la pasta (defecto de tronado). Las pastas control y adicionadas con extractos de hongos fueron opacas y blanquizcas, en el caso de las pastas adicionadas con extractos presentaron un tono ligeramente marrón, su textura no fue lisa como en el blanco, ya que en el caso del fideo, este presentó bordes rugosos y en el caso del macarrón presentó fisuras. Todas las pastas presentaron puntos marrones propios de la sémola. Las pastas comerciales y funcionales cocidas se muestran en la figura 16. A diferencia de las pastas frescas y deshidratadas no se observó variación en el color; sin embargo, la textura cambió de forma significativa entre las condiciones de las pastas, así mismo, se observó un hinchamiento de todos los formatos. En el fideo comercial se observó una pasta con mejor textura y uniformidad que conservó la forma sin que se batiera, en este sentido, el blanco fue la condición que mostró mayor cambio en su textura al despedazarse y apelmazarse. Los demás tratamientos solo mostraron un poco de apelmazamiento. La lasaña comercial conservó su forma sin que se despedazara a diferencia de los demás tratamientos, en la lasaña blanco (agua) hubo mayor ruptura de la forma aún más que en la lasaña control y las adicionadas con soluciones. El macarrón comercial conservó su forma después de la cocción, el macarrón blanco (agua) a diferencia del fideo y la lasaña, ya presentaba fractura posterior al proceso de deshidratado por lo que este efecto se intensificó después de la cocción; esto no se observó en las pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum*. La pasta comercial y funcional cocida vista al microscopio se muestra en la figura 17. Al igual que en la pasta deshidratada la condición comercial mostró mayor uniformidad en comparación las demás condiciones. Las fisuras presentes en la condición blanco no logran observarse; sin embargo, dichas fisuras atribuyeron una mayor ruptura de la pasta durante el proceso de cocción. El color de las pastas fue muy similar en todas las condiciones y los puntos marrones se lograron apreciar aún después de la cocción.

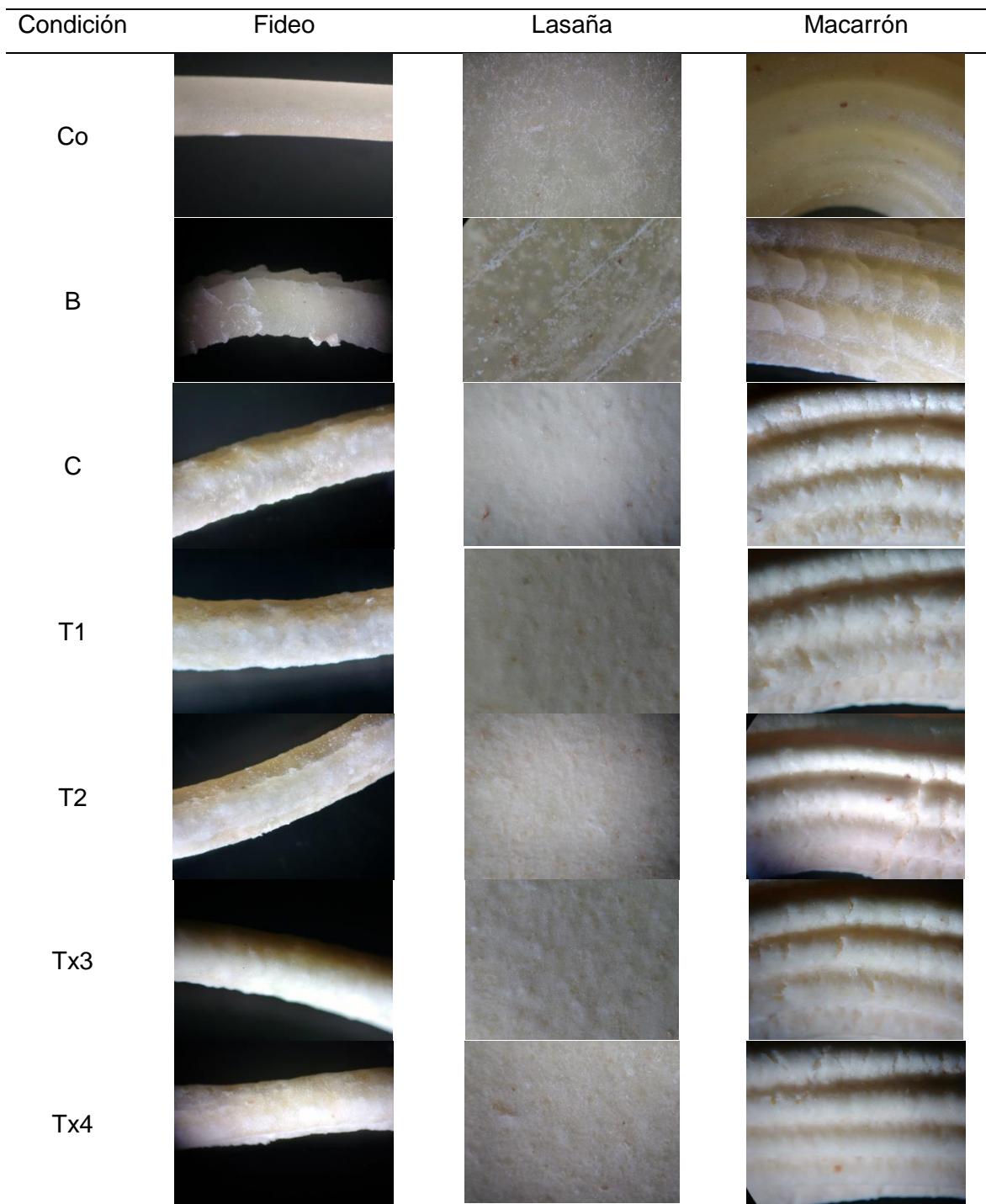


Figura 15. Formatos de pastas comerciales y funcionales deshidratadas vistas al microscopio. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

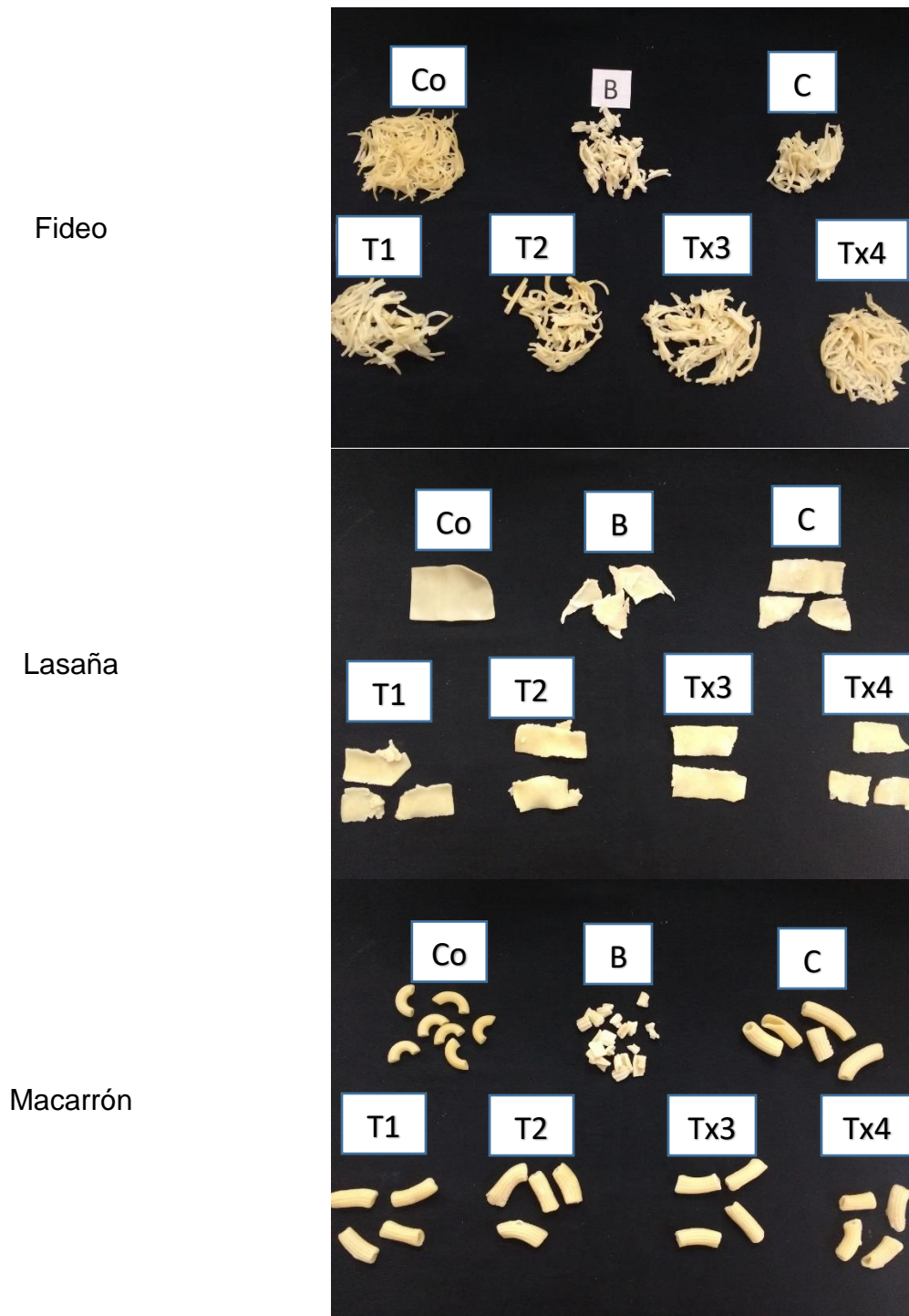


Figura 16. Formatos de pastas comerciales y funcionales cocidas. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

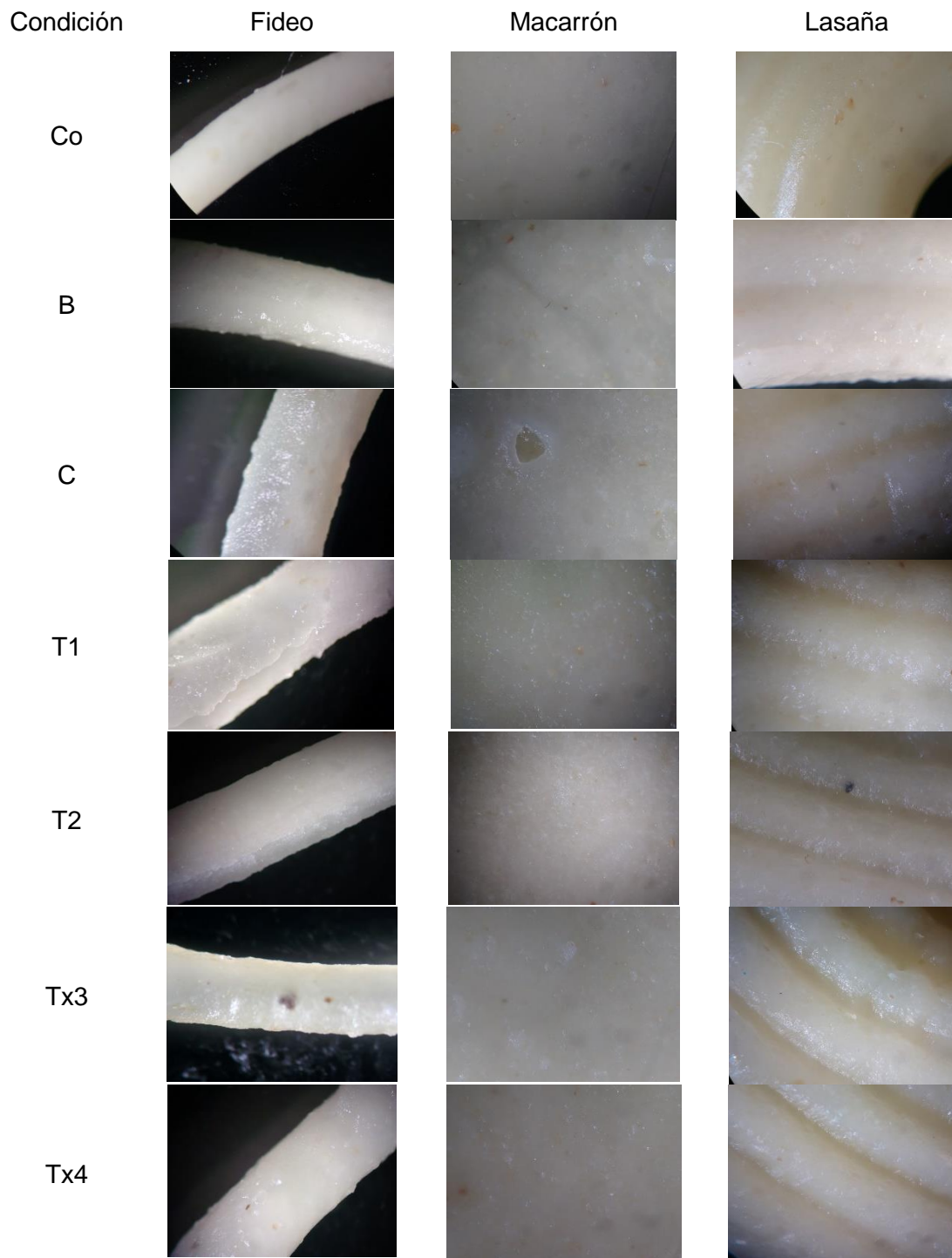


Figura 17. Formatos comerciales y funcionales cocidos vistos al microscopio. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los grosores de las pastas comerciales y funcionales deshidratadas se muestran en el cuadro 12. Se observó que las pastas funcionales tienen un mayor grosor a diferencia de las pastas comerciales. En el caso del fideo funcional el grosor aumentó un 38%, la lasaña un 42% y el macarrón un 50% en comparación a la condición comercial. El mayor calibre de las pastas funcionales lo tuvo el fideo, seguido del macarrón y posteriormente la lasaña; en los formatos comerciales el mayor calibre lo presentó el fideo seguido del macarrón y la lasaña.

Cuadro 12. Grosor (mm) de pastas comerciales y funcionales deshidratadas.

Formato	Comercial	Blanco	Control	T1	Funcionales		
					T2	Tx3	Tx4
Fideo	1.27±0.05	1.78±0.05	1.76±0.13	1.74±0.08	1.73±0.08	1.79±0.06	1.79±0.12
Lasaña	0.84±0.05	1.20±0.09	1.22±0.06	1.21±0.06	1.18±0.07	1.20±0.07	1.15±0.08
Macarrón	0.94±0.04	1.43±0.06	1.37±0.12	1.44±0.16	1.40±0.14	1.42±0.16	1.44±0.17

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El contenido de humedad de las pastas frescas y deshidratadas en cada una de sus condiciones se muestra en el cuadro 13. El fideo fresco en su condición blanco aumentó un 8%, la lasaña un 9% y el macarrón un 4% en comparación a las pastas elaboradas con solución hidroalcohólica y con extractos de *G. lucidum*. Posterior al secado de 12 horas el fideo y el macarrón tuvieron en todas sus condiciones una humedad promedio de 8.63 y 11.1%, respectivamente, sin existir variación entre sus condiciones, la lasaña fue el único formato que conservó la tendencia de tener una humedad más alta en la condición blanco (12.6% más en comparación a las demás condiciones). El fideo fue el formato que perdió mayor contenido de humedad durante el secado seguido de la lasaña y por último el macarrón.

Cuadro 13. Contenido de humedad (%) en pastas funcionales frescas y deshidratadas.

Tipo de pasta	Formato	Funcionales					
		Blanco	Control	T1	T2	Tx3	Tx4
F	Fideo	34.4±0.4	31.6± 0.2	31.7± 0.2	31.2±0.3	31.3±0.3	31.1±0.3
	Lasaña	33.0±0.7	30.4±0.3	30.4±0.2	30.4±0.1	30.1±0.5	30.2±0.2
	Macarrón	33.4±0.7	32.0±0.2	31.4±0.4	31.4±0.2	32.8±0.1	32.4±0.3
D	Fideo	8.8±0.22	8.8±0.34	8.5±0.26	8.8±0.79	8.6±0.28	8.3±0.09
	Lasaña	11.9±0.3	10.7±0.1	10.3±0.6	10.2±0.1	10.7±0.2	10.9±0.3
	Macarrón	11.1±0.5	10.9±0.3	11.4±0.3	11.1±0.4	10.8±0.4	11.4±0.89

F= Fresca. D= Deshidratada. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.2 Propiedades físicas de las pastas

El espectro de absorción de barrido de las soluciones de *G. lucidum* se muestra en la figura 18, se observaron picos de variación entre los 200-280 nm; las soluciones con concentración de 10 mg/mL mostraron una mayor absorbancia que las soluciones de 5 mg/mL. De igual forma los tratamientos Testigo + AAS (Tx) mostraron mayor absorbancia que solo Testigo (T); estas diferencias lograron observarse con mayor facilidad entre los 280-420 nm.

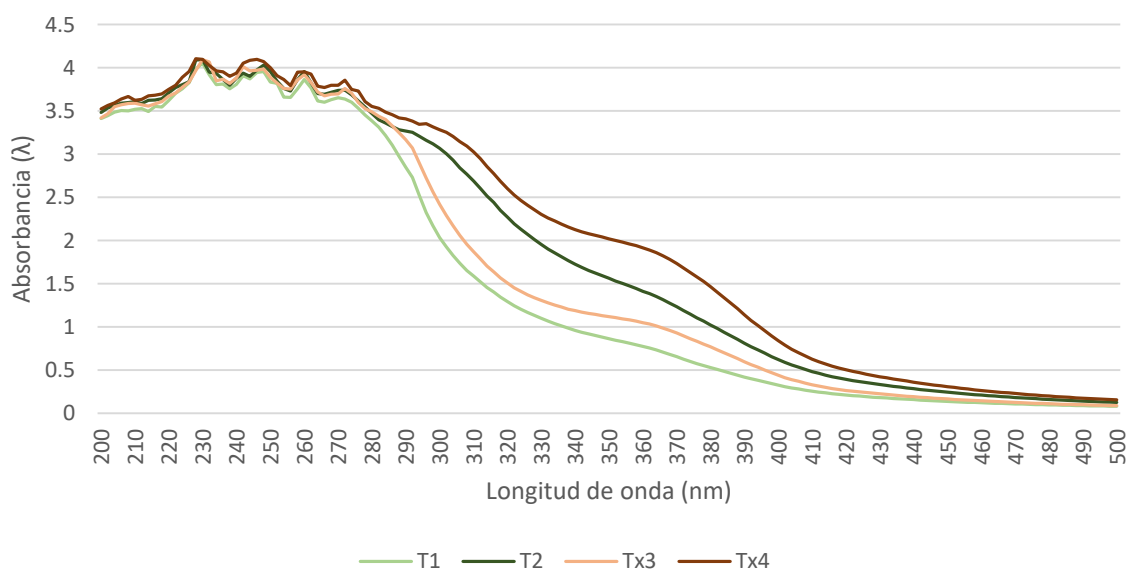


Figura 18. Barridos de soluciones de *Ganoderma lucidum*. S= Solución. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El espectro de absorción de barrido de los extractos de fideo comercial y funcional se muestra en la figura 19, los picos de dichos extractos se observaron al igual que en las soluciones de *G. lucidum* entre los 200-280 nm, la mayor absorbancia la mostró el extracto del fideo comercial seguido del blanco. El fideo control y los adicionados con extractos mostraron un comportamiento similar. Las diferencias de las absorbancias fueron más evidentes a partir de los 350 nm separándose el fideo comercial.

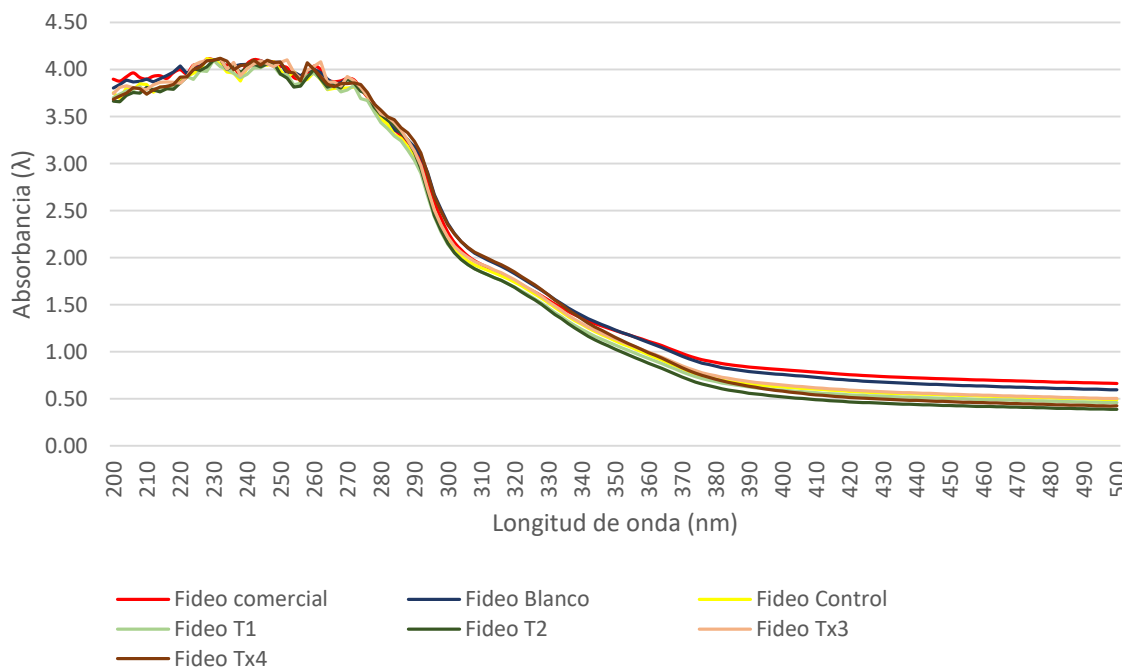


Figura 19. Barridos de extractos de fideo comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El espectro de absorción de barrido de los extractos de lasaña comercial y funcional se muestra en la figura 20, los picos de dichos extractos se observaron entre los 200-280 nm, la mayor absorbancia la mostró el extracto de lasaña comercial seguido del control. La lasaña blanco y la adicionada con extractos mostraron un comportamiento similar. Las diferencias de las absorbancias fueron más evidentes a partir de los 350 nm separándose la lasaña comercial.

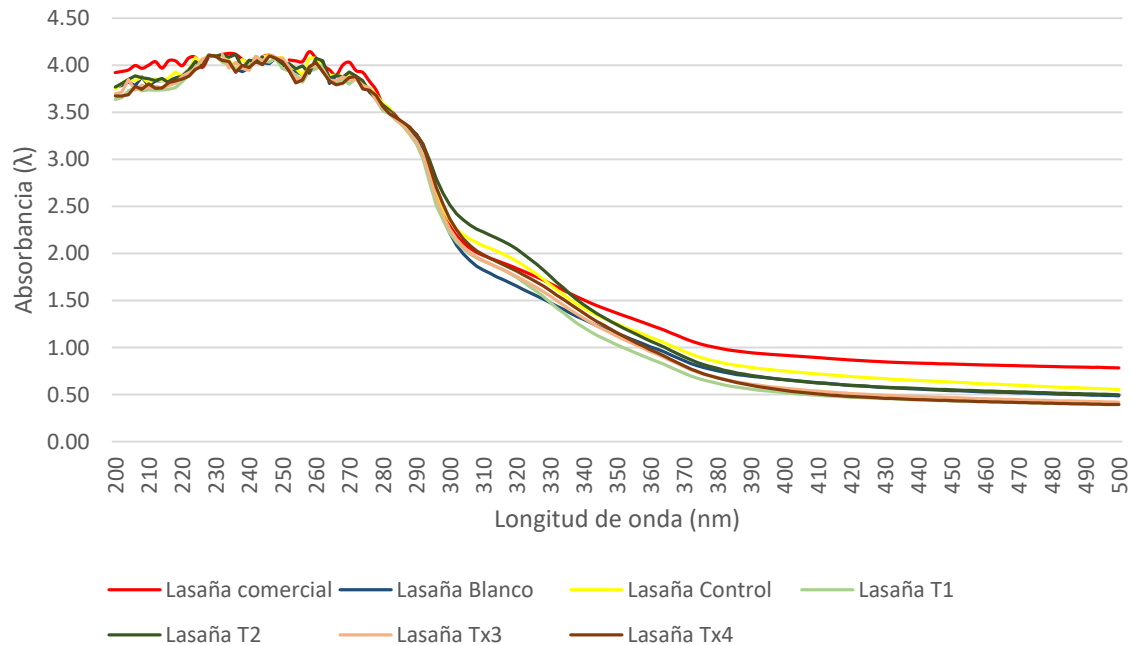


Figura 20. Barridos de extractos de lasaña comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

En la figura 21 se muestran los espectros de absorción de barrido de los extractos del macarrón comercial y funcional, los picos de dichos extractos entre los 200-280 nm, a diferencia de los extractos de fideo y de lasaña, la mayor absorbancia la mostró el extracto del macarrón blanco (agua) seguido del control. El macarrón adicionado con extractos tuvo una absorbancia similar y el extracto del macarrón comercial mostró la menor absorbancia de todas las condiciones. Las diferencias de las absorbancias fueron más evidentes a partir de los 350 nm separándose el macarrón blanco (agua).

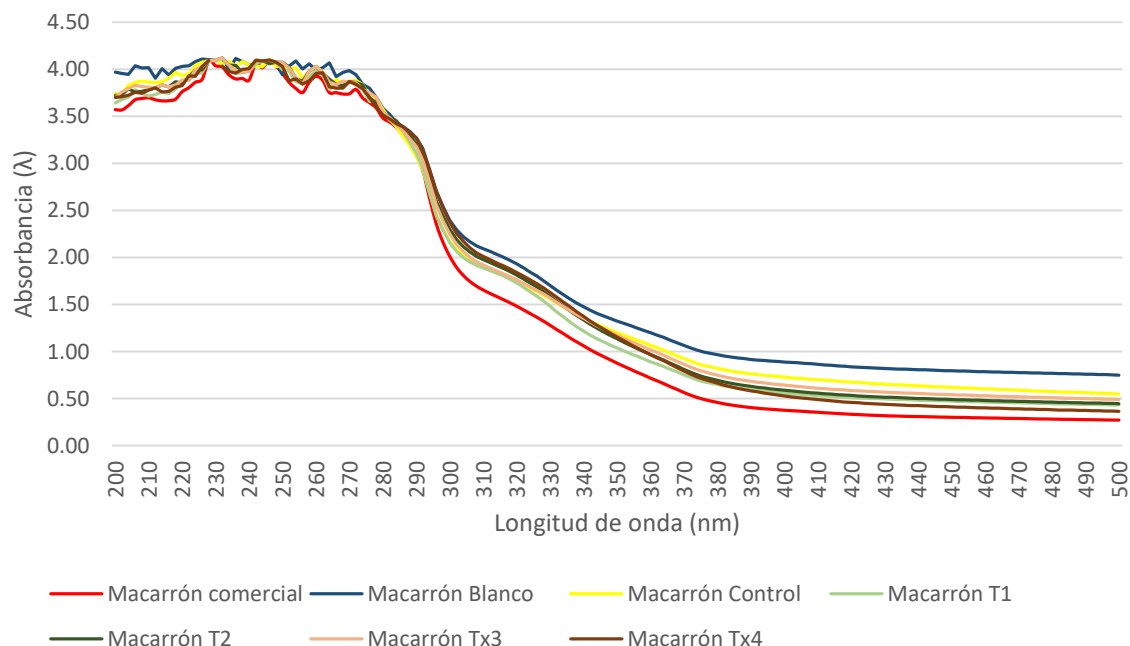


Figura 21. Barridos de extractos de macarrón comercial y funcional. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El pH, la conductividad y la resistividad de las soluciones de *G. lucidum* se muestran en el cuadro 14. El mayor pH lo tuvo la solución T2 (testigo 10 mg/mL) y el valor más bajo lo presentó la solución Tx3 (testigo + AAS 10 mM 5 mg/mL). Se observó una tendencia, a mayor concentración de la solución mayor pH. Con respecto a la conductividad, el mayor valor lo mostró la solución Tx4 (testigo + AAS 10 mM 10 mg/mL) y la más baja la solución T1 (testigo 5 mg/mL), de igual forma que en el pH, a mayor concentración mayor fue la conductividad. De manera inversa a la conductividad, la mayor resistividad la mostró la solución ST1 (testigo 5 mg/mL) y la menor la Tx4 (testigo + AAS 10 mM), en este caso a mayor concentración menor fue la resistividad de las soluciones.

Cuadro 14. pH, conductividad y resistividad de soluciones de *Ganoderma lucidum*.

Clave	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Resistividad (Ω)
T1	6.7 ± 0.01	1859 ± 1.14	321 ± 0.54
T2	6.8 ± 0.01	3325 ± 1.30	180 ± 0.00
Tx3	6.6 ± 0.01	2008 ± 2.60	298 ± 0.54
Tx4	6.7 ± 0.01	3726 ± 1.00	161 ± 0.00

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El rendimiento exacto y los grados Brix de las soluciones usadas para la elaboración de pastas funcionales se muestra en el cuadro 15. El mayor contenido de grados Brix lo mostró la solución T1 (testigo 5 mg/mL) y las soluciones T2, Tx3 y Tx4 tuvieron el mismo contenido de grados Brix.

Cuadro 15. ° Brix y rendimiento de soluciones de *Ganoderma lucidum*.

Clave	°Brix	Rendimiento (mg/mL)
T1	12.4 ± 0.05	5.1 ± 0.90
T2	12.3 ± 0.05	10.2 ± 0.86
Tx3	12.3 ± 0.08	5.5 ± 0.70
Tx4	12.3 ± 0.05	10.7 ± 0.27

S= Soluciones. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El pH, la conductividad y resistividad de los extractos de pastas comerciales y funcionales en sus tres formatos se muestran en el cuadro 16. La prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, donde el extracto ELB (lasaña blanco) y EMCo (macarrón comercial) tienen los valores más altos de pH con un valor de 7.6 ± 0.01 y 7.6 ± 0.02 , respectivamente, y el extracto EFC (fideo control) el valor más bajo (7.3 ± 0.01). La conductividad mostró diferencia significativa entre tratamientos siendo el extracto ELTx4 (lasaña con solución testigo + AAS 10 mM 10 mg/mL) el que presentó mayor conductividad con un valor de 16169 ± 168 y EFT2 (fideo con solución testigo 10 mg/mL) el menor, con un valor de 12691 ± 214 . La resistividad mostró diferencia significativa entre tratamientos siendo EMT1 (macarrón con solución testigo 5 mg/mL) el de mayor valor con 51.7 ± 0.6 , y ELTx4 (lasaña con solución testigo + AAS 10 mM 10 mg/mL) el menor valor de 36.7 ELTx4 (lasaña con solución testigo + AAS 10 mM 10 mg/mL).

Cuadro 16. pH, conductividad y resistividad de extractos de pastas comerciales y funcionales.

Clave	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Resistividad (Ω)
EFCo	7.5 \pm 0.01 ^{efg}	12853 \pm 305 ^{jk}	47.0 \pm 1.0 ^{bcd}
EFB	7.5 \pm 0.02 ^{defg}	14546 \pm 535 ^{cdef}	47.0 \pm 1.0 ^{bcd}
EFC	7.3 \pm 0.01 ^k	14272 \pm 66 ^{defgh}	48.3 \pm 0.6 ^{bc}
EFT1	7.2 \pm 0.01 ^l	13910 \pm 235 ^{fghi}	49.3 \pm 0.6 ^{ab}
EFT2	7.5 \pm 0.01 ^{cde}	12691 \pm 214 ^k	48.0 \pm 0.0 ^{bc}
EFTx3	7.4 \pm 0.01 ^j	13605 \pm 171 ^{hij}	45.0 \pm 0.0 ^{defg}
EFTx4	7.5 \pm 0.00 ^{fgh}	14087 \pm 366 ^{fgh}	43.7 \pm 1.2 ^{fghi}
ELCo	7.5 \pm 0.01 ^c	15516 \pm 140 ^{ab}	44.0 \pm 1.0 ^{efgh}
ELB	7.6 \pm 0.01 ^a	14068 \pm 288 ^{fgh}	48.7 \pm 1.2 ^{bc}
ELC	7.5 \pm 0.01 ^{gh}	13176 \pm 189 ^{ijk}	46.3 \pm 0.6 ^{cdef}
ELT1	7.5 \pm 0.00 ^{cd}	14630 \pm 278 ^{cdef}	41.7 \pm 1.2 ^{hij}
ELT2	7.6 \pm 0.00 ^b	13637 \pm 344 ^{hij}	45.0 \pm 1.7 ^{defg}
ELTx3	7.5 \pm 0.00 ^{cdef}	15194 \pm 415 ^{bc}	39.0 \pm 1.0 ^{jk}
ELTx4	7.5 \pm 0.00 ^{hi}	16169 \pm 168 ^a	36.7 \pm 0.6 ^k
EMCo	7.6 \pm 0.02 ^a	14904 \pm 357 ^{ijk}	46.7 \pm 1.5 ^{bcd}
EMB	7.4 \pm 0.01 ^j	14927 \pm 35 ^{bcde}	45.0 \pm 0.0 ^{defg}
EMC	7.5 \pm 0.01 ^{hi}	13692 \pm 212 ^{ghi}	48.7 \pm 0.6 ^{bc}
EMT1	7.5 \pm 0.00 ^{hi}	13096 \pm 110 ^{ijk}	51.7 \pm 0.6 ^a
EMT2	7.4 \pm 0.01 ^j	15014 \pm 131 ^{bcd}	41.0 \pm 0.0 ^{ij}
EMTx3	7.5 \pm 0.01 ⁱ	14485 \pm 227 ^{cdefg}	42.3 \pm 0.6 ^{ghi}
EMTx4	7.5 \pm 0.01 ^{cd}	14135 \pm 271 ^{efgh}	44.0 \pm 1.0 ^{efgh}

E= Extracto. F= Fideo. L= Lasaña. M= Macarrón. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los grados Brix y el rendimiento de los extractos de pastas comerciales y funcionales en sus tres formatos se muestran en el cuadro 17. La prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, donde el extracto EFCo (fideo comercial) y el EMCo (macarrón comercial) tuvieron los valores más altos de ° Brix de 9.9 ± 0.2 y 9.7 ± 0.2 , respectivamente; el valor más bajo lo tuvo EMB (macarrón blanco) con 6.0 ± 0.1 . Con respecto al rendimiento hubo diferencia significativa, siendo los extractos EFB (fideo blanco) y EMB (macarrón blanco) los valores más altos con 50.2 ± 1.3 y 50.0 ± 0.05 , respectivamente, y el valor más bajo el extracto ELC (lasaña control) con 26.8 ± 0.8 .

Cuadro 17. Grados Brix y rendimiento de extractos de pastas comerciales y funcionales.

Clave	°Brix	Rendimiento (mg/mL)
EFCo	9.9 ± 0.2 ^a	40.5 ± 2.8 ^{cde}
EFB	9.1 ± 0.2 ^{bcd}	50.2 ± 1.3 ^a
EFC	9.6 ± 0.1 ^{abc}	37.8 ± 0.6 ^{ef}
EFT1	8.1 ± 0.1 ^{fg}	31.7 ± 0.6 ^h
EFT2	9.6 ± 0.3 ^{ab}	27.8 ± 1.6 ^{ij}
EFTx3	7.4 ± 0.4 ^h	27.7 ± 0.8 ^{ij}
EFTx4	8.9 ± 0.1 ^d	30.5 ± 0.0 ^{hi}
ELCo	7.8 ± 0.3 ^{fgh}	38.5 ± 1.0 ^{def}
ELB	8.7 ± 0.2 ^{de}	42.3 ± 1.3 ^{bc}
ELC	7.6 ± 0.2 ^{fgh}	26.8 ± 0.8 ^j
ELT1	7.8 ± 0.0 ^{fgh}	32.3 ± 1.3 ^h
ELT2	9.0 ± 0.1 ^{cd}	32.5 ± 1.3 ^h
ELTx3	7.5 ± 0.2 ^{gh}	37.3 ± 0.6 ^{ef}
ELTx4	7.5 ± 0.2 ^h	37.5 ± 1.0 ^{ef}
EMCo	9.7 ± 0.2 ^a	45.3 ± 0.6 ^b
EMB	6.0 ± 0.1 ^j	50.0 ± 0.5 ^a
EMC	6.6 ± 0.1 ⁱ	33.0 ± 0.9 ^{gh}
EMT1	8.2 ± 0.1 ^{ef}	36.5 ± 0.5 ^{fg}
EMT2	6.6 ± 0.1 ⁱ	37.0 ± 0.9 ^{ef}
EMTx3	7.3 ± 0.2 ^h	38.0 ± 1.0 ^{ef}
EMTx4	9.6 ± 0.2 ^{ab}	41.7 ± 1.5 ^{cd}

E= Extracto. F= Fideo. L= Lasaña. M= Macarrón. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.3 Contenido proteico de las pastas

El contenido proteico de las soluciones de *G. lucidum* se muestran en la figura 22. Las concentraciones de 10 mg/mL tuvieron mayor contenido proteico que las soluciones de 5 mg/mL, la solución T2 fue mayor un 118%, en comparación a T1, y la solución Tx4 fue mayor un 130% que Tx3. De igual forma se observó que las soluciones Testigo tuvieron mayor contenido de proteínas en comparación a las soluciones con AAS (6% más en concentraciones de 5 mg/mL, y 1% más en concentraciones de 10 mg/mL).

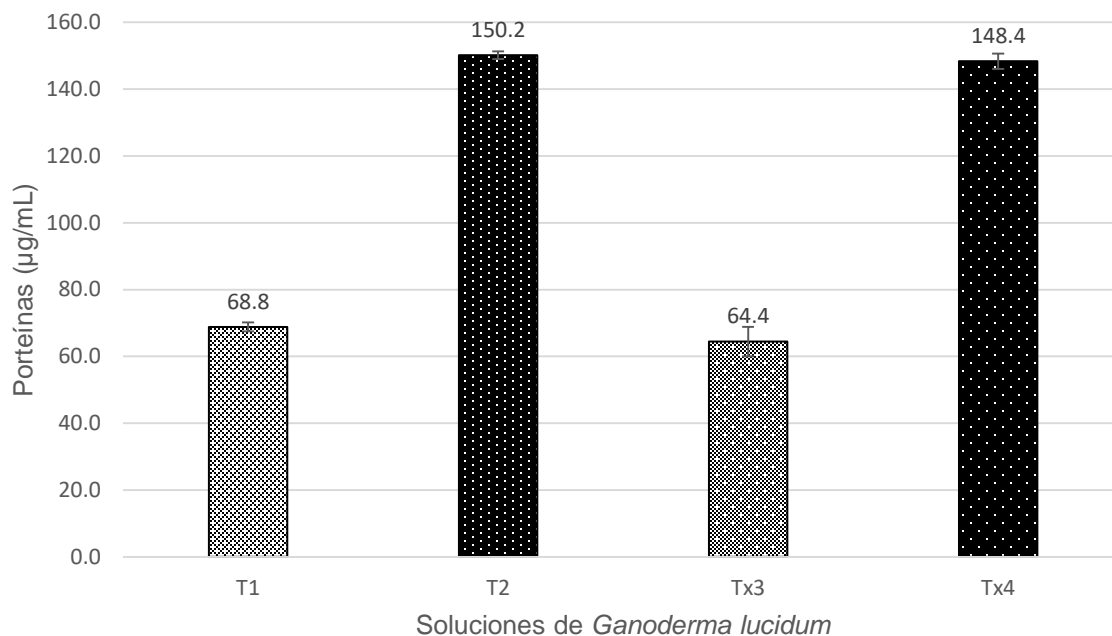


Figura 22. Contenido de proteínas en soluciones de *Ganoderma lucidum*. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El contenido de proteínas en extractos de pastas comerciales y funcionales se muestra en la figura 23. La prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, donde el extracto del macarrón blanco tuvo el mayor contenido de proteínas con 5.08 ± 0.12 , y el menor fue el macarrón comercial con 0.80 ± 0.04 µg/g. El fideo fue el formato que mostró menor contenido proteico en todas sus condiciones a excepción del comercial. El macarrón y la lasaña tuvieron un comportamiento similar en sus condiciones. Se observó que las pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum* y solvente hidroalcohólico mostraron menor contenido proteico a comparación de las pastas comerciales y la condición blanco (agua).

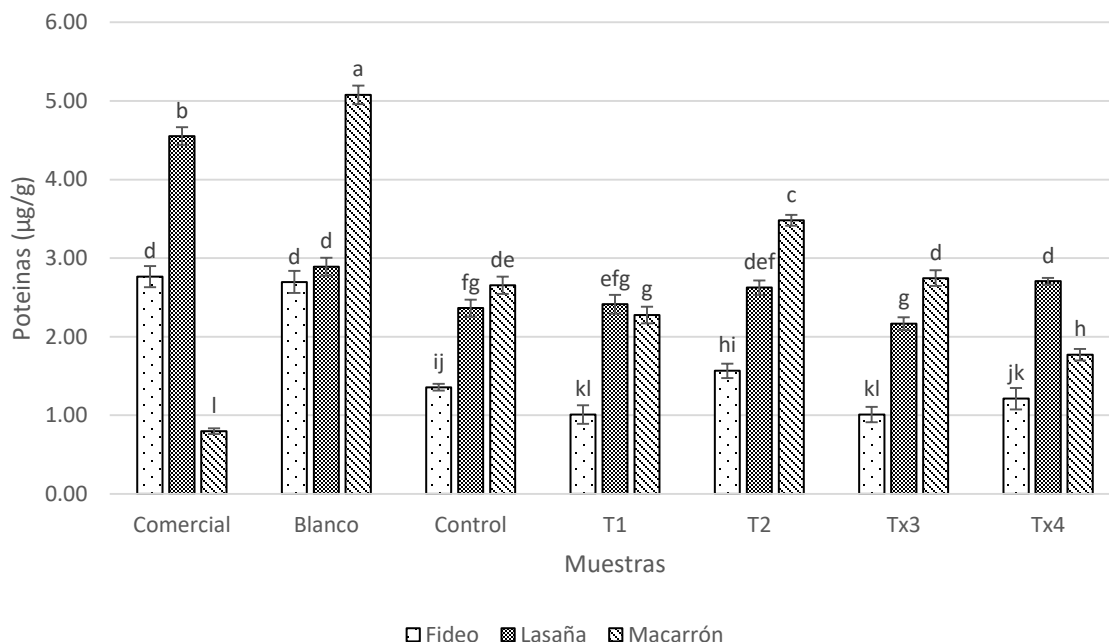


Figura 23. Contenido de proteínas en extractos de pastas comerciales y funcionales. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.4 Funcionalidad de las pastas

8.4.1 Contenido de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales de las soluciones de *G. lucidum* se muestra en la figura 24. Al igual que en las proteínas las soluciones de 10 mg/mL tuvieron un mayor contenido de polifenoles totales, la solución T2 aumentó un 99% en comparación a T1, y la solución Tx4 aumentó un 93% en comparación a Tx3, ambas aumentaron casi el doble del contenido de polifenoles; entre los tratamiento Testigo y Testigo + AAS 10 mM también se observó un aumento, la Tx3 fue mayor 39% en comparación con T1 y la solución Tx4 fue mayor un 35% en comparación a la T2. Hubo un aumento del contenido de polifenoles totales en los extractos obtenidos del hongo cultivado en sustrato adicionado con ácido acetilsalicílico.

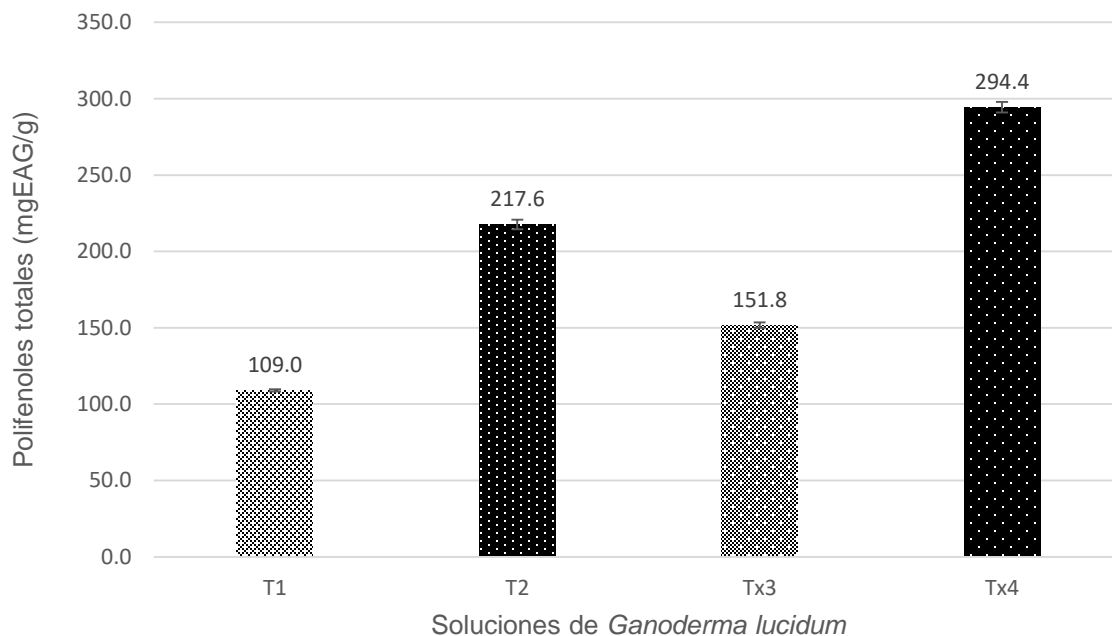


Figura 24. Contenido de polifenoles totales en soluciones de *Ganoderma lucidum*. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El contenido de polifenoles totales en extractos de pastas comerciales y funcionales se observa en la figura 25. La prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, donde el extracto del fideo Tx4 (testigo + AAS a 10 mg/mL) tuvo el valor más alto de 4.92 ± 0.08 mgEAG/g y el valor más bajo lo tuvo la lasaña control (solvente hidroalcohólico) con 2.39 ± 0.04 mgEAG/g. Se observó que los mayores valores de polifenoles lo tuvo en la condición Tx4 seguido de T2, Tx3 y T1. Ninguna pasta comercial sobrepasa los 3 mgEAG/g por lo que en base al fideo Tx4 el contenido de polifenoles estaría aumentando hasta un 64% en comparación a las pastas comerciales analizadas. De igual forma, se observó que el formato fideo fue el que presentó mayor contenido de polifenoles seguido de la lasaña y al último el macarrón. Todas las condiciones de las pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum* fueron mejores que las pastas comerciales, blanco (agua) y control (solvente hidroalcohólico).

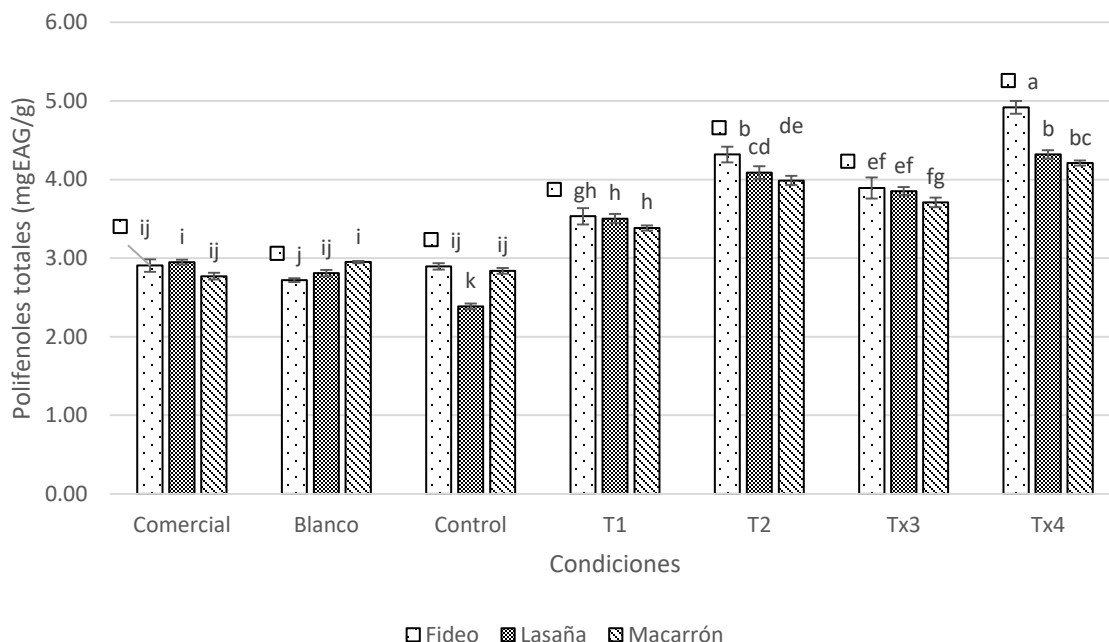
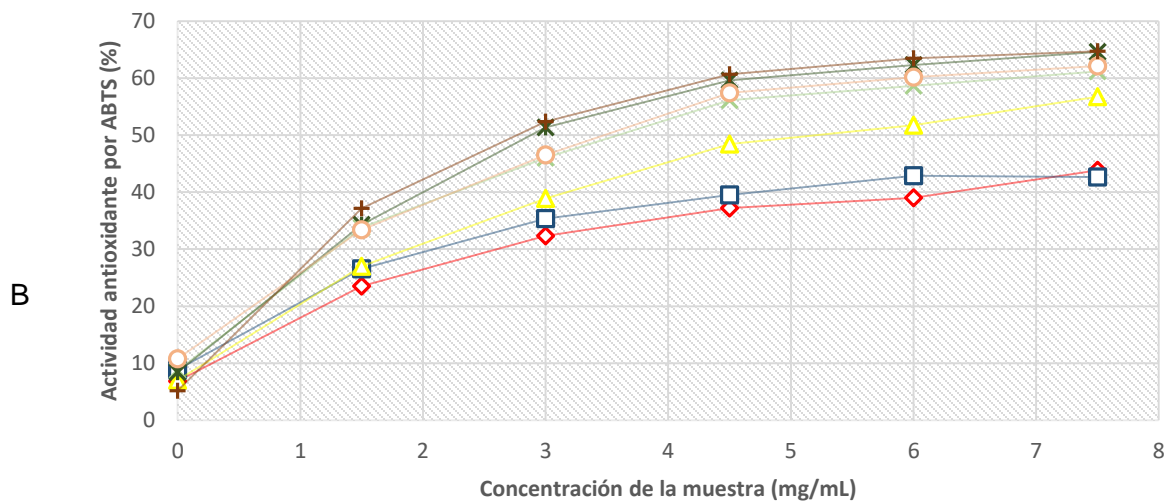
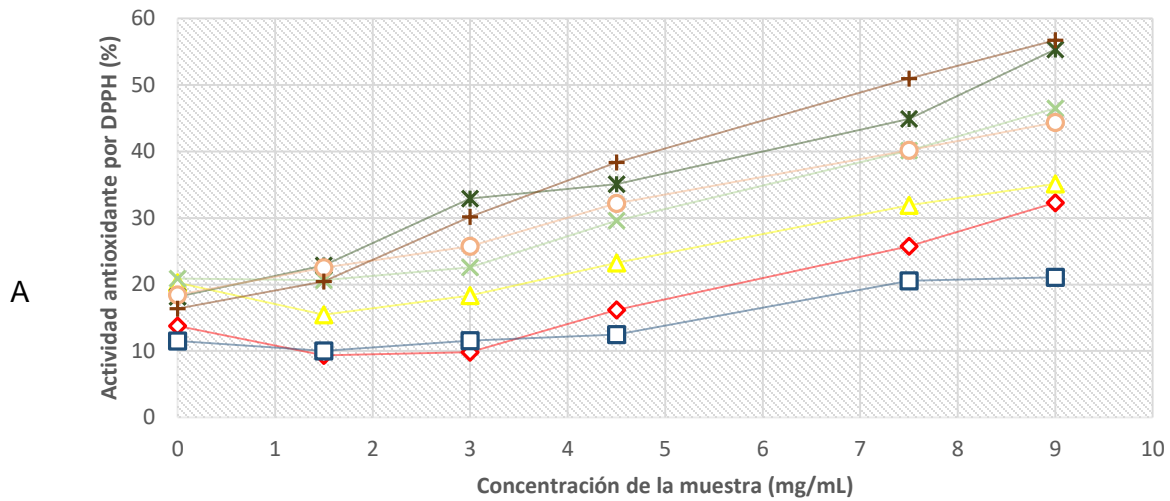


Figura 25. Contenido de polifenoles totales en extractos de pastas comerciales y funcionales. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.4.2 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los extractos de fideo comercial y funcional determinada por el reactivo DPPH, ABTS y β Carotenos se muestra en la figura 26. En las actividades antioxidantes determinadas por DPPH el extracto del fideo Tx4 presentó la mayor actividad antioxidante seguido del T2 (ambos adicionados con una solución de 10 mg/mL). Los extractos de los fideos T1 y Tx3 (5 mg/mL) tuvieron un comportamiento similar en su actividad antioxidante siendo ligeramente mayor el fideo adicionado con *G. lucidum* Testigo. El fideo comercial y el control (solvente hidroalcohólico) tuvieron un comportamiento similar en su máxima actividad antioxidante. La actividad más baja la presentó el extracto del fideo elaborado con agua (blanco). En las actividades antioxidantes determinadas por ABTS los máximos valores los tuvieron los extractos de las pastas en sus condiciones T1, T2, Tx3 y Tx4 a una concentración de extracto de 9 mg/mL, en estos tratamientos la actividad antioxidante máxima fue muy similar entre si. A diferencia de la actividad determinada por DPPH, el extracto del fideo control fue muy superior al comercial y al blanco (estos

ultimos con una actividad cercana a 43%). En las actividades antioxidantes determinadas por β carotenos se observó que el extracto del fideo Tx4 (testigo + AAS a 10 mg/mL) tuvo una mayor actividad antioxidante (53%), seguida del tratamiento T2, T1 y Tx3 con una actividad cercana al 42%, la actividad mas baja la presentó el fideo control con una actividad máxima del 32%.



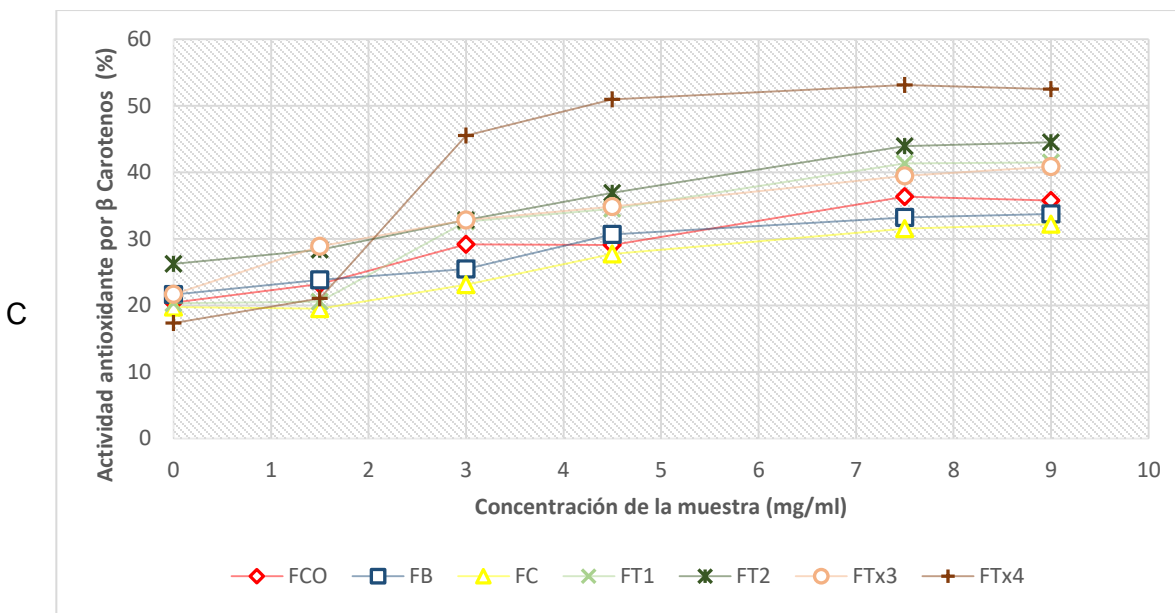
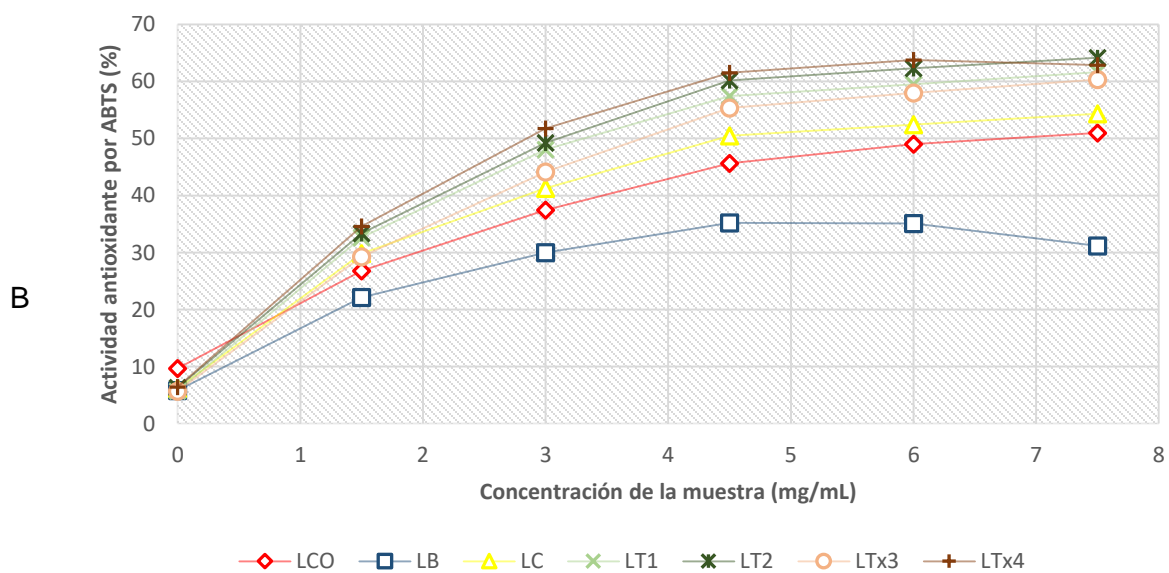
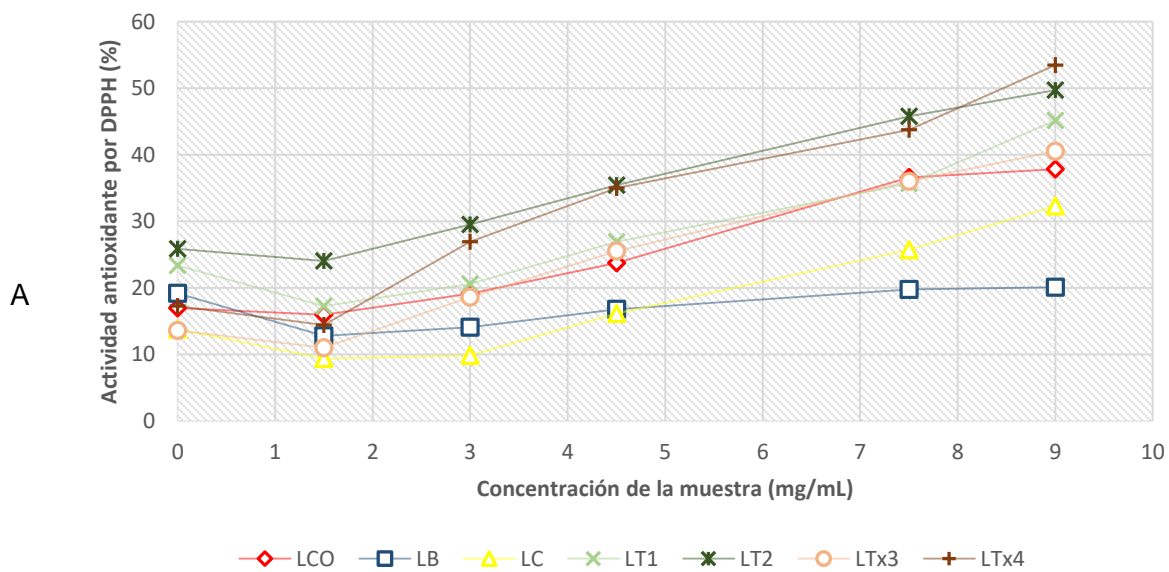


Figura 26. Actividad antioxidante (%) de extractos de fideo comercial y funcional por DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). F= Fideo. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

La actividad antioxidante de los extractos de lasaña comercial y funcional a distintas concentraciones determinada por el reactivo DPPH, ABTS y β carotenos se muestra en la figura 27. En las actividades antioxidantes determinadas por DPPH el extracto de la lasaña Tx4 tuvo la mayor actividad antioxidante seguido del T2 (ambos adicionados con una solución de 10 mg/mL), la lasaña T1 fue superior a Tx3 (ambos adicionados con una solución de 5 mg/mL). La lasaña Tx3 y la comercial tuvieron un comportamiento similar, seguido de la condición control y por último el blanco. En las actividades antioxidantes determinadas por ABTS, los máximos valores los tuvieron los extractos de la lasaña en sus condiciones T1, T2, Tx3 y Tx4 a una concentración de extracto de 9 mg/mL, en estos tratamientos la actividad antioxidante máxima fue muy similar entre sí. La actividad antioxidante de la lasaña control y comercial fueron muy similares entre sí y la menor actividad la tuvo la lasaña blanco. En las actividades antioxidantes determinadas por β carotenos se observó que el extracto de la lasaña Tx4 tuvo la mayor actividad antioxidante de 55% seguido de los tratamientos T2 con 47%, T1 y Tx3 con una actividad cercana al 41%. Las actividades más bajas las presentaron la lasaña comercial y blanco con 34%. Al igual que en el fideo se observó

que el tratamiento Tx4 sobre sale de los demás tratamientos aumentando hasta un 61% en comparación con el tratamiento comercial.



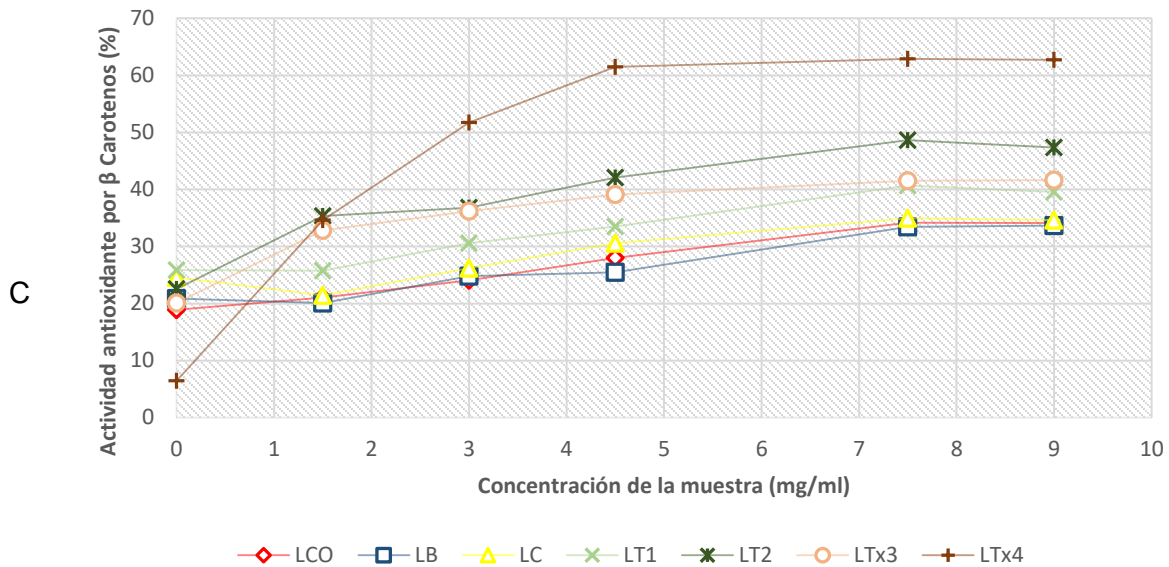
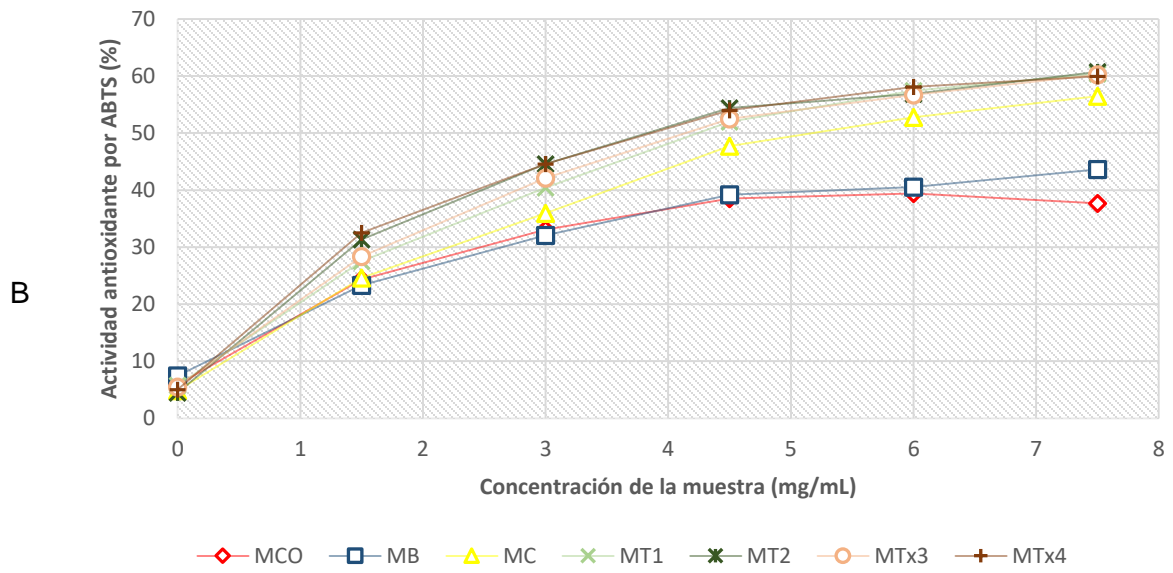
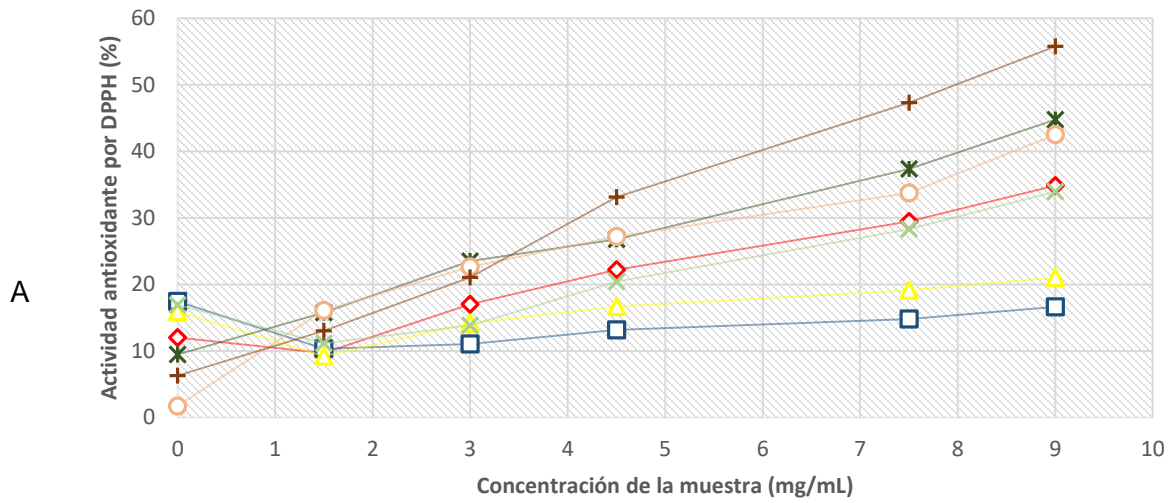


Figura 27. Actividad antioxidante (%) de extractos de lasaña comercial y funcional DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). L= Lasaña. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

La actividad antioxidante de los extractos de macarrón comercial y funcional a distintas concentraciones determinado por el reactivo DPPH, ABTS y β carotenos se muestra en la figura 28. La mayor actividad antioxidante determinada por el reactivo DPPH la obtuvo el macarrón Tx4, seguido del T2, Tx3. El macarrón T1 y el comercial tuvieron una actividad similar. La máxima actividad antioxidante del macarrón control fue mayor a la del blanco. En las actividades antioxidantes determinadas por ABTS los máximos valores los tuvieron los extractos del macarrón en sus condiciones T1, T2, Tx3 y Tx4 a una concentración de extracto de 9 mg/mL, en estos tratamientos la actividad antioxidante máxima fue muy similar entre si (cerca al 60%). La actividad antioxidante del macarrón control fue mayor al 50%, el macarrón comercial y el blanco tuvieron una actividad similar. En las determinaciones por β carotenos el tratamiento Tx4 y T2 presentaron las actividades más altas con 51% de inhibición de los radicales libres seguido de Tx3 y T1 con 48 y 41% respectivamente, las actividades más bajas las presentaron el macarrón comercial y control con 31%.



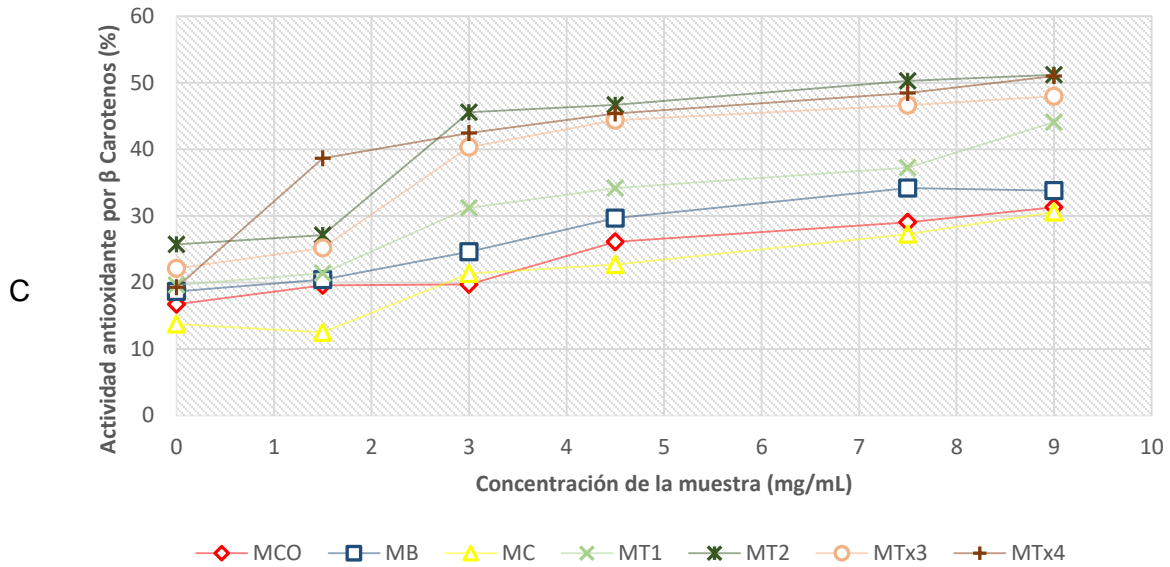


Figura 28. Actividad antioxidante (%) de extractos de macarrón comercial y funcional por DPPH (A), ABTS (B) y β carotenos (C). M= Macarrón. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

La concentración inhibitoria requerida para inhibir el 30% de los radicales libres de las pastas comerciales y funcionales determinador por el reactivo de DPPH, ABTS y β carotenos se muestra en el cuadro 18. La prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa en las determinaciones por DPPH, donde el valor más alto lo obtuvo el macarrón control (solvente hidroalcohólico al 35%) con un valor de 10.7 ± 0.42 mg/mL, y los valores más bajos el Fideo T2 y Tx4 y Lasaña T2 con valores de 2.9 ± 0.17 , 2.8 ± 0.12 y 2.8 ± 0.20 mg/mL, respectivamente. En el caso de las determinaciones por ABTS también mostraron diferencia significativa, teniendo el valor más alto la lasaña blanco (agua) con 2.9 ± 0.19 mg/mL y los valores más bajos el Fideo T2, Tx4 y la Lasaña Tx4 con valores de 1.1 ± 0.13 , 1.1 ± 0.05 y 1.1 ± 0.11 mg/mL, respectivamente. En las determinaciones por β carotenos también hubo diferencia significativa, siendo el macarrón control el valor más alto con 8.69 ± 0.62 y el valor más bajo la lasaña Tx4 con un valor de 0.46 ± 0.03 . Los resultados obtenidos demuestran que en las pastas añadidas con soluciones de *G. lucidum* fue menor la concentración requerida para inhibir los radicales libres en comparación con las pastas comerciales, blanco y control.

Cuadro 18. Actividad antioxidante considerando la concentración inhibitoria del 30% (IC 30) de los radicales libres de extractos de pastas comerciales y funcionales obtenidos por el ensayo de DPPH, ABTS y β carotenos.

Muestra	Ensayo DPPH (mg/mL)	Ensayo ABTS (mg/mL)	Ensayo β Carotenos (mg/mL)
FCo	7.90 \pm 0.02 ^b	2.35 \pm 0.28 ^b	4.47 \pm 0.24 ^{def}
FB	n.d.	2.32 \pm 0.11 ^b	4.09 \pm 0.25 ^{ef}
FC	6.52 \pm 0.15 ^c	1.93 \pm 0.08 ^{cd}	5.85 \pm 0.24 ^c
FT1	4.85 \pm 0.12 ^{fg}	1.37 \pm 0.05 ^{fg}	3.08 \pm 0.14 ^g
FT2	2.96 \pm 0.17 ⁱ	1.14 \pm 0.13 ^g	1.94 \pm 0.08 ⁱ
FTx3	3.95 \pm 0.16 ^h	1.35 \pm 0.07 ^{fg}	1.74 \pm 0.31 ^{hi}
FTx4	2.85 \pm 0.12 ⁱ	1.11 \pm 0.02 ^g	1.63 \pm 0.11 ^{hi}
LCo	5.98 \pm 0.22 ^{cd}	1.84 \pm 0.08 ^d	5.17 \pm 0.11 ^{cd}
LB	n.d.	2.96 \pm 0.19 ^a	5.89 \pm 0.34 ^c
LC	8.02 \pm 0.10 ^b	1.63 \pm 0.03 ^{def}	4.56 \pm 0.02 ^{de}
LT1	5.51 \pm 0.19 ^{de}	1.33 \pm 0.01 ^{fg}	3.13 \pm 0.14 ^g
LT2	2.80 \pm 0.20 ⁱ	1.35 \pm 0.04 ^{fg}	1.03 \pm 0.07 ^{ijk}
LTx3	5.83 \pm 0.11 ^d	1.63 \pm 0.05 ^{def}	1.28 \pm 0.03 ^{hijk}
LTx4	3.81 \pm 0.17 ^h	1.17 \pm 0.11 ^g	0.46 \pm 0.03 ^k
MCo	5.98 \pm 0.22 ^{cd}	2.33 \pm 0.10 ^b	7.50 \pm 0.76 ^b
MB	n.d.	2.45 \pm 0.06 ^b	4.84 \pm 0.16 ^{de}
MC	10.73 \pm 0.42 ^a	2.19 \pm 0.06 ^{bc}	8.69 \pm 0.62 ^a
MT1	7.82 \pm 0.18 ^b	1.83 \pm 0.02 ^d	3.67 \pm 0.12 ^{fg}
MT2	5.24 \pm 0.16 ^{ef}	1.49 \pm 0.06 ^{ef}	1.05 \pm 0.04 ^{ijk}
MTx3	5.21 \pm 0.27 ^{ef}	1.69 \pm 0.05 ^{de}	1.57 \pm 0.09 ^{hij}
MTx4	4.28 \pm 0.03 ^{gh}	1.34 \pm 0.05 ^{fg}	0.79 \pm 0.04 ^{jk}
Estándar antioxidante (μ g/mL)			
BHT	3.15 \pm 0.11	0.58 \pm 0.01	0.21 \pm 0.02

F= Fideo. L= Lasaña. M= Macarrón. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL. n.d.= No detectado. BHT= Butilhidroxitolueno.

8.4.3 Contenido de glucanos (alfa, beta y totales)

El contenido de glucanos totales y sus fracciones alfa y beta de las soluciones de *G. lucidum* utilizadas para la elaboración de pastas funcionales se muestran en la figura 30. La técnica para determinación de glucanos se realiza en base a 100 mg de muestra por lo que a pesar de que son 4 soluciones los resultados fueron similares entre sí; sin embargo, las soluciones Tx (Testigo + AAS) tuvieron en promedio un 5% más de glucanos totales en comparación a las soluciones T (Testigo). Los glucanos alfa de las

soluciones Tx tienen un 18% más que los testigos, con respecto a los glucanos beta las soluciones Tx disminuyen un 27% con respecto a las soluciones testigo.

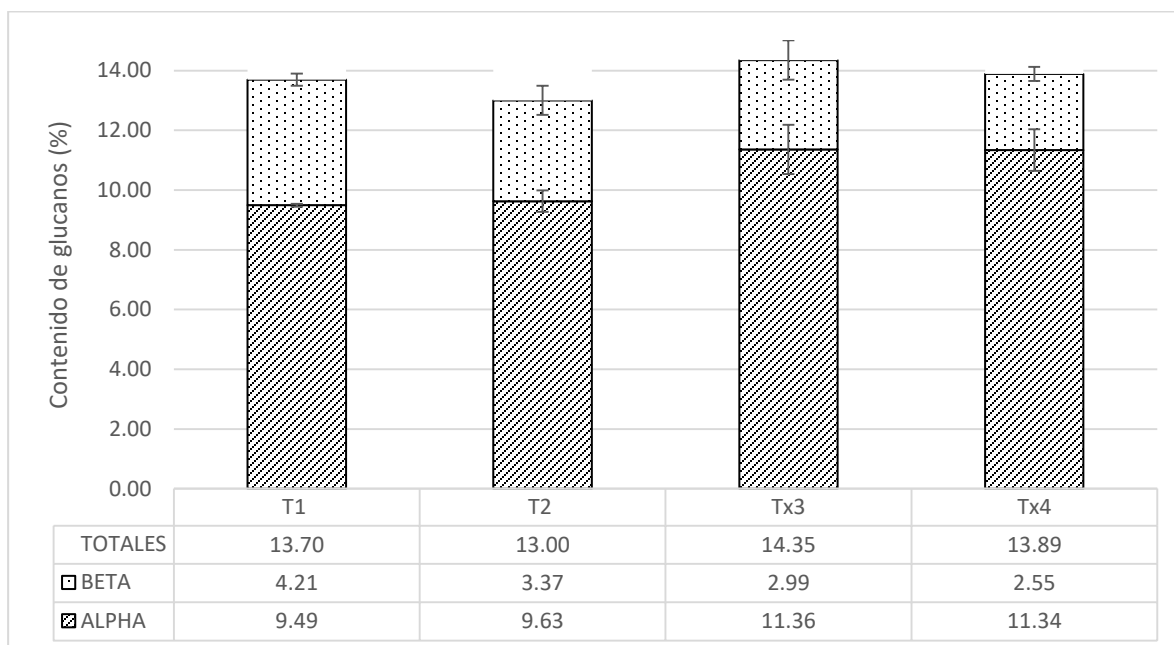


Figura 29. Contenido de glucanos (%) en soluciones de *Ganoderma lucidum*. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Debido a las limitantes del kit para la determinación de glucanos se tuvo que interpolar los resultados obtenidos en la figura 29 para calcular el contenido de glucanos añadidos a las pastas; estos resultados se observan en el cuadro 19, en el cual se muestra el aporte de glucanos en cada una de sus fracciones al consumir 100 g de pasta deshidratada. Las soluciones de 10 mg/mL (T2 y Tx4) tuvieron un mayor aporte de glucanos en comparación con las de 5 mg/mL (T1 y Tx3), incrementando en promedio un 90% en todas sus fracciones. Se observó cómo las soluciones T (Testigo) tuvieron un 35% más aporte de beta glucanos en comparación a las soluciones Tx (Testigo + AAS).

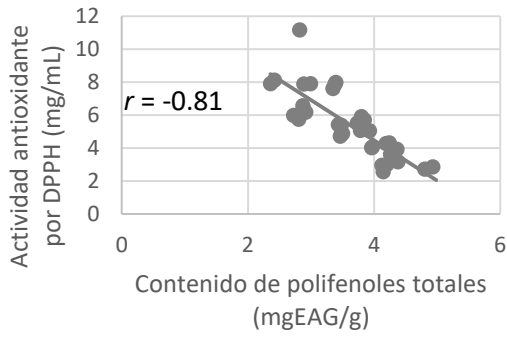
Cuadro 19. Aporte de glucanos totales (mg) por 100 g de pasta deshidratada.

Glucanos	T1	T2	Tx3	Tx4
Totales	27.4	52.0	28.7	55.5
Beta	8.4	13.4	5.9	10.2
Alpha	18.9	38.5	22.7	45.3

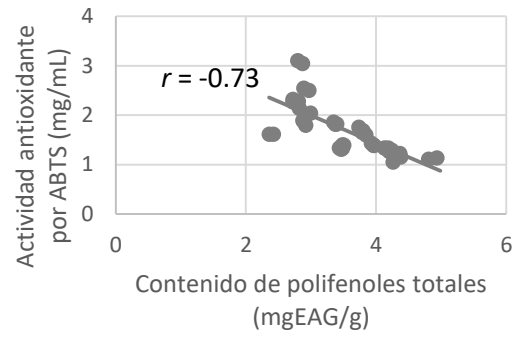
T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.4.4 Correlación de las propiedades funcionales

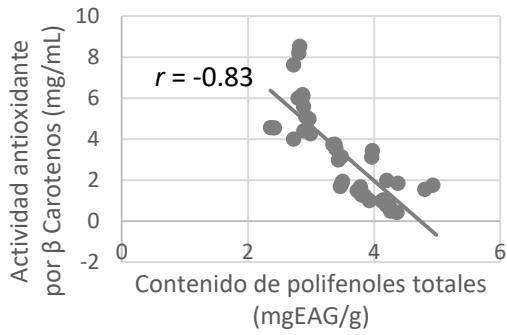
Las correlaciones obtenidas en base al análisis de las variables funcionales y físicas se muestran en la figura 30. El contenido de polifenoles totales mostró 1 correlación significativa con el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum* ($r = 0.79$, $P < 0.001$) y 3 correlaciones inversas con la actividad antioxidante determinada por DPPH ($r = -0.81$, $P < 0.001$), con la actividad antioxidante determinada por ABTS ($r = -0.73$, $P < 0.001$) y con la actividad antioxidante determinada por β carotenos ($r = -0.83$, $P < 0.001$). La actividad antioxidante determinada por DPPH mostró 3 correlaciones significativas con la actividad antioxidante determinada por ABTS ($r = 0.77$, $P < 0.001$), con la actividad antioxidante determinada por β carotenos ($r = 0.75$, $P < 0.001$) y una relación inversa con el rendimiento de los extractos de *G. lucidum* ($r = -0.67$, $P < 0.001$). La actividad antioxidante determinada por ABTS mostro 2 correlaciones significativas con la actividad antioxidante determinada por β carotenos ($r = 0.73$, $P < 0.001$) y con el rendimiento de los extractos de las pastas ($r = 0.74$, $P < 0.001$). La actividad antioxidante determinada por β carotenos mostro una correlación inversa con el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum* ($r = -0.67$, $P < 0.001$). Las correlaciones mostraron que a mayor contenido de polifenoles menor será la concentración para inhibir el 30% de los radicales libres IC 30. De la misma manera las determinaciones de la actividad antioxidante por las 3 metodologías usadas (DPPH, ABT y β carotenos) mostraron una correlación positiva al obtener resultados similares entre las mismas muestras. Las determinaciones de la concentración inhibitoria por DPPH mostro una correlación negativa con el rendimiento de los extractos de pastas, esta correlación indica que entre mayor sea el rendimiento de los extractos mayor será el requerimiento para inhibir el 30 % de los radicales.



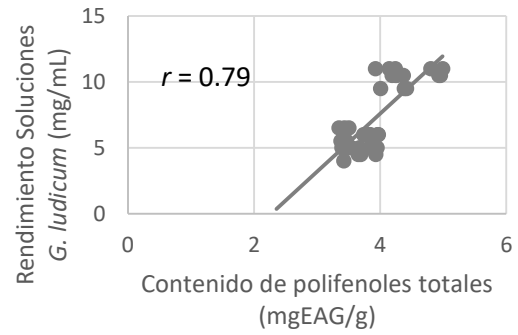
A



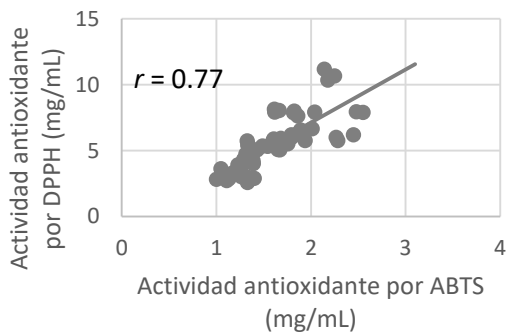
B



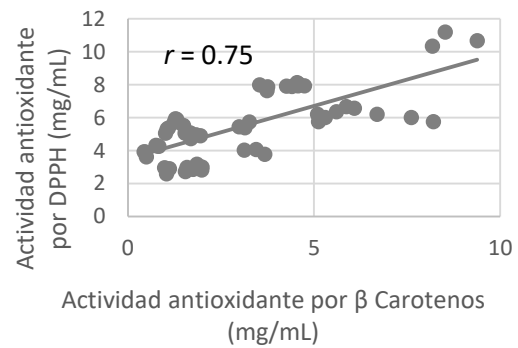
C



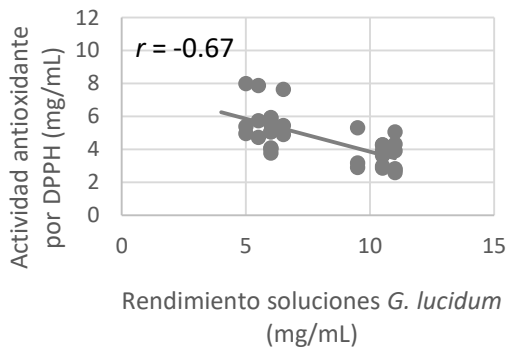
D



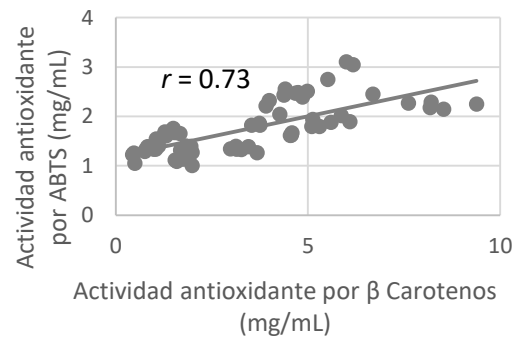
E



F



G



H

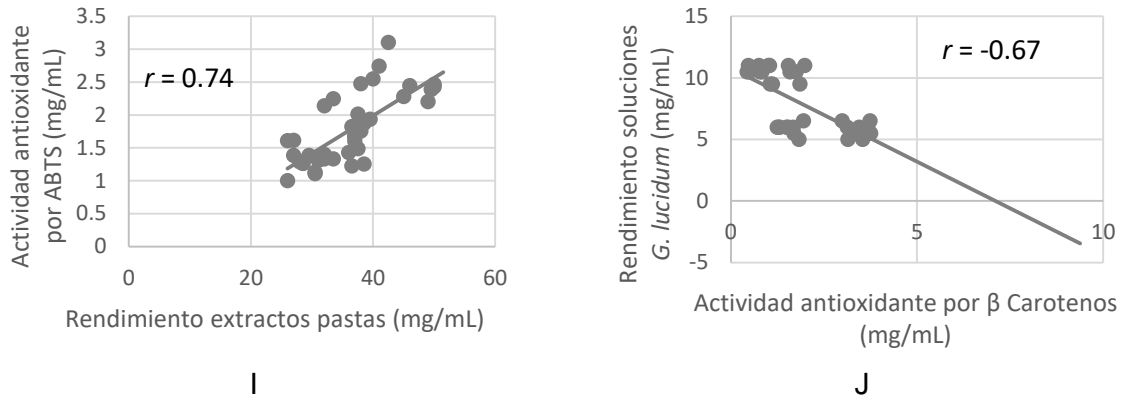


Figura 30. Análisis de regresión por coeficiente de Pearson entre ensayos y variables estudiados en los extractos de pastas. A= Correlación inversa entre actividad antioxidante por DPPH y el contenido de polifenoles totales. B= Correlación inversa entre la actividad antioxidante por ABTS y el contenido de polifenoles totales. C= Correlación inversa entre la actividad antioxidante por β carotenos y el contenido de polifenoles totales. D= Correlación entre el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum* y el contenido de polifenoles totales. E= Correlación entre la actividad antioxidante por DPPH y la actividad antioxidante por ABTS. F= Correlación entre la actividad antioxidante por DPPH y la actividad antioxidante por β carotenos. G= correlación inversa entre la actividad antioxidante por DPPH y el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum*. H= Correlación entre la actividad antioxidante por ABTS y la actividad antioxidante por β carotenos. I= Correlación entre la actividad antioxidante por ABTS y el rendimiento del extracto de las pastas. J= Correlación inversa entre el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum* y la actividad antioxidante por β carotenos.

8.5 Propiedades sensoriales de las pastas

8.5.1 Características de cocción de las pastas

En el cuadro 19 se muestra el tiempo de cocción óptimo de las pastas comerciales y funcionales. La condición comercial en los tres formatos tuvo el menor tiempo de cocción, la condición con mayor tiempo de cocción fueron Tx4 para el fideo y la lasaña, en el caso del macarrón mostraron el mismo tiempo las condiciones control, T1, T2 y Tx4. De manera general las pastas elaboradas en el laboratorio tuvieron un mayor tiempo de cocción en comparación a las comerciales; sin embargo, la condición blanco en el fideo, la lasaña y el macarrón se redujo en promedio un 10, 35 y 25% respectivamente en comparación a las condiciones control, T1, T2, Tx3 y Tx4.

Cuadro 20. Tiempo de cocción óptimo (min) de pastas comerciales y funcionales.

Formato	Comercial	Blanco	Control	Funcionales			
				T1	T2	Tx3	Tx4
Fideo	5.00	5.30	6.00	6.00	6.00	6.00	6.30
Lasaña	6.00	10.00	15.00	15.30	15.00	15.00	15.30
Macarrón	7.30	12.00	16.00	16.00	16.00	16.00	15.30

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL

La absorción de agua (%) de las pastas comerciales y funcionales después de la cocción se observa en el cuadro 21. El formato que mostró mayor absorción fue el fideo seguido de la lasaña, y por último el macarrón. Las condiciones control, T1, T2, Tx3 y Tx4 tuvieron un comportamiento similar en la absorción de agua. La mayor absorción en el fideo, la lasaña y el macarrón la tuvieron las condiciones Tx3, T2 y comercial respectivamente. La condición con menor absorción en el fideo, lasaña y macarrón fueron la comercial, el control y T1, respectivamente.

Cuadro 21. Absorción de agua (%) de pastas comerciales y funcionales.

Formato	Comercial	Blanco	Control	T1	T2	Tx3	Tx4
Fideo	205±2.6	233±4.5	221±6.4	226±3.8	225±4.1	242±3.9	242±4.8
Lasaña	111±1.0	88±2.2	80±4.8	84±4.3	95±3.9	91±1.7	86±3.2
Macarrón	101±3.6	101±3.5	77±2.7	70±5.4	75±1.8	79±5.2	83±4.3

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL

8.5.2 Análisis sensorial de pastas comerciales y funcionales

Los resultados de la puntuación del análisis sensorial realizado al fideo comercial y funcional se muestran en el cuadro 22, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa en la textura, siendo las condiciones más aceptadas la comercial, el control, T1, T2 y Tx3 y la menos aceptada la Tx4; con respecto al sabor el fideo con mayor aceptación fue el control, T1 y T2 y el menos aceptado el Tx4. En los atributos de apariencia, color y olor no hubo diferencia significativa.

Cuadro 22. Puntuación del análisis sensorial de fideo comercial y funcional.

Condición	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor
Co	3.9 ± 1.37 ^a	4.1 ± 0.74 ^a	3.9 ± 0.74 ^a	4.3 ± 0.82 ^a	3.9 ± 0.32 ^{ab}
B	3.9 ± 1.20 ^a	4.3 ± 0.67 ^a	4.2 ± 0.42 ^a	3.2 ± 0.79 ^{ab}	3.9 ± 0.57 ^{ab}
C	3.9 ± 0.88 ^a	4.4 ± 0.52 ^a	4.5 ± 0.53 ^a	4.0 ± 0.82 ^a	4.2 ± 0.79 ^a
T1	4.0 ± 0.94 ^a	4.2 ± 0.42 ^a	4.3 ± 0.48 ^a	4.1 ± 1.20 ^a	4.2 ± 0.63 ^a
T2	3.7 ± 0.95 ^a	3.9 ± 0.88 ^a	4.2 ± 0.63 ^a	3.9 ± 0.32 ^a	4.1 ± 0.57 ^a
Tx3	4.0 ± 0.82 ^a	4.2 ± 0.63 ^a	4.1 ± 0.32 ^a	4.0 ± 0.82 ^a	4.0 ± 0.82 ^{ab}
Tx4	3.8 ± 0.79 ^a	4.2 ± 0.42 ^a	4.1 ± 0.57 ^a	2.6 ± 0.84 ^b	3.1 ± 0.88 ^b

Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados de la puntuación del análisis sensorial realizado a la lasaña comercial y funcional se muestran en el cuadro 23, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ no mostró diferencia significativa en ninguno de los atributos.

Cuadro 23. Puntuación del análisis sensorial de lasaña comercial y funcional.

Condición	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor
Co	4.0 ± 0.67 ^a	4.1 ± 0.32 ^a	4.0 ± 0.00 ^a	3.0 ± 1.05 ^a	3.7 ± 1.06 ^a
B	3.8 ± 0.44 ^a	3.8 ± 0.67 ^a	3.6 ± 0.73 ^a	3.0 ± 0.71 ^a	3.7 ± 0.50 ^a
C	3.6 ± 0.84 ^a	3.6 ± 0.70 ^a	3.9 ± 0.57 ^a	3.5 ± 0.97 ^a	3.6 ± 0.70 ^a
T1	3.8 ± 0.79 ^a	4.1 ± 0.57 ^a	4.1 ± 0.57 ^a	3.8 ± 1.14 ^a	3.7 ± 0.67 ^a
T2	3.8 ± 0.42 ^a	4.0 ± 0.47 ^a	4.1 ± 0.74 ^a	3.9 ± 0.74 ^a	3.7 ± 0.48 ^a
Tx3	4.1 ± 0.57 ^a	4.0 ± 0.67 ^a	4.2 ± 0.42 ^a	3.7 ± 0.82 ^a	3.6 ± 0.70 ^a
Tx4	3.7 ± 0.67 ^a	3.9 ± 0.32 ^a	4.0 ± 0.67 ^a	3.3 ± 0.67 ^a	3.3 ± 0.67 ^a

Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados de la puntuación del análisis sensorial realizado al macarrón comercial y funcional se muestran en el cuadro 24, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa en la apariencia siendo la condición con menos aceptación el macarrón blanco, en el color las condiciones con mayor puntaje fueron la comercial y la T1, y con menos puntuación el blanco. Con respecto al olor el color y la textura no hubo diferencia significativa.

Cuadro 24. Puntuación del análisis sensorial de macarrón comercial y funcional.

Condición	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor
Co	4.40 ± 0.70 ^a	4.10 ± 0.57 ^a	4.20 ± 0.42 ^a	4.00 ± 0.94 ^a	3.90 ± 0.57 ^a
B	2.80 ± 0.92 ^b	3.30 ± 0.67 ^b	4.20 ± 0.42 ^a	3.90 ± 0.74 ^a	3.90 ± 0.88 ^a
C	4.10 ± 0.57 ^a	4.00 ± 0.82 ^{ab}	4.20 ± 0.42 ^a	3.60 ± 0.97 ^a	3.50 ± 0.71 ^a
T1	3.90 ± 0.57 ^a	4.10 ± 0.57 ^a	4.30 ± 0.67 ^a	3.50 ± 0.97 ^a	3.67 ± 0.50 ^a
T2	3.80 ± 0.63 ^a	3.80 ± 0.42 ^{ab}	4.20 ± 0.42 ^a	3.30 ± 1.06 ^a	3.90 ± 0.74 ^a
Tx3	3.80 ± 0.63 ^a	3.90 ± 0.32 ^{ab}	4.10 ± 0.32 ^a	3.20 ± 1.23 ^a	3.50 ± 0.85 ^a
Tx4	4.00 ± 0.67 ^a	4.00 ± 0.47 ^{ab}	4.20 ± 0.63 ^a	2.90 ± 0.57 ^a	3.20 ± 0.42 ^a

Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico realizado a las pastas comerciales y funcionales en base a la apariencia se muestra en la figura 31, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, siendo las pastas con mayor puntuación el macarrón comercial, control y la lasaña Tx3, la pasta con menor puntuación fue el macarrón blanco.

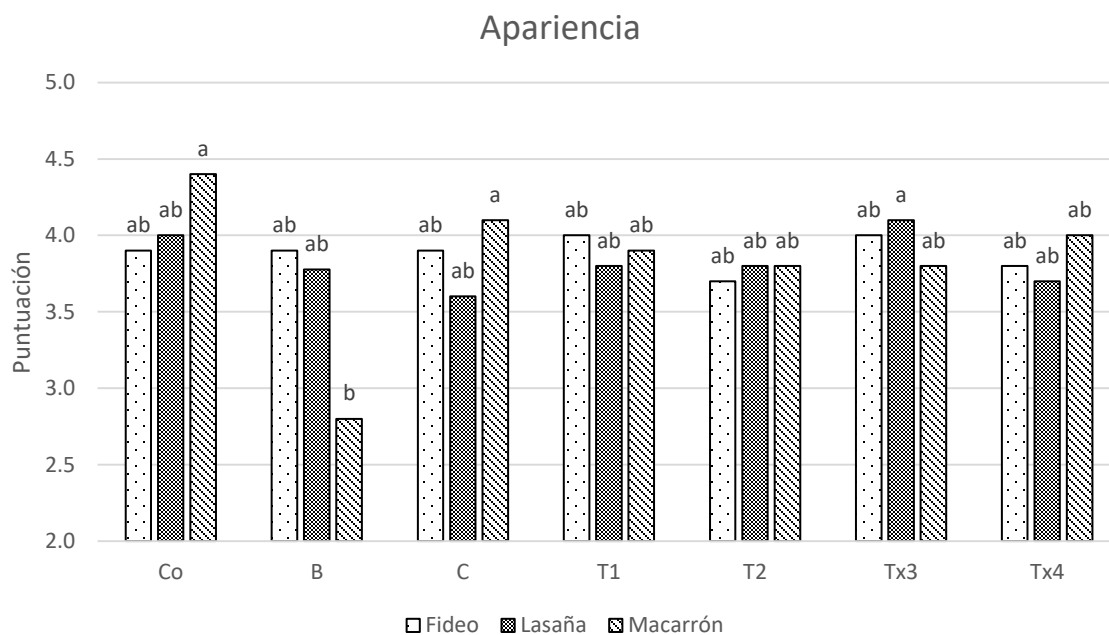


Figura 31. Análisis sensorial de la apariencia en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico realizado a las pastas comerciales y funcionales en base al color se muestran en la figura 32, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa siendo las pastas con mayor puntuación el fideo blanco y control, la pasta con menor puntuación fue el macarrón blanco.

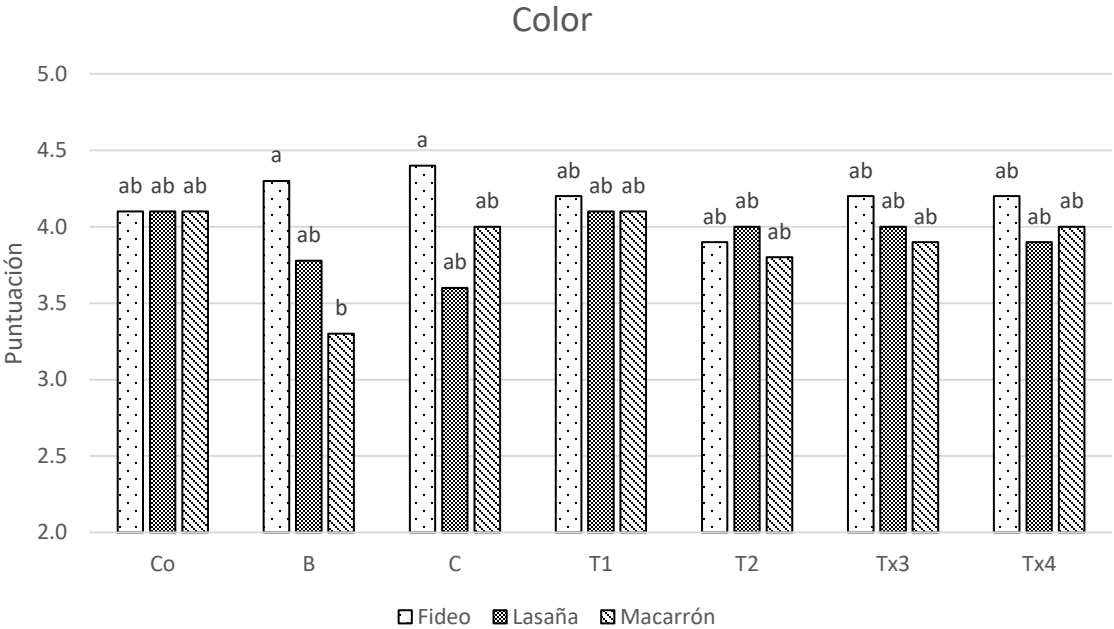


Figura 32. Análisis sensorial del color en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico realizado a las pastas comerciales y funcionales en base al olor se muestran en la figura 33, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa siendo el fideo control la pasta con mayor puntuación, la pasta con menor puntuación fue la lasaña blanco.

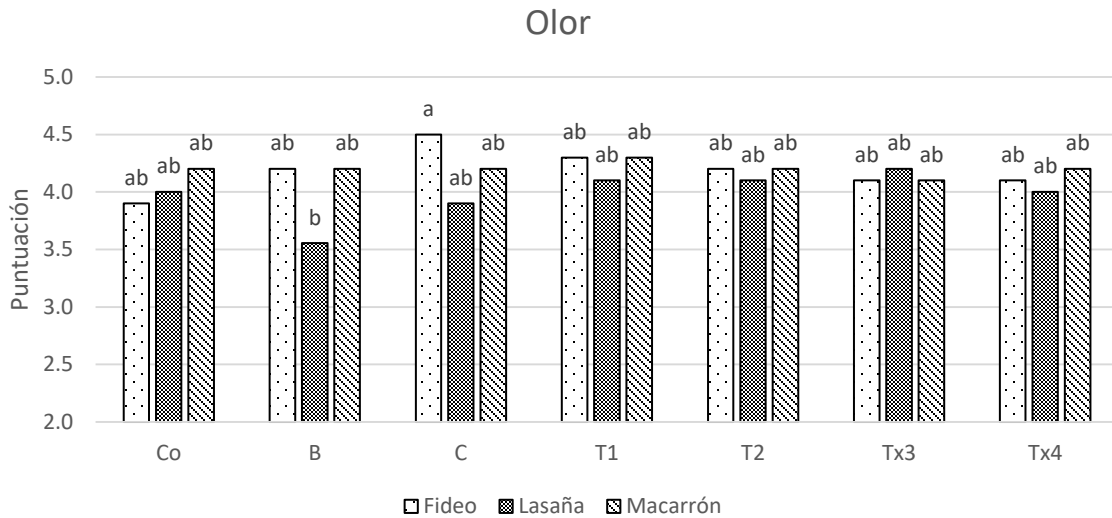


Figura 33. Análisis sensorial del olor en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico realizado a las pastas comerciales y funcionales en base a la textura se muestra en la figura 34, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa siendo las pastas con mayor puntuación el fideo comercial y T1, la pasta con menor puntuación fue el fideo Tx4.

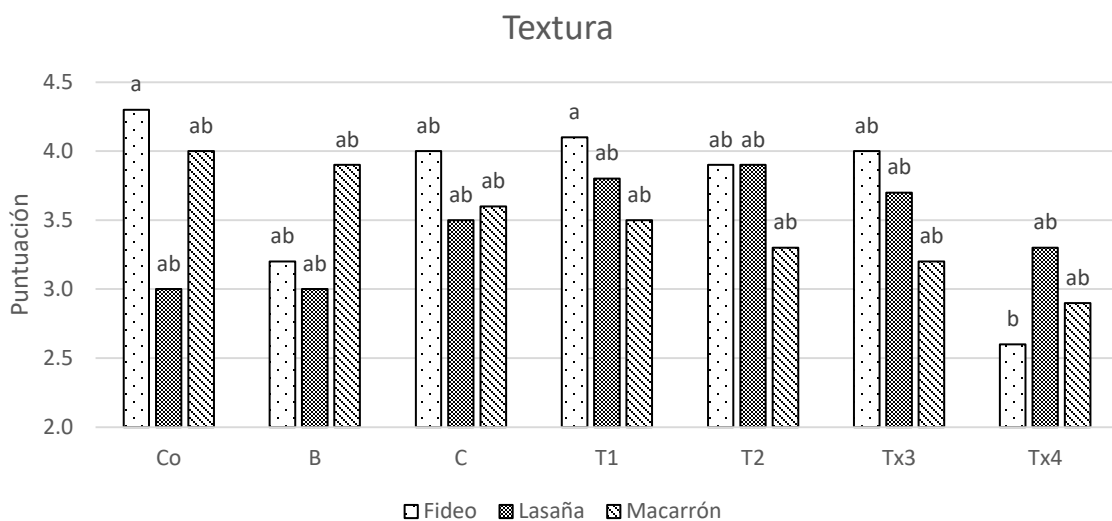


Figura 34. Análisis sensorial de la textura en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico realizado a las pastas comerciales y funcionales en base a la sabor se muestran en la figura 35, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ no mostró diferencia significativa entre las condiciones; sin embargo, se observó una tendencia de una menor puntuación conforme incrementa la concentración del extracto, esta tendencia fue más evidente en la condición Tx4.

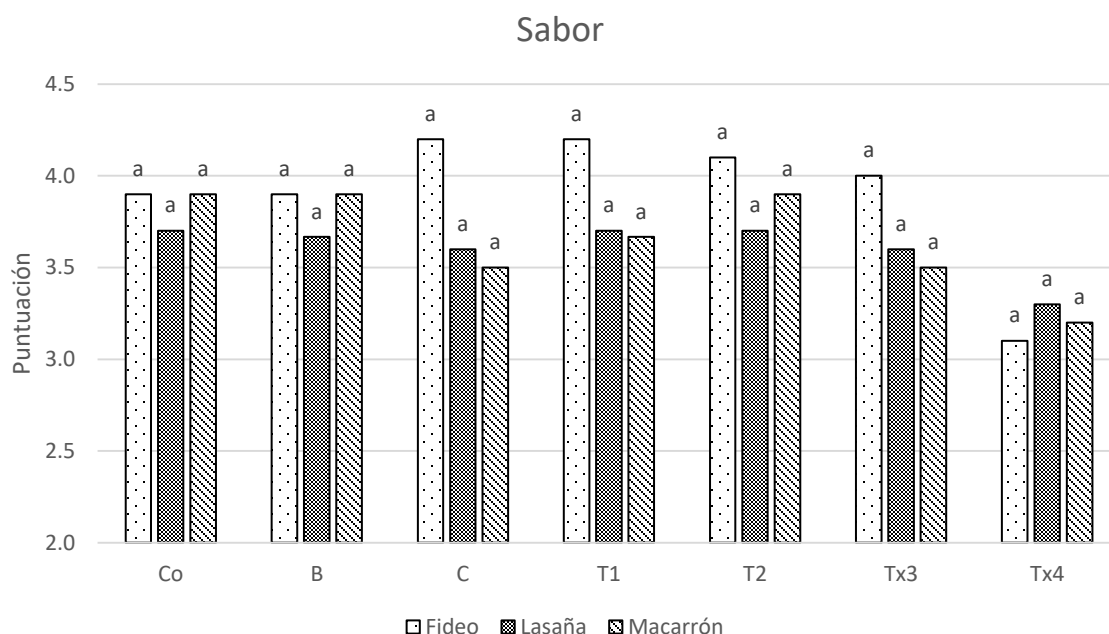


Figura 35. Análisis sensorial del sabor en pastas comerciales y funcionales. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.6 Inocuidad de pastas

8.6.1 Bacterias aerobias

Los resultados del conteo de bacterias aerobias de la prueba microbiológica en fideo comercial y funcional a las 48 horas de incubación se muestran en la figura 36. Se observó como el fideo más contaminado fue el blanco (agua), la condición comercial, control y T1 mostraron mayor contaminación que los tratamientos T2, Tx3 y Tx4.

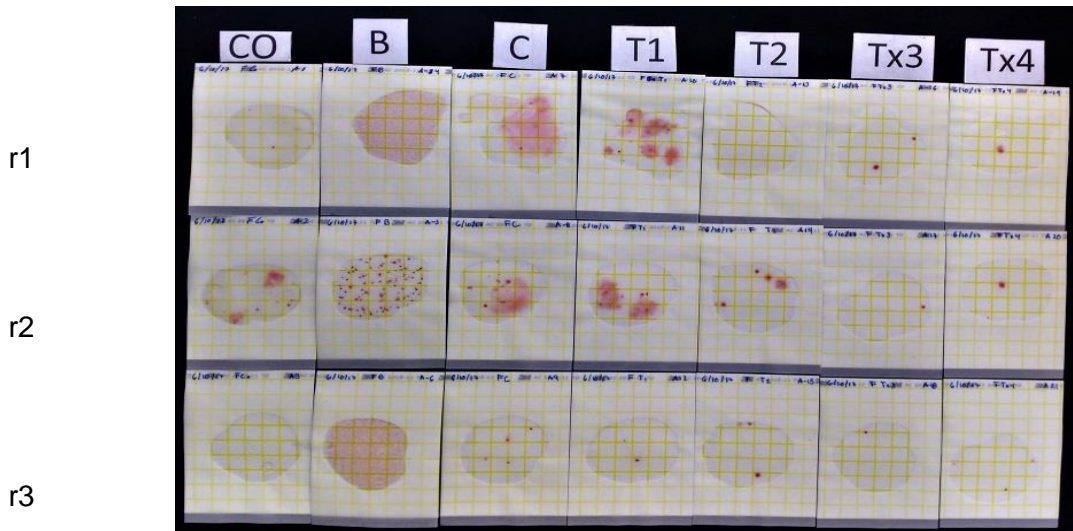


Figura 36. Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en fideo comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del conteo de bacterias aerobias de la prueba microbiológica en lasaña comercial y funcional a las 48 horas de incubación se muestran en la figura 37. Se observa como la lasaña más contaminada fue la condición blanco (agua), a diferencia del fideo, la lasaña comercial, control y T1 sólo mostró una mayor contaminación en una de sus réplicas. Los tratamientos T2, Tx3 y Tx4 mostraron un efecto bactericida.

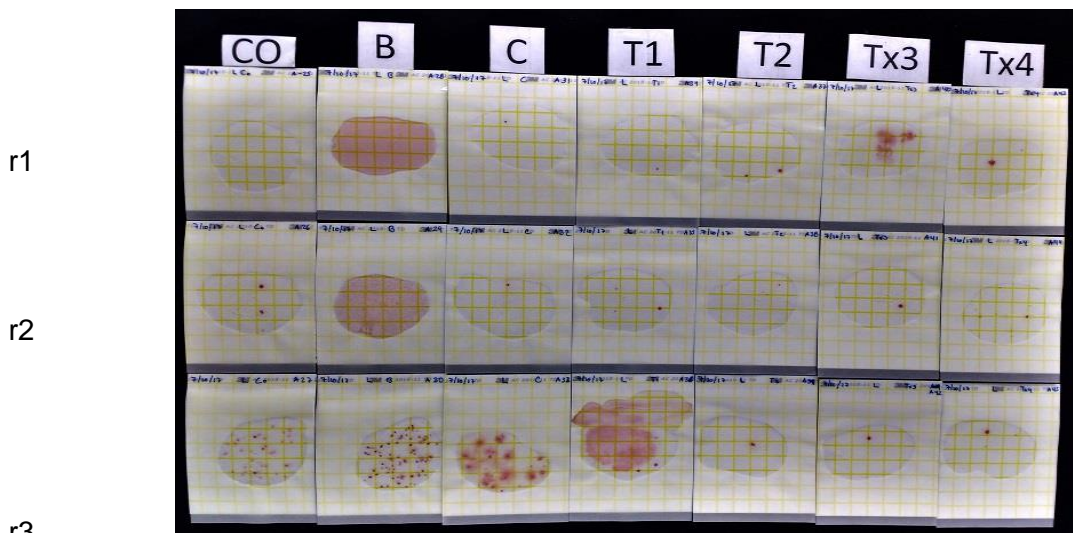


Figura 37. Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en lasaña comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del conteo de bacterias aerobias de la prueba microbiológica en macarrón comercial y funcional a las 48 horas de incubación se muestran en la figura 38. Se observa al igual que en el fideo y la lasaña, que la condición con mayor contaminación fue el macarrón blanco, los demás tratamientos a excepción del macarrón comercial muestran un efecto bactericida.

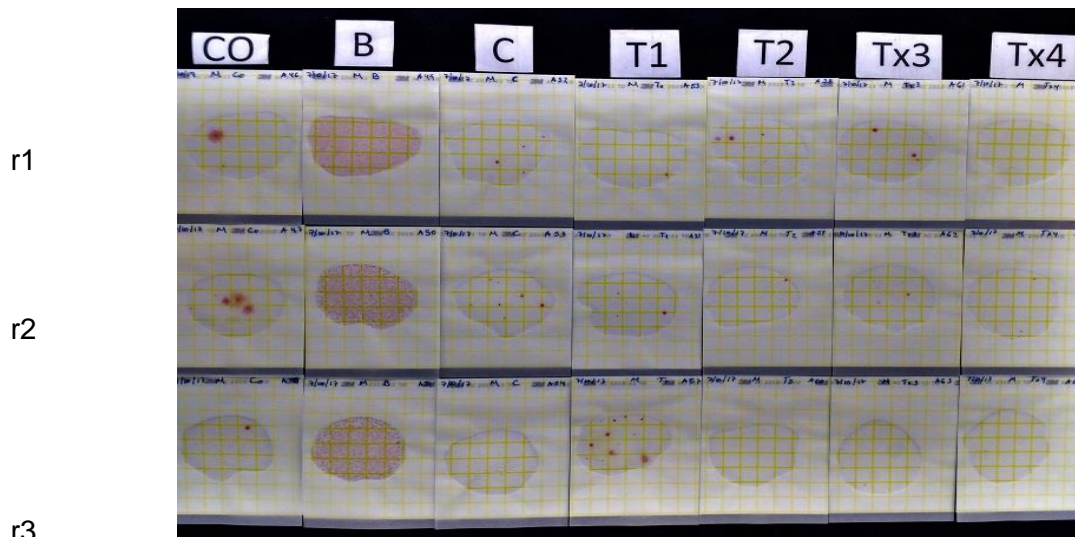


Figura 38. Prueba de inocuidad de bacterias aerobias en macarrón comercial y funcional a las 48 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El conteo de bacterias aerobias de pastas comerciales y funcionales a las 24, 48 y 72 horas de incubación se muestra en el cuadro 25. Las pastas más contaminadas fueron la condición blanco (elaboradas con agua), dichas muestras presentan un conteo superior a las 1000 UFC/mL, seguido de las pastas blanco las condiciones más contaminadas fueron la comercial y el control teniendo como un máximo de 36 UFC. La mayoría de las muestras mostraron su crecimiento máximo a las 48 horas de incubación.

Cuadro 25. Conteo de bacterias aerobias (UFC/mL) de pastas comerciales y funcionales con incubación de 24, 48 y 72 horas.

Condición	Réplica	Fideo			Lasaña			Macarrón		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
Comercial	1	3	7	7	8	8	13	1	4	4
Comercial	2	6	9	9	2	3	3	1	3	3
Comercial	3	23	36	36	5	33	33	1	3	3
Blanco	1	1116	1206	1284	2592	3024	3074	2489	2584	2641
Blanco	2	89	105	117	3168	3438	3479	1224	1386	1404
Blanco	3	954	1098	1116	56	71	73	828	1170	1260
Control	1	1	2	2	1	1	1	4	4	4
Control	2	5	9	9	1	1	1	5	7	7
Control	3	1	4	4	2	4	4	0	3	3
T1	1	6	10	10	0	1	1	1	1	1
T1	2	6	8	8	1	3	3	7	8	8
T1	3	1	2	2	3	3	3	6	13	13
T2	1	0	0	1	1	2	2	3	3	3
T2	2	3	5	5	1	3	3	1	1	1
T2	3	2	3	3	1	1	2	0	0	0
Tx3	1	2	2	2	2	3	3	1	2	2
Tx3	2	1	1	1	1	1	1	0	3	3
Tx3	3	0	1	1	1	1	1	0	1	0
Tx4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Tx4	2	3	4	4	2	6	6	2	2	2
Tx4	3	2	3	3	1	3	3	0	1	1

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Los resultados del análisis estadístico de la prueba microbiológica a las 48 horas de incubación se muestra en la figura 39, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa, obteniendo el mayor resultado la lasaña blanco, seguido del fideo y el macarrón blanco, en las demás pastas comerciales y funcionales no existió diferencia significativa.

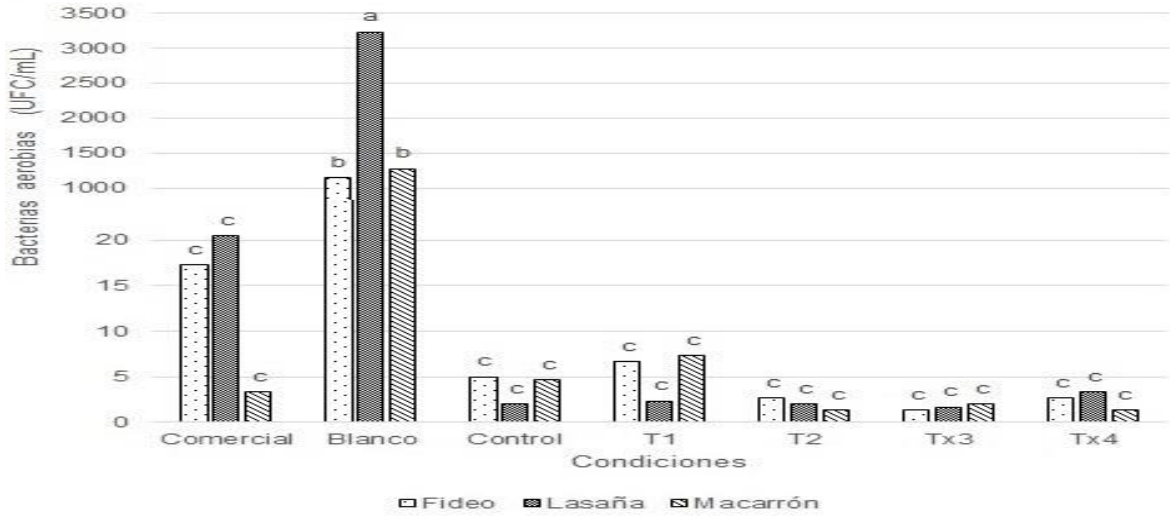


Figura 39. Bacterias aerobias (UFC/mL) en pastas comerciales y funcionales a 48 horas de incubación. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

Debido al número excesivo de UFC presente en la condición blanco, esta condición se eliminó para hacer más evidente el efecto de los tratamientos, el cual se muestran en la figura 40, donde la prueba de separación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ mostró diferencia significativa siendo las pastas más contaminadas las condiciones comercial, control y T1, y las menos contaminadas los tratamientos T2, Tx3 y Tx4.

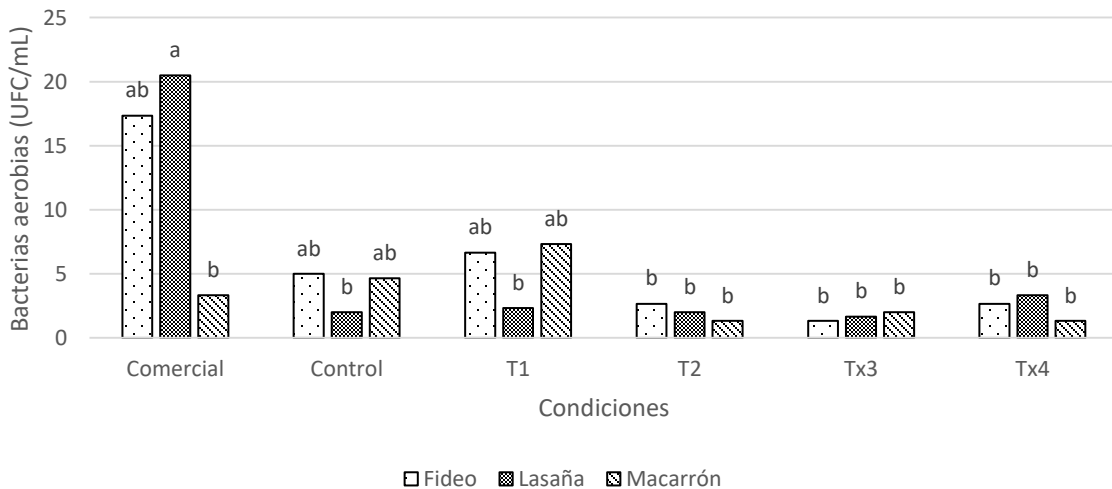


Figura 40. Bacterias aerobias (UFC/mL) en pastas comerciales y funcionales a 48 horas de incubación sin la condición blanco. Co= Comercial. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

8.6.2 Hongos y levaduras

La prueba microbiológica para conteo de hongos y levaduras en fideo comercial y funcional a las 120 horas de incubación se muestra en la figura 41. Todos los tratamientos presentan un número incontable de levaduras. Solo la condición comercial y control mostraron crecimiento de hongos, los tratamientos Tx3 y Tx4 mostraron una ligera presencia de hongos por lo que tendría un efecto fungistático.

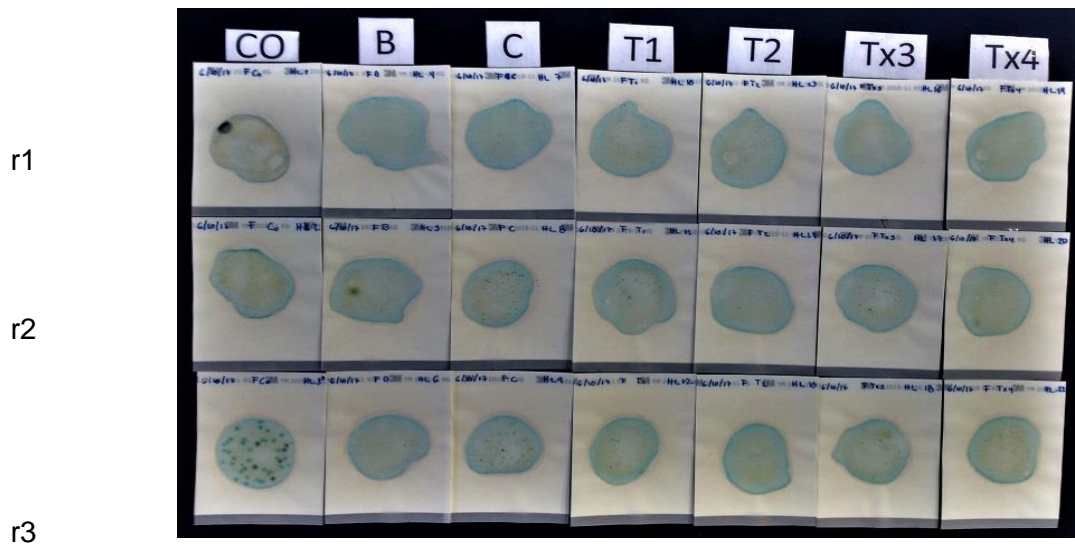


Figura 41. Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en fideo comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

La prueba microbiológica para conteo de hongos y levaduras en lasaña comercial y funcional a las 120 horas de incubación se muestra en la figura 42. Todos los tratamientos presentan un número incontable de levaduras. Solo la condición comercial y control mostró crecimiento de hongos.

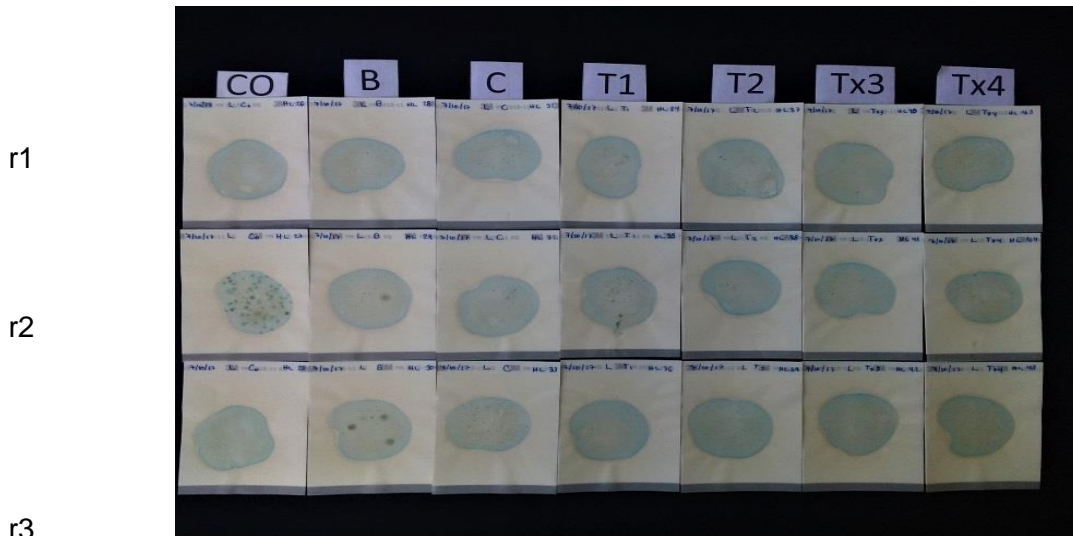


Figura 42. Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en lasaña comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

La prueba microbiológica para conteo de hongos y levaduras en macarrón comercial y funcional a las 120 horas de incubación se muestra en la figura 43. Todos los tratamientos presentan un número incontable de levaduras a excepción del macarrón comercial. La condición blanco fue la única que mostró crecimiento de hongos.

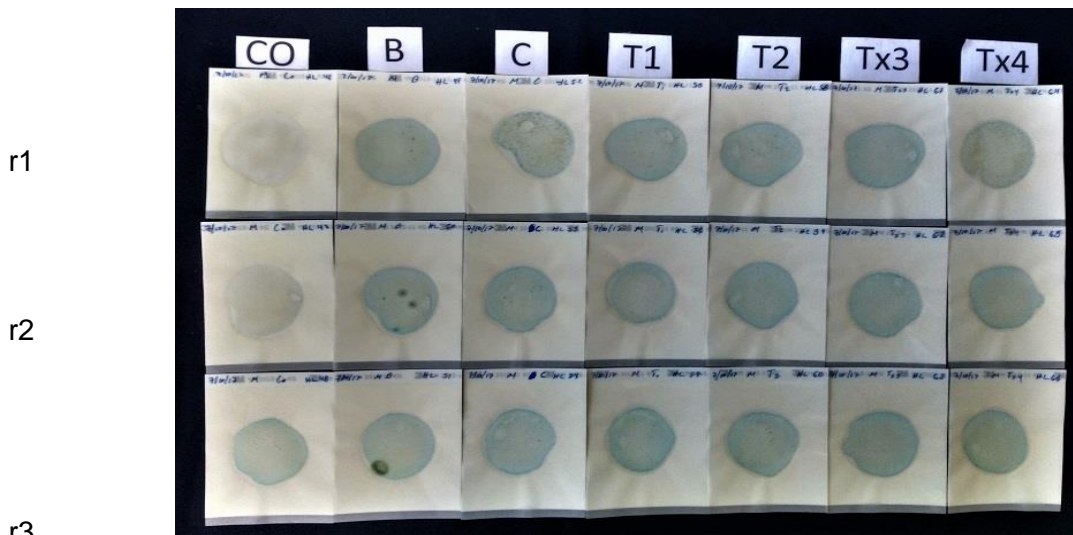


Figura 43. Prueba de inocuidad de hongos y levaduras en macarrón comercial y funcional a las 120 horas de incubación. r= Réplica. Co= Comercial. B= Blanco. C= Control. T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

El área determinada por el crecimiento de hongos y levaduras en las muestras microbiológicas de pastas comerciales y funcionales se muestra en el cuadro 26. Las condiciones con mayor superficie de levaduras en el fideo, la lasaña y el macarrón fueron el blanco, Tx4 y Tx3 respectivamente. Las condiciones que presentaron crecimiento de hongos en el fideo y la lasaña fueron la pasta comercial y la blanco, en el macarrón solo tuvo crecimiento de hongos la condición blanco. El formato con menor superficie de crecimiento de levaduras fue el macarrón, la lasaña tuvo 31% más y el fideo 39% más en comparación al macarrón.

Cuadro 26. Área (cm²) de crecimiento de hongos y levaduras en pruebas microbiológicas de pastas comerciales y funcionales

Condiciones	Fideo		Lasaña		Macarrón	
	Levaduras	Hongos	Levaduras	Hongos	Levaduras	Hongos
Comercial	15.8 ± 0.48	0.6 ± 0.07	16.6 ± 1.85	0.41 ± 0.07	0.0	0.0
Blanco	20.1 ± 3.41	0.1 ± 0.05	17.1 ± 1.44	0.3 ± 0.09	15.7 ± 1.95	0.38 ± 0.06
Control	17.1 ± 1.98	0.0	16.4 ± 1.44	0.0	14.9 ± 0.81	0.0
T1	19.1 ± 3.1	0.0	18.1 ± 1.26	0.0	14.6 ± 1.51	0.0
T2	19.6 ± 2.25	0.0	18.6 ± 2.28	0.0	15.8 ± 0.94	0.0
Tx3	18.0 ± 1.40	0.0	16.6 ± 1.26	0.0	16.4 ± 0.94	0.0
Tx4	19.3 ± 0.96	0.0	18.9 ± 2.30	0.0	15.5 ± 0.96	0.0

T1= Testigo 5 mg/mL. T2= Testigo 10 mg/mL. Tx3= Testigo + AAS 5 mg/mL. Tx4= Testigo + AAS 10 mg/mL.

IX. DISCUSIÓN

Parte fundamental de la calidad de las pastas depende de su apariencia, ya que el consumidor juzga a la pasta por su forma, color, longitud, entre otras variables. De acuerdo con Kill y Turnbull (2001), un producto de color opaco indicaría la elaboración de pastas con sémolas o harinas de baja calidad, además que la presencia de grietas o fisuras podrían afectar la cocción; estas características están presentes en las condiciones control, T1, T2, Tx3 y Tx4, sin embargo, en este caso el solvente hidroalcohólico presente en estas condiciones le otorga a la pasta mayor dureza y resistencia, caso contrario con la pasta elaborada con agua (blanco) que en las mismas condiciones de elaboración, mostró el defecto de fractura en la pasta después del deshidratado y de la cocción. Al elaborar pastas con materias primas y cantidades estandarizadas la humedad inicial y final del producto se mantiene estable con variaciones propias del proceso; sin embargo, el efecto del solvente hidroalcohólico al 35% presente en la pasta control y las adicionadas con *G. lucidum* facilitaron el manejo de la pasta fresca y evitó el apelmazamiento al haber una mayor evaporación de la fracción alcohólica durante al proceso de mezclado. El color de la pasta además de verse afectado por la acción de la soluciones hidroalcohólicas, también se vio afectado por la temperatura utilizada para el deshidratado (40 °C), de acuerdo con Piwinska *et al.* (2015), un secado a alta temperatura da como resultado un color amarillo más intenso.

Las pastas en sus condiciones T2 y Tx4 (10 mg/mL) mostraron un mayor contenido de polifenoles aumentando en promedio un 49% y las condiciones T1 y Tx3 (5 mg/mL) un 26% en comparación a la condición comercial, dichos resultados son coherentes con los obtenidos en diversos estudios de adicionamiento en pastas (Seczyk *et al.*, 2016; Sant'Anna *et al.*, 2014; Aravind *et al.*, 2012) los cuales mencionan que entre mayor sea la concentración del aditivo mayor será la propiedad funcional dichos resultados se ven reflejados en la correlación de contenido de polifenoles y el rendimiento de las soluciones de *G. lucidum*. Las condiciones Tx (testigo + AAS 10 mM) tuvieron mayor contenido de polifenoles totales que sus tratamientos homólogos T (testigo),

aumentando un 9% en promedio; estos resultados son similares a los obtenidos por Martínez-Carrera *et al.* (2016) y Pletacalco (2015) quienes encontraron mayores propiedades funcionales en extractos de *G. lucidum* suplementados con ácido acetilsalicílico indicando que el mismo tuvo un efecto sobre el metabolismo del hongo promoviendo los compuestos bioactivos del mismo. El contenido de polifenoles totales obtenido en este estudio (4.92 mgEAG/g) fue mayor a lo obtenido por Gull *et al.* (2016) en su pasta control, y adicionada con mijo obtuvo valores de 0.22 mgEAG/g y 0.67 mgEAG/g, respectivamente, y Sant'Anna *et al.* (2014), obtuvo 0.69 mgEAG/g en pastas control y 2.99 mgEAG/g añadiendo gabazo de uva a las pastas. En pastas adicionadas con algas, el mayor contenido de polifenoles fue de 0.90 mgEAG/g, esto al sustituir el 30% de la formulación y a pesar de adicionar las algas en diferentes concentraciones (0, 10, 20 y 30%) el contenido de polifenoles entre las muestras no mostró diferencia significativa (Prabhasankar *et al.*, 2009); lo que refiere a que la adición de polifenoles a través de extractos es más eficiente que la sustitución de harinas ya que mediante este proceso no se desnaturalizan los compuestos bioactivos de los hongos.

Las actividades antioxidantes más altas por DPPH las tuvieron las pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum* aumentando 57 y 89% en comparación a las pastas comerciales y blanco, respectivamente. En la determinación por ABTS aumentaron 43 y 61% y en la determinación por β carotenos aumentaron 26 y 33%, respectivamente. Al igual que en los polifenoles totales los tratamientos T2 y Tx4 (10 mg/mL) tuvieron una mayor actividad en comparación a los tratamientos T1 y Tx3 (5 mg/mL). La actividad antioxidante de las pastas adicionadas con extractos de *G. lucidum* fue mayor a los obtenidos por Gull *et al.* (2016), el cual obtuvo actividad antioxidante por DPPH de 38.45% al añadir orujo de mijo, mientras que su pasta control mostró una actividad antioxidante de 10.54%. De Paula *et al.* (2017), obtuvo valores mayores (62.9%) a los obtenidos en este estudio al realizar pastas de cebada; sin embargo, al realizar una sustitución completa de la harina de trigo *durum* o una formulación con valores altos de otras harinas las propiedades sensoriales y de cocción se vieron afectadas en gran medida. Los extractos de *G. lucidum* podrían considerarse con una fuerte actividad

antioxidante ya que otras pastas funcionales no alcanzan los porcentajes de inhibición referidas en este estudio; la máxima actividad antioxidante obtenida por la adición de algas marinas (*Undaria pinnatifida*) fue de 9.79% y 34.7% adicionando fibra dietaria insoluble (Prabhasankar *et al.*, 2009; Aravind *et al.*, 2012) contra el 56.74% obtenido en el fideo Tx4. Las pastas control (solvente hidroalcohólico) también mostraron un aumento de la actividad antioxidante del 52% por DPPH y 43% por ABTS en comparación a las pastas blanco (agua) lo que indicaría que la preparación de las pastas con la solución hidroalcohólica tendría un efecto protector de los compuestos antioxidantes presentes en la sémola. Este efecto también se observó en el trabajo de Aravind *et al.* (2012), el cual explicó que durante el proceso de elaboración de pastas, el oxígeno, el agua y el calor inducen la degradación de compuestos antioxidantes. Para los análisis por inhibición del radical ABTS los mayores porcentajes de inhibición se presentaron en el tratamiento T2; sin embargo, los valores fueron muy similares en los demás tratamientos. En la comparación de las técnicas de análisis la actividad antioxidante por ABTS superó a la obtenida por DPPH y β carotenos, estos resultados son congruentes a los obtenidos por Aravind *et al.* (2012), donde la actividad por ABTS también resultó mayor y similares a los resultados obtenidos por Adebayo *et al.* (2018) que sus actividades determinadas por DPPH y β carotenos fueron similares entre si e inferiores a las obtenidas por el ensayo ABTS. El aumento de la actividad antioxidante de las pastas añadidas con extractos de hongos en comparación al blanco y control pudo deberse a los compuestos fenólicos adicionados mediante los extractos. Cian *et al.* (2014), mencionó que los polifenoles tienen una potente actividad inhibitoria de radicales libres por lo que si la concentración de polifenoles añadidos es mayor su actividad antioxidante podría aumentar de igual forma.

Parte fundamental para la elaboración de un producto funcional es la aceptación sensorial del mismo; en este caso a pesar de que la adición de soluciones de *G. lucidum* tuvo un efecto en las características físicas de la pasta, el análisis sensorial mostró que una vez cocido el producto tiene una aceptación similar a la de productos comerciales y en algunos casos con una mayor aceptación, estos resultados fueron obtenidos debido a que la sémola de trigo *durum* no fue sustituida por ningún aditivo,

lo que conservó sus propiedades organolépticas. Otro factor de relevancia es la vida de anaquel de las pastas, la cual se ve beneficiada por el secado, ya que el objetivo principal del mismo es reducir la humedad hasta un nivel por debajo al 12.5% para asegurar que sea un producto microbiológicamente estable para su almacenamiento. De acuerdo con Del Nobile *et al.* (2008), algunos compuestos antimicrobianos naturales como el extracto de limón o de semillas de toronja pueden ser añadidos a pastas para mejorar su estabilidad microbiana, teniendo como resultado la reducción del crecimiento de bacterias específicas como *Staphylococcus spp.* De acuerdo con Petlcalco (2016) y Mitzi (2015), el extracto de *G. lucidum* tuvo un efecto bactericida en concentraciones superiores a los 10 mg/mL; por lo que la pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum* tuvieron un efecto significativo en la reducción de las UFC de bacterias aerobias. De acuerdo con Kill y Turnbull (2001), algunos mohos pueden sobrevivir hasta una actividad de agua de 0.65, en el caso de la pasta este valor corresponde a un contenido de humedad de 12.6%, a pesar de que las humedades finales de las pastas son inferiores al 12%, hubo presencia de hongos en las condiciones comercial y control, por lo que la presencia de la solución hidroalcohólica en el control y las condiciones T1, T2, Tx3 y Tx4 funcionarían como un método de barreras aunado al secado para mantener la inocuidad de las pastas.

Los análisis funcionales evaluados sobre los extractos de las pastas en sus 7 condiciones y el análisis sensorial de las pastas; muestran resultados favorables para los objetivos de este trabajo, ya que se nota un incremento del contenido de polifenoles totales, beta glucanos y actividad antioxidante en las pastas adicionadas con soluciones de *G. lucidum*, además de tener una buena aceptación por parte de los consumidores.

X. CONCLUSIONES

1. La elaboración de pastas funcionales con solución hidroalcohólica y con soluciones de *G. lucidum* mejoran las propiedades culinarias y la calidad de la pasta al formar un producto con mayor resistencia a la cocción.
2. Las solución hidroalcohólica y las soluciones de *G. lucidum* disminuyen el contenido proteico de las pastas al tener un efecto de desnaturalización de la proteína.
3. La elaboración de pastas con soluciones de *G. lucidum* aumenta el contenido de polifenoles totales en el producto final y al existir una correlación directa entre los polifenoles y la actividad antioxidante esta última se ve aumentada de igual forma.
4. A mayor concentración de las soluciones de *G. lucidum* mayor será el aumento de polifenoles totales y de la actividad antioxidante; es decir que las soluciones de 10 mg/mL (T2 y Tx4) tienen un mayor beneficio en la utilización como agente funcional.
5. Las soluciones de *G. lucidum* obtenidas del cultivo con ácido acetilsalicílico (Tx) tuvieron un mayor contenido de polifenoles totales en comparación con las soluciones Testigo (T), por lo que su uso podría potencializar las propiedades funcionales otorgadas a las pastas.
6. El formato con mejores propiedades funcionales fue el fideo, seguido de la lasaña y el macarrón.
7. Las pastas elaboradas con extractos de *G. lucidum* presentan mayor funcionalidad que las pastas comerciales y la aceptación sensorial fue similar en ambos casos, por lo que dichas pastas tienen un gran potencial como alimento funcional.

XI.CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Con base a los resultados obtenidos en este trabajo la hipótesis de que la adición de extractos de *Ganoderma lucidum* aumentará las propiedades funcionales (actividad antioxidante y polifenoles totales) de las pastas elaboradas a partir de sémola de trigo *durum* y tendrán buena aceptación entre los consumidores, es aceptada teniendo un gran potencial como alimento funcional y como parte de una cadena productiva para la agregación de valor de los hongos medicinales y funcionales.

XII. ESTRATEGIA PARA LA AGREGACIÓN DE PROPIEDADES FUNCIONALES DE *G. lucidum* A ALIMENTOS DE AMPLIO CONSUMO

12.1 Introducción

La globalización y los cambios en los patrones de consumo han generado un gran cambio en el sistema agroalimentario mundial y en la salud de la población; en este contexto, México juega un papel de suma importancia debido a su gran diversidad biológica, ecológica y cultural; como proveedor de recursos naturales y de consumo para otros países. Los hongos comestibles, funcionales y medicinales forman parte de la cadena agroalimentaria emergente más importante siendo un proceso biotecnológico rentable y sustentable. En base a lo anterior los hongos comestibles, funcionales y medicinales pueden innovar la cadena agroalimentaria a través de la agregación de valor, lo cual puede hacerse mediante la adición de propiedades funcionales a alimentos de amplio consumo (Martínez-Carrera, *et al.*, 2016). La generación de nuevos productos a base de hongos en México se inició a partir del año 2005 con productos como bebidas (extractos, jarabes, café, té, chocolate, vino), suplementos (polvo, capsulas) y artículos para el cuidado personal (crema, jabón) (Mayett, *et al.*, 2012).

En la presente estrategia se plantea la promoción de las propiedades funcionales y medicinales del hongo *G. lucidum* a través de productos de consumo frecuente como lo son las pastas y así generar un incremento en el consumo de los hongos; así mismo se buscará generar un vínculo entre los productores y las empresas alimenticias para que en conjunto con los consumidores, el sector gubernamental y las instituciones de investigación potencialicen el desarrollo de productos funcionales. Una vez generado este vínculo se trabajara en el fortalecimiento de la relación entre dichos actores para la creación de nuevos productos además de las pastas. Para conocer cuál es el potencial y las limitaciones de dicha estrategia se desarrolló la matriz de potencialidades y limitaciones que se muestra en el cuadro 27.

Cuadro 27. Matriz de potencialidades, limitaciones y problemas de la estrategia propuesta.

Área temática	Potencialidades	Limitaciones	Problemas
Recursos naturales y ambientales	Variedad de recursos genéticos nativos. Utilización de residuos agroindustriales y uso sustentable del recurso hídrico.	Falta de conocimiento en la adición de extractos de hongos en productos alimenticios y dependencia de importaciones en cereales como el trigo.	Cambio climático y sobre explotación de los recursos naturales utilizados en la elaboración de alimentos.
Sistema físico-natural	Diversidad climatológica de México lo que conlleva a una diversidad fúngica para explotación de sus propiedades.	Distribución de las especies de hongos comestibles.	Fenómenos naturales que afecte la producción de materias primas.
Área económica	Venta de productos funcionales para mercados nicho.	Falta de inversión en la investigación y desarrollo de productos funcionales a partir de hongos.	Variación de costos de materias primas.
Demografía y mercado de trabajo	Generación de demanda de hongos comestibles, funcionales y medicinales así como demanda de mano de obra.	Personal capacitado para la elaboración de extractos y su adición en alimentos.	Cadena de suministros insuficiente.
Infraestructura	Requerimientos para la aplicación de extractos a alimentos es de fácil acceso.	Falla en los procesos de estandarización por falta de infraestructura.	Escalamiento de laboratorio a plantas industriales requiere de una vinculación intersectorial.
Aspectos institucionales	Apertura de instrucciones para la investigación y aplicación de biotecnología fúngica.	Recursos limitados de personal calificado para la aplicación de extractos de hongos en alimentos.	Escasa vinculación entre instituciones de vinculación e industria alimentaria.

12.2 Actores

Parte fundamental para el desarrollo de una estrategia se basa en la vinculación intersectorial e integrativa de los grupos involucrados en el sistema agroalimentario del país, haciendo énfasis en el vínculo entre el sector público, social y privado, sin embargo, para llegar a esta vinculación es necesario primeramente que la academia realice la investigación necesaria para así poder desarrollar un esquema de trabajo que pueda ser replicado a gran escala entre el sector social y privado. Los actores participantes en dicha estrategia son los siguientes:

Productores: Los productores serán el principio de la cadena de suministros al proveer los hongos comestibles, funcionales y medicinales propios para la elaboración de

extractos. Su participación es esencial en el funcionamiento de la estrategia al realizar el cultivo de forma estandarizada para su posterior agregación de valor.

Sector gubernamental: es fundamental la participación del sector gubernamental para el apoyo e implementación de proyectos que beneficie e incremente la producción de dichos recursos de forma sustentable.

Instituciones de investigación: las instituciones y centros de investigación proveerán de personas calificadas para el aprovechamiento, transformación y aplicación de las investigaciones realizadas. Así mismo darán sustento científico para la producción de alimentos funcionales a partir de hongos.

Industria: La industria fungirá como el medio para la transformación de los recursos naturales en alimentos funcionales así mismo será el medio de distribución para fomentar el consumo y uso de los hongos.

Consumidores: los consumidores son la parte final de esta cadena productiva quienes tendrán una mayor cantidad de productos funcionales a su alcance y fortalecerán el consumo de los mismos.

12.3 Objetivos

Los objetivos de dicha estrategia se encuentran concentrados en el cuadro 27.

Cuadro 28. Asignación de objetivos de la estrategia para la elaboración de alimentos adicionados con extractos de *Ganoderma lucidum*.

Objetivo general	Elaborar alimentos funcionales mediante la adición de extractos de <i>G. lucidum</i> .
Objetivo específico	Promover las propiedades funcionales y medicinales del hongo <i>G. lucidum</i> y proveer de alimentos funcionales que ayuden a la salud de los consumidores.
Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de los recursos genéticos de <i>G. lucidum</i> y manejo sustentable de los recursos. • Incremento en la producción y demanda de <i>G. lucidum</i>. • Generación de valor agregado para los hongos funcionales.
Actividades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar los efectos toxicológicos de los alimentos funcionales. 2. Realizar el análisis financiero de la producción de alimentos adicionados con extractos de <i>G. lucidum</i>.

3. Escalar la producción de alimentos adicionadas con extractos de hongos a planta piloto.
4. Realizar un análisis de mercado para la generación de nuevos alimentos funcionales.

México se muestra como un país con un gran potencial en la producción y consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales al ser el principal productor aportando el 80.8% de la producción de Latinoamérica; en el 2011 la producción se estimó en 62374 toneladas de hongos frescos y procesado. El monto anual de las operaciones comerciales supera los 200 millones de dólares, además de la parte económica la producción de hongos representa una alternativa con un gran potencial por la utilización de residuos y el manejo sustentable del recurso hídrico (Mayett y Martínez-Carrera, 2016). El desarrollo de la producción, consumo y generación de valor agregado de los recursos fúngicos de México mediante la promoción de las propiedades y productos funcionales de consumo frecuente beneficiará de manera integral el desarrollo del país.

XII. LITERATURA CITADA

- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn., U.S.A.: American Association of Cereal Chemists.
- Adebayo, E., Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Escudero, H., Meneses, M., Avila-Nava, A., Castillo, I. y 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
- Acosta, K. 2007. Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémola de diferentes variedades de cebada (tesis de licenciatura). Universidad autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- Alves, M.J., Froufe H.J., Costa A.F., Santos A.F., Oliveira L.G., Osorio S.R., Abreu R.M., Pintado M., Ferreira I. 2014. Docking Studies in Target Proteins Involved in Antibacterial Action Mechanisms: Extending the Knowledge on Standard Antibiotics to Antimicrobial Mushroom Compounds. *Molecules*, 19, Iss 2, Pp 1672-1684 (2014), (2), 1672. doi:10.3390/molecules19021672
- Aravind, N., Sissons, M., Egan, N. & Fellows, C. 2012. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 130, 299-309.
- Astaíza, M., Ruíz, L. y Elizalde, A. 2010. Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild.*) y zanahoria (*Daucus carota*). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 8(1): 43-53.
- Bidegain, M., P. Postemsky, R. González, D. Figlas, R. Devalis, S. Delmastro, C. Pereyra, N. Curvetto y M. Cubitti. 2014. Optimización de la producción del hongo medicinal Reishi (*Ganoderma lucidum*) para el desarrollo de nutraceuticos y fitoterápeuticos. V Jornadas Académicas de la RedVITEC.
- Bishop, K., Kao, C., Xu, Y., Glucina, P., Paterson, R. & Ferguson, L. 2015. From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemistry*, 114, 56-65.
- Bruijin, J., Loyola C., Aqueveque P., Cañumir J., Cortez M. y France A. 2010. Extraction of secondary metabolites from edible Chilean Mushrooms. Capítulo 1. Pp 3-18. En: *Hacia un desarrollo sostenible del sistema producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI*. Eds. Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V. COLPS-UNS-CONACYT-UAEM-UPAEP-IMINAP. México.

- Cárdenas, A., Beta, T., Loarca, G., Castaño, E., Nieto, J. y Mendoza, S. 2016. Improved functional properties of pasta: Enrichment with amaranth seed flour and dried leaves. *Journal of Cereal Science*, 72: 84-90.
- CEPAL. 2009. *Biotechnología y desarrollo. Colección de proyectos publicado por las Naciones Unidas*. Santiago de Chile.
- Cian, R., Caballero, M., Sabbag, N. y González, R. 2014. Bio-accessibility of bioactive compounds (ACE inhibitors and antioxidants) from extruded maize products added with a red seaweed *Porphyra columbina*. *LWT Food Science and Technology*, 55: 51-58.
- Cruz, L. 2007. Alimentos funcionales. *Biotempo*, 7: 46-54.
- De Paula, R., Rabalski, I., Messia, M., El-Sayed, M., Aal, A. y Marconi, E. 2017. Effect of processing on phenolic acids composition and radical scavenging capacity of barley pasta. *Food Research International*, 102 : 136-143.
- Del Nobile, M., Di Benedetto, N., Suriano, N., Conte, A., Corbo, M. y Sinigaglia, M. 2009. Combined effects of chitosan and MAP to improve the microbial quality of amaranth homemade fresh pasta. *Food Microbiology*, 26: 587-591.
- Del Nobile, M., Di Benedetto, N., Suriano, N., Conte, A., Lamacchia, C., Corbo, M. y Sinigaglia, M. 2009. Use of natural compounds to improve the microbial stability of Amaranth-based homemade fresh pasta. *Food Microbiology*, 26: 151-156.
- Duru, M., y Çayan, G. 2015. Biologically Active Terpenoids from Mushroom origin: A Review. *Records of Natural Products*, 9: 456-483.
- Escobar, H. y Agrimbau, M. 2007. Alimentos funcionales ¿Solución de todos los problemas ? *Revista Gastrohup*, 9 :15-18.
- FAO. 2003. *Perfiles nutricionales por países. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación*.
- Fuentes, L., Acevedo, D. y Gelvez, V. 2015. Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13: 140-149.
- Giavasis, I. 2014. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Current Opinion in Biotechnology*, 26 : 162-173.
- González, L., Perea, J. y Ortega R. 2015. Los alimentos funcionales en el contexto de la dieta mediterránea. *Mediterráneo Económico*, 27: 139-160.

- Granito, M. y Ascanio, V. 2009. Desarrollo y transferencia tecnológica de pastas funcionales extendidas con leguminosas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1): 71-77.
- Granito, M., Pérez, S. y Valero, Y. 2014. Calidad de cocción, aceptabilidad e índice glicémico de pasta larga enriquecida con leguminosas. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(4): 425-432.
- Gull, A., Prasad, K. y Kumar, P. 2016. Nutritional, antioxidant, microstructural and pasting properties of functional pasta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 1-7.
- Hleba, L., Kompas, M., Hutková, J., Rajtar, M., Petrová, J., Čuboň, J. y Kačániová, M. 2016. Antimicrobial activity of crude ethanolic extracts from some medicinal mushrooms. *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*, 560-63.
- Hu, S., Liang, Z., Chia, Y., Lien, J., Chen, K., Lee, M. y Wang, J. 2006. Antihyperlipidemic and antioxidant effects of extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2103-2110.
- IMCO. 2015. Kilos de más, pesos de menos. Los costos de la obesidad en México. Instituto mexicano para la competitividad.
- INEGI. 2015, Instituto nacional de estadística y geografía.
- Kill, R. y Turnbull, K. 2001. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Zaragoza España. Acribia.
- Kim, S., Kang, M. y Kim, M. 2008. Quality characteristics of noodle added with browned oak mushroom (*Lentinus edodes*). *Korean J. Food Cookery Sci*, 24 (5): 665-671.
- Kim, J., Lee, S., Bae, I., Park, H., Lee, H. y Lee, S. 2011. (1-3)(1-6)- β -Glucan- enriched material from *Lentinus edodes* mushroom as a high-fibre and low-calorie flour substitute for baked foods. *JSCI Food Agriculture*, 91: 1915-1919.
- Kim, S., Lee, J., Heo, Y. y Moon, B. 2016. Effect of *Pleurotus eryngii* mushroom β *Glucan on quality characteristics of common wheat pasta. *Journal of Food Science*, 81 (4): C835-C840.
- Kobori, M., Yoshida, M., Ohnishi-Kameyama, M. y Shinmoto, H. 2007. Ergosterol peroxide from edible mushroom suppresses inflammatory responses in RAW264.7 macrophages and growth of HT29 colon adenocarcinoma cells. *British Journal of Pharmacology*, 150: 209-219.

- Lindequist, U., Niedermeyer, H. y Wolf, J. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 2(3): 285- 299.
- Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobbetti, M. y Giuseppe, C. 2017. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *LWT- Food Science and Technology*, 78: 215-221.
- Lu, X., Brennan, M., Serventi, L., Mason, S. y Brennan, C. 2016. How the inclusión of mushroom powder can affect the physicochemical characteristics of pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 51: 2433-2439.
- Martínez, S. 2001. La canasta básica alimentaria en México (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez, I. y Villezca, B. 2003. Alimentación en México. Un estudio a partir de la Escuela Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares. *Revista de Información y Análisis*. 21: 26-37
- Martínez, C. 2010. Utilización de pastas como alimentos funcionales (Tesis doctoral). Universidad nacional de la Plata. Argentina.
- 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., A. Larqué-Saavedra, A. Tovar, N. Torres, M. E. Meneses, M. Sobal, P. Morales, M. Bonilla, H. Escudero, I. Tello-Salgado, T. Bernabé-González, W. Martínez y Y. Mayett. 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.
- Mayett, Y., Martínez-Carrera, D., Sobal, M., Morales, P. y Bonilla, M. 2012. Mushroom prices and their effect on consumption: the case of Mexico. *Micología Aplicada Internacional*, 24: 11-26.
- Mayett, Y. y Martínez-Carrera, D. 2016. Estrategias para promover el consumo de hongos comestibles en México, con base en sus propiedades funcionales y

- medicinales. Capítulo 36. Pp 781-810. 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.
- Meneses, M., Martínez-Carrera, D., Torres, N., Sánchez, M., Aguilar, L., Morales, P., Sobal, M., Bernabé, T., Escudero, H., Granados, O. y Tovar, A. 2016. Hypocholesterolemic properties and prebiotic effects of mexican *Ganoderma lucidum* in C57BL/6 mice. Plos One, 11(7).
- Millone, M., Olagnero, G. y Santana, E. 2011. Alimentos funcionales : análisis de la recomendación en la práctica diaria. DIAETA, 29 : 7-15.
- Mitzi, V. 2015. Desarrollo de un suplemento alimenticio a base del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* y semillas de amaranto: su impacto potencial en la región central de México. Tesis de Maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados Campus Puebla.
- Mizuno, T. y Zhuang, C. 1995. Maitake, Grifola frondosa: pharmacological effects. Food Reviews International, 11: 135-149.
- Müller, L., S. Gnoyke, M. A. Popken y V. Böhn. 2010. Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. LWT-Food Science and Technology 43, 992-999.
- Murcia, M., Vera, A. y Martínez, M., 2003. Sustancias antioxidantes presentes en los alimentos. Capítulo VI. Pp 97-119. En: Nuevos alimentos para nuevas necesidades. Instituto de salud pública. España.
- Murillo, E., Lombo, O., Tique, M. y Méndez, J. 2007. Potencial Antioxidante de Bauhinia Kalbreyeri Harms (FABACEAE). Información Tecnológica 18: 65-74.
- Nieto, I. 2010. Química y biotecnología fúngica. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Noguchi, M., T. Kakuma, K. Tomiyasu, F. Konishi, S. Kumamoto, R. Kondo y K. Matsuoka. 2005. Phase I study of a methanol extract of *Ganoderma lucidum*, edible and medicinal mushroom, in men with mild symptoms of bladder outlet obstruction. *Urology* 66: 21
- Norma mexicana NMX-f-023- NORMEX-2002. Alimentos - Pasta - Características, denominación, clasificación comercial y métodos de prueba.
- Oh, B., Lee, Y., Kim, Y., Kang, J., Jung, K. y Park, J. 2010. Quality characteristics of dried noodles prepared by adding *Hericim erinaceum* powder and extract. Korean J. Food Science and Technology, 42 (6): 714-720.

- Okamura, T., Takemura, K., Sera, M., Takeno, T., Noda, H., Fokuda, S. y Ohsugi, M. 2001. Characteristics of cheese-like food produced y fermentation of the mushroom *Schizophyllum commune*. Journal of Biosciencie and Bioengineering, 92: 30-32.
- Olmedilla, B. y Granado, F. 2007. Componentes bioactivos. Capítulo 9. Pp 170-193. En: Alimentos funcionales Aproximación a una nueva alimentación. Dirección general de salud pública y alimentación. España
- ONU. 1992. Convenio sobre la biodiversidad biológica. United Nations Teatry Collections. Río de Janeiro, Brasil.
- Organización Internacional de pasta. 2011.
<http://www.internationalpasta.org/index.aspx>
- Ozen, A., Pons, A. y Tur, J. 2012. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review. Nutritions Reviews, 70: 472-481.
- Öztürk, M., Duru, M., Kivrak, S., Mercan-Doğan, N., Türkoglu, A. y Özler, M. 2011. In vitro antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: a comparative study on the three most edible mushrooms. Food and Chemical Toxicology 49: 1353-1360.
- Pavel, K. 2012. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. Journal Science of Food and Agriculture, 93(2): 209–218.
- Pérez, B., Mayett, Y., Jiménez R., Sobal, M., Morales, P., Bonilla, M., Ramírez-Carrasco, P., Tello I., Trigos, A., Mendoza, G., Soriano-Santos, J., González N. y Martínez-Carrera, D. 2010. Desarrollo de bebidas y alimentos funcionales a partir de los recursos genéticos de hongos comestibles y medicinales en México. Capítulo 15. Pp 221-242. En: Hacia un desarrollo sostenible del sitema producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI. Eds. Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V. COLPS-UNS-CONACYT-UAEM-UPAEP-IMINAP. México.
- Petlcalco, B. 2016. Caracterización y viabilidad financiera de extractos hidroalcohólicos de *Ganoderma lucidum* por maceración, como estrategia de aprovechamiento de los recursos genéticos nativos. Tesis de Maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla.
- Piwinska, M., Wyrwicz, J., Kurek, M. y Wierbicka, A. 2015. Hydratión and physical properties of vacuum-dried durum wheat semolina pasta witch high-fiber oat powder. Food Science and Technology, 63: 647-653.

- Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L., Hosokawa, M. y Miyashita, K. 2009. Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria Pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemistry*, 50: 501-508.
- Radulović, N., Blagojević, P., Stojanović-Radić, Z. y Stojanović, N. 2013. Antimicrobial plant metabolites: Structural diversity and mechanism of action. *Curr. Med. Chem.* 20: 932–952.
- Reis, F., Martins, A., Vasconcelos, M., Morales, P. y Ferreira, I. 2017. Functional foods based on extracts or compounds derived from mushroom. *Trends in Food Science & Technology*, 66: 48-62.
- Roberfroid, M. 2002. Functional food concept and its application to prebiotics. *Digest Liver Disease*, 34 (2):S105-S110.
- Sant Anna, V., Porta, F., Ferreira, L., Tessaro, I. y Silveria, R. 2014. The effect of the incorporation of grape marc powder in fettuccini pastas properties. *LWT Food Science and Technology*, 58 : 497-501.
- Sarmiento, L. 2006. Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Orinoquia*, 10 : 16-23.
- Seczyk, L., Swieca, M. y Gawlik, U. 2016. Effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food chemistry*, 194 : 637-642.
- Smania E., Delle Monache F., Smania, A., Yunes R. y Cuneo R. 2003. Antifungal activity of sterols and triterpenes isolated from *Ganoderma annulare*. *Fitoterapia*, 74: 375-377.
- Taofiq, O., Heleno, S., Calhelha, R., Alvez, M., Barros, L., González, A., Barreiro, M. y 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.
- Tello, I., Montiel, E., León, I. y Martínez, D. 2016. Propiedades funcionales novedosas de *Ganoderma lucidum*: actividad neuroprotectora y anticonvulsiva. Capítulo 37. Pp 811-826. 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.
- Trigos, A. y Suárez, J. 2010. Los hongos como alimentos funcionales y complementos alimenticios. Capítulo 6. Pp 77-90. En: *Hacia un desarrollo sostenible del sistema producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en*

Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI. Eds. Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V. COLPS-UNS-CONACYT-UAEM-UPAEP-IMINAP. México.

Ugarcic, Z., Jukic, M. y Koceva, D. 2007. Quality parameters of noodles Made with Various supplements. *Czech Journal Food Sciencie*, 25 (3): 151-157.

Ulziijargal, E., Yang, J., Lin, L., Chen, C. y Mau, J. 2013. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. *Food Chemistry*, 138: 70-76.

Villate, S. y Castellanos, O. 2011. Perspectivas de la biotecnología de alimentos en Colombia. *Revista colombiana de biotecnología*, 2: 69-72.

Zjawiony, J. 2004. Biologically active compounds from Aphyllophorales (polypore) fungi. *Journal of Natural Products* 67: 300-310.