



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS

**CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA  
REGIONAL

**EFECTO DEL CONSUMO DE HONGOS  
COMESTIBLES, FUNCIONALES Y  
MEDICINALES EN UN MODELO DE  
OBESIDAD INDUCIDO POR DIETA:  
ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL ESTADO  
NUTRICIONAL DE LAS COMUNIDADES DE  
SAN MIGUEL TIANGUISTENCO Y SANTIAGO  
COLTZINGO, PUEBLA**

**LAURA GONZÁLEZ IBÁÑEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2022

La presente tesis, titulada: **Efecto del consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales en un modelo de obesidad inducido por dieta: estrategia para mejorar el estado nutricional de San Miguel Tianguistenco y Santiago Colzingo, Puebla.**, realizada por la alumna: **Laura González Ibáñez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



DRA. MARÍA EUGENIA MENESES ÁLVAREZ

ASESOR:



DR. DANIEL CLAUDIO MARTINEZ CARRERA

ASESOR:



DR. ANTONIO MACIAS LÓPEZ

ASESOR:



DR. IVÁN TORRE VILLALVAZO

Puebla, Puebla, México, 4 de enero del 2022

# EFFECTO DEL CONSUMO DE HONGOS COMESTIBLES, FUNCIONALES Y MEDICINALES EN UN MODELO DE OBESIDAD INDUCIDO POR DIETA: ESTRATEGIA PARA MEJORAR EL ESTADO NUTRICIONAL DE SAN MIGUEL TIANGUISTENCO Y SANTIAGO COLTZINGO, PUEBLA.

Laura González Ibáñez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

Los hongos comestibles poseen compuestos bioactivos que ejercen efectos benéficos a la salud. Sin embargo, la transición alimentaria fomenta el abandono de la dieta tradicional mexicana, incluyendo los hongos comestibles. Esto ha incrementado la prevalencia de enfermedades metabólicas en la población mexicana, por ello, en el presente trabajo se analizó el estado nutricional, la calidad dietética y el consumo de hongos en las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla; asimismo, por primera vez, se evaluó el efecto del consumo de los hongos *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* y *Ganoderma lucidum* en tejido adiposo de ratas con obesidad inducida por dieta para diseñar una estrategia de alimentación saludable a nivel regional. Para el alcance de la primera fase de este trabajo, se llevó a cabo un diagnóstico en 72 individuos mediante mediciones antropométricas, parámetros bioquímicos y presión arterial. Se evaluó la ingesta energética de macronutrientes y micronutrientes. Para la segunda fase, se estudió el efecto de la ingesta de hongos comestibles en ratas Wistar alimentadas con una dieta alta en grasa en marcadores inflamatorios (adiponectina, TNF- $\alpha$  y JNK) y del estrés del retículo endoplásmico (BiP, ATF6, XBP-1, TANK y eIF2 $\alpha$ ) en tejido adiposo.

Existe una alta prevalencia de sobrepeso, obesidad y riesgo cardiovascular en las comunidades. Se observó un bajo consumo de alimentos recomendables y un alto consumo de alimentos no recomendables, así como un bajo consumo de hongos. Sobre el estudio del modelo *in vivo*, se encontró que la adición de los hongos en la dieta redujo la hipertrofia de los adipocitos, la expresión de los marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico. La evidencia básica del efecto benéfico del consumo de los hongos contribuye al desarrollo de estrategias a nivel regional que promuevan e integren su consumo para prevenir la obesidad y sus complicaciones metabólicas asociadas.

**Palabras clave:** Hábitos alimentarios, obesidad, hongos comestibles, tejido adiposo.

# EFFECT OF THE CONSUMPTION OF EDIBLE, FUNCTIONAL AND MEDICINAL MUSHROOMS IN A DIET-INDUCED OBESITY MODEL: STRATEGY TO IMPROVE THE NUTRITIONAL STATUS OF THE COMMUNITIES SAN MIGUEL TIANGUISTENCO AND SANTIAGO COLTZINGO, PUEBLA.

Laura González Ibáñez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

## ABSTRACT

Edible mushrooms have bioactive compounds with beneficial health effects. However, the food transition has encouraged the abandonment of the traditional Mexican diet, including edible mushrooms. This has increased the prevalence of metabolic diseases in the Mexican population, therefore, in this work, the nutritional status, dietary quality, and the consumption of mushrooms in the communities of San Miguel Tianguistenco and Santiago Coltzingo, Puebla were analyzed, additionally, for the first time, it was evaluated the effect of the consumption of the mushrooms *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* and *Ganoderma lucidum* in adipose tissue of rats with diet-induced obesity to design a healthy eating strategy at the regional level. For the first phase of this work, a diagnosis in 72 individuals through anthropometric measurements, biochemical parameters and blood pressure was made. The energy intake of macronutrients and micronutrients was evaluated. For the second phase, the effect of the ingestion of edible mushrooms in Wistar rats fed a high-fat diet was studied on inflammatory markers (adiponectin, TNF- $\alpha$  and JNK) on the stress of the endoplasmic reticulum (BiP, ATF6, XBP-1, TANK and eIF2 $\alpha$ ) in adipose tissue.

There is a high prevalence of overweight, obesity and cardiovascular risk in the communities. Low consumption of recommended foods and high consumption of non-recommended foods were observed, as well as low consumption of edible mushrooms. In the study of the *in vivo* model, it was found that the addition of the mushrooms in the diet reduced the hypertrophy of adipocytes, the expression of inflammatory and endoplasmic reticulum stress markers. The basic evidence of the beneficial effect of the consumption of mushrooms contributes to the development of strategies at the regional level that promote and integrate their consumption to prevent obesity and its associated metabolic complications.

**Key words:** Eating habits, obesity, edible mushrooms, adipose tissue.

## DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional y por todo su amor. Por guiarme durante todos estos años con su paciencia y aceptación. Gracias por los consejos, las palabras de aliento y experiencias compartidas.

A mi pareja Adrián, quien durante todos estos años me ha escuchado y motivado a perseguir las cosas que valen la pena, no las más convenientes. Por ser esa persona a quien admiro por su optimismo, fortaleza y comprensión, por ser parte de este orden y caos, mi resiliencia.

A mi mejor amigo y cómplice de la vida Eduardo, gracias por estar presente en los buenos y malos momentos. Por demostrarme sin querer que existen dos tipos de persona, los que son capaces de abrir el corazón a los demás y los que no. Sin duda, tú eres de los primeros. Gracias por siempre acompañarme en este caminar.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado mis estudios de Maestría en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla durante el periodo 2020-2022.

Al Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla que, a través de su planta académica y los integrantes de mi consejo particular: Dra. María Eugenia Meneses Álvarez, Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, Dr. Antonio Macías López y Dr. Iván Torre Villalvazo, quienes me brindaron de sus conocimientos y guiaron en el desarrollo de este trabajo. También a la Dra. Mónica Sánchez-Tapia y la Dra. Adriana Margarita López Barradas, por su gran vocación de enseñanza y paciencia en transmitirme sus conocimientos de laboratorio.

A todos los profesores del Colegio que me impartieron clases, en particular al Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera, Dra. Adriana Delgado Alvarado, Dr. Pedro Antonio López y Dr. Ignacio Ocampo Fletes, quienes se esforzaron por transmitirme sus conocimientos, valores y experiencias en cada materia impartida. Por su motivación y por creer en mí para lograr mis metas. Gracias por prepararme para un futuro competitivo.

A mi familia por su amor y apoyo. A mi tía María Juana, por siempre estar presente, escucharme y darme perspectivas diferentes sobre cómo vivir la vida. A la Sra. Gabriela Bonilla Jiménez y el Sr. Miguel González Rivas, por todo su apoyo y amor en los momentos más difíciles, por todas las experiencias compartidas.

A mis compañeros del PROEDAR y amigos que me acompañaron durante estos años y que son un pilar en mi vida, Zayra, Acela y Maythe, por apoyarme, escucharme y entenderme en los momentos más difíciles, gracias por su amistad y buenos consejos.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Teorías en la problemática del sobrepeso y obesidad .....	3
2.2. Teoría del balance energético y el retículo endoplásmico en la obesidad.....	4
2.3. Tejido adiposo en la obesidad .....	5
2.4. Estrés de retículo endoplásmico en la obesidad.....	7
2.4.1. Retículo endoplásmico y el sistema UPR en el metabolismo .....	8
2.4.2. Acción de los hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Ustilago maydis</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> en el retículo endoplásmico .....	10
III. MARCO DE REFERENCIA .....	12
3.1. Patrón alimentario en México .....	12
3.2. La obesidad en México y en el Estado de Puebla .....	14
3.3. Políticas y programas que abordan la obesidad en México .....	15
3.4. Comercialización y consumo de hongos comestibles en México .....	21
3.5. Estado del arte de las propiedades de los hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Ustilago maydis</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> .....	22
3.6. Efecto de los hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Ustilago maydis</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> en la obesidad.....	25
3.7. Características de las comunidades .....	29
3.7.1. Ubicación .....	29

3.7.2. Características fisico-bióticas y socioeconómicas de las comunidades.....	30
<b>IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>V. HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
5.1 Hipótesis específicas.....	35
<b>VI. OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
6.1 Objetivo general .....	36
6.2 Objetivos específicos.....	36
<b>VII. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
7.1. Diagnóstico del estado nutricional y calidad dietética de las comunidades .....	37
7.1.1. Selección de las localidades, población y tipo de estudio .....	37
7.1.2. Valoración del estado de salud y estado nutricional .....	38
7.1.3. Frecuencia en el consumo de alimentos y calidad dietética .....	39
7.1.4. Análisis estadístico .....	40
7.2. Estudio del problema de obesidad en modelo <i>in vivo</i> .....	40
7.2.1. Diseño experimental .....	40
7.2.2. Histología de tejido adiposo subcutáneo .....	42
7.2.3. Extracción de ARN.....	45
7.2.4. Cuantificación de la expresión génica por PCR en tiempo real. ....	45
7.2.5. Análisis de proteínas.....	46
7.2.5.1. Extracción de proteínas totales.....	46
7.2.5.2. Western Blot .....	46
7.2.6 Análisis estadístico .....	48
<b>VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
8.1. Estado nutricional y calidad dietética de las comunidades .....	49
8.2. Histología de tejido adiposo subcutáneo .....	60



8.3. Expresión génica .....	64
8.3.1. Extracción de RNA.....	64
8.3.2. Expresión relativa .....	65
8.4. Expresión de proteínas inflamatorias y del estrés de retículo endoplásmico .....	69
<b>IX. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>79</b>
<b>X. CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>XI. ESTRATEGÍA PARA MEJORAR EL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS COMUNIDADES DE SAN MIGUEL TIANGUISTENCO Y SANTIAGO COLTZINGO MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE HONGOS COMESTIBLES, FUNCIONALES Y MEDICINALES EN LA DIETA.....</b>	<b>81</b>
<b>XII.LITERATURA CITADA .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>112</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Marcadores moleculares activados en respuesta a la inflamación y al estrés del RE .....	10
Cuadro 2. Suministro de energía por principales grupos de alimentos en México,1970-2013. ....	13
Cuadro 3. Comparativo de la prevalencia nacional de sobrepeso, obesidad y sobrepeso más obesidad en adultos de 20 años o más, por sexo y por tipo de localidad, Puebla, México. ....	15
Cuadro 4. Marco NOURISHING del World Cancer Research Fund International.....	16
Cuadro 5. Políticas de alimentación y nutrición en México de 1922 al 2020. ....	18
Cuadro 6. Principales instrumentos de política pública enfocados en el individuo, entorno y en los aspectos regulatorios.....	19
Cuadro 7. Análisis químico proximal de los hongos utilizados en la elaboración de las dietas experimentales.....	25
Cuadro 8. Formulación de las dietas AIN-93M y HFD.....	41
Cuadro 9. Tren de deshidratación para muestras de tejido adiposo subcutáneo. ....	44
Cuadro 10. Características generales de los voluntarios de Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla en relación al estado civil y grado de escolaridad. ....	49
Cuadro 11. Características descriptivas de los voluntarios de Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla.....	50
Cuadro 12. Características antropométricas, parámetros bioquímicos y presión arterial en los voluntarios de Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla. ....	51
Cuadro 13. Media del consumo diario de energía y nutrimentos en hombres y mujeres adultos de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Colzingo, Puebla.....	54
Cuadro 14. Porcentaje de consumidores de grupos de alimentos recomendables para consumo cotidiano de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Colzingo, Puebla.....	55

Cuadro 15. Índice de calidad de la alimentación en adultos mayores de 20 años por sexo y comunidad. ....	57
Cuadro 16. Porcentaje de consumidores de hongos comestibles cultivados en adultos mayores de 20 años por sexo y comunidad.....	58
Cuadro 17. Concentraciones y pureza del RNA aislado de tejido adiposo subcutáneo. ....	64
Cuadro 18. Talleres prácticos nutricionales para promover hábitos alimentarios y estilos de vida saludables. ....	86
Cuadro 19. Actores de la estrategia para mejorar el estado nutricional de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Colzingo, Puebla.....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso inflamatorio en el tejido adiposo bajo un estado de obesidad.....	7
Figura 2. Relación entre la obesidad y el estado inflamatorio crónico de bajo grado. .....	8
Figura 3. Respuesta del sistema UPR fisiológico-molecular ante el mal ensamblaje proteico en el retículo endoplásmico. ....	9
Figura 4. Contribución energética de grupos de alimentos recomendables en la población mexicana >20 años de edad por tipo de localidad. ....	13
Figura 5. Contribución energética de grupos de alimentos no recomendables en la población mexicana >20 años de edad por tipo de localidad. ....	14
Figura 6. Municipio Tlahuapan, Puebla. ....	30
Figura 7. Proceso para la preparación y tinción de tejidos. ....	43
Figura 8. Procedimiento de histologías de tejido adiposo subcutáneo. ....	43
Figura 9. Procedimiento para el análisis de expresión génica de marcadores moleculares del estrés del retículo endoplásmico del tejido adiposo subcutáneo. ....	46
Figura 10. Western Blot para el análisis de expresión génica de marcadores inflamatorios y del estrés del RE del tejido adiposo subcutáneo .....	48
Figura 11. Efecto histológico en tejido adiposo subcutáneo en los grupos experimentales. ....	63
Figura 12. Área de adipocitos del tejido adiposo subcutáneo.....	64
Figura 13. Cuantificación de la expresión génica relativa de genes involucrados en el estrés de retículo endoplásmico e inflamación del tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	68
Figura 14. Expresión de la masa proteica de adiponectina en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. ....	69
Figura 15. Expresión de la masa proteica de BiP en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	72
Figura 16. Expresión de la masa proteica de XBP-1 en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	73

Figura 17. Expresión de la masa proteica de JNK en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	75
Figura 18. Expresión de la masa proteica de p-JNK en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	76
Figura 19. Expresión de la masa proteica de TNF- $\alpha$ en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.....	78
Figura 20. Etapas del proceso de planificación de programas en nutrición comunitaria. ....	82

## ABREVIATURAS

**AGL:** Ácidos grasos libres.

**ATF6:** Factor de transcripción-6.

**CT:** Colesterol Total.

**DMT2:** Diabetes mellitus tipo 2.

**EIF2 $\alpha$ :** Factor de iniciación de la traducción 2

**ERO:** Especies Reactivas de Oxígeno.

**FASN:** Ácido graso sintasa.

**GRP78:** Proteína de unión a inmunoglobulina (también llamada BiP).

**HDL:** Lipoproteína de alta densidad.

**IL-6:** Interleuquina 6.

**IL-8:** Interleuquina 8.

**IMC:** Índice de masa corporal.

**IRE1:** inositol que requiere enzima 1

**IRS-1:** Receptores de insulina 1.

**JNK:** Cinasa amino terminal de c-Jun.

**LDL:** Lipoproteínas de baja densidad.

**MCP-1:** Proteína quimioatrayente de monocitos-1.

**NF- $\kappa$ B:** Factor nuclear kappa B.

**PERK:** Factor de iniciación eucariota similar a PKR 2 $\alpha$  quinasa.

**PPAR $\gamma$ :** Receptor del activador del proliferador de peroxisoma gamma.

**RE:** Retículo endoplásmico.

**RI:** Resistencia a la insulina.

**SREBP1:** Proteína de unión a elementos de respuesta a esteroides.

**TANK:** Activador NFKB asociado a miembros de la familia TRAF.

**TG:** Triglicéridos.

**TNF- $\alpha$ :** Factor de necrosis tumoral alfa.

**XBP-1:** Proteína ligadora de la caja X.

## I.INTRODUCCIÓN

El entorno económico global y el sistema agroalimentario actual han generado cambios indeseables en la producción y en los patrones alimentarios de poblaciones urbanas y rurales en México. Esta transición alimentaria afecta el estado de salud y aumenta la prevalencia de enfermedades crónicas (Martínez-Carrera et al., 2016). La discrepancia y divergencia en las interacciones entre la cadena de valor alimentaria, el sistema ambiental, el sistema de salud y el sistema de toma de decisiones individuales y familiares ha dado lugar a una alimentación no saludable, lo cual se refleja en los índices de sobrepeso y obesidad de los últimos años (Gillespie y Van den Bold, 2017).

Históricamente, desde la década de 1970, el aumento de la prevalencia de la obesidad comenzó en los países de ingresos altos, seguido por los países de ingresos medios y bajos (Swinburn et al., 2011; OECD, 2017). Actualmente, la obesidad es una de las mayores problemáticas a la que se enfrenta la sociedad del siglo XXI. México ocupa el segundo lugar en obesidad a nivel mundial y el primer lugar en obesidad infantil (WHO, 2017). La alimentación de los mexicanos ha cambiado, se ha disminuido el consumo de alimentos locales y tradicionales con alto valor nutritivo y propiedades funcionales por el aumento e integración de alimentos industrializados con un elevado aporte en azúcares simples, harina refinada y grasa saturada. Los hongos comestibles, funcionales y medicinales son una opción para prevenir las enfermedades asociadas con la obesidad y mejorar el estado de salud general, en particular, las especies de *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* y *Ustilago maydis* por sus efectos en la regulación del metabolismo de lípidos, carbohidratos, efecto prebiótico, entre otros beneficios (Salgado et al., 2016; Meneses et al., 2016; Jayasuriya et al., 2015; Valverde y Paredes, 1993).

Los mecanismos moleculares derivados de la obesidad son poco conocidos, en las últimas décadas, se ha demostrado en cultivos celulares y en modelos animales que el exceso de nutrientes está asociado con la activación de la señalización del estrés celular y las vías inflamatorias. Elevar las demandas metabólicas, como el aumento progresivo en la acumulación de grasa o de secreción de insulina en las células beta, consecuentemente aumenta la carga de trabajo de proteínas alterando la homeostasis

del retículo endoplásmico (RE) produciendo una mayor demanda para la síntesis de lípidos y proteínas, así como cambios estructurales en el tejido adiposo e hígado (Bastarrachea et al., 2006; Ozcan et al., 2004). El estrés del RE activa las quinasas serina/treonina, c-Jun N-terminal (JNK), así como la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO), lo que provoca resistencia a la insulina y estimula la síntesis y liberación de citocinas proinflamatorias y quimiocinas (Hirosumi et al., 2002). Se han estudiado patrones de expresión frente al estrés del RE causado por el consumo de una dieta alta en grasas, tales como el factor de iniciación eucariota similar a PKR 2 $\alpha$  quinasa (PERK), el factor de transcripción-6 (ATF6), el factor de iniciación de la traducción 2 (eIF2 $\alpha$ ), la proteína de unión a la caja X (XBP-1), la proteína de unión a inmunoglobulina (GRP78) y el activador NF-kB asociado a miembros de la familia TRAF (TANK) (Shi et al., 1998; Shi et al., 2003; Harding et al., 1999; Ozcan et al., 2004; Bastarrachea et al., 2006). La falta de glucosa o nutrientes, exceso de lípidos, aumento de la síntesis de proteínas secretoras y expresión de proteínas mutantes o mal plegadas, activan el sistema de respuesta de proteína desplegada (UPR), el cual a nivel molecular, es un sitio clave para el análisis de la resistencia a la insulina y la diabetes tipo 2 (Hendershot, 2001).

El objetivo de este estudio fue evaluar el estado nutricional, calidad dietética y consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales en los voluntarios de las comunidades San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla, así como analizar el efecto del consumo de las especies de hongos *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* sobre la expresión de indicadores inflamatorios y del estrés del RE en tejido adiposo de un modelo animal de obesidad inducido por dieta. Por tanto, este trabajo es relevante para la salud y nutrición de las comunidades rurales del estado de Puebla, al crear evidencia científica del efecto del consumo de hongos comestibles en rutas moleculares estrechamente relacionadas con la obesidad y enfermedades asociadas, es posible realizar estrategias que promuevan patrones alimentarios saludables mediante la inclusión de hongos comestibles, funcionales y medicinales en una dieta saludable, que a su vez, contribuyan al estado general de salud y prevención de enfermedades crónico no transmisibles.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Teorías en la problemática del sobrepeso y obesidad

Durante varios años se ha utilizado un enfoque empírico-analítico (reduccionista) para el estudio de la obesidad, donde la persona es la única responsable de su condición y se deja a un lado la responsabilidad del sistema de cuidados de salud u otras instancias para abordar esta problemática. Hoy en día, las nuevas generaciones de investigadores saben que la obesidad es un problema complejo causado por la influencia de factores políticos, sociales, económicos, culturales y conductuales que se interrelacionan entre sí, estos configuran las condiciones y estilos de vida en la sociedad (Morales, 2010). El modo de vida obesogénico depende del proceso de globalización, desarrollo industrial y tecnológico de las grandes ciudades. Desde un enfoque sociológico los aportes teóricos de Bourdieu y Giddens ayudan a comprender las dificultades que enfrentan las personas con sobrepeso y obesidad. Ambos plantean que para que una persona gane un peso excesivo, se necesita de múltiples factores conectados con su contexto de vida. A partir de estos, la persona aprende, comprende y practica un estilo de vida propio. Bourdieu plantea que los estilos de vida se perciben como el resultado del *habitus*, el cual se entiende en y a través de los gustos. El concepto de *habitus* refiere a las conductas determinadas por una estructura publicitaria que invita al consumo de alimentos y bebidas procesadas, altos en energía y grasas. Además, enfatiza que las personas desarrollan sus gustos no solo por la cercanía sino también por su poder adquisitivo, aunque estos no sean nutrimentalmente recomendables, convirtiéndose en una necesidad no saludable y dañina para la salud (Williams, 1995; Bourdieu, 1988), por ejemplo, acompañar la comida con bebidas azucaradas embotelladas o inhibir la sed con ellos.

Complementando la visión de Bourdieu hacia el problema de la obesidad, la teoría de la estructuración de Giddens establece que la rutinización de actividades es la que influye más sobre lo que hacemos que lo que sabemos. Se concibe al cuerpo con sobrepeso u obesidad como consecuencia no deseada de las prácticas adquiridas y derivadas de la rutinización, promoviendo el deseo de pertenecer y moverse dentro de un estrato social particular que requiere adoptar un estilo de vida apropiado a ese grupo (Giddens, 2006).

El análisis del sobrepeso y obesidad debe orientarse a explicaciones que no solo aborden la perspectiva clínica, sino también, la gran influencia de la publicidad y de la industria, esta última aporta sustancias a los alimentos que aumentan su poder adictivo, lo que afecta la decisión del consumidor a elegir lo necesario por barato y no por ser nutritivo. Los aportes de Bourdieu y Giddens destacan la necesidad de estudiar el estilo de vida como una condición colectiva que aborda las funciones de autoidentidad y pertenencia a una clase social, a partir de las prácticas de consumo, las elecciones y las oportunidades de vida.

## **2.2. Teoría del balance energético y el retículo endoplásmico en la obesidad**

Varios estudios establecen que la obesidad es un desorden en la homeostasis energética, donde interviene el modelo del balance energético humano y los procesos fisiológicos que actúan para evitar la pérdida de peso (obesidad sostenida) a nivel calórico y termodinámico. Una de las teorías más utilizadas se basa en el modelo “calorías que entran-calorías que salen”, que describe parcialmente la causa de la obesidad. Investigaciones recientes explican que, al momento de realizar una restricción calórica al cuerpo le cuesta más trabajo disminuir el peso debido al “Set point”, momento en el que este percibe una “agresión” y trata de mantener su energía que se encuentra almacenada en forma de grasa y que es diferente en cada persona, por ello, se han desarrollado investigaciones a nivel celular para explicar la causalidad molecular en la obesidad (Hall y Guo, 2017).

El manejo de energía y nutrientes en todos los organismos requiere de la operación de diferentes sistemas homeostáticos que se alteran bajo la exposición crónica de señales de estrés asociadas con el exceso de calorías. En consecuencia, las respuestas biológicas no pueden hacer frente a estos cambios y los sistemas homeostáticos comienzan a deteriorarse gradualmente llevando al desarrollo de enfermedades metabólicas crónicas como la obesidad y la diabetes tipo 2 (DMT2) que, aumentan la adiposidad y la acción anormal de la insulina (Hotamisligil, 2006). Diversos estudios han demostrado que el retículo endoplásmico es un sitio importante que se encarga del plegamiento, maduración, control de calidad y tráfico de proteínas. Bajo una condición excesiva de ácidos grasos libres, se induce estrés del RE e intervienen mediadores

inflamatorios como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), se activa la señalización del receptor de insulina, así como mecanismos moleculares subyacentes mediados por JNK y el inhibidor de NF-kB (Borradaile et al., 2006; Kharroubi et al., 2004; Wei et al., 2006). Por lo que, el estudio del RE contribuye a un mayor entendimiento de los vínculos causales de la obesidad.

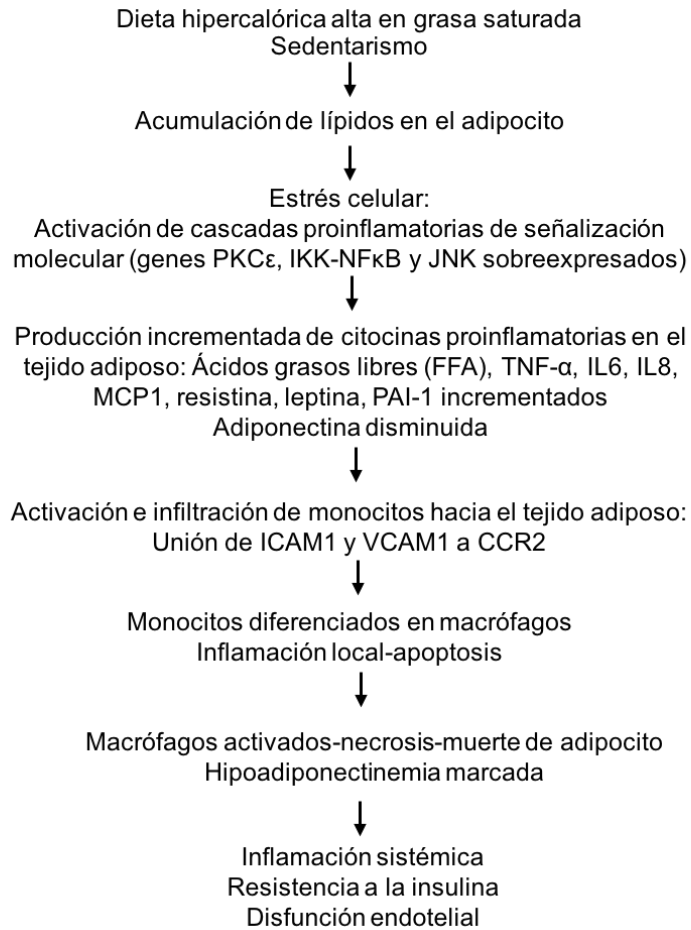
### **2.3. Tejido adiposo en la obesidad**

El tejido adiposo se compone de fibroblastos, preadipocitos, adipocitos y macrófagos. Tiene como función principal, almacenar triglicéridos durante la ingesta energética y liberar ácidos grasos cuando el gasto energético es mayor que la ingesta (Medina-Gómez y Vidal-Puig, 2009). Según su estructura, localización, color, vascularización y función, existen dos tipos de tejido adiposo: i) el tejido adiposo blanco (WAT por sus siglas en inglés) como principal reservorio de energía y con acción endocrina, paracrina y autocrina (Aldhahi y Hamdy; 2003; Farmer, 2006; Rosen y Spiegelman, 2006; Wronska y Kmiec, 2012); ii) el tejido adiposo marrón (BAT por sus siglas en inglés) que contiene adipocitos multiloculares y un gran número de mitocondrias que participan en su función de termogénesis adaptativa. Entonces, el desarrollo de la obesidad depende del balance entre el WAT y el BAT (Suárez Carmona, 2017; Gómez-Hernández, 2013).

En respuesta al aumento del almacenamiento de lípidos, el tejido adiposo puede hipertrofiarse (aumento en el tamaño) o causar hiperplasia de los adipocitos (aumento en el número). De lo anterior, Rosen (2015) menciona que es un proceso regulado por diversos factores y que, en ausencia de una señal de los adipocitos hipertrofiados, la sola exposición a una dieta alta en grasa hace que las células precursoras inicien a proliferarse a nivel visceral. Una vez rebasado el tamaño umbral, el adipocito hipertrofiado presenta una alteración en su actividad provocando la disminución en la sensibilidad a la insulina, hipoxia, incremento de los parámetros de estrés intracelular, mayor autofagia, apoptosis e inflamación de los tejidos (Klötting y Blüher, 2014). Por consiguiente, un mayor tamaño del adipocito acompañado de un estado inflamatorio del mismo, conlleva a la alteración de su perfil secretor produciendo una mayor cantidad de leptina y menor de adiponectina, disminuye la sensibilidad a la insulina, empeora la

mitocondrial y aumenta el estrés del RE, además de una mayor lipólisis basal y menor lipogénesis de *novo* (Laforest et al., 2015).

Partiendo de lo anterior, la obesidad se define como un estado de inflamación sistémica y crónica de bajo grado causado por el desequilibrio energético a largo plazo entre la ingesta y el gasto energético, que altera la función correcta del tejido adiposo, tanto de forma cuantitativa como cualitativa en su capacidad para almacenar grasa (Medina-Gómez y Vidal-Puig, 2009; Suárez-Carmona, 2017). La obesidad se asocia con una alteración en el perfil secretador, tanto del tejido adiposo como del adipocito, llevando al desajuste del ratio leptina/adiponectina y los niveles de tejido graso (Blüher y Mantzoros, 2015). Asimismo, los cambios metabólicos ocasionados en los adipocitos disminuyen la capacidad de acumular lípidos y facilitan el flujo de estos a otros órganos. Una vez que exceden la capacidad oxidativa y la capacidad de almacenamiento de estos, se produce lipotoxicidad y se inhibe la acción de la insulina (Kraegen et al., 2001; Lelliott y Vidal-Puig, 2004; Slawik y Vidal-Puig; 2007). En un estado de obesidad, la respuesta inflamatoria comienza en los adipocitos, seguido y agravado por los macrófagos que activan citocinas proinflamatorias como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), la proteína quimiotáctica de monocitos 1 (MCP-1), la interleucina 6 (IL-6) e interleucina 8 (IL-8), la resistina, la sintetasa del óxido nítrico inducible (iNOS), entre otras (Medina-Gómez y Vidal-Puig, 2009). Un mecanismo importante que explica la activación de las vías inflamatorias de JNK y NF- $\kappa$ B, es el estrés del retículo endoplásmico causado por la sobrecarga de su capacidad funcional (Nakatani et al., 2005). Un segundo mecanismo es explicado por el estrés oxidativo, donde en condiciones de hiperglucemia, el aumento en la captura de glucosa por las células endoteliales del tejido adiposo provocan un exceso de ERO en las mitocondrias provocando un daño oxidativo y activación de señales inflamatorias en la célula endotelial (Lowell y Shulman, 2005). En la Figura 1 se describen los procesos inflamatorios que se activan en el tejido adiposo en un estado de obesidad.



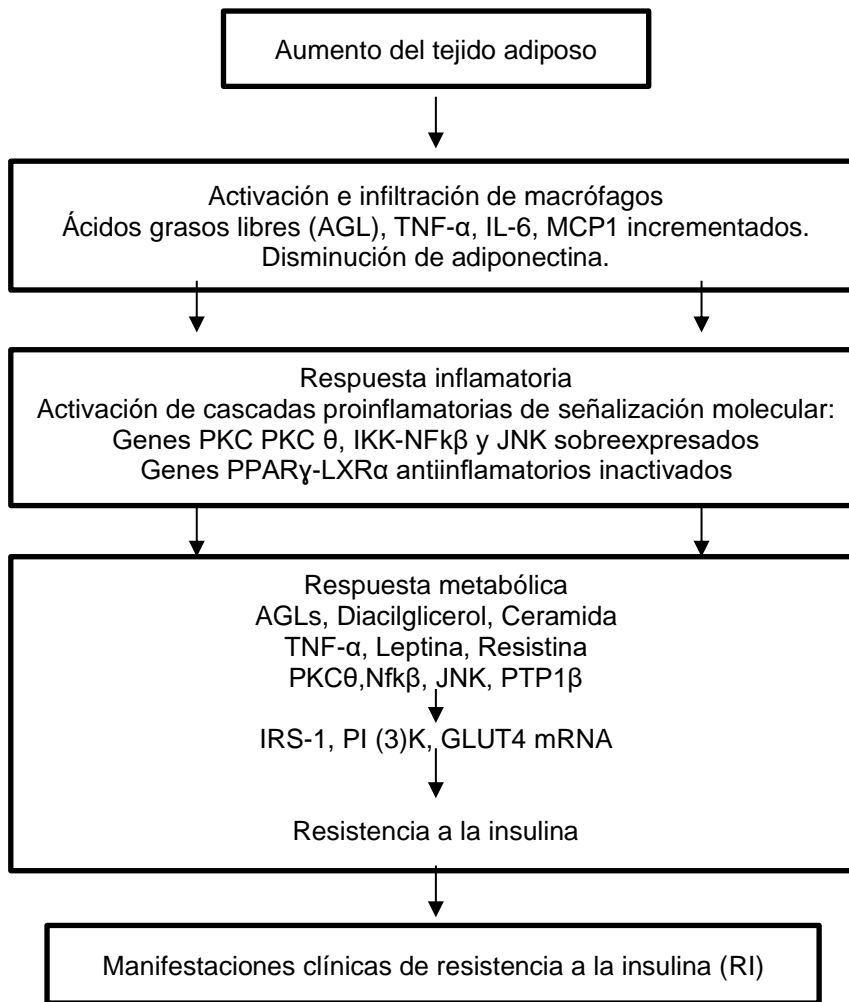
**Figura 1.** Proceso inflamatorio en el tejido adiposo bajo un estado de obesidad.

*Nota.* Adaptado de “Macrófagos, inflamación, tejido adiposo, obesidad y resistencia a la insulina” (p.509), por Bastarrachea et al., 2007, *Gaceta Médica de México*, 143(6).

## 2.4. Estrés de retículo endoplásmico en la obesidad

La obesidad es una condición que aumenta la demanda de maquinaria sintética y de almacenamiento en varios sitios, incluidos el hígado, el tejido adiposo y el páncreas. Los principales tipos de células que controlan la homeostasis metabólica son los hepatocitos, las células exocrinas pancreáticas y los adipocitos, estos se encargan de la síntesis de proteínas procesadas en el RE, y pueden volverse muy sensibles al estrés y desafiar su función y capacidad de plegamiento de proteínas cuando se encuentran en un estado de obesidad. Cuando el RE se estresa debido a la acumulación de proteínas desplegadas recientemente sintetizadas, se activa el sistema UPR, los sistemas de señalización inflamatoria y de estrés, las vías NF-κB-IκB quinasa (IKK) y JNK-AP1, así como las redes activadas por el estrés oxidativo (Hotamisligil, 2010). En la Figura 2 se muestra las

diferentes respuestas inflamatorias y metabólicas que son causadas por el aumento del tejido adiposo.

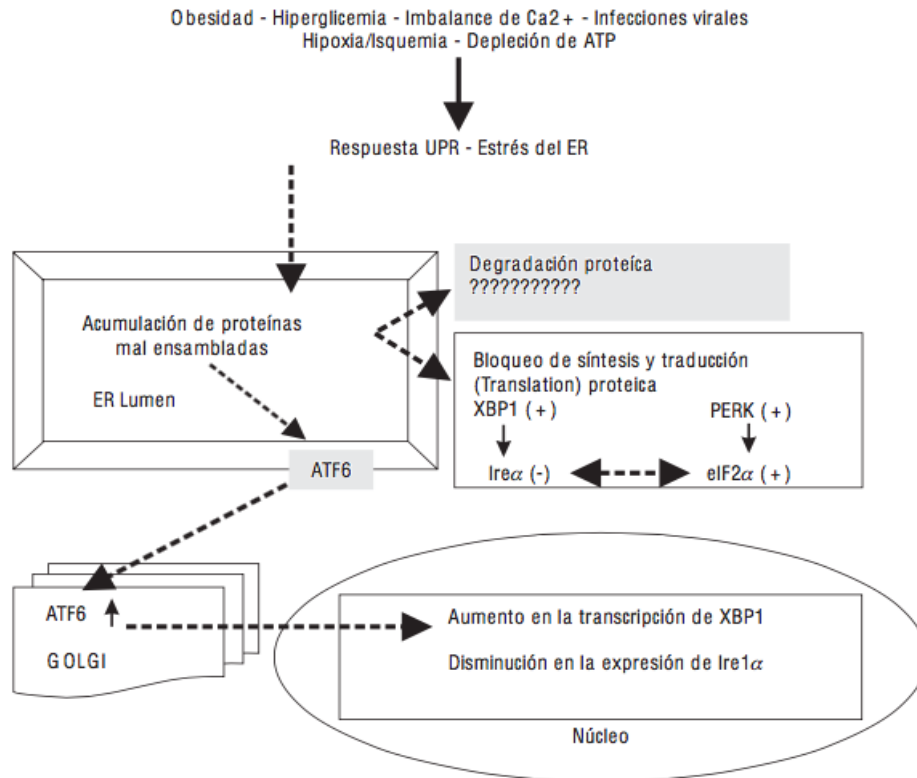


**Figura 2.** Relación entre la obesidad y el estado inflamatorio crónico de bajo grado.

*Nota.* Adaptado de “Vinculando la respuesta inflamatoria, la obesidad y la diabetes con la sobrecarga (estrés) del retículo endoplásmico a través de las acciones de la selenoproteína S” (p.91), por Bastarrachea et al., 2006, *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 14 (2).

#### 2.4.1. Retículo endoplásmico y el sistema UPR en el metabolismo

El sistema UPR está mediado por tres proteínas principales: PERK, IRE1 y ATF6, estas intervienen en la homeostasis del RE y se activan en condiciones de sobrecarga (estrés), acumulación excesiva o congestión proteica (Figura 3) (Bastarrachea et al., 2006). El sistema UPR está compuesto por dos sistemas de degradación, la ubiquitina/proteasoma y la autofagia/lisosoma (Fujita et al., 2007).



**Figura 3.** Respuesta del sistema UPR fisiológico-molecular ante el mal ensamblaje proteico en el retículo endoplásmico.

*Nota.* Adaptado de “Vinculando la respuesta inflamatoria, la obesidad y la diabetes con la sobrecarga (estrés) del retículo endoplásmico a través de las acciones de la selenoproteína S” (p.93), por Bastarrachea et al., 2006, *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 14 (2).

En el siguiente Cuadro 1 se describen los marcadores moleculares involucrados en la inflamación y la activación del estrés del RE.

**Cuadro 1.** Marcadores moleculares activados en respuesta a la inflamación y al estrés del RE

<b>Marcador</b>	<b>Acción</b>
Proteína reclutadora de inositol 1 (IRE1)	Se activan para aliviar el estrés del RE o la carga de proteínas mal ensambladas, la célula se programa para activar las vías de muerte celular (apoptosis o necrosis). PERK activada fosforila eIF2 $\alpha$ , induciendo a la expresión de genes implicados en la síntesis de lípidos y la gluconeogénesis <sup>a</sup> .
Cinasa del retículo endoplásmico semejante al PKR (PERK)	
Factor de transcripción activador 6 (ATF6)	
Proteína ligadora de la caja X (XBP-1)	ATF6 o IRE1 activa su expresión. Modula y hace más efectiva la respuesta del sistema UPR <sup>a</sup> .
Subunidad $\alpha$ del factor 2 de iniciación de la traducción (eIF2 $\alpha$ )	Su fosforilación es necesaria para detener la síntesis de insulina hasta satisfacer las demandas de plegamiento de proteínas. También, la activación del eje de señalización PERK-eIF2 $\alpha$ -CHOP es desadaptativa y compromete la viabilidad celular <sup>a</sup> .
Quinasa de unión a TANK 1 (TBK1)	Proteína involucrada en la fosforilación del receptor insulínico (IRS-1). Involucrada en la resistencia a la insulina. Se asocia con las vías inflamatorias de NF- $\kappa$ B <sup>b</sup> .
Proteína de unión a inmunoglobulina o BiP (GRP78)	Chaperona del RE que ayuda al plegamiento adecuado de péptidos. Regulador central en el estrés de RE <sup>b</sup> .

*Nota.* <sup>a</sup>Bastarrachea et al. (2006, pp. 91-99). <sup>b</sup> Chau et al. (2008, pp. 172-180).

#### **2.4.2. Acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* y *Ganoderma lucidum* en el retículo endoplásmico**

El retículo endoplásmico puede afectarse por diversas condiciones fisiológicas y patológicas, las proteínas desplegadas o mal plegadas pueden amenazar la supervivencia celular. El hongo comestible *Pleurotus ostreatus* puede contribuir positivamente al estado de salud por sus propiedades antiinflamatorias, inmunoestimuladoras e inmunomoduladoras (Asfors y Ley, 1993), actividad anticancerígena, antioxidante, antihipercolesterolemia y efecto antihiperglucemiante



(Wasser, 2002; Mau et al., 2001; Kim et al., 1997). Un estudio *in vitro* realizado con un extracto etanólico de *P. ostreatus* demostró su potente actividad antioxidante al eliminar los radicales hidroxilo y superóxido e inhibición de la peroxidación lipídica (Nau, 1998). También, el huitlacoche (*Ustilago maydis*) tiene un alto contenido en proteínas (entre 11.5-16.4 g/100g seco),  $\beta$ -glucanos (20-120 mg/g de huitlacoche peso seco), compuestos fenólicos y aminoácidos esenciales (lisina, serina, glicina, ácido aspártico y glutámico) que favorecen al organismo (Valverde y Paredes-López, 1993; Valdez-Morales et al., 2010).

Sobre *Ganoderma lucidum*, la proteína Lz-8 recombinante (rLz-8) aislada del cuerpo fructífero, conduce a la muerte masiva de las células cancerosas gástricas (SGC-7901) por medio de la autofagia y acumulación de estrés en RE, es decir, la proteína rLz-8 se acumula gradualmente en el RE de las células SGC-7901 provocando su muerte, posiblemente por la vía ATF4-CHOP que actúa como un puente entre el estrés RE y la autofagia (Liang et al., 2012). Se ha demostrado que el tratamiento con ácido ganodérico (GA-DM) aumenta significativamente la expresión de la proteína GRP78, la proteína de choque térmico 70 (HSP70) y el factor de transcripción DDIT3 (también denominado CHOP) en células del carcinoma de próstata independiente de andrógenos (PC-3), por lo que activa múltiples vías de muerte en células cancerosas (Johnson et al., 2019). Se requiere una mayor investigación sobre los mecanismos moleculares de los hongos mencionados, ya que cuentan con propiedades y componentes bioactivos benéficos para la salud.

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Patrón alimentario en México

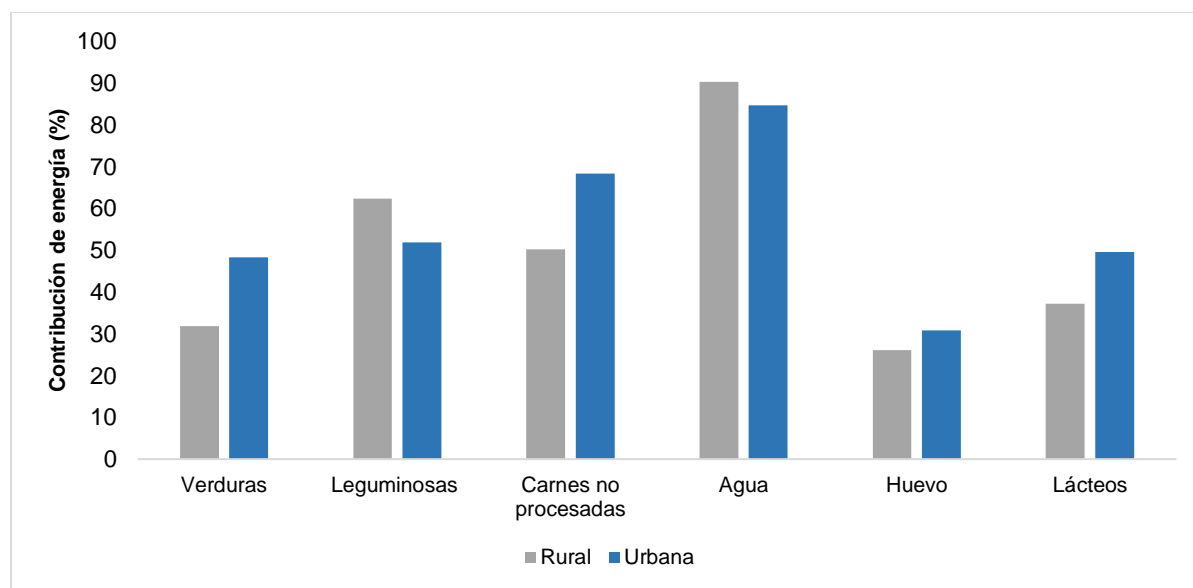
El consumo periódico de ciertos alimentos conlleva al establecimiento de un patrón alimentario, el cual refiere a la frecuencia de alimentos consumidos por individuo o grupo. Este patrón puede ser medido por las veces en que los alimentos son consumidos en un período de tiempo, ya sea considerando los micronutrientes y/o macronutrientes (Pérez, 2018). Hoy en día, el patrón alimentario mexicano tiende a ser desequilibrado, ya que supera los requerimientos mínimos calóricos y no cumple con las recomendaciones nutricionales, además, es variable debido a los cambios entre regiones, grupos sociales y distribución del ingreso en el país; y se encuentra en un estado de transición latente por los cambios en la dinámica de la industria alimentaria y la globalización de los mercados (Torres y Trápaga, 2001).

En términos de suficiencia alimentaria, los mexicanos consumen en promedio 3072 kcal/día/persona. Respecto al suministro de energía por grupos de alimentos, el consumo total de cereales y tubérculos se redujo solo el 11.1% en 40 años; el de frijoles y otras leguminosas disminuyó casi a la mitad, las hortalizas se han mantenido en los últimos años, pero son el grupo de menor consumo. Sobre los aceites y carnes, se duplicó su contribución en la dieta, y casi se triplicó el consumo de huevo (Cuadro 2) (Flores, 2018). Con base en el análisis de grupos de alimentos recomendables y no recomendables de la población mexicana realizado a partir de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19, las localidades urbanas mostraron un mayor consumo de carnes no procesadas comparado con las localidades rurales (68.3 vs. 50.2%), asimismo en el consumo de frutas (51.7 vs. 42.0%). En el caso de las leguminosas, las localidades rurales consumieron mayores cantidades de estas que en las localidades urbanas (62.4 vs. 51.9%). En los grupos de alimentos no recomendables, la comida rápida, antojitos mexicanos, botanas, dulces, postres y cereales dulces son mayormente consumidos por las localidades urbanas que las rurales. Sobre las bebidas lácteas y no lácteas endulzadas no se observaron diferencias por tipo de localidad (Figura 4 y 5).

**Cuadro 2.** Suministro de energía por principales grupos de alimentos en México, 1970-2013.

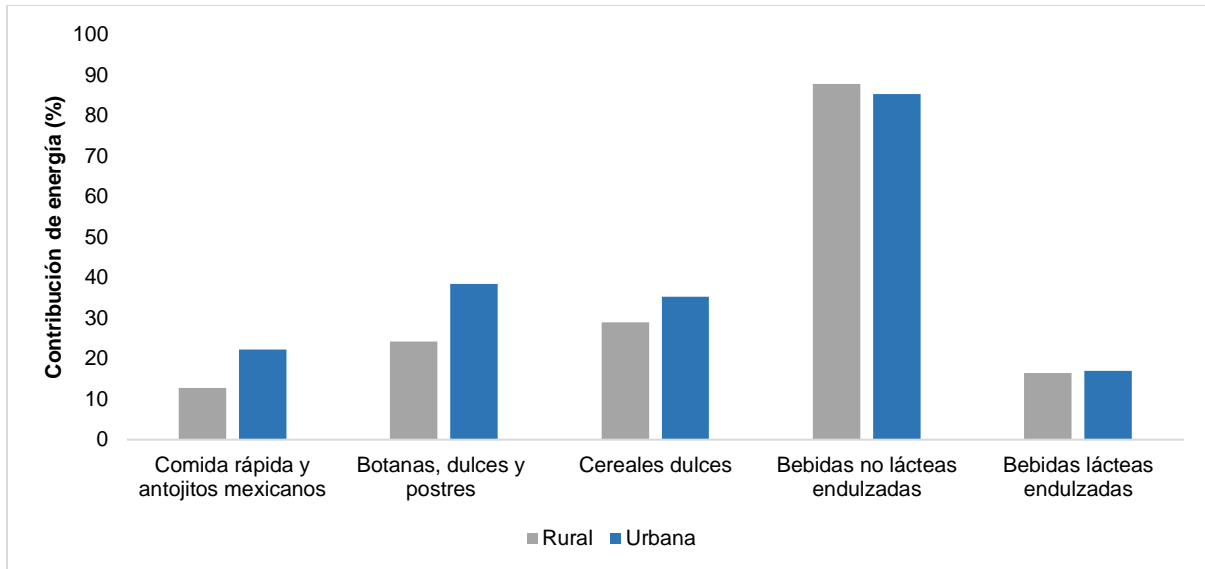
	1970-72	1990-92	2000-02	2010-12	2013
<b>Cereales y tubérculos</b>	54.9	47.7	46.1	44.0	43.8
<b>Azúcar y dulcificantes</b>	13.6	16.1	15.5	15.4	14.9
<b>Aceites y grasas</b>	6.6	11.3	10.2	11.6	11.6
<b>Carne, pescado, pollo</b>	6.0	7.5	9.6	11.0	11.1
<b>Leche</b>	4.9	4.5	5.2	5.3	5.3
<b>Frijoles y otras leguminosas</b>	7.5	4.4	3.8	3.5	3.9
<b>Frutas</b>	3.3	3.2	3.6	3.3	3.4
<b>Huevo</b>	0.8	1.3	1.8	2.1	2.1
<b>Hortalizas</b>	0.7	1.1	1.4	1.3	1.3

*Nota.* Tomado de “Acceso a los alimentos y el estado nutricional en México”, por Flores, 2018.



**Figura 4.** Contribución energética de grupos de alimentos recomendables en la población mexicana >20 años de edad por tipo de localidad.

*Nota.* Adaptado de “Consumidores de grupos de alimentos recomendables y no recomendables para consumo cotidiano” (p.261), por INSP, 2020b, *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados Nacionales*. Instituto Nacional de Salud Pública.



**Figura 5.** Contribución energética de grupos de alimentos no recomendables en la población mexicana >20 años de edad por tipo de localidad.

*Nota.* Adaptado de “Consumidores de grupos de alimentos recomendables y no recomendables para consumo cotidiano” (p.261), por INSP, 2020b, *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados Nacionales*. Instituto Nacional de Salud Pública.

### 3.2. La obesidad en México y en el Estado de Puebla

La obesidad es una enfermedad crónica multifactorial que involucra aspectos genéticos, ambientales y estilos de vida, estos favorecen la acumulación excesiva de grasa corporal. Los principales factores de riesgo son: la baja actividad física, el sedentarismo, la ingesta de alimentos de alta densidad energética y el consumo de refrescos o jugos embotellados (Rivera et al., 2018). En el mundo, cerca de 1 400 millones de adultos tienen sobrepeso y 500 millones presentan obesidad. Cifras estimadas por la Organización Mundial de la Salud indican que entre 1975 y 2016, la prevalencia mundial de la obesidad se triplicó (OMS, 2021). En nuestro país, resultados nacionales de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-2019 mostraron que el 75.2% de adultos de 20 años y más, tienen sobrepeso y obesidad (39.1% y 36.1% respectivamente), porcentaje mayor que el año 2012 (71.3%). En Puebla, la prevalencia de sobrepeso en hombres y mujeres en las zonas urbanas fue de 40.4%. Respecto a las cifras de obesidad, en ambos sexos fue de 35.4%. En las zonas rurales, la prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos fue de 35.4% y 25.2% respectivamente. La prevalencia de obesidad en hombres de las localidades urbanas y rurales aumentaron un 10.1%

entre el año 2012 (17.7%) y 2018 (27.8%); mientras que en las mujeres incrementó un 6.9% (29.6% y 36.5% respectivamente) (Cuadro 3) (INSP, 2020b).

**Cuadro 3.** Comparativo de la prevalencia nacional de sobrepeso y obesidad en adultos mayores (>20 años), por sexo y por tipo de localidad, Puebla, México.

Categoría	Condición	ENSANUT 2012		ENSANUT 2018	
		Adultos (>20 años)	%	Adultos (>20 años)	%
Estatal	Sobrepeso	1 378.3	41.5	1 562.2	41.5
	Obesidad	1045.5	31.5	1 236.6	32.9
	SP+O	2 423.8	73.0	2 798.8	74.4
Sexo	<b>Masculino</b>				
	Sobrepeso	657.0	43.0	752.5	47.7
	Obesidad	429.7	28.1	439.7	27.8
	SP+O	1 086.7	71.1	1192.2	75.5
	<b>Femenino</b>				
	Sobrepeso	721.3	40.2	809.6	37.1
	Obesidad	615.9	34.3	796.9	36.5
	SP+O	1 337.2	74.5	1606.5	73.6
Localidad	<b>Urbana</b>				
	Sobrepeso	1052.1	42.3	1 139.2	40.4
	Obesidad	818.7	32.9	998.7	35.4
	SP+O	1 870.8	75.2	2 137.9	75.8
	<b>Rural</b>				
	Sobrepeso	818.7	32.9	998.7	35.4
	Obesidad	226.8	27.2	237.9	25.2
	SP+O	1045.5	60.1	1236.6	60.6

*Nota.* Puntos de corte: sobrepeso 25-29.9 kg/m<sup>2</sup>, y obesidad ≥30 kg/m<sup>2</sup>. Las cantidades reportadas de expresan en miles. SP+O= Sumatoria de la prevalencia de sobrepeso más obesidad. Elaboración propia con los datos reportados por ENSANUT 2012 y 2018.

### 3.3. Políticas y programas que abordan la obesidad en México

El desarrollo e implementación de políticas públicas permite la creación de ambientes saludables para la población. Por ejemplo, el marco de acciones NOURISHING elaborado por el Fondo Mundial de Investigación en Cáncer, aborda tres áreas de acción para prevenir y controlar la obesidad, estas son: el ambiente alimentario, el sistema alimentario y la comunicación para cambios de comportamiento. El marco enfatiza la importancia de adoptar un enfoque integral para el desarrollo de políticas públicas y alimentarias que promuevan dietas saludables bajo el esquema que se muestra en el Cuadro 4. Países como Corea del Sur, Alemania, Australia, Canadá, Chile, Ecuador,

entre otros, han tomado parte de las recomendaciones de este marco (Rivera et al., 2018).

**Cuadro 4.** Marco NOURISHING del World Cancer Research Fund International

<b>N O U R I S</b>	<b>H</b>	<b>I N G</b>
AMBIENTE ALIMENTARIO	SISTEMA ALIMENTARIO	COMUNICACIÓN PARA CAMBIO DE COMPORTAMIENTO
<b>ÁREA DE POLÍTICA</b>		
<b>N</b>	Normar el etiquetado nutrimental y el uso de declaraciones explícitas e implícitas de propiedades de alimentos	
<b>O</b>	Ofertar alimentos y bebidas saludables en instituciones públicas y otros entornos mediante regulaciones.	
<b>U</b>	Usar herramientas económicas para abordar la asequibilidad e incentivos de compra	
<b>R</b>	Restringir la publicidad de alimentos y bebidas y otras formas de promoción comercial	
<b>I</b>	Incentivar la mejora en calidad nutrimental del suministro de alimentos	
<b>S</b>	Sentar reglas e incentivos para crear un entorno saludable en puntos de venta y servicios de alimentos	
<b>H</b>	Habilitar políticas y acciones multisectoriales y de suministro de alimentos para garantizar coherencia con la salud	
<b>I</b>	Informar y concientizar a la población sobre la alimentación y nutrición	
<b>N</b>	Nutrición en el ciclo de vida mediante orientación y consejería en atención primaria	
<b>G</b>	Generar competencias y habilidades en nutrición	

*Nota.* Tomado de: “La obesidad en México. Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control”, por Rivera et al., 2008.

Con base en el marco anterior, en México se han implementado políticas que inciden en la prevención y disminución de obesidad. Respecto al ambiente alimentario se han aplicado acciones como el etiquetado frontal y posterior obligatorio, el sistema GDA en etiquetado frontal, las restricciones de alimentos no saludables en las instituciones públicas, los impuestos en bebidas con azúcares añadidos y en alimentos no básicos de alta densidad energética (>275 kcal/100 g), restricciones de publicidad de alimentos y bebidas endulzadas, campañas para retirar los saleros de las mesas de comercios en CDMX ( “Menos sal, más salud”), así como acuerdos voluntarios entre la Secretaría de Salud, la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), la Asociación

Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales (ANTAD) y la empresa Bimbo, esta última con la finalidad de reducir un 10% del contenido de sal en el pan rebanado y bolillo (Rivera et al., 2008).

Sobre la comunicación para cambio de comportamiento, se han llevado a cabo acciones como la elaboración de guías alimentarias y de actividad física en contexto de sobrepeso y obesidad en la población mexicana, el programa “Chécate, mídete, muévete”, planeado y diseñado por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), fomenta el cuidado de la salud, promueve el ejercicio y desalienta el consumo de alimentos con alto contenido calórico, también el movimiento “5 al día” fomenta el consumo de frutas y verduras. Asimismo, la Estrategia Integral de Atención a la Nutrición (EsiAN) ofrece orientación alimentaria a mujeres embarazadas y madres de niños (<5 años), reparte suplementos de micronutrientes y fomenta la lactancia materna y técnicas de alimentación complementaria. También se ha llevado a cabo el desarrollo de la Ley general de educación, la cual destaca que en las escuelas deben proveer la educación en nutrición junto con normas mínimas de actividad física y deporte para alcanzar una cultura de alimentación y ejercicio (Rivera et al., 2008). Desde una perspectiva histórica, México ha desarrollado y cuenta con distintos programas a nivel federal orientados a mejorar la alimentación mediante acciones basadas en evidencia y acompañadas de la participación de los diferentes actores sociales (gobierno, sector privado, sociedad civil e individuo) (Secretaría de Salud, 2013). En el Cuadro 5 se muestra la cronología de acciones implementadas para disminuir la prevalencia de obesidad y en el Cuadro 6 son detalladas con base en el marco NOURISHING.

**Cuadro 5.** Políticas de alimentación y nutrición en México de 1922 al 2020.

<b>Año</b>	<b>Acciones políticas para mejorar la prevalencia de obesidad</b>
1922	Desarrollo de programas asistenciales para mejorar la seguridad alimentaria y el abasto popular.
1990	Se implementa Progresá, primer programa multisectorial para mejorar el estado nutricional de la población.
1999	El Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) implementó la Segunda Encuesta Nacional de Salud, en la que se reportó el rápido aumento de la obesidad y se logró el desarrollo del Plan Nacional de Salud 2001-2006 y el Programa Nacional de Salud 2007-2012.
2008	Se desarrollan las recomendaciones de hidratación saludable que acompañan al Plato del Bien Comer.
2009	Se lanzó el programa “Cinco pasos para la Salud” y la Estrategia Nacional para la Prevención y el Control del Sobrepeso, la Obesidad y la Diabetes.
2010	Se establece el Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria (ANSA) para abordar intersectorialmente la obesidad.
2013	Se desarrolla la campaña de promoción y prevención de la obesidad denominada “Chécate, mídete y muévete”, reemplazó a “Cinco pasos por tu salud”.
2014	Se establecieron los lineamientos sobre los criterios nutricionales y de publicidad que deberán cumplir los anunciantes de alimentos y bebidas no alcohólicas en televisión abierta y restringida.
2016	La Secretaría de Salud emitió una Alerta Epidemiológica por Diabetes Mellitus y otra por Sobrepeso y Obesidad.
2017	Establecimiento del programa Salud en tu Escuela en 13 entidades federativas, organizado por la Secretaría de Salud y la SEP.
2019	Se aprobó la modificación en el etiquetado frontal (de advertencia) de alimentos y bebidas industrializadas.
2020	Se mantiene la regulación de la venta de alimentos en las escuelas, las campañas educativas, la regulación de la publicidad de alimentos no saludables dirigidos a niños, así como el fomento de la lactancia materna.

Elaboración propia



**Cuadro 6.** Principales instrumentos de política pública enfocados en el individuo, entorno y en los aspectos regulatorios.

<b>Enfocados en el individuo</b>		
<b>Políticas</b>	<b>Características</b>	<b>Contexto Mexicano</b>
Orientación, promoción y educación en nutrición y estilos de vida saludables. *	Abordan la problemática de obesidad con énfasis en niños y jóvenes.	-ANSA. -Educación Nutricional -“Chécate, mídete, muévete”. -Consumo de bebidas para una vida saludable. -Promoción y educación para la salud en materia alimentaria (NOM-043).
Consejería nutricional. *	Contempla el cambio conductual con la guía personalizada del paciente en el tratamiento en contra de la obesidad o ECNT.	-Consejería nutricional en la Postura de la Academia Nacional de Medicina: Guías alimentarias y de actividad física en contexto de sobrepeso y obesidad en población mexicana.
Programas de tamizaje y detección oportuna.	Buscan fortalecer acciones de prevención primaria para detección de sobrepeso, obesidad y enfermedades no transmisibles.	-Estrategia Nacional para la Prevención y Control del Sobrepeso, Obesidad y Diabetes.
<b>Enfocados en el entorno</b>		
<b>Políticas</b>	<b>Características</b>	<b>Contexto Mexicano</b>
Promoción de prácticas de lactancia materna adecuadas en hospitales y entorno laboral.	Focalizadas a proteger, promover y apoyar lactancia materna exclusiva (6 meses) y de continuación (hasta los dos años) (OMS).	-Estrategia Nacional de la Lactancia Materna 2014-2018.
Intervenciones integrales de estilo de vida saludables en el entorno escolar.	Su finalidad es la creación de condiciones favorables del entorno escolar, para que futuras generaciones puedan adquirir conocimiento y prácticas para cuidar y mejorar su salud <sup>a</sup>	-ANSA -Artículo 4 <sup>to</sup> constitucional acceso al deporte. -SEP: 50 minutos semanales de educación física. -Escuelas de tiempo completo. -Programa Nacional de Bebederos escolares.

<b>Políticas</b>	<b>Características</b>	<b>Contexto Mexicano</b>
Intervenciones integrales de estilo de vida saludables en el entorno laboral.	Buscan condiciones saludables en sitios laborales como principal estrategia para promover el cambio de hábitos.	-ANSA.
Intervenciones integrales de estilo de vida saludables en el entorno comunitario o municipal.	Buscan el cambio de entorno de comunidades completas como principal estrategia para promover el cambio de hábitos, alimentación y actividad física. <sup>b</sup>	-ANSA. -Entornos y comunidades saludables del Plan de Acción Específico.

<b>Enfoque regulatorio</b>		
<b>Políticas</b>	<b>Características</b>	<b>Contexto Mexicano</b>
Control de publicidad de alimentos y bebidas poco saludables.	Modificación del entorno alimentario mediante regulación de publicidad.	-Lineamientos para el análisis y verificación de información y publicidad. -Ley general de salud en materia de publicidad. -Ley Federal de Radio y Televisión.
Medidas fiscales como desincentivo al consumo de alimentos y bebidas poco saludables.	Focalizadas a desincentivar el consumo de estos productos para reducir su contribución a la obesidad en la población.	Impuesto a bebidas azucaradas y alimentos no esenciales de alta densidad energética <sup>c</sup> -Reducción en el consumo de bebidas azucaradas de 9.7% a finales del 2015.
Incentivos y subsidios para la producción de alimentos saludables. *	Aumento en la disponibilidad de alimentos saludables.	-DICONSA. -LICONSA. -ANSA.
Regulación del etiquetado de bebidas y alimentos poco saludables.	Etiquetado entendible por toda la población.	-ANSA. -Etiquetado GDA.

*Nota.\** Doble propósito: útiles también para prevenir y controlar la desnutrición. a) Springer, A.E. (2013) y Hoelscher, D.M. (2010). b) Hinckson, E. (2017), Foltz, S.C. (2013) y Coffield, E. (2015). c) Finkelstein, E.A. (2014) y An, R. (2013). Adaptado de “La obesidad en México”, por Rivera et al., 2018. *Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control*. Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública. p. 171-176.

### **3.4. Comercialización y consumo de hongos comestibles en México**

Los hongos forman parte de la diversidad biológica y cultural, su uso se manifiesta en la práctica que aún conservan algunos pueblos de consumir hongos o aprovecharlos por sus propiedades alimenticias, estimulantes y medicinales. En México existen aproximadamente más de 200 000 especies de hongos, no obstante, sólo alrededor del 5% son conocidas (Aguirre-Acosta et al., 2014). Se han cuantificado 371 taxa de hongos silvestres que son consumidos en el territorio mexicano (Garibay-Orijel y Ruan-Soto, 2015). Más de 120 taxa de hongos son usados en la medicina tradicional (Guzmán, 1994; Bautista-González y Moreno-Fuentes, 2015). En 1933 inició el cultivo de hongos comestibles en nuestro país, para el año 2010 se alcanzó una producción de 48,000 toneladas, esta representó el 60% de la producción en Latinoamérica (Martínez-Carrera et al., 1991; Mayett y Martínez Carrera, 2010). Asimismo, Mayett et al. (2012) reportaron un aumento en el número de especies de hongos y diversidad de presentaciones disponibles en el mercado mexicano. Durante el periodo 1991-2011, observaron un incremento de alrededor del 600% en la producción nacional de hongos comestibles cultivados. También, al considerarse los tres niveles socioeconómicos, durante el periodo 2003-2011, se aumentó en un 58.5% el consumo de hongos comestibles.

La comercialización de los hongos se ha observado en mercados, tianguis, supermercados y tiendas especializadas. Pérez-Moreno et al. (2008) reportaron la comercialización de al menos 90 especies en 12 mercados de Ozumba, Estado de México. Burrola-Aguilar et al. (2012) encontraron 38 especies comercializadas en la región de Amanalco, Estado de México. A nivel regional, Estrada-Martínez et al. (2009) señalaron 65 especies de hongos comestibles comercializados en mercados de la Sierra Nevada. Lemin et al. (2010) consideraron tres mercados de la región nororiental del Estado de Puebla: Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla y Zaragoza, de estos, estudiaron los usos y comercialización de 22 taxa de hongos. Contreras et al. (2018), registraron 21 especies de macromicetos silvestres recolectados y comercializados en el mercado de Zaragoza, Puebla.

En este contexto, la producción de hongos comestibles es una alternativa asequible y nutritiva. Son varios los municipios del estado de Puebla que se dedican a la producción

de hongos como *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus ostreatus* (seta) y *Lentinula edodes* (shiitake) (CONABIO, 2011). Cabe mencionar que no se conoce con exactitud el número de especies nativas de hongos comestibles en el estado de Puebla. Por ejemplo, Pellicer-González et al. (2002) reportó 38 especies provenientes de San Salvador El Verde y San Martín Texmelucan. También, en Acajete, Calpan y San Martín Texmelucan se colecta frecuentemente el huitlacoche y se cultiva champiñón y el hongo seta en 41 y 90 municipios del estado respectivamente (Jiménez, 2010).

### **3.5. Estado del arte de las propiedades de los hongos *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* y *Ganoderma lucidum***

A nivel alimentario, los hongos comestibles, presentan un alto contenido de proteínas comparado con los vegetales y poseen aminoácidos esenciales, incluyendo leucina y lisina (ausente en la mayoría de los cereales), ricos en carbohidratos, minerales (superando a la carne de muchos pescados), moderados en fibra cruda, ceniza y bajo contenido de calorías. (Chang y Miles, 2004; López-Rodríguez et al., 2008). En México, uno de los hongos comestibles más estudiado y cultivado es *Pleurotus ostreatus*, este se considera un alimento saludable y económicamente accesible (Valverde y Intarapichet, 2009). Se encuentra distribuido en la naturaleza, crece en partes vivas o muertas de plantas, en condiciones controladas se cultivan fácilmente.

La taxonomía del género es compleja debido a la variabilidad morfológica de los basidiocarpos causada principalmente por factores ambientales. Diversos autores han clasificado a este hongo mediante criterios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y genéticos (Anderson et al., 1973; Zervakis, et al., 1994). Kong (2004) establece que se tienen registradas aproximadamente 70 especies. El hongo *Pleurotus* tiene efectos anticancerígenos, antibióticos, hipocolesterolémicos, antitrombóticos y antidiabéticos. Cabe señalar que, estas propiedades le confieren un impulso adicional al desarrollo productivo de este hongo (Yang et al., 2002; Martínez- Carrera et al., 2007). También, extractos de *P. ostreatus* han demostrado un efecto prebiótico potencial en el intestino humano por sus componentes glucanos y proteoglucanos (Öztürk et al., 2015). Sus componentes fenólicos como el ácido ascórbico, el  $\beta$ -caroteno, el licopeno y el  $\gamma$ -tocoferol

son responsables de la actividad antioxidante de *P. ostreatus* (Chirinang y Intarapichet, 2009).

Otro importante hongo comestible en nuestro país es el huitlacoche (*Ustilago maydis*), en la época prehispánica se consideraba una deformidad o anomalía de la mazorca. El vocablo en náhuatl “huitlacoche” o “cujtlacochi” refiere a “mugre que crece encima del maíz” (Valadez-Azua et al., 2011). En la época colonial, el huitlacoche era un alimento de subsistencia para indígenas y campesinos, necesario y presente en su dieta. Hoy en día, protagoniza importantes recetas de la alta cocina mexicana (Paredes et al., 2006). El huitlacoche es un basidiomiceto que infectan los granos del maíz, pertenece a la clase de los *Ustilaginales*, que incluyen aproximadamente 1 200 especies distribuidas en más de 50 géneros (Banuett, 2007). Actualmente, su consumo va en aumento por su sabor y valor nutrimental, incluso ha provocado gran interés en los agricultores por sus beneficios económicos, los cuales son superiores a los obtenidos con la siembra de maíz (Vanegas et al., 1995). El consumo de *U. maydis* se da principalmente en la región de los Valles Altos de México. Sobre su compra y consumo, sobresalen los estados de México, Morelos, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Castañeda y Leal, 2012).

Uno de los aspectos más aprovechados del huitlacoche es su uso como alimento debido a su sencilla y masiva propagación en sustratos naturales, así como por sus propiedades organolépticas, nutricionales y medicinales (Madrigal et al., 2010). Posee bajo contenido de grasa saturada y colesterol, tiene un alto contenido de ácidos grasos esenciales como los ácidos linoleico y linolénico (72.1 a 73.6% del total) y un alto contenido de proteína que va del 11.5 al 16.4% (Valverde y Paredes-López, 1993). Trabajos como el de Martínez-Flores et al. (2008) reportaron la presencia de 18 aminoácidos esenciales, destacando a la lisina (27.2%) como el de mayor abundancia. Posteriormente, Valverde et al. (2015), indicaron que el huitlacoche contiene entre el 44.3% y 48.9% de aminoácidos totales, alto contenido de serina, glicina, ácido aspártico y glutámico. Además, es rico en azúcares libres de fácil digestión como la glucosa y fructosa (Valdez-Morales et al., 2009). Presenta una actividad antioxidante por sus compuestos fenólicos y flavonoides totales. Otros componentes bioactivos que caracterizan al huitlacoche son los  $\beta$ -glucanos (20-120 mg/g), que de forma similar a la de otros hongos comestibles,

son absorbidos y aprovechados para la disminución de la glucosa y lípidos, así como para el mejoramiento de la motilidad intestinal (Valverde et al., 2015). Compuestos fenólicos como el ácido gálico, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, rutina, entre otros, tienen acciones farmacológicas con efectos hepatoprotectores, antibacteriales, antivirales, anti-inflamatorias, anti-alérgicas, antitrombóticas, vasodilatadoras y antihiperlipemicas (Yoo et al., 2014; Kosuru et al., 2018; Bento-Silva et al., 2017; Umadevi et al., 2012; Hsu y Yen, 2007). Por tanto, el consumo regular de este hongo ha mostrado efectos positivos en la nutrición y la salud (Méndez-López et al., 2019).

El hongo medicinal *Ganoderma lucidum* es un Basidiomycete de la familia Ganodermateaceae, satinado al exterior, de gran tamaño y textura leñosa. Crece en árboles caídos y en troncos de otros árboles de hojas amplias (Shao et al., 2004). Alrededor del mundo se han descrito más de 250 especies de *Ganoderma* (Wang et al., 2012). Este hongo ha sido ampliamente estudiado por su actividad inmunológica y alta capacidad antioxidante (Wei et al., 2012). Estudios realizados en México entre el 2002 y 2012 mostraron una gran diversidad de especies de *Ganoderma* distribuidas en Colima, Guanajuato, Jalisco, Sonora, Veracruz, Aguascalientes, Hidalgo, Puebla, Morelos, entre otros (Alvarado et al., 2007; Montañón et al., 2006; Suarez-Medellín et al., 2012; Romero-Bautista et al., 2010; Tello, 2010). El cuerpo fructífero, los micelios y las esporas de *G. lucidum* contienen aproximadamente 400 compuestos bioactivos.

Los triterpenos, polisacáridos, proteoglicanos y proteínas de *G. lucidum* son los principales responsables de efectos inmunomoduladores, antiateroscleróticos, antiinflamatorios, analgésicos, quimiopreventivos, antitumorales, antibacterianos, antivirales, hipolipidémicos, antifibróticos y hepatoprotectores (Wasser y Weis, 1997; Chang y Buswell, 1999; Jong y Birminhgham, 1992). Derivados triterpénicos oxigenados de *G. lucidum* tienen efectos hipocolesterolemiantes (Shiao et al., 1994). Los ganoderoles A y B inhiben la vía de síntesis de colesterol (Hajjaj et al., 2005). Los triterpenos inhiben la síntesis de colesterol a través de la inhibición de la enzima 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A reductasa (HMG-CoA) (Shiao et al., 1994). De acuerdo

con los resultados de Pérez-Luna (2020) en el Cuadro 7 se muestran los componentes de las especies de hongos empleados para este estudio.

**Cuadro 7.** Análisis químico proximal de los hongos utilizados en la elaboración de las dietas experimentales.

<b>Muestras</b>	<b><i>Ganoderma lucidum</i></b>	<b><i>Pleurotus ostreatus</i></b>	<b><i>Ustilago maydis</i></b>
<b>Componente</b>	<b>Resultado (por cada 100 g de muestra)</b>		
Humedad (g)	12.05	8.89	7.83
Cenizas (g)	1.12	4.23	4.29
Grasa (g) (extracto etéreo)	5.14	2.94	3.15
Proteína (g)	11.76	26.96	11.39
Fibra dietética (g)	55.41	24.52	13.07
Carbohidratos digeribles totales (g)	14.52	32.56	60.27

*Nota.* Análisis químico proximal reportado por el Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos del Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Universidad Autónoma de México. Tomado de “Efecto del consumo de hongos comestibles y medicinales sobre el metabolismo lipídico, en un modelo de obesidad inducido por dieta” por Pérez-Luna, 2020, Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, p. 54.

### **3.6. Efecto de los hongos *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* y *Ganoderma lucidum* en la obesidad**

*Pleurotus ostreatus* ha sido estudiado desde hace varios años, el trabajo de Chorvathova et al. (1993) fue uno de los primeros en comprobar la posible efectividad en la disminución en los niveles de colesterol total (CT) en sangre de un modelo animal tras una intervención de 12 semanas, se observó una reducción del 90% de CT. Robek et al. (1993) durante dos meses utilizaron un modelo animal y observaron una disminución significativa en los niveles de glucemia entre ratas del grupo control y el grupo de ratas inducidas con diabetes mellitus. En otro estudio, se mostró que la ingesta de *P. ostreatus* (5% en polvo) durante 5 semanas en ratas con hipercolesterolemia mejora el perfil lipídico y disminuye significativamente el colesterol hepático. Respecto al peso corporal, no se observaron diferencias significativas entre ratas normocolesterolémicas, hipercolesterolémicas o suplementadas con el polvo de *P. ostreatus* (Hossain et al., 2003). Schneider et al. (2011) observaron en adultos con hiperlipidemia moderada no tratada que, el consumo diario de una sopa que contiene 30 g de *P. ostreatus* liofilizado durante 3 semanas, disminuye un 23% los niveles de triglicéridos en sangre. Otro estudio

clínico no controlado con participantes con dislipidemia mostró una disminución en los valores de triglicéridos (36%), colesterol total (22%) y relación CT/HDL-C (24%) al consumir 10 g de *P. ostreatus* en polvo liofilizado al día durante 6 semanas (Kajaba, et al., 2008). En esta perspectiva, Ravi et al. (2013) realizaron un estudio en ratas diabéticas a las que administraron una dosis de *P. ostreatus* (150 mg/kg/día) y después de 15 días de intervención observaron una disminución en los niveles de glucosa en comparación con el grupo de ratas diabéticas sin tratamiento. Alam et al. (2009) observaron que la administración del 5% de polvo de *P. ostreatus* tiene efectos positivos sobre los perfiles de lípidos fecales y plasmáticos, así como en la función hepática y renal en ratas normocolesterolémicas e hipercolesterolémicas. En este estudio se redujeron los niveles de colesterol total en plasma en un 37%, los niveles de triglicéridos en un 45%, la relación LDL/HDL en un 45% y el peso corporal de ratas con hipercolesterolemia en un 23.37% al final del estudio (40 días).

También, se han realizado pruebas clínicas en humanos que muestran la importancia de *P. ostreatus* en la prevención de enfermedades. Choudhury et al. (2013) mostraron en voluntarios hombres de 27 a 67 años con hipertensión arterial y diabetes mellitus tipo 2 que el consumo de cápsulas de *P. ostreatus* (500 mg polvo) tres veces al día durante tres meses disminuye la presión arterial sistólica y diastólica significativamente y mejora el perfil lipídico aterogénico. Agrawal et al. (2010) observaron que la suplementación dietética con cuerpos fructíferos en polvo de *Pleurotus ostreatus* en 120 pacientes con diabetes tipo II no causa cambios significativos en el IMC y relación cintura-cadera, pero si reduce de forma gradual la hiperglucemia (HbA1c), la presión arterial sistólica y diastólica y mejora significativamente el perfil de lípidos. De igual forma, Khatun et al. (2007) observaron que el consumo de *P. ostreatus* cocido (50 g tres veces al día) en 30 voluntarios diabéticos no presentó cambios significativos en el peso y en los valores de HDL, pero si disminuciones significativas en los niveles plasmáticos de glucosa, triglicéridos, colesterol y presión arterial sistólica y diastólica. Cabe mencionar que del hongo *P. ostreatus* se obtuvo una de las primeras estatinas, la mevinolina, también conocida como lovastatina, la cual actúa como inhibidor de la 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A (HMG-COA) reductasa, y posiblemente intervenga en los efectos hipolipidémicos al reducir la biosíntesis del colesterol (Alarcón y Águila, 2006).



Existen pocos estudios en humanos o en modelos animales que analicen los efectos del consumo del huitlacoche. De estos, en dietas experimentales adicionadas con huitlacoche crudo y guisado en un 10% se observó un mayor efecto hipoglucémico en ratas diabéticas alimentadas con huitlacoche guisado. Durante los 28 días se observó un efecto en el peso, las ratas sanas alimentadas con dieta base aumentaron un 4.05% al final del estudio mientras que las ratas con dieta de huitlacoche crudo aumentaron solamente el 1.12% y 3.04% para las ratas con ingesta de huitlacoche cocido. Para las ratas diabéticas que se alimentaron solo con dieta base, disminuyeron su peso en un 10.83% al final de los 28 días, por el contrario, las ratas diabéticas alimentadas con huitlacoche cocido ganaron un 7.91% de peso y con huitlacoche crudo disminuyeron el 0.22% de su peso. Además, este trabajo demostró que *Ustilago maydis* tiene un efecto estabilizador del perfil lipídico en ratas diabéticas (Salazar, 2013). También, Huerta (2013) estudió el efecto del huitlacoche sobre indicadores bioquímicos del estrés oxidativo en ratas diabéticas y normales, demostró que la concentración de glucosa en orina y el contenido de glutatión reducido (GSH) en riñones disminuye significativamente en el grupo de ratas alimentadas con huitlacoche crudo.

Otros trabajos han correlacionado los compuestos fenólicos presentes en el huitlacoche con posibles efectos benéficos a la salud, tales como mayor sensibilidad a la insulina y homeostasis lipídica por su contenido de ácido gálico (Hsu y Yen, 2007; Chao et al., 2014), la disminución en los niveles de triglicéridos, efectos antidiabéticos y antiinflamatorios por la presencia de ácido o-cumárico (Hsu et al., 2009; Amalan et al., 2016). Otros compuestos fenólicos presentes en el huitlacoche con efectos positivos en los niveles de triglicéridos, colesterol total, LDL y aumento de HDL son el ácido p-cumárico y la rutina (Zang et al., 2000; Al-rejaie et al., 2013).

Por otro lado, Chang et al. (2015) demostraron que los polisacáridos de alto peso molecular (> 300 kDa) de un extracto acuoso de micelio de *Ganoderma lucidum* (WEGL) reduce el peso corporal, la inflamación y la resistencia a la insulina de forma dependiente de la dosis (2%, 4% y 8% P/V) en ratones alimentados con una dieta alta en grasas, así como un efecto prebiótico que previene la disbiosis intestinal y los trastornos metabólicos relacionados con la obesidad. Extractos acuosos de polisacáridos aislados del cuerpo

fructífero de *G. lucidum* benefician al sistema cardiovascular, inhiben la síntesis de colesterol (Komoda et al., 1989) y tienen efectos antioxidantes (Lee et al., 2001; Zhu et al., 1999; Lai et al., 2006).

Datos transcripcionales de un estudio en ratones alimentados con una dieta alta en grasas y adicionada con extractos de *G. lucidum* estandarizados (GI-1 y GI-2) previenen la acumulación de lípidos hepáticos a través de lipogénesis y restauración de la homeostasis de lípidos (procesamiento, transporte inverso de colesterol y exportación de lípidos), que en consecuencia mejora las vías catabólicas sobre las vías anabólicas (Romero et al., 2021). También Bach et al. (2018) analizaron el efecto de un extracto hidroetanólico de *G. lucidum* (GWA) en ratas inducidas a diabetes durante 30 días, y observaron que los animales del grupo control tuvieron un aumento de peso alrededor de 27.4 g, mientras que el grupo normoglucémico que recibió solo extracto de GWA tuvo un aumento de solo 19 g. Los animales de los grupos con diabetes y extracto (DM1 + GWA) tuvieron una pérdida de peso de 6,8 g en comparación con los animales con diabetes y sin extracto (DM1), donde la pérdida de peso fue de 30,80 g. Los ganoderanos A y B obtenidos del extracto tienen efectos hipoglucémicos (Hikino et al., 1985). El proteoglicano de los cuerpos fructíferos de *G. lucidum* mostró efectos antidiabéticos, antihiperlipidémicos y antioxidantes en ratones (Pan, et al, 2013; Oluba et al., 2014; Mirunalini y Deepalakshmi, 2013). De un extracto acuoso de *G. lucidum* aplicado en ratones diabéticos se observó una disminución en los niveles de glucosa en suero y en la expresión hepática de la actividad del fosfoenolpiruvato carboxiquinasa (Seto et al., 2009).

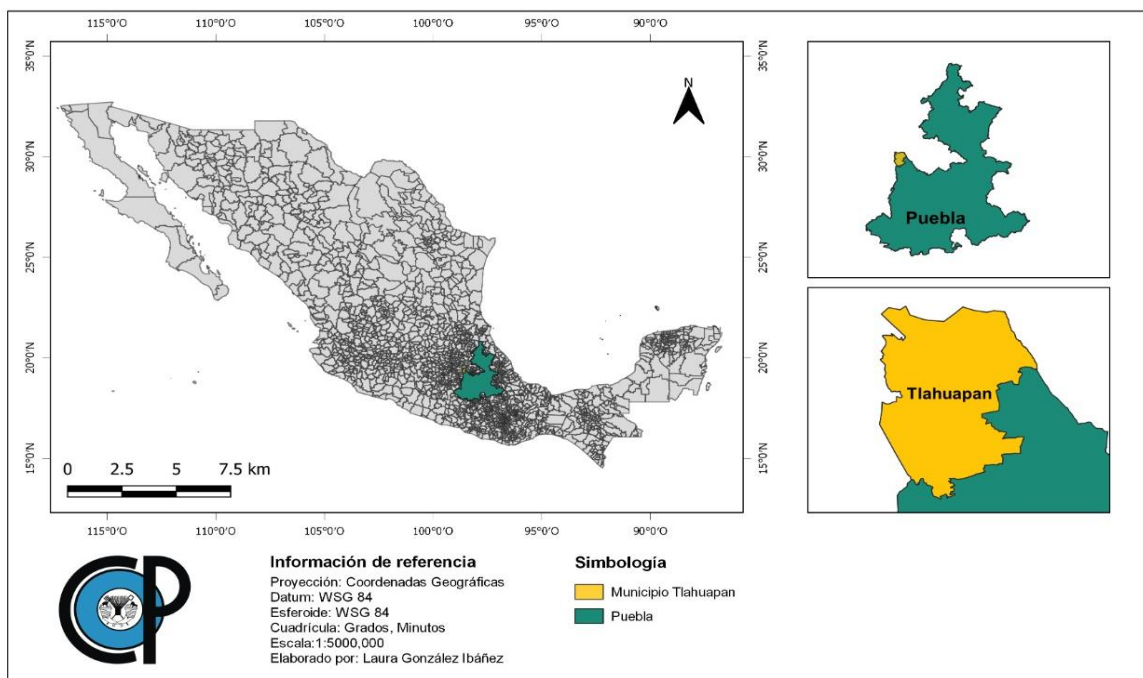
Se han realizado investigaciones en nutrigenómica sobre la interacción entre *G. lucidum* y el metabolismo de lípidos. Meneses et al. (2014, 2015a-b, 2016) estudiaron el efecto de extractos estandarizados de los recursos genéticos mexicanos de *G. lucidum* (CP-145) sobre la expresión diferencial de genes relacionados con el metabolismo de colesterol y de síntesis de ácidos grasos en animales de experimentación (ratones cepa C57BL/6), tales como: la enzima HMG-CoA; la proteína SREBP-1 y SREBP-2; el receptor LDL-r; el regulador ABCA1, ABCG5 y ABCG8, el CYP 7, el FAS, la enzima ACC y el activador PGC1. Se analizó el efecto del consumo de los extractos estandarizados de *G.*

*lucidum* (GI) cultivados en sustratos con y sin ácido acetilsalicílico (10 mM) en ratones C57BL/6 alimentados con una dieta alta en colesterol con la finalidad de evaluar los efectos en los parámetros bioquímicos séricos, acumulación de lípidos en el hígado, el metabolismo del colesterol y la microbiota intestinal. Se observó que el extracto GI-1 (control) y GI-2 (cultivo adicionado con ácido acetilsalicílico) reduce significativamente el colesterol total en suero (entre un 19.2% a 27.1%), LDL-C (entre un 4.5% a 35.1%), la concentración de triglicéridos en plasma (entre un 16.3% a 46.6%), el colesterol hepático (entre un 28.7% a 52%) y los triglicéridos hepáticos (entre un 43.8% a 56.6%). Respecto a los efectos prebióticos de los extractos *GI-1* y *GI-2* modulan la composición de la microbiota intestinal y aumentan el nivel del género *Lactobacillus* en comparación con el grupo control. Un estudio clínico exploratorio en una voluntaria de 63 años con diabetes mellitus tipo 2, complementó su alimentación con un extracto natural estandarizado de *G. lucidum* durante 40 días y se observó una disminución de glucosa, hemoglobina glucosilada e insulina. Los lípidos en sangre mostraron un decremento importante en el contenido de triglicéridos, colesterol total, lipoproteína de baja densidad (LDL) y lipoproteína de muy baja densidad (VLDL) (Martínez-Carrera et al., 2016).

### **3.7. Características de las comunidades**

#### **3.7.1. Ubicación**

Las localidades San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo pertenecen al municipio de Tlahuapan (del náhuatl, en la tierra de encinas). Se localiza en el centro oeste del estado de Puebla. Es fronterizo con los estados de México, Tlaxcala y con las faldas de la Sierra Nevada. Tlahuapan, se encuentra en una altitud entre 2 500 y 4 500 msnm con una extensión territorial de 30,933 hectáreas (Figura 6) (INEGI,2009).



**Figura 6.** Municipio Tlahuapan, Puebla.

### 3.7.2. Características físico-bióticas y socioeconómicas de las comunidades

#### Clima, vegetación y fauna

En Tlahuapan, existen 3 tipos de clima de acuerdo a la altitud, el clima semifrío húmedo, el templado subhúmedo con verano fresco y el templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 14.6°C, la temperatura mínima es de 11.6°C y máxima de 22°C (INEGI, 2000). Los principales tipos de vegetación son el bosque de pino-encino, bosque de pino, pastizales y matorral secundario. Algunas plantas medicinales que se encuentran en esta zona son la menta, hierba del zopilote, pericón, nopal, árnica, entre otras. De las zonas boscosas las personas aprovechan el heno o paxtle, los hongos, capulines, quintoniles, quelites, verdolagas, zarzas, apepisco y tlanoshtles (Lara, 2010; SEMARNAT y CONANP, 2013). En relación a la fauna, existen 300 especies de insectos, 20 de anfibios y reptiles, 80 de aves y 40 de mamíferos terrestres. El municipio de Tlahuapan forma parte del Área Natural Protegida. Tradicionalmente la biota del Parque Nacional Iztaccíhuatl, Popocatepelt ha sido utilizada por las comunidades de los alrededores para el autoconsumo y comercialización. También, en esta área se extraen hongos comestibles, musgos, heno, hierbas

aromáticas, plantas medicinales, ocote, suelo y semillas (Lara, 2010; SEMARNAT y CONANP, 2013).

Existe una escasez de trabajos sobre la comercialización y consumo de hongos comestibles en Tlahuapan, no obstante, la encuesta realizada por Estrada-Martínez et al. (2009) en los mercados de San Martín Texmelucan, Chalco, Amecameca y Ozumba, mostró que el 95% de las 200 personas entrevistadas consumía hongos del “monte” durante alguna época del año. Estrada et al. (2012) encontraron que en las comunidades de la Sierra Nevada existe un consumo frecuente de hongos silvestres y comercialización realizada principalmente por mujeres. En esta misma región, entre 2002 y 2005, Pérez-Moreno et al. (2008) encontraron 92 taxa en los mercados regionales y locales en zonas pertenecientes a los Parques Nacionales Izta-Popo y Zoquiapan. Trabajos como el de Martínez-Alfaro et al. (1983) exponen el origen y los usos de 158 especies de hongos en la Sierra Norte de Puebla, de estas, 40 especies son comestibles que crecen en zonas altas y montañosas. También, Lemin et al. (2010) encontraron 39 especies diferentes de hongos en los mercados de Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla y Zaragoza, Puebla, los cuáles crecen en bosque de pino-encino entremezclados con potreros, acahuales y diversos cultivos, tales características, se encuentran en el municipio de Tlahuapan. El conocimiento micológico tradicional prevaleciente en la población de la Sierra Nevada tiene un gran valor alimentario y cultural, así como una importante influencia en las localidades de Tlahuapan.

### Condición socioeconómica

Tlahuapan cuenta con 40 220 habitantes, de las que 19 840 son hombres y 20 380 son mujeres (INEGI, 2017). La localidad de San Miguel Tianguistenco tiene 3306 habitantes, de estos 1 649 son hombres y 1 657 mujeres. Santiago Coltzingo cuenta con 3 155 habitantes, de estos 1 533 son hombres y 1 622 mujeres. En el municipio, el porcentaje de personas sin acceso a servicios de salud fue de 40.5% (11 877 personas afectadas). Respecto a la incidencia de la carencia por acceso a la alimentación fue de 22.3% (6 544 personas afectadas). Referente a la condición de pobreza, 17 809 habitantes se encontraban en pobreza moderada y 5 263 habitantes en pobreza extrema. El 14.6% de

la población reportó habitar en viviendas sin disponibilidad de servicios básicos (SEDESOL, 2015).

Sus actividades económicas se agrupan en agropecuarias (agricultura ganadería, siveicultura, caza, y pesca); de transformación (minería, petróleo, gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción); y de servicios (comercio, transporte, gobierno, financieros, salud, educación, recreación y turismo). De 1970 al año 2014 se observó una evolución de las actividades mencionadas, donde las del tipo agropecuario disminuyeron notablemente pese a los apoyos dados por PROAGRO hacia este sector (1973 productores beneficiados), incluso los asignados por el programa PROSPERA (solo 22 localidades beneficiadas) no fueron suficientes para el notable aumento en las actividades de transformación y servicios. Los estilos de vida de los habitantes cambiaron debido a las oportunidades de empleo ofertadas en las ciudades cercanas y por la migración al extranjero (INEGI, 2017). En Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco los principales cultivos son el maíz, el frijol y la cría de aves de corral. Por la cercanía del municipio con la biota del Parque Nacional Iztaccíhuatl, Popocatépetl, localidades como Santa Rita, tiene antecedentes de recolección y consumo de hongos silvestres. Cabe mencionar que, en la actualidad, la actividad agropecuaria no es la principal fuente de ingreso en las familias ejidatarias. La recolección y consumo de hongos ha disminuido debido a la deforestación y la emigración de los jóvenes en busca de empleo hacia las ciudades y países extranjeros (Guevara et al., 2014; Estrada et al., 2012; Pérez et al., 2008).

#### IV. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Hoy en día, el patrón alimentario mexicano tiende a ser desequilibrado, ya que supera los requerimientos mínimos calóricos y no cumple con las recomendaciones nutricionales (Torres y Trápaga, 2001). La principal causa de este desequilibrio México es la disminución en el consumo de alimentos locales y tradicionales con alto valor nutritivo y propiedades funcionales por el aumento e integración de alimentos industrializados con un elevado aporte en azúcares simples, harina refinada y grasa saturada (FAO,2019). En México, se estima que el 75.2% de adultos mayores de 20 años tienen sobrepeso y obesidad. En las zonas urbanas y rurales del estado de Puebla, la prevalencia es del 75.8% y 60.6% respectivamente (INSP,2020).

La obesidad es el resultado del en la ingesta energética y un estilo de vida sedentario que genera una sobrecarga metabólica crónica de bajo grado, la cual, a través del tiempo puede provocar, resistencia a la insulina y estados inflamatorios, tales como la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2), enfermedad de hígado graso y la aterosclerosis. Derivado del estado de obesidad, existe evidencia que señala la conexión entre los sistemas metabólicos, la activación de la señalización de estrés celular y las vías inflamatorias, siendo el estrés del retículo endoplásmico, un vínculo molecular importante en el desarrollo de obesidad, el deterioro de la acción de la insulina y las complicaciones de la DMT2. Cabe mencionar que la transición alimentaria y nutricional (TAN) actual, es un factor relevante que continúa impactando negativamente en el estado de salud de las personas. En el caso de las localidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla, se suman los factores de disponibilidad y oferta alimentaria que, al combinarse, disminuyen la accesibilidad a alimentos saludables. Asimismo, la tendencia en la migración y urbanización de estas zonas favorece la TAN, la pérdida del consumo de alimentos tradicionales y la disminución de la recolección de hongos comestibles.

Ante este panorama, el desarrollo de estrategias que prevengan y mejoren las alteraciones en el metabolismo causados por la obesidad son de gran importancia. La incorporación de alimentos funcionales en la dieta como la ingesta de los hongos comestibles *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y el hongo medicinal *Ganoderma lucidum* son una alternativa con beneficios sobre el metabolismo y efectos prebióticos

que disminuyen el riesgo de padecer diversas patologías, sin embargo, se desconoce su efecto en la expresión de indicadores moleculares relacionados con el estrés del RE en tejido adiposo derivado de un modelo animal inducido por dieta a obesidad.

Por tanto, en la presente investigación, se obtuvo información reciente sobre el consumo de hongos comestibles cultivados y se evaluó el estado nutricional y calidad dietética de los habitantes de las comunidades rurales de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla con la finalidad de contribuir al diagnóstico y prevención de las enfermedades asociadas al sobrepeso y obesidad, ya que, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) solo reporta datos con representatividad nacional y estatal divididos por estrato urbano y rural sin especificar los municipios encuestados. Además, se analizaron los efectos del consumo de los hongos *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*, haciendo uso de indicadores de inflamación (adiponectina, TNF- $\alpha$  y JNK) y del estrés del RE del tejido adiposo (GRP78, ATF6, XBP-1, eIF2 $\alpha$ , JNK y TANK) debido a que se desconoce su efecto en la expresión de indicadores moleculares relacionados con el estrés del RE en tejido adiposo derivado de un modelo animal inducido por dieta a obesidad, lo cual da sustento científico a la estrategia de alimentación saludable a nivel regional que integra un mayor consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales con la finalidad de contribuir a la prevención de las enfermedades derivadas del ambiente obesogénico actual.



## V. HIPÓTESIS

El estudio del efecto de la ingesta de hongos comestibles, funcionales y medicinales en la expresión de marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico en tejido adiposo de un modelo *in vivo* generará la evidencia científica que sustente el diseño de una estrategia de alimentación saludable a nivel regional integrando un mayor consumo de estos en las comunidades rurales de Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla por su alta prevalencia de obesidad asociada a un patrón de alimentación no saludable.

### 5.1 Hipótesis específicas

- I. La obesidad en las comunidades de Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco es resultado de un patrón de alimentación no saludable.
- II. La obesidad afecta la expresión de marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico de tejido adiposo subcutáneo.
- III. El consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales mejora la condición de obesidad disminuyendo la expresión de los marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico de tejido adiposo subcutáneo.

## VI. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Analizar el estado nutricional y calidad dietética de los habitantes de las comunidades rurales de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla, y estudiar el problema de obesidad en modelo *in vivo* para diseñar una estrategia de alimentación saludable a nivel regional integrando un mayor consumo de hongos comestibles, funcionales y medicinales.

### 6.2 Objetivos específicos

1. Realizar un análisis del estado nutricional y calidad dietética de los habitantes de las comunidades rurales Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla.
2. Analizar el efecto del consumo de los hongos comestibles, funcionales y medicinales *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en marcadores inflamatorios (adiponectina, TNF- $\alpha$  y JNK) y del estrés del retículo endoplásmico (BiP, ATF6, XBP-1, TANK, eIF2 $\alpha$  y JNK) en tejido adiposo de un modelo animal de obesidad inducido por dieta mediante la cuantificación de mRNA por RT-PCR, proteínas por Western Blot y análisis histológico de los adipocitos.
3. Diseñar una estrategia que aumente la difusión de los beneficios de la inclusión de los hongos comestibles, funcionales y medicinales en una dieta saludable, así como su promoción en el consumo de las familias de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla, con la finalidad de contribuir a la mejora del estado nutricional y prevención de las enfermedades asociadas a la obesidad en este sector de la población.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Diagnóstico del estado nutricional y calidad dietética de las comunidades

#### 7.1.1. Selección de las localidades, población y tipo de estudio

Las localidades Santiago Colzingo y San Miguel Tianguistenco pertenecen al municipio de Tlahuapan, Puebla. Las comunidades de estudio fueron seleccionadas por su acceso geográfico, diversidad biológica y antecedentes de recolección, consumo y comercialización de hongos comestibles silvestres y cultivados en el municipio y colindantes (Estrada et al., 2012; Contreras et al., 2018; Corona-González, 2017; Lemin et al., 2010; Estrada-Martínez et al., 2009; Martínez-Alfaro et al., 1983). También, las localidades son parte de la Microrregión de Atención Prioritaria (MAP) del Colegio de Postgraduados *Campus*, Puebla el cual ha contribuido en el desarrollo de diferentes actividades productivas y de mejoramiento en las condiciones de vida de las familias rurales.

Este estudio contempla un diseño no experimental, descriptivo, transversal, con un enfoque cuantitativo. Se invitó a participar a los habitantes de las dos comunidades que asistieron a talleres de alimentación saludable. Se registraron las variables: nivel educativo de las participantes (primaria, secundaria, bachillerato o licenciatura), estado de alfabetización (sí o no), estado civil (soltera, casada, unión libre u otro) y edad (años). Para el análisis del estado nutricional se registraron 72 personas adultas entre 20 y 75 años, aparentemente sanos de los cuales 42 voluntarios pertenecen a la comunidad de Santiago Colzingo y 30 voluntarios son de la comunidad de San Miguel Tianguistenco. Para evaluar la calidad de la dieta se consideraron solo a 66 personas de ambas comunidades debido a que no todos los participantes completaron el cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos. La recolección de datos se llevó a cabo en el Centro de Salud de las comunidades y fue realizado por nutriólogos capacitados. Los criterios de inclusión para ambos análisis fueron: a) tener una edad entre 20 y 75 años; b) cumplir con la firma de un consentimiento informado que autoriza el uso de la información con fines científicos; c) completar el cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos (CFC), así como las mediciones antropométricas, parámetros bioquímicos

y presión arterial. Se excluyeron aquellos que fueran menores de edad (<18 años), mujeres embarazadas o personas que tuviera algún régimen alimenticio especial.

Los protocolos de evaluación y tratamiento de datos fueron previamente revisados y aprobados por el Comité Interno de Bioética (CIB), del Colegio de Postgraduados, *Campus*, Puebla con el número de registro CIB-CB-HCFM-004 acorde a la Declaración de Helsinki.

### **7.1.2. Valoración del estado de salud y estado nutricional**

Se evaluó el peso corporal a través de una báscula de la marca OMRON HBF-514C (Omron Healthcare, INC. Illinois, U.S.A.). La estatura se midió con un estadímetro de la marca BAME 420 (precisión 0.1 cm). El IMC se clasificó de acuerdo a los criterios de la Norma Oficial Mexicana para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad (Secretaría de Salud, 2017). Se midieron la circunferencia de cintura (CC) y cadera con una cinta antropométrica (Lufkin Industries, Texas). Para la determinación de adiposidad abdominal y riesgo cardiovascular se calculó el índice cintura-cadera (ICC) (perímetro de la cintura entre el perímetro de la cadera) y el índice cintura-talla (ICT) (circunferencia de la cintura entre la estatura en centímetros), ambos se clasificaron en función a los lineamientos establecidos por Alberti et al. (2006) y Browning et al. (2010).

La presión arterial se tomó con un baumanómetro OMRON HEM-7130 (Omron Healthcare, INC. Illinois, U.S.A.). Los resultados se clasificaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la hipertensión arterial sistémica (Secretaría de Salud, 2009). Respecto a los parámetros bioquímicos se midieron los niveles de glucosa, triglicéridos (TG) y colesterol total (CT) en sangre capilar en ayunas de 10-12 horas con el equipo ACCUTREND Plus Roche (Roche Diagnostics Ltd., Switzerland). El rango de glucosa se estableció en función a los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus (Secretaría de Salud, 2018). Los valores de triglicéridos y colesterol se clasificaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana para la prevención, tratamiento y control de las dislipidemias (Secretaría de Salud, 2002).

### **7.1.3. Frecuencia en el consumo de alimentos y calidad dietética**

Para conocer el estado nutricional y calidad de la dieta de los voluntarios se realizó una historia clínico-nutricional y recordatorio de 24 horas (Menchú, 1996). Para la recolección de información sobre la frecuencia del consumo de alimentos y hongos se consideraron los siguientes aspectos:

- a) Datos generales: nombre del entrevistado, edad, nivel de escolaridad, teléfono y/o correo, localidad, municipio y estado civil.
- b) Antecedentes familiares y fisiopatológicos: padecimientos de su padre o madre, enfermedades que padece, medicamentos, actividad física.
- c) Historia dietética: comidas que realiza al día, apetito, alimentos preferidos, alergias alimentarias, alimentos que provoquen malestar, líquidos que consume al día, nombre del encargado de la alimentación familiar.
- d) Diagnóstico clínico-bioquímico nutricional: valores de colesterol, triglicéridos, glucosa y presión arterial.
- e) Evaluación antropométrica: peso, estatura, circunferencia de cintura, circunferencia de cadera.
- f) Frecuencia de consumo de alimentos: frecuencia con que consume los alimentos, cantidad de alimentos que consume, frecuencia de consumo de hongos, frecuencia de consumo de alimentos por semana, recordatorio de 24 horas.

Se utilizó el software NutriKcal VO para consultorio Versión 1.1. para analizar la información del recordatorio de 24 horas. Los datos obtenidos se vaciaron en una hoja de Excel y se calcularon los porcentajes de adecuación del consumo de energía, macronutrientes y micronutrientes con base en la guía de “Ingesta de referencia dietética” (Otten et al. 2006). Solamente para el cálculo de las grasas totales, monoinsaturadas, poliinsaturadas, saturadas y colesterol se utilizaron las recomendaciones de la Sociedad Española de Aterosclerosis. La energía fue ajustada por sexo, edad, peso y estatura, según la fórmula del requerimiento estimado de energía

(EER) descrito por Orozco-Ruiz et al. (2017). Se consideró el grado de cumplimiento de las recomendaciones de consumo cotidiano de 13 grupos de alimentos propuestos por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). Se calculó con la sumatoria de 14 indicadores, la puntuación máxima fue de 140 puntos. Las categorías se conformaron por: 1) Saludable >112 puntos, 2) Necesita-cambios 111-71 puntos y 3) Poco-saludable <70 puntos (INSP, 2020b).

#### **7.1.4. Análisis estadístico**

Todas las variables fueron sometidas a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó el promedio y desviación estándar para el análisis descriptivo. Se aplicó la prueba de ANOVA de una vía y el test de Student para evaluar las diferencias entre grupos. Las variables que no cumplieron con la normalidad en la distribución fueron comparadas con el test de Mann-Whitney con un nivel de significación de  $\alpha < 0.05$ . Los análisis se realizaron con el paquete estadístico GraphPad Prism (Versión 8.0.2.).

### **7.2. Estudio del problema de obesidad en modelo *in vivo***

#### **7.2.1. Diseño experimental**

El estudio del problema de obesidad en un modelo *in vivo*, se realizó con las facilidades otorgadas por el Departamento de Fisiología de la Nutrición del Instituto de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) a través de una colaboración académica. Para estudiar el efecto del consumo de las diferentes especies de hongos en un modelo animal se utilizaron 42 ratas Wistar macho de 6 semanas de edad, proporcionados por el Bioterio del INCMNSZ, con un peso inicial de 250 g. Se formaron 6 grupos experimentales con 7 ratas cada uno. Los animales fueron inducidos a un modelo de obesidad con una dieta alta en grasa saturada (High Fat Diet (HFD) con 45 % de kcal proveniente de grasa y azúcar (10% de sacarosa en el agua). La dieta alta en grasa (HFD) fue enriquecida con 14% de manteca de cerdo y con 4% de aceite de soya. Los animales recibieron tratamiento de hongos comestibles *Ustilago maydis* y *Pleurotus ostreatus*, así como del hongo medicinal *Ganoderma lucidum* (Cuadro 8). Se formaron los siguientes grupos de experimentación:

**Grupo 1 (Control):** dieta AIN-93M.

**Grupo 2 (HFD+S):** HFD + 0.25% de colesterol +10 % sacarosa en el agua.

**Grupo 3 (HFD+S+At):** HFD + 0.25% de colesterol + 0.3% de atorvastatina+ 10 % sacarosa en el agua.

**Grupo 4 (HFD+S+Po):** HFD + 0.25% de colesterol + 10% de *Pleurotus ostreatus* +10 % sacarosa en el agua.

**Grupo 5 (HFD+S+ Um):** HFD + 0.25% de colesterol + 10% de *Ustilago maydis* + 10 % sacarosa en el agua.

**Grupo 6 (HFD+S+G):** HFD + 0.25% de colesterol + 10% de *Ganoderma lucidum* +10 % sacarosa en el agua.

**Cuadro 8.** Formulación de las dietas AIN-93M y HFD.

<b>Ingrediente</b>	<b>AIN-93M (g/Kg)</b>	<b>HFD (g/Kg)</b>
Cistina	1.8	3
Colina	2.5	7.8
Vitaminas	10	10
Celulosa	50	50
Minerales	35	35
Aceite de soya	40	70
Almidón	465.7	239
Dextrina	155	102.7
Sacarosa	100	77.8
Caseína	140	240
Manteca de cerdo	0	170
Colesterol	0	2.5

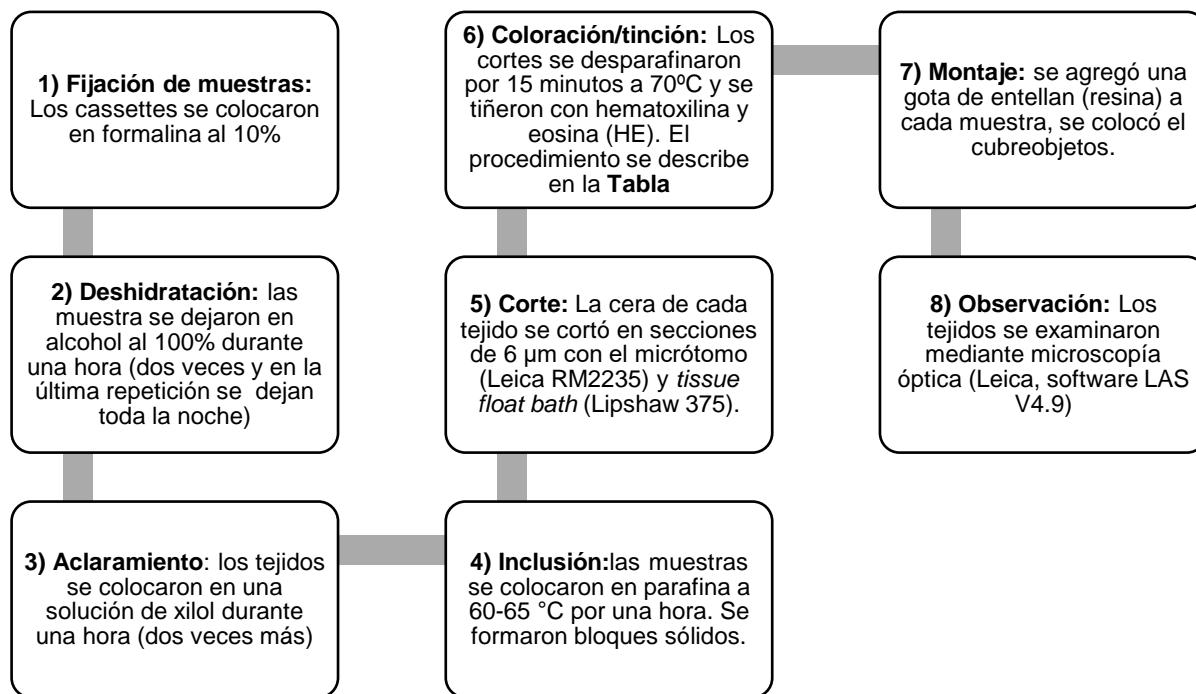
Los datos para la dieta AIN-93M fueron tomados de las especificaciones señaladas por Reeves (1997), y la dieta HFD es una adaptación de la dieta usada por Sánchez-Tapia et al. (2017). Las dietas HFD con la adición de *U. maydis*, *P. ostreatus* y *G. lucidum* fueron ajustadas para tener la misma composición en hidratos de carbono y proteínas que la dieta HFD.

En todos los grupos experimentales los animales fueron alojados en una habitación mantenida a  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa de 50%-55% y ciclos de luz artificial de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Durante la intervención se registró el peso corporal dos veces por semana y la ingesta de alimento cuatro veces por semana. El estudio tuvo una duración de 6 meses. Las ratas fueron sedadas con sevoflurano (solución al 5%) y se sacrificaron bajo una sobredosis del mismo. Después del sacrificio se tomaron muestras de hígado, músculo, tejido adiposo e intestino para los análisis de expresión génica. El protocolo fue autorizado por el Comité Interno para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio del INCMNSZ, con el número de registro: FNU-1937-19-19-1.

### **7.2.2. Histología de tejido adiposo subcutáneo**

Se tiñeron secciones de tejido adiposo subcutáneo de 6  $\mu\text{m}$  de espesor con hematoxilina y eosina. En la Figura 7 y 8 se detalla el procedimiento para la preparación de tejidos y tinción de muestras. En el Cuadro 9 se muestra el tren de deshidratación para las muestras de tejido adiposo. Posteriormente, se realizó un análisis morfológico utilizando un microscopio Leica (Leica DM750 Wetzlar, Alemania). El análisis de las áreas de adipocitos se realizó con el software Adiposoft siguiendo las instrucciones de Galarraga et al. (2012).





**Figura 7.** Proceso para la preparación y tinción de tejidos.



**Figura 8.** Procedimiento de histologías de tejido adiposo subcutáneo.

**Cuadro 9.** Tren de deshidratación para muestras de tejido adiposo subcutáneo.

<b>Orden</b>	<b>Reactivo</b>
1	Xilol I (10 lavados)
2	Xilol II (10 lavados)
3	Xilol III Etanol 100%/ Xilol 50%/ Etanol 50% (10 lavados)
4	Etanol 100% (10 lavados)
5	Alcohol 96% (10 lavados)
6	H <sub>2</sub> O (10 lavados, reposar 10 min)
7	Teñir con hematoxilina de Harris (5 min)
8	10 baños en alcohol ácido 1% (990 H <sub>2</sub> O +10 ml ácido clorhídrico)
9	Carbonato de litio (10 lavados)
10	Alcohol 96% (10 lavados)
11	Eosina alcohólica (6 lavados)
12	Alcohol 96% (10 lavados)
13	Alcohol absoluto (10 lavados)
14	Alcohol absoluto (10 lavados)
15	Alcohol absoluto 50% + xilol 50% (10 lavados)
16	Deshidratación
17	Aclaración (xilol I, II, III; 10 lavados con cada uno)

Adicionalmente se realizaron tinciones de rojo picrosirio a otras muestras de tejido adiposo, estas se fijaron en formalina al 4% y se incluyeron en parafina. Se montaron secciones de 4 µm en un portaobjetos de microscopio y se prepararon para la tinción. Las secciones de tejido se fijaron en solución de Bouin y se bloquearon en solución Fast Blue (sal Fast Blue RR al 0.1%, sulfato de magnesio 7 mM y borato de magnesio 60 mM). Los portaobjetos se sumergieron en una solución de rojo de picrosirio (0.1% de rojo Sirius F3B en ácido pícrico) y luego se lavaron rápidamente con H<sub>2</sub>O acidificada (0.5% de ácido acético en dH<sub>2</sub>O). Después de deshidratar el tejido con etanol y xileno, se montaron cubreobjetos con medio de montaje histológico (Permount, Fisher Scientific, Pittsburgh,

PA). La tinción de colágeno se visualizó bajo microscopía óptica (20x) usando el microscopio Leica (Leica DM750 Wetzlar, Alemania).

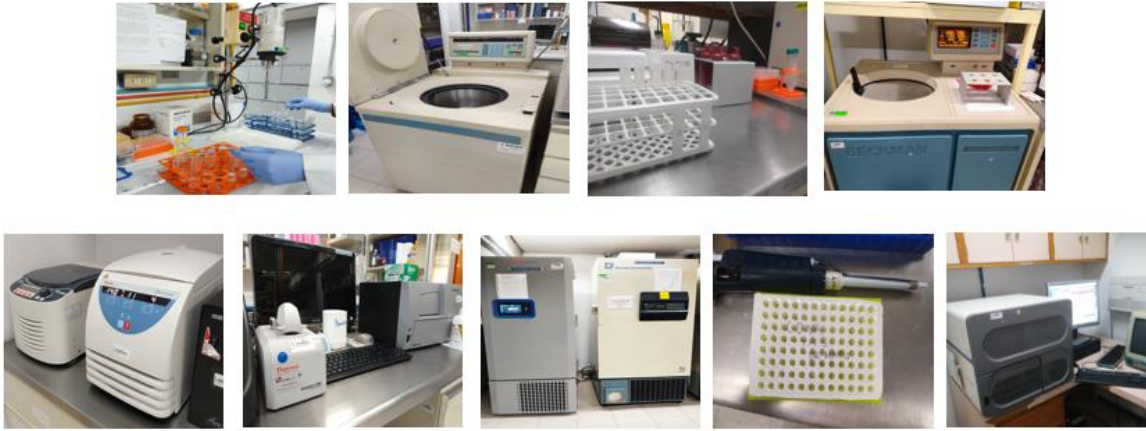
### **7.2.3. Extracción de ARN**

El tejido adiposo subcutáneo se homogeneizó en tampón de guanidinio que contenía tiocianato de guanidinio 4 M, citrato de sodio 25 mM, pH 7,0, 2-mercaptoetanol 0.1 M y N-lauroilsarcosina al 10% con un politrón (PT2000; Kinematica, Lucerne, Suiza) en la configuración más baja. El homogeneizado se centrifugó a 12 000 g durante 15 min a 18°C y el sobrenadante resultante se colocó en capas sobre una solución de CsCl que contenía CsCl 5.7 M y acetato de sodio 25 mM, pH 5,2. El gradiente de CsCl se formó mediante centrifugación a 113 000 g durante 18 h a 18 ° C para producir ARN total. El ARN se precipitó con etanol al 100% y acetato de sodio 3 M, pH 5.2, se lavó dos veces en etanol al 75% y se resuspendió con agua libre de nucleasas. El ARN se cuantificó por densidad óptica a 260 nm con el espectrofotómetro Nanodrop 2000 (Thermo Scientific, EE. UU.) y se almacenó a -70°C hasta su uso (Figura 9).

### **7.2.4. Cuantificación de la expresión génica por PCR en tiempo real.**

A partir de 2000 ng de RNA se sintetizó el cDNA mediante la enzima transcriptasa inversa del virus de la leucemia murina de Moloney (MMLV) (Invitrogen, Carlsbad, CA, EE. UU.). Se utilizaron las siguientes sondas TaqMan para los ensayos de expresión génica (número de identificación del ensayo): ATF6 (Rn01490844\_m1), JNK1/MAPK8-asociada a proteína de membrana (Rn01473307\_m1), BiP (Rn00565250\_m1), eIF2 $\alpha$  (Rn00596951\_m1), XBP-1, (Rn01443523\_m1) y TANK (Rn00595794\_m1) asociados al estrés de retículo endoplásmico en tejido adiposo. Se utilizaron ciclofilina (Rn00690933\_m1) y GAPDH (Rn01775763\_g1) como controles endógenos univariados. Las sondas y controles se midieron mediante PCR cuantitativa en tiempo real por duplicado con el equipo LightCycler 480 (Roche Applied Science, Alemania). El esquema de PCR utilizado: preincubación durante 10 minutos a 95°C; amplificación de 45 ciclos (95°C, 10s; 60° 30s, 72° 10s); extensión final por 3 minutos a 72°C y enfriamiento a 4°C (Figura 9). La cantidad relativa de ARNm se calculó utilizando el método  $\Delta\Delta Ct$ , la

expresión relativa del gen diana versus el gen constitutivo expresado [expresión relativa= $2^{-(Ct. \text{ gen diana}-Ct. \text{ gen de referencia})}$ ].



**Figura 9.** Procedimiento para el análisis de expresión génica de marcadores moleculares del estrés del retículo endoplásmico del tejido adiposo subcutáneo.

### **7.2.5. Análisis de proteínas**

#### **7.2.5.1. Extracción de proteínas totales**

Se colocaron aproximadamente 100 mg de tejido adiposo subcutáneo con 600  $\mu$ l de solución RIPA y se agregó el balón en un tubo para homogenizar en Tissue Lyser por 5 min. Posteriormente, los tubos se colocaron en una mezcladora giratoria por 20 min, seguido se centrifugó a 14 000 rpm 15 min a 4°C. De las fases obtenidas, se desechó la grasa y se colocó aproximadamente 400  $\mu$ l de proteína en otros tubos. La proteína total de las muestras de tejido adiposo se cuantificó mediante el ensayo de Lowry (Bio-Rad, Hercules, CA, EE. UU.) y se almacenó a -70°C.

#### **7.2.5.2. Western Blot**

Las muestras de proteína se separaron en geles de acrilamida al 12% con 20  $\mu$ g de proteína por carril y se transfirieron a membranas de fluoruro de polivinilideno (PVDF) empleando un buffer de transferencia (pH=9.2) que contenía Tris 48 mM, glicina 39 mM, SDS 0.00375% y metanol 20%. Las membranas reposaron por 10 min en el Trans-Blot Turbo. Para corroborar la transferencia, las membranas se sumergieron 20 seg en metanol y después 2 min en la tinción con Ponceau-S con la finalidad de observar el

bandeo de las proteínas. Posteriormente, se bloquearon con un buffer de BSA al 2% en TBS durante 60 min a temperatura ambiente y se incubaron durante la noche a 4°C con los siguientes anticuerpos primarios y secundarios en buffer de bloqueo: anti-BiP (Santa Cruz, SC-3177, IgG policlonal de conejo) a 1:5000, anti-adiponectina (Abcam, AB62551, policlonal de conejo) a 1:10 000, anti-XBP-1 (Abcam, AB37152, policlonal de conejo) a 1: 5000, anti-TNF- $\alpha$  (Abcam, AB205587, policlonal de conejo) a 1: 10 000, anti-JNK (Millipore, 06-748 policlonal de conejo) a 1:2500, anti-pJNK (Millipore, 07-175 policlonal de conejo) a 1:5000. Las transferencias se incubaron con anticuerpos secundarios anti-conejo (Abcam AB6721), anti-ratón (Abcam ab6789) y anti-cabra (Abcam AB6885) a 1: 20 000.

Se utilizó GAPDH (Abcam, AB181602, monoclonal de conejo) a 1: 20 000 para normalizar los datos. Las bandas de Western blot se analizaron con el software ChemiDoc™ XRS + System Image Lab™ (Bio-Rad, Hercules, CA, EE. UU.) (Figura 10). La cuantificación de proteínas se realizó con el software ImageJ (versión 1.53c). Las proteínas fosforiladas también se normalizaron con su respectiva abundancia de proteína total. Todos los experimentos se realizaron por triplicado.



**Figura 10.** Western Blot para el análisis de expresión génica de marcadores inflamatorios y del estrés del RE del tejido adiposo subcutáneo

### 7.2.6 Análisis estadístico

Todas las variables fueron sometidas a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se realizaron pruebas de ANOVA de una vía para detectar diferencias entre grupos. En los casos en que se encontraron diferencias significativas se aplicaron pruebas de comparaciones múltiples de medias por el test de Tukey ( $\alpha < 0.05$ ). Todos los análisis y gráficos se realizaron con el paquete estadístico GraphPad Prism (Versión 8.0.2.).

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Estado nutricional y calidad dietética de las comunidades

Para las características generales de las comunidades, el trabajo se inició con un total de 72 personas, sin embargo, varios voluntarios decidieron no brindar información sobre su nivel educativo y estado civil, por lo que, la muestra se redujó a un rango de 58 y 71 voluntarios. En el Cuadro 10 se observa que, en ambas comunidades, la mayoría cuenta con una educación primaria (45.9%) seguido de la secundaria (26.2%). En México, la educación básica obligatoria es la secundaria; en las comunidades, gran parte de los voluntarios no alcanzaron este nivel educativo. El 50% de los hombres y el 44.7% de las mujeres cursaron la primaria. Ambos sexos cuentan con porcentajes similares en los niveles de secundaria, preparatoria y licenciatura. Respecto a su estado civil, el 56.9% están casados.

**Cuadro 10.** Características generales de los voluntarios de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla en relación al estado civil y grado de escolaridad.

<b>Factores</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>Hombres</b>	<b>%</b>	<b>Mujeres</b>	<b>%</b>
<i>Nivel educativo</i>	(n=61)		(n=14)		(n=47)	
Primaria	28	45.9	7	50.0	21	44.7
Secundaria	16	26.2	3	21.4	13	27.7
Preparatoria	12	19.7	3	21.4	9	19.1
Licenciatura	5	8.2	1	7.1	4	8.5
<i>Estado civil (n=58)</i>	(n=58)		(n=15)		(n=43)	
Soltero	9	15.5	1	6.7	8	18.6
Casado	33	56.9	11	73.3	22	51.2
Unión libre	15	25.9	3	20.0	12	27.9
Otro	1	1.7	0	0.0	1	2.3

Para el estado nutricional se evaluaron 72 individuos de ambos sexos (75% mujeres y 25% hombres) con una edad promedio de  $46.01 \pm 14.7$  años, peso corporal de  $74.52 \pm 14.5$  y estatura de  $1.57 \pm 0.10$ . En cuanto al IMC se encontró lo siguiente: el 9.7% fue normopeso, el 36.1% se encuentra con sobrepeso y el 54.2% con obesidad. De acuerdo a los valores obtenidos de circunferencia cintura el 91.7% de los voluntarios presenta obesidad abdominal, la media de ICC en hombres y mujeres fue de 0.96 y 0.92 y la media de CC fue de 99.3 cm y 97.8 cm respectivamente. Estos valores se encuentran dentro

del rango de alto riesgo cardiovascular. Respecto a los parámetros bioquímicos y presión arterial, en ambas comunidades se observaron las siguientes patologías: el 72.2% de los voluntarios tiene hipertrigliceridemia, el 58.3% hiperglucemia y el 38.9% hipercolesterolemia. El 15.3% de los voluntarios de ambas comunidades presentó hipertensión (Cuadro 11 y 12).

**Cuadro 11.** Características descriptivas de los voluntarios de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla.

<b>Variables</b>	<b>Total (n=72) Media± DS IC95</b>	<b>Hombres (n=18) Media± DS IC95</b>	<b>Mujeres (n=54) Media± DS IC95</b>	<b>Valor de p</b>
Edad (años)	46.1±1.7 (43-50)	49.7±15.59 (42.0-57.5)	45.4±14.9 (41.3-49.5)	0.2984
Talla (m)	1.5± 0.1** (1.5-1.6)	1.6±0.1 ** (1.6-1.7)	1.5±0.1** (1.5-1.6)	<.0001
Peso (kg)	74.5±14.5* (71.1-77.9)	81.1±14.1* (74.0-88.2)	72.5±13.7* (68.8-76.3)	0.0273
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	30.1±5.3 (28.8-31.3)	28.6±4.4 (26.4-30.7)	30.6±5.5 (29.1-32.1)	0.1562
CC (cm)	97.9±13.6 (94.7-101.1)	99.3±10.7 (93.9-104.7)	97.8±14.1 (94.0-101.8)	0.6896
ICC	0.93±0.08 (0.91-0.95)	0.96±0.06 (0.93-1.0)	0.92±0.08 (0.90-0.94)	0.0575
ICT	0.62±0.1 (0.60-0.64)	0.56±0.1 (0.55-0.62)	0.63±0.1 (0.61-0.66)	0.0604
Triglicéridos (mg/dL)	239.8±112.2 (213.5-266.2)	284.0±154.8 (207.0-361.0)	219.5±85.6 (196.1-242.8)	0.2590
Colesterol (mg/dL)	200.1±41.5 (190.4-209.9)	202.7±41.4 (182.1-223.3)	199.2±41.9 (187.7-210.6)	0.7156
Glucosa (mg/dL)	107.5±36.0 (99.1-116.0)	108.6±29.5 (93.8-123.3)	107.0±38.2 (96.5-117.4)	0.4251
PAS (mmHg)	124.8 ± 19.1 (120.3-129.3)	126.6±11.0 (121.1-132.0)	124.2±21.2 (118.4-130.0)	0.1508
PAD (mmHg)	79.4 ± 9.8 (77.0-81.7)	81.1±7.6 (77.3-84.9)	78.8 ±10.5 (75.9-81.7)	0.4046

\*\* = diferencias altamente significativas entre sexos ( $p \leq 0.01$ ); \* =diferencias significativas entre sexos ( $p \leq 0.05$ ). IMC: índice de masa corporal; CC: circunferencia cintura; ICC: índice cintura-cadera; ICT: índice cintura-talla; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica.



**Cuadro 12.** Características antropométricas, parámetros bioquímicos y presión arterial en los voluntarios de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, Puebla.

Clasificación	Prevalencia					
	Total (n=72)	%	Hombres (n=18)	%	Mujeres (n=54)	%
Normal	7	9.7	2	11.1	5	9.3
Sobrepeso	26	36.1	10	55.6	17	31.5
Obesidad	39	54.2	6	33.3	32	59.2
Adiposidad abdominal	66	91.7	15	83.3	51	94.4
Hipertrigliceridemia	52	72.2	14	82.4	38	70.4
Hipercolesterolemia	28	38.9	8	47.1	20	37.0
Hiperglucemia	42	58.3	13	76.5	29	53.7
PA óptimo	26	36.1	4	22.2	22	40.7
PA normal	23	31.9	7	38.9	16	29.6
PA fronteriza	12	16.7	4	22.2	8	14.8
Hipertensión 1	3	4.2	1	5.6	2	3.7
Hipertensión 2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Hipertensión 3	2	2.8	0	0.0	2	3.7
Hipertensión sistólica aislada	6	8.3	2	11.1	4	7.4

Para la determinación de normopeso, sobrepeso, obesidad se empleó la norma mexicana NOM-008-SSA3-2017. Para la adiposidad abdominal se determinó de acuerdo a Alberti et al. (2006) y Browning, et al. (2010). Se emplearon las normas NOM-015-SSA2-2018 y NOM-037-SSA2-2002 para la determinación de dislipidemias. La presión arterial se clasificó según la NOM-030-SSA2-2017. PA: Presión arterial.

Al comparar la proporción de sobrepeso más obesidad del presente estudio (90.3%), con la prevalencia nacional (75.2%) y estatal rural (60.6%), se observa que en la muestra de ambas comunidades existe una mayor proporción de esta condición. El análisis por sexo revela que, para los hombres, la prevalencia de sobrepeso y obesidad (88.9%) es mayor que la nacional (73.0%) y la estatal (75.5%). Asimismo, en las mujeres, la prevalencia (90.7%) es mayor de lo reportado a nivel nacional (76.8%) y estatal (73.6%) (INSP, 2020a-b). Un estudio realizado en comunidades rurales de Puebla mostró resultados similares, donde solo el 44% de mujeres se encuentra en normopeso, mientras que más del 50% presenta obesidad (Vélez et al., 2012). En dos comunidades rurales de Yucatán, México, las mujeres mostraron un elevado porcentaje de sobrepeso y obesidad (62.5%) (Castellanos et al., 2018). Estos resultados coinciden con lo reportado por Arroyo et al. (2007), quienes reportaron prevalencias de sobrepeso y obesidad entre el 55% y el 90% en diversos grupos rurales y urbanos del estado de Yucatán. Asimismo, en este estudio las mujeres de grupos rurales se caracterizaron por una adiposidad central elevada (79.0%) comparada con la obtenida en hombres. También, cifras nacionales reportaron

mayor prevalencia de adiposidad abdominal en mujeres (88.4%) que en hombres (72.7%), tendencia similar al obtenido en este trabajo (94.4% y 83.3% respectivamente). La elevada prevalencia de obesidad en las comunidades rurales del país es un grave problema de salud pública, ya que el exceso de grasa corporal es un factor importante en el desarrollo de enfermedades cardiometabólicas.

Pérez-Noriega et al. (2008) determinaron la prevalencia de factores de riesgo cardiovascular en adultos aparentemente sanos de la ciudad de Puebla. El 28.5% presentó hipercolesterolemia, el 13.6% hiperglucemia en ayuno, y el 7.1% hipertensión en etapa I. En el presente estudio se observó una mayor prevalencia de estas patologías (38.9%, 58.3% y 15.3% respectivamente), lo que revela que son factores de riesgo que van en aumento a nivel municipal y estatal. Se encontró también, que los cinco principales factores de riesgo cardiometabólico: el sobrepeso, la presión arterial alta, la glucemia elevada en ayuno, los altos niveles de colesterol y triglicéridos fueron más prevalentes en los hombres que en las mujeres.

En el Cuadro 13 se presentan las medias de consumo diario de energía y nutrientes de los hombres y mujeres de ambas comunidades. El consumo de energía fue más bajo en mujeres que en hombres: 1738 Kcal/día y 1945.9 Kcal/día. La media del porcentaje de adecuación del consumo de proteínas, hidratos de carbono y grasa total, así como de azúcares simples, grasa saturada, monoinsaturada y poliinsaturada, colesterol, tiamina y hierro, estuvieron por encima del 100% de los requerimientos establecidos para la edad y sexo de los participantes. Las mujeres presentaron consumos menores que los hombres en casi todos los macronutrientes, solo la ingesta de azúcar fue mayor. El consumo de micronutrientes como las vitaminas B5 y B9, calcio, potasio, selenio y zinc estuvieron por debajo de los requerimientos establecidos. En hombres y mujeres, los micronutrientes que sobrepasan con porcentajes de adecuación mayores a los recomendados son: retinol, vitamina B1, B2, B3 y hierro. El riesgo de inadecuación (es decir, cuando los porcentajes de adecuación son menores de 50%) fue detectado en la vitamina B5 y potasio.

En términos de suficiencia alimentaria, los mexicanos consumen en promedio 3072 kcal/día/persona (Flores, 2018). Con base en esta referencia nacional, ambas

comunidades mostraron una ingesta energética de aproximadamente el 60%, es decir, consumen menores kilocalorías. No obstante, hombres y mujeres se encuentran por encima del porcentaje de adecuación (113.9% y 109.6% respectivamente). No se puede afirmar que el consumo alimentario de una comunidad sea mejor que el de otra comunidad en términos de porcentajes de adherencia, ya que ambas comunidades presentaron consumos similares de macronutrientes y micronutrientes. Este resultado coincide con lo reportado por Vázquez-García et al. (2005), quienes analizaron el consumo de energía y nutrientes de la población de Ixhuapan y Ocozotepec en Veracruz, México obteniendo resultados similares.

De acuerdo a las recomendaciones de consumo cotidiano propuestas por el INSP, en un orden de mayor a menor consumo, la dieta cotidiana de los voluntarios de la comunidad de Santiago Colzingo se compone de los siguientes grupos de alimentos: leguminosas, carnes no procesadas, lácteos, huevo, verduras y frutas. En la comunidad de San Miguel Tianguistenco predomina el consumo de lácteos, leguminosas, verduras, carnes no procesadas, huevo y frutas. En el Cuadro 14 se observa que el 80.3% de los voluntarios consumen leguminosas, principalmente frijoles, el 74.2% lácteos como leche y quesos, el 74.2% carnes no procesadas como el pollo, res y cerdo, el 56.0% huevo, el 54.5% verduras y solo el 36.3% consumió frutas. Sobre los grupos de alimentos no recomendables para consumo cotidiano, en ambas comunidades destacaron los siguientes: carnes procesadas, comida rápida y antojitos mexicanos, botanas, dulces y postres, bebidas no lácteas endulzadas, bebidas lácteas endulzadas y cereales dulces. El 81.3% y 78.7% de las personas consume carnes procesadas (salchicha y jamón) y comida rápida y/o antojitos mexicanos fritos (principalmente pizza, hot-dog, sopes fritos y tlacoyos). El 72.7% consume botanas, dulces y postres, seguido de bebidas lácteas endulzadas y cereales dulces (60.6% y 46.9% respectivamente). El 42.4% de las personas consume bebidas no-lácteas endulzadas (refrescos y jugos). Respecto al consumo de cada grupo de alimentos recomendables y no recomendables no se observaron diferencias significativas entre las comunidades.

**Cuadro 13.** Media del consumo diario de energía y nutrimentos en hombres y mujeres adultos de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla.

Nutrimento	Hombres (N=15)			Mujeres (N=51)		
	Ingesta media $\pm$ DS	% adecuación	IC <sup>a</sup> 95%	Ingesta media $\pm$ DS	% adecuación	IC <sup>a</sup> 95%
Energía (kcal)	1945.9 $\pm$ 482.5	113.9	1830.4-2061.4	1738 $\pm$ 587.9	109.6	1597.2-1878.8
Proteínas (gr)	71.7 $\pm$ 17.1	111.9	67.6-75.7	71.2 $\pm$ 38.1	126.0	62.0-80.3
Hidratos de carbono (gr)	251.5 $\pm$ 89.9	93.1	230.0-273.0	222.1 $\pm$ 83.5	115.7	202.1-242.1
Fibra (gr)	22.2 $\pm$ 13.8	75.3	18.9-25.4	18.5 $\pm$ 11.2	84.4	15.8-21.2
Azúcar (gr)	26.1 $\pm$ 25.1	104.1	20.0-32.0	28.3 $\pm$ 22.6	113.3	22.9-33.7
Grasas totales (gr)	75.5 $\pm$ 33.9	124.2	67.4-83.6	65.8 $\pm$ 41.6	106.7	55.8-75.7
Saturadas (gr)	14.3 $\pm$ 5.1	207.1	13.1-15.5	15.2 $\pm$ 10.8	265.0	12.6-17.8
Monoinsaturadas (gr)	24.2 $\pm$ 16.6	196.3	20.3-28.2	21.7 $\pm$ 18.1	212.4	17.4-26.1
Poliinsaturadas (gr)	10.9 $\pm$ 8.1	222.3	8.9-12.8	10.6 $\pm$ 9.7	259.4	10.0-11.2
Colesterol (mg)	302.5 $\pm$ 299.8	151.2	230.7-374.2	259.1 $\pm$ 220.6	129.5	206.3-311.9
Retinol ( $\mu$ g/día)	655.6 $\pm$ 920.9	104.9	435.1-876.0	779.3 $\pm$ 678.8	155.8	616.8-941.3
Tiamina, B1 (mg/día)	1.1 $\pm$ 0.4	109.2	1.0-1.2	1.0 $\pm$ 0.5	116.3	0.9-1.2
Riboflavina, B2 (mg/día)	1.1 $\pm$ 0.6	99.1	0.9-1.2	1.1 $\pm$ 0.5	123.2	0.9-1.2
Niacina, B3 (mg/día)	12.3 $\pm$ 5.7	108.2	10.9-13.6	14.3 $\pm$ 12.3	129.9	11.3-17.2
Ácido Pantoténico, B5 (mg/día)	2.1 $\pm$ 1.7	42.5	1.7-2.5	2.2 $\pm$ 1.3	43.6	1.9-2.5
Piridoxina, B6 (mg/día)	1.0 $\pm$ 0.6	84.7	0.9-1.1	1.1 $\pm$ 0.6	90.0	0.9-1.2
Folato, B9 ( $\mu$ g/día)	280.2 $\pm$ 273.2	87.5	214.7-345.5	189.9 $\pm$ 173.0	59.3	148.5-231.3
Cobalamina B12 ( $\mu$ g/día)	2.1 $\pm$ 1.7	103.9	1.6-2.4	2.2 $\pm$ 3.1	112.4	1.5-3.0
Calcio (mg/día)	549.2 $\pm$ 356.7	50.6	463.7-634.5	718.6 $\pm$ 325.9	65.8	640.5-796.6
Hierro (mg/día)	12.5 $\pm$ 6.4	208.6	10.9-14.0	12.4 $\pm$ 5.9	182.0	11.0-13.8
Potasio (g/día)	1.7 $\pm$ 0.7	35.9	1.5-1.8	1.7 $\pm$ 0.9	35.9	1.5-1.9
Magnesio (mg/día)	302.3 $\pm$ 164.3	86.4	262.9-341.6	242.6 $\pm$ 208.8	91.5	192.6-292.6

Nutrimento	Hombres (N=15)			Mujeres (N=51)		
	Ingesta media ± DS	% adecuación	IC <sup>a</sup> 95%	Ingesta media ± DS	% adecuación	IC <sup>a</sup> 95%
Sodio (g/día)	2.8±3.1	120.6	2.0-3.5	1.6±1.2	68.7	1.3-1.9
Fósforo (mg/día)	580.5±320.8	100.1	503.6-657.2	544.0±304.5	93.8	471.1-616.9
Selenio (µg/día)	36.3±27.0	80.6	29.8-42.7	44.6±40.1	81.0	34.9-54.2
Zinc (mg/día)	5.1±2.3	64.4	4.5-5.6	4.7±2.81	69.4	4.0-5.4

Nota. <sup>a</sup>IC= intervalo de confianza de la ingesta promedio.

**Cuadro 14.** Porcentaje de consumidores de grupos de alimentos recomendables para consumo cotidiano de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla.

Categoría	Indicadores	Santiago Coltzingo (N=44)				San Miguel Tianguistenco (N=22)				Valor de p
		C		NC		C		NC		
		n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>Recomendables para consumo diario</b>	Frutas	16	36	28	64	8	36	14	64	>0.9999
	Verduras	22	50	22	50	14	64	8	36	0.4320
	Leguminosas	37	84	7	16	16	73	6	27	0.3313
	Carnes no procesadas	35	80	9	20	14	64	8	36	0.2327
	Huevo	27	61	17	39	10	45	12	55	0.2942
	Lácteos	33	75	11	25	16	73	6	27	>0.9999
<b>No recomendables para consumo diario</b>	Carnes procesadas	8	18	36	82	5	23	17	77	0.7464
	Comida rápida y antojitos mexicanos	8	18	36	82	6	27	16	73	0.5244
	Botanas, dulces y postres	11	25	33	75	7	32	15	68	0.7702
	Cereales dulces	23	52	21	48	12	55	10	45	>0.9999

Categoría	Indicadores	Santiago Coltzingo (N=44)				San Miguel Tianguistenco (N=22)				Valor de p
		C n	%	NC n	%	C n	%	NC n	%	
<b>No recomendables para consumo diario</b>	Bebidas no-lácteas endulzadas	27	61	17	39	11	50	11	50	0.4347
	Bebidas lácteas endulzadas	17	39	27	61	9	41	13	59	>0.9999

\*\* = diferencias altamente significativas entre comunidades ( $p \leq 0.01$ ); \* =diferencias significativas entre comunidades ( $p \leq 0.05$ ).

C: Cumple; NC: No cumple.

El estado del consumo alimentario es resultado de un complejo proceso de toma de decisiones sobre el que influyen numerosos factores como la oferta y disponibilidad alimentaria, las elecciones de los individuos en el marco de sus posibilidades económicas, las tradiciones, la cultura, así como la producción local de alimentos (Rivera et al., 2018). En los últimos 20 años, se ha observado una lamentable transición alimentaria del consumo de alimentos locales de buena calidad nutricional al consumo de productos ultraprocesados de bajo costo y alto contenido energético, aún en las regiones rurales del país. Ello explicaría el bajo consumo de frutas y vegetales en las comunidades de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, ya que más del 50% no incluye en su dieta estos grupos de alimentos. Esto es debido no tanto al desconocimiento de sus beneficios para la salud, sino más bien por la ausencia temporal, costos y la no producción local de los mismos (Pérez et al., 2008). Esta tendencia coincide con los resultados de Vélez et al. (2012), quienes mostraron un bajo consumo de frutas y verduras de las personas de los municipios de Chignahuapan y Calchicomula de Sesma, Puebla. También, resaltaron la alta proporción de consumo de bebidas azucaradas embotelladas (72.3%), misma tendencia a la obtenida en este trabajo.

Con base en el índice de calidad de la alimentación, ningún voluntario se encuentra dentro de la categoría de alimentación saludable y más del 50% necesita cambios alimentarios o tiene una alimentación poco saludable. No se obtuvieron diferencias significativas en el índice de calidad de alimentación entre sexos y comunidades (Cuadro 15). Sobre el consumo de hongos comestibles cultivados, en el Cuadro 16 se muestra que la mayoría de hombres y mujeres no los incluye en su alimentación. No obstante, quienes tienen acceso a estos, consumen más champiñones, seguido del huitlacoche y setas. Al comparar el porcentaje de consumidores por comunidad, se observa que en San Miguel Tianguistenco no incluyen el huitlacoche en su dieta. No se obtuvieron diferencias significativas en el consumo de hongos entre sexos, pero si entre las comunidades, siendo mayor la inclusión de champiñones y huitlacoche en la alimentación de los voluntarios de Santiago Colzingo que en los de San Miguel Tianguistenco ( $p=0.0304$  y  $p=0.0039$ , respectivamente).

**Cuadro 15.** Índice de calidad de la alimentación en adultos mayores de 20 años por sexo y comunidad.

<b>Variable</b>	<b>Poco saludable %</b>	<b>Necesita cambios %</b>	<b>Saludable %</b>	<b>Valor de p</b>
<i>Sexo</i>				
Hombres (n=15)	27.0	73.0	0.0	0.7581
Mujeres (n=51)	33.0	67.0	0.0	
<i>Comunidad</i>				
SC (n=44)	27.27	72.7	0.0	0.4009
SMT (n=22)	40.91	59.1	0.0	

\*\* = diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ); \* =diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). SC: Santiago Colzingo; SMT: San Miguel Tianguistenco.

**Cuadro 16.** Porcentaje de consumidores de hongos comestibles cultivados en adultos mayores de 20 años por sexo y comunidad.

Variable	Hongos comestibles cultivados											
	Champiñones			Setas			Huitlacoche			Otros		
	C	NC	Valor de p	C	NC	Valor de p	C	NC	Valor de p	C	NC	Valor de p
<i>Sexo</i>												
Hombres	5	10	0.7688	2	13	0.7157	2	13	0.4886	1	14	0.4502
(n=15)	(33.3)	(66.7)		(13.3)	(86.7)		(13.3)	(86.7)		(6.7)	(93.3)	
Mujeres	20	31		11	40		13	38		8	43	
(n=51)	(39.2)	(60.8)		(21.6)	(78.4)		(25.5)	(74.5)		(15.7)	(84.3)	
<i>Comunidad</i>												
SC	21*	23*	0.0304	10	34	0.5182	15**	29**	0.0039	8	36	0.2525
(n=44)	(47.7)	(52.3)		(22.7)	(77.3)		(34.1)	(65.9)		(18.2)	(81.8)	
SMT	4*	18*		3	19		0**	22**		1	21	
(n=22)	(18.2)	(81.8)		(13.6)	(86.4)		(0.0)	(100.0)		(4.5)	(95.5)	

\*\* = diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ); \* =diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). C: Consume; NC: No consume. SC: Santiago Colzingo; SMT: San Miguel Tianguistenco. Otros: tocomate, hongo azul, colorado y xolete..



Los hongos comestibles forman parte de un gran número de recetas, platillos y tradiciones que caracterizan a la gastronomía de diferentes regiones del país. Actualmente, esta cultura se sustenta y fortalece por la diversidad biológica y cultural, el conocimiento tradicional, las tecnologías e innovaciones en los sistemas de producción y procesamiento, la constante agregación de valor y las estrategias que promueven su consumo (Martínez-Carrera et al., 2016).

Los hongos comestibles son una fuente importante de compuestos bioactivos, vitaminas y minerales. Estrictamente, no son verduras ni deben ubicarse en este grupo, sino más bien dentro de un nuevo grupo de alimentos de origen microbiano, ya que aportan una combinación de micronutrientes y compuestos bioactivos que no se encuentran en los alimentos de origen vegetal o animal que, en comparación, se requieren pequeñas cantidades para contribuir a la salud (Martínez-Carrera et al., 2016). Sin embargo, la cultura por consumirlos se ha ido perdiendo. Esto debido a los cambios ocurridos durante el siglo XX, siendo la transformación de la sociedad mexicana, de rural a básicamente urbana, una de las principales causas en la disminución de su consumo. También se ha reducido la recolección y el conocimiento tradicional para utilizarlos en diversos platillos. Además, Pérez et al. (2008) mencionan que la deforestación y la emigración de los jóvenes en busca de empleo hacia localidades urbanas y países como Estados Unidos, disminuyen el aprovechamiento y consumo de los hongos silvestres de la Sierra Nevada de Puebla. Estas son algunas de las razones que pueden explicar los resultados obtenidos en este trabajo, ya que se observó un bajo porcentaje de consumidores de hongos comestibles de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, resultados contrarios a los obtenidos en los trabajos de Estrada-Martínez et al. (2008), mencionan que las personas que habitan en comunidades cercanas a los bosques de la Sierra tienen mayor posibilidad de consumir hongos, ya que pueden recolectarlos o comprarlos “por encargo” a hongueros especializados a precios más bajos que en los mercados regionales. Estrada et al. (2012) encontraron que el 39% de las personas consumieron hongos silvestres más de una vez a la semana, y casi 53% los consumían más de una vez al mes. Mayett y Martínez-Carrera (2016), reportaron un incremento del 58,5% en el consumo de hongos comestibles para los 3 niveles socioeconómicos entre los años 2003 y 2011 en la región central de México. También, mencionan que la opinión sobre el valor nutricional y medicinal de los hongos comestibles

sigue siendo baja, registrándose una proporción de 65.2 % de consumidores que los consideran con valor desconocido, regular, bajo, o muy bajo, lo cual puede explicar el bajo consumo de estos en las comunidades seleccionadas. Por último, este trabajo encontró que los champiñones son la variedad que está más al alcance del consumidor, en términos de accesibilidad y disponibilidad, lo cual coincide con lo obtenido en esta investigación, donde más del 50% de hombres y mujeres de ambas comunidades incluyen a los champiñones en su alimentación.

## **8.2. Histología de tejido adiposo subcutáneo**

En la Figura 11A, se observan adipocitos hipertrofiados en el grupo HFD+S respecto al grupo control, mientras que, con la adición de hongos en la dieta, el tamaño de los adipocitos es similar al grupo control. En la Figura 12, se muestra el área calculada de los adipocitos, el grupo HFD+S fue el que mostró mayores diferencias respecto al grupo control y los grupos experimentales con hongos, este obtuvo un valor de área promedio de  $5\ 18919\ \mu\text{m}^2$ , lo cual concuerda con lo reportado por Torre-Villalvazo et al. (2018), quienes mostraron que el tamaño de los adipocitos de tejido adiposo subcutáneo y visceral de ratones obesos son más grandes que el grupo control.

Respecto a los grupos alimentados con hongos, el grupo HFD+S+*Um* mostró adipocitos con una menor área que los grupos de *P. ostreatus* y *G. lucidum* ( $3\ 27213\ \mu\text{m}^2$ ,  $3\ 58438\ \mu\text{m}^2$  y  $3\ 30863\ \mu\text{m}^2$  respectivamente), incluso menor valor que el grupo HFD+S+*At* ( $4\ 06552\ \mu\text{m}^2$ ), por lo que, el consumo de *Ustilago maydis* mostró un mejor efecto que el fármaco atorvastatina. No se observaron diferencias significativas en el área de los adipocitos entre los grupos de HFD+S+*Po*, HFD+S+*Gl* y HFD+S+*At*, no obstante, si mostraron menores áreas que el grupo de ratas alimentadas con una dieta alta en grasas.

En la tesis de Pérez-Luna (2020), complementaria a este estudio, se observó un proceso avanzado de esteatosis en las histologías de hígado de las ratas del grupo HFD+S, en este estudio se observó una mayor hipertrofia y área en los adipocitos comparado con los otros grupos experimentales. De acuerdo con lo reportado por Pérez-Luna (2020) las ratas del grupo HFD+S tuvieron una mayor ganancia de peso y porcentaje de masa grasa respecto a los grupos que consumieron hongos, por lo que, la incorporación de *P. ostreatus*, *U.*

*maydis* y *G. lucidum* en la dieta disminuye la acumulación de lípidos en el hígado y mejora el perfil lipídico, principalmente por su alto contenido de fibra dietética. Por lo tanto, se puede inferir que este componente bioactivo de los hongos ayudó a que los adipocitos no aumentaran su tamaño ante el consumo de una dieta alta en grasas.

Se sabe que las estatinas inhiben la enzima Hmgr (Hmgr-h) y son ampliamente utilizadas para inhibir la síntesis de colesterol en humanos; estas sustancias semisintéticas o sintéticas, se derivan de los metabolitos de algunas especies de hongos (Istvan y Deisenhofer, 2004). El Hmgr de *U. maydis* (Um-Hmgr) ha sido estudiado *in silico* demostrando la disminución en la viabilidad y síntesis de esteroides. Además, Um-Hmgr se encuentra en el RE, un sitio sensible a los esteroides (Rosales-Acosta et al., 2019). Lo anterior hace que sea un posible modelo para el desarrollo y aplicación de fármacos inhibidores de la síntesis de colesterol y ergosterol, lo cual explica los resultados obtenidos en esta investigación. Posiblemente *U. maydis* presente una composición y mecanismo de acción similar a *P. ostreatus*, el cual contiene Mevinolina o también conocida como Lovastatina que disminuye la producción de colesterol endógeno mediante la inhibición de la HMG-CoA reductasa (Alam, et al., 2009), o bien, el efecto de *U. maydis* es consecuencia de su alto contenido de fibra dietética (24.52%), que al ser hidratos de carbono no digeribles por las células de nuestro organismo, son considerados prebióticos que contribuyen a la formación de la microbiota benéfica, tal como ya se ha demostrado en los hongos comestibles (Patel, 2016; Vamanu, 2018).

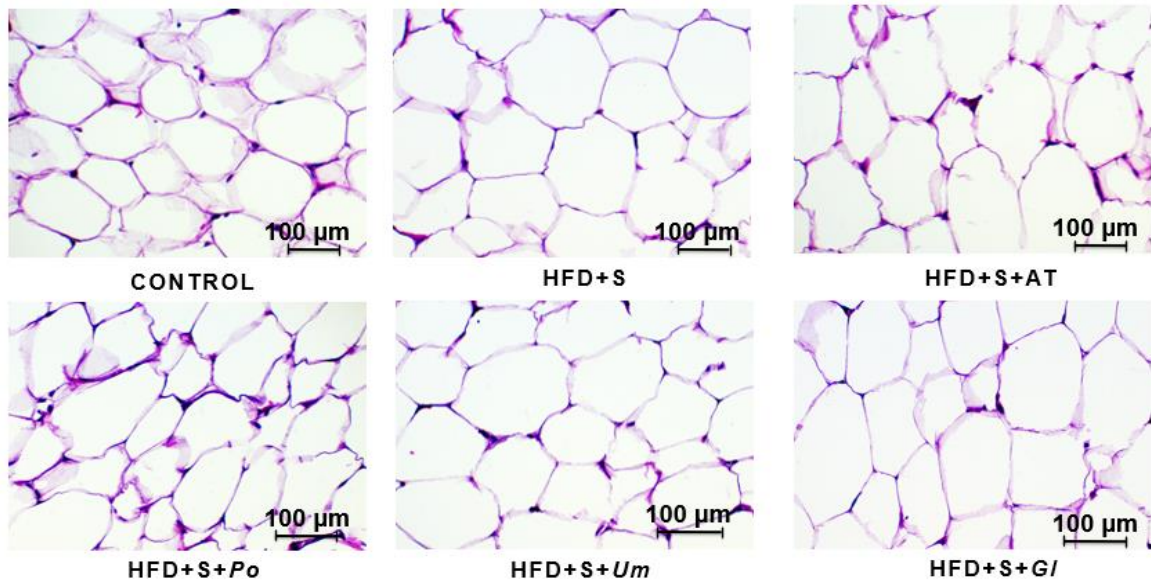
El consumo de hongos tiene un efecto positivo en la disminución del tamaño de los adipocitos, lo cual puede explicarse con el estudio realizado por Chang et al. (2015), quienes demostraron que los polisacáridos de alto peso molecular (>300 kDa) de un extracto acuoso de micelio de *Ganoderma lucidum* (WEGL) al 8% reduce la inflamación en ratones alimentados con una dieta alta en grasa al disminuir la infiltración de macrófagos, reduce la expresión de MCP-1 y mejora la acumulación de las células T reguladoras (Treg) en tejidos hepáticos y adiposos, posiblemente por su acción en conjunto de las vías microbianas, inmunes y metabólicas. Cabe mencionar que aún queda por investigar cuáles bacterias son responsables de la inducción de células Treg en el tejido adiposo. La abundancia de una especie de *Roseburia* y los grupos de *Clostridium* XIVa y XVIII aumentaron al proporcionar

el extracto de WEGL, lo cual es relevante porque se ha demostrado que el género *Roseburia* produce butirato, un ácido graso de cadena corta capaz de mejorar la sensibilidad a la insulina y el gasto energético en ratones (Gao et al., 2009), y el segundo, podría tener propiedades inmunomoduladoras, como la inducción de células Treg colónicas (Atarashi et al., 2011), por tanto, desempeñan un papel fundamental en la resolución de la respuesta inflamatoria.

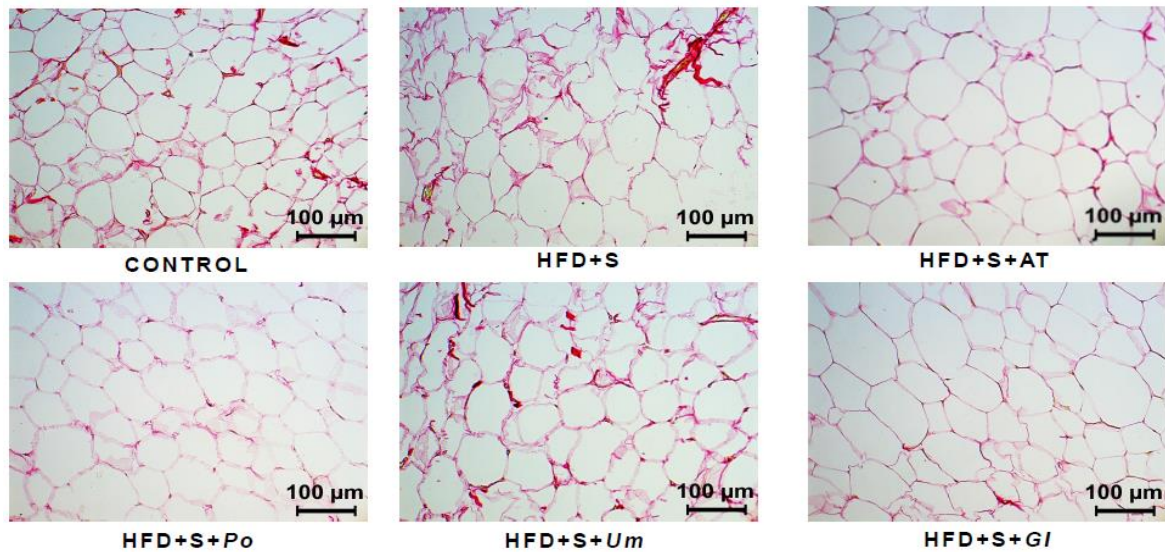
Un mecanismo que explica cómo la obesidad propaga la inflamación se describe cuando los macrófagos M1 inducidos por lipopolisacáridos (LPS) se acumulan alrededor de los adipocitos y hepatocitos moribundos secretando citocinas proinflamatorias (Caesar et al., 2012). Se realizaron tinciones de rojo sirio para visualizar las fibras de colágeno en el tejido adiposo subcutáneo (Figura 11B). El grupo alimentado con dieta alta en grasas mostró fibrosis pericelular y macrófagos alrededor de los adipocitos, lo cual es característico en la obesidad y se acompaña con el desarrollo de fibrosis, predominancia de macrófagos M1 e infiltración de linfocitos T por una deposición excesiva de grasas y proteínas (Wynn, 2007; Weisberg et al., 2003; Kintscher et al., 2008).

No se observaron diferencias en los patrones de distribución de colágeno ni macrófagos en los grupos experimentales con hongos, estos mostraron una alta similitud al grupo control. Estudios como el de Patsouris et al. (2008) han demostrado que la disminución de macrófagos M1 en animales obesos, también reduce la expresión de marcadores inflamatorios a nivel del tejido adiposo blanco y sistémico, además de normalizar la sensibilidad a la insulina. De acuerdo a lo obtenido en este estudio, es posible inferir que la incorporación de los hongos *P. ostreatus*, *U. maydis* y *G. lucidum* tienen un efecto benéfico que limita la aparición de macrófagos M1 en el tejido adiposo subcutáneo, posiblemente por su alto contenido de fibra dietética y  $\beta$ -glucanos, los cuáles han mostrado efectos saludables sobre los niveles de lípidos séricos a partir de la formación de geles viscosos que inhiben la absorción de colesterol (Pérez-Luna, 2020).

A)

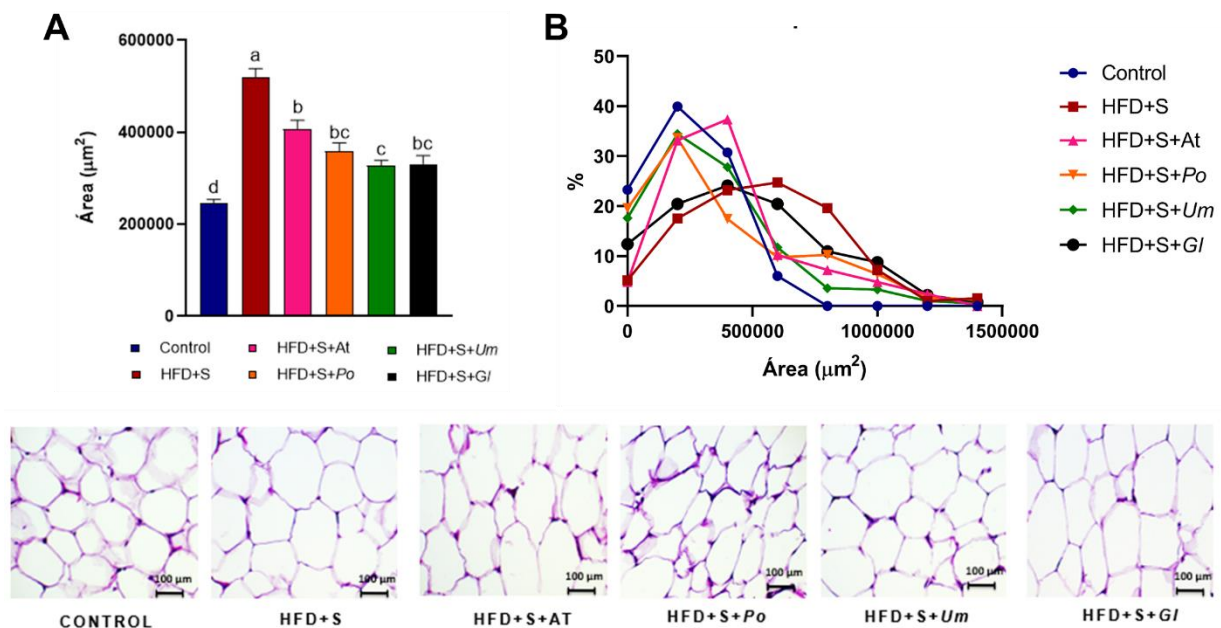


B)



**Figura 11.** Efecto histológico en tejido adiposo subcutáneo en los grupos experimentales.

A) Tinción con hematoxilina-eosina (20X). B) Tinción con rojo sirio (20X). Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*).



**Figura 12.** Área de adipocitos del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*).

### 8.3. Expresión génica

#### 8.3.1. Extracción de RNA

Se obtuvo RNA del tejido adiposo subcutáneo a partir del uso de tiocianato de guanidina y cloruro de cesio. En el Cuadro 17 se muestra las concentraciones promedio de RNA obtenido por grupo experimental y las relaciones 260/280 y 260/230 que indican que las muestras tuvieron un alto grado de pureza y pueden ser empleadas para la medición de la expresión de genes mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (qPCR).

**Cuadro 17.** Concentraciones y pureza del RNA aislado de tejido adiposo subcutáneo.

Grupo	[ng/µl]	260/280	260/230
Control	958.80	1.98	2.26
HFD+S	535.10	1.90	2.25
HFD+S+AT	574.94	1.92	2.28
HFD+S+Po	721.64	1.95	2.29

Grupo	[ng/ $\mu$ l]	260/280	260/230
HFD+S+Um	757.23	1.94	2.27
HFD+S+Gl	899.54	1.93	2.20

Una vez obtenido el RNA del tejido adiposo subcutáneo se procedió a generar el cDNA a una concentración de 2000 ng/ $\mu$ l mediante el uso de la técnica de retrotranscripción.

### 8.3.2. Expresión relativa

En la Figura 13, se puede observar el comportamiento en la expresión de todos los genes estudiados en los grupos de ratas Wistar con diferentes dietas. Se muestra que todos los grupos con una dieta alta en grasas, incluyendo los adicionados con atorvastatina y hongos, tuvieron una alta expresión de BiP respecto al grupo control. Solamente el grupo HFD+S mostró diferencias estadísticamente significativas respecto al control ( $p=0.0316$ ), lo cual confirma que la obesidad activa su expresión. Respecto a los grupos alimentados con hongos, HFD+S+ Um, y HFD+S+ Gl, mostraron una mayor expresión de BiP comparado con el grupo control debido a los altos niveles de colesterol intracelular, proveniente de la dieta alta en grasas, lo cual es parte de los múltiples mecanismos de homeostasis que tiene la célula para regularlos. La sobreexpresión de BiP inhibe la activación inducida por estrés del RE de SREBP1 y 2, y reduce la esteatosis hepática en ratones obesos (Hotamisligil, 2010). Es posible complementar los resultados obtenidos en esta investigación con lo reportado por Meneses et al. (2016), quienes encontraron que los extractos de *G. lucidum* disminuyen la expresión de genes lipogénicos (SREBP-1, FASN, ACACA) y modifican la expresión de genes asociados al transporte reverso de colesterol (ABCG5, ABCG8, ABCA1, CYP7). Asimismo, los resultados de Pérez-Luna (2020) demostraron que el consumo de *P. ostreatus*, *U. maydis* y *G. lucidum* en ratas obesas, redujó la esteatosis hepática provocada por la dieta alta en grasas.

Los ratones alimentados con atorvastatina y *P. ostreatus* mostraron una expresión de BiP similar al grupo control. Se ha demostrado que el consumo de *P. ostreatus* aumenta de manera significativa la expresión de LDLR (gen que promueve el catabolismo de lípidos) indicando una mayor captación de los lípidos contenidos en las lipoproteínas por parte de las células del hígado, asimismo, reduce los niveles en plasma de colesterol total, LDL-c y triglicéridos en ratas alimentadas con una dieta alta en grasas (Pérez-Luna, 2020; Wen-Sen

et al., 2019), lo anterior posiblemente este influyendo en la menor expresión de BiP ante la ingesta de *P. ostreatus* comparado con lo obtenido en el consumo de los otros hongos.

En la expresión de XBP-1, se observó una tendencia en los grupos con algún hongo en la dieta de aumentar la expresión respecto a HFD+S. Los grupos con *U. maydis* y *G. lucidum* mostraron una mayor expresión de este gen respecto a los otros, lo cual indica que su consumo mejora la capacidad de plegamiento de proteínas y mejor respuesta al estrés del RE, ya que XBP-1 es un factor de transcripción benéfico para que la célula se recupere (Lee et al., 2003), además, XBP-1 activa un subconjunto de genes involucrados en la lipogénesis (Hotamisligil, 2010), de esta forma se regula la síntesis de ácidos grasos beneficiando al organismo.

Se observó la misma tendencia en la expresión de ATF6, los grupos con atorvastatina, *P. ostreatus*, *U. maydis* y *G. lucidum* aumentaron la expresión de este gen en comparación con el grupo HFD+S y el control debido a que este gen puede interactuar directamente con la proteína XBP-1 y actuar hacia los genes de control de calidad del sistema UPR (Hotamisligil, 2010). Además, se ha demostrado que el consumo de extractos de *G. lucidum* mejora la expresión de los genes involucrados en la degradación y excreción de ácidos grasos, modula la microbiota intestinal mediante efectos transcripcionales prebióticos y moduladores de la microbiota, de tal manera que contribuyen de forma sinérgica a reducir la acumulación de colesterol y la inflamación (Romero et al., 2021). Posiblemente, la mayor expresión de XBP-1 y ATF6 en los grupos alimentados con atorvastatina y hongos indiquen una activación más inmediata al estrés del RE, es decir, que estos sensores sean prontamente encendidos para mediar la demanda metabólica y evitar o disminuir la activación de marcadores proinflamatorios como el TNF- $\alpha$ , JNK y p-JNK, lo cual se confirmó con el inmunoblot, con esta técnica la expresión de BiP y XBP-1 fue baja comparada con el grupo alimentado con una dieta alta en grasas.

En el caso del gen TANK, todos los grupos experimentales mostraron un aumento en su expresión al compararse con el grupo control, excepto el grupo con *G. lucidum*, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Se observó una mayor expresión de este gen en el grupo HFD+S con diferencias estadísticamente significativas respecto a los otros grupos. En un modelo de ratón ob/ob se demostró que la hiperlipidemia asociada con la obesidad

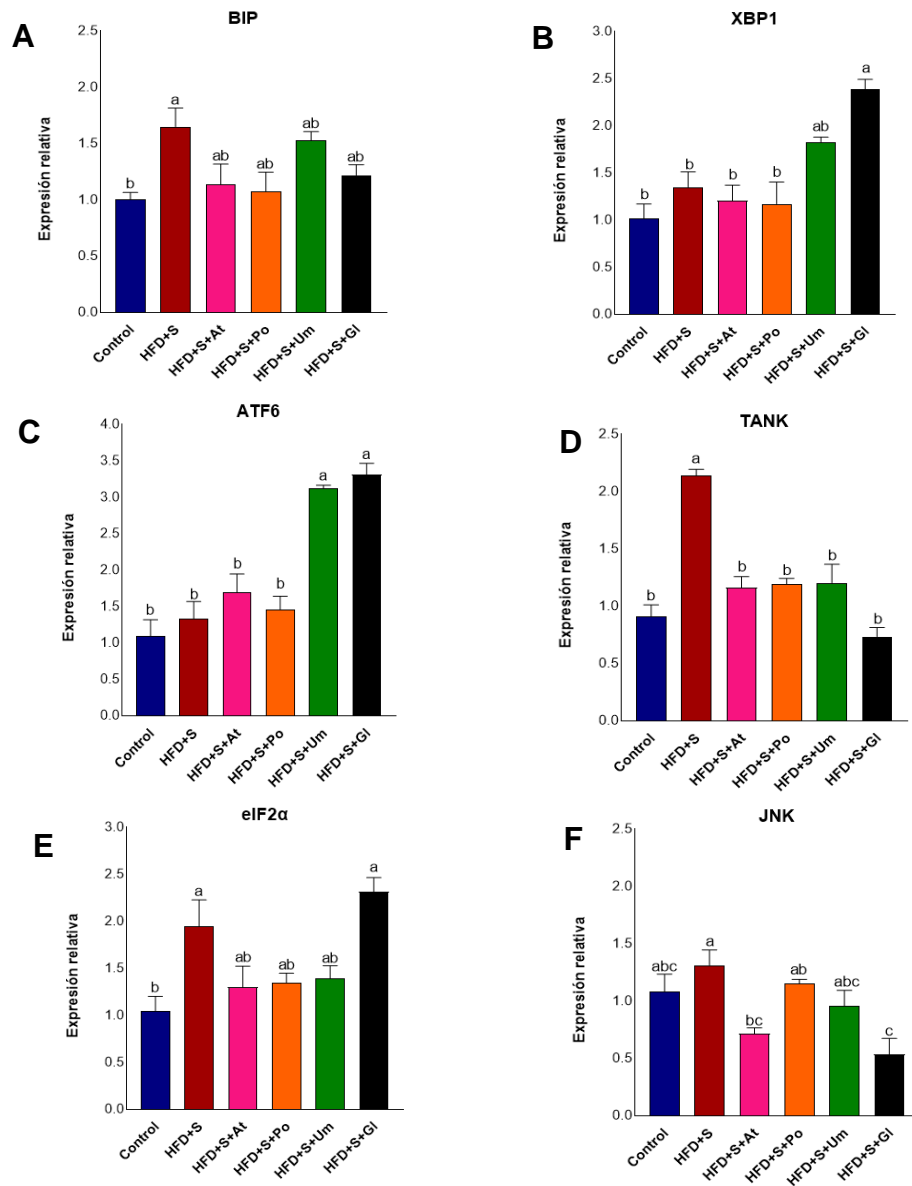


altera el direccionamiento de TANK y las proteínas de señalización de insulina en los dominios de las balsas lipídicas insolubles, lo que favorece la inducción de resistencia a la insulina (Delint-Ramírez et al., 2015). Por lo que, la alta expresión de TANK en el grupo HFD+S concuerda con lo ya reportado.

En la expresión de eIF2 $\alpha$ , los grupos HFD+S y HFD+S+*G* mostraron una mayor expresión de este gen comparado con los otros grupos, estos resultados confirman que la obesidad causada por una alta ingesta de colesterol y carbohidratos aumenta la expresión de eIF2 $\alpha$ , lo cual provoca un mayor estrés del retículo endoplásmico activando la señalización de quinasas inflamatorias como la IKK y JNK (Chau et al. 2008). Sobre la elevada expresión de eIF2 $\alpha$  en el grupo HFD+S+*G* puede explicarse por la cantidad adicional de ácidos grasos contenidos en *G. lucidum* (5.14 g), suponiendo así que la presencia del estado inflamatorio causado por la propia obesidad y los ácidos grasos libres circulantes adicionales inducen a la activación de PERK y fosforilación de eIF2 $\alpha$  causando un mayor estrés del retículo endoplásmico.

Finalmente, para el caso de JNK (gen que está implicado en los procesos de inflamación), se observó una mayor expresión de este en el grupo con una dieta alta en grasas, los otros grupos tuvieron una expresión similar respecto al grupo control. Al comparar respecto al grupo HFD+S, los grupos con atorvastatina y *G. lucidum* mostraron una disminución significativa en la expresión de este gen. La similitud en los valores de expresión entre el grupo de atorvastatina y *G. lucidum* confirma su efecto antiinflamatorio. Los valores obtenidos en los grupos alimentados con los hongos pueden explicarse por sus componentes bioactivos, en el caso de *P. ostreatus*, por la presencia de la Mevinolina, un análogo de la Lovastatina, el cual es un inhibidor competitivo de la HMGCoA reductasa, enzima que controla el paso limitante en la síntesis de colesterol endógeno e inhibe los niveles séricos de colesterol total y LDL-c (Alam et al., 2009). También el alto contenido de fibra dietética puede explicar este efecto, ya que actúa como un agente prebiótico que contribuye a la formación de microbiota benéfica (Patel, 2016; Chang et al., 2015), además componentes bioactivos como los  $\beta$ -glucanos solubles y la xilosa intervienen en la conservación de la homeostasis de los lípidos y en consecuencia una menor inflamación

(Dong et al., 2019). Por lo tanto, la ingesta de *P. ostreatus*, *U. maydis* y *G. lucidum* aminoran la expresión de JNK en ratas alimentadas con una dieta alta en grasas.

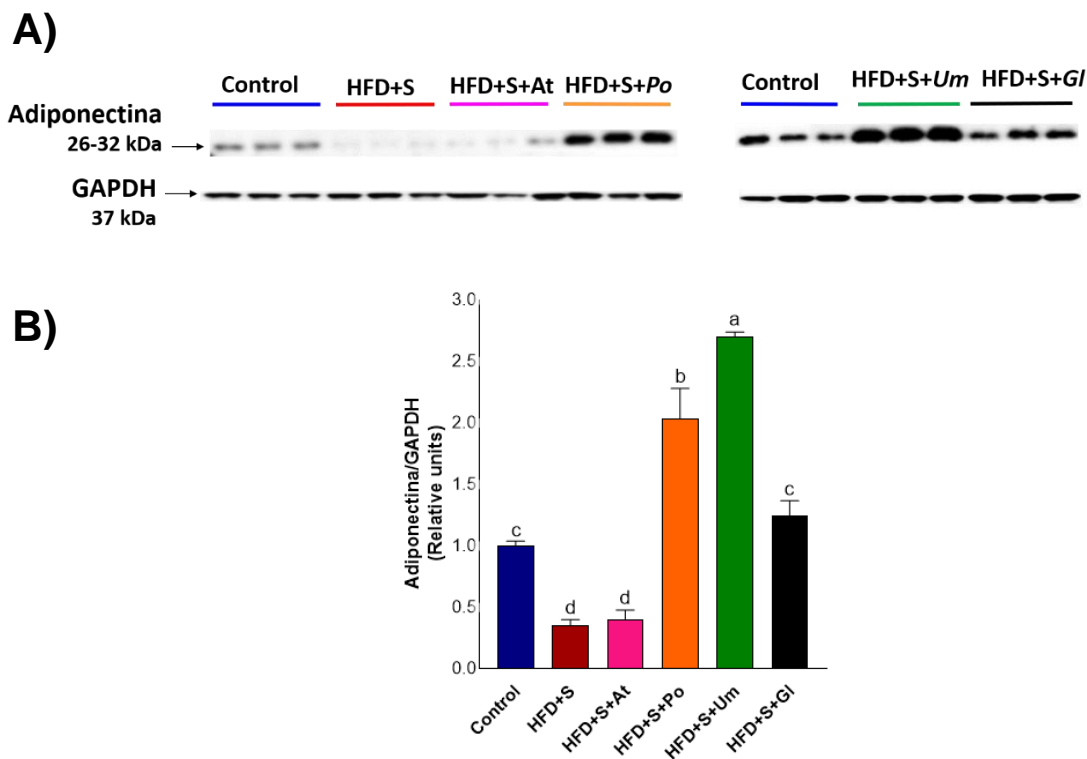


**Figura 13.** Cuantificación de la expresión génica relativa de genes involucrados en el estrés de retículo endoplásmico e inflamación del tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar.

Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+ 0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+GI (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). A) Expresión génica relativa de BiP ( $p < 0.0001$ ). B) Expresión génica relativa de XBP-1. C) Expresión génica relativa de ATF6. D) Expresión génica relativa de TANK. E) Expresión génica relativa de eIF2 $\alpha$ . F) Expresión génica relativa de JNK. Los valores representan la media  $\pm$  SEM. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras ( $p < 0.05$ ).

#### 8.4. Expresión de proteínas inflamatorias y del estrés de retículo endoplásmico

La adiponectina tiene propiedades antiinflamatorias y antiaterogénicas que disminuyen la síntesis de moléculas de adhesión endoteliales e inhibe la respuesta inflamatoria, lo cual explica sus efectos benéficos sobre las enfermedades cardiovasculares y metabólicas como la aterosclerosis y la resistencia a la insulina (Maury y Brichard, 2010). La adiponectina reduce la producción y actividad del factor de necrosis tumoral e inhibe la producción de IL-6 (Fantuzzi, 2005). En la Figura 14 se observa una mayor expresión de la adiponectina en el grupo experimental con *Ustilago maydis* ( $2.70\pm 0.03$ ), seguido de *P. ostreatus* ( $2.03\pm 0.24$ ) y *G. lucidum* ( $1.24\pm 0.12$ ).



**Figura 14.** Expresión de la masa proteica de adiponectina en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) Panel superior: Inmunoblot de adiponectina y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) Panel inferior: Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica de adiponectina en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM (n=3). Los valores de masa proteica de adiponectina fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras ( $p < 0.05$ ).

Como antecedente, el trabajo de Pérez-Luna (2020) encontró que el grupo de ratas que consumió *Ustilago maydis*, produjo una disminución en la ganancia de peso promedio y en el porcentaje de masa grasa respecto al grupo alimentado solo con una dieta alta en grasas. También, su consumo elevó significativamente la actividad antioxidante total en plasma, sustancias antioxidantes como el ácido ascórbico, glutatión y tocoferoles redujeron los procesos inflamatorios provocados por una dieta alta en grasas y colesterol (Martínez-Carrera et al., 2016). De forma complementaria y explicativa al resultado obtenido en el estudio de Pérez-Luna, el grupo HFD+S+Um, fue el que tuvo mayor expresión de los genes LDLR y PPAR $\gamma$ , lo que indica un incremento en la actividad catabólica de los ácidos grasos y colesterol en las células hepáticas (Lindgren, 1985, Guillou et al., 2008).

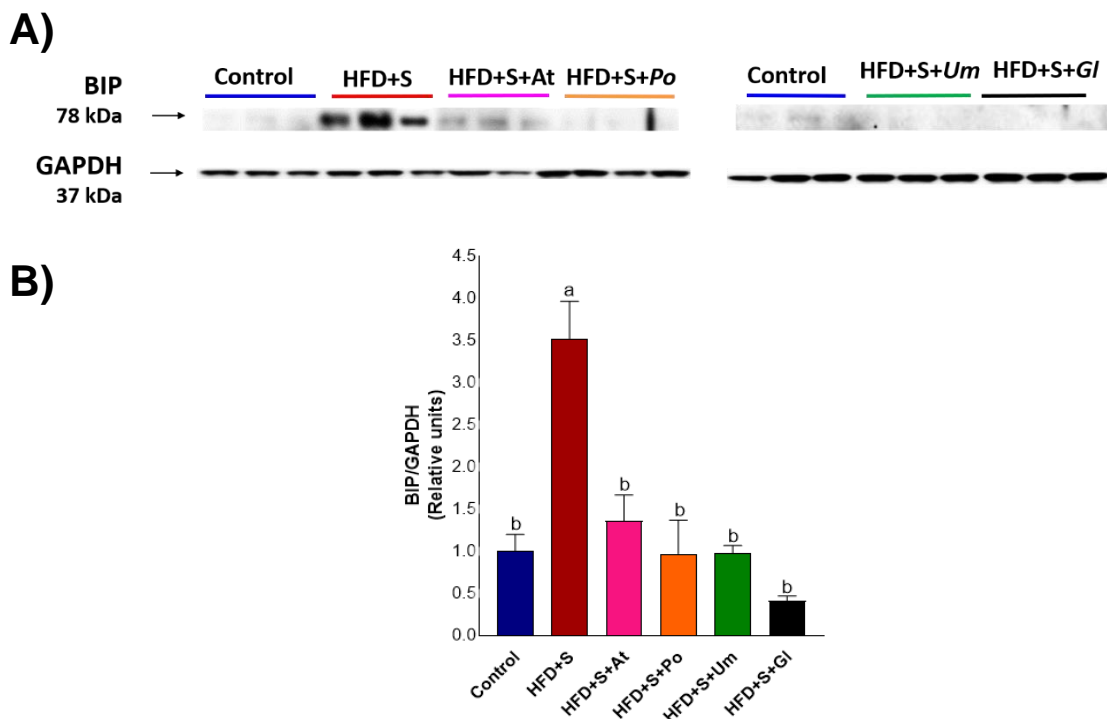
En el estudio llevado a cabo por Wen-Sen (2019), se encontró un comportamiento similar en el aumento de la expresión de LDLR y HMGCR en una dieta enriquecida en grasa y colesterol, atribuyendo los efectos al ergosterol. Se han realizado estudios sobre el contenido de glucanos totales indicando que el huitlacoche puede tener un efecto prebiótico importante por su composición del 32.57% de  $\beta$ -glucanos y 9.86% de  $\alpha$ -glucanos. Sus efectos benéficos se deben principalmente por la regulación en la microbiota y en los genes involucrados en el metabolismo lipídico que inciden en el aumento de la expresión de la adiponectina.

Dong et al. (2019) demostraron que el consumo de polisacáridos de *P. ostreatus* aumenta la actividad de adiponectina y la actividad de enzimas antioxidantes. Una porción estándar de *Agaricus bisporus* (100 g) cada día durante 16 semanas aumenta significativamente los niveles de ergotioneína en relación con las concentraciones iniciales, menores factores de estrés oxidativo circulante (carboximetilisina y metilglioxal) y mayor adiponectina sérica, esta última aumentó significativamente desde el inicio ( $p=0.03$ ) y permaneció elevada un mes después de que finalizó la intervención ( $p=0.02$ ) (Calvo et al., 2016). Además, como antecedente a este estudio, Pérez-Luna (2020) reportó bajos valores séricos de colesterol total, LDL-c y triglicéridos en el grupo alimentado con *P. ostreatus*. En concordancia con los resultados obtenidos en este estudio, el consumo de hongos muestra una mejor regulación del estado inflamatorio causado por la obesidad, aumenta la actividad de la adiponectina y mejora el perfil lipídico.

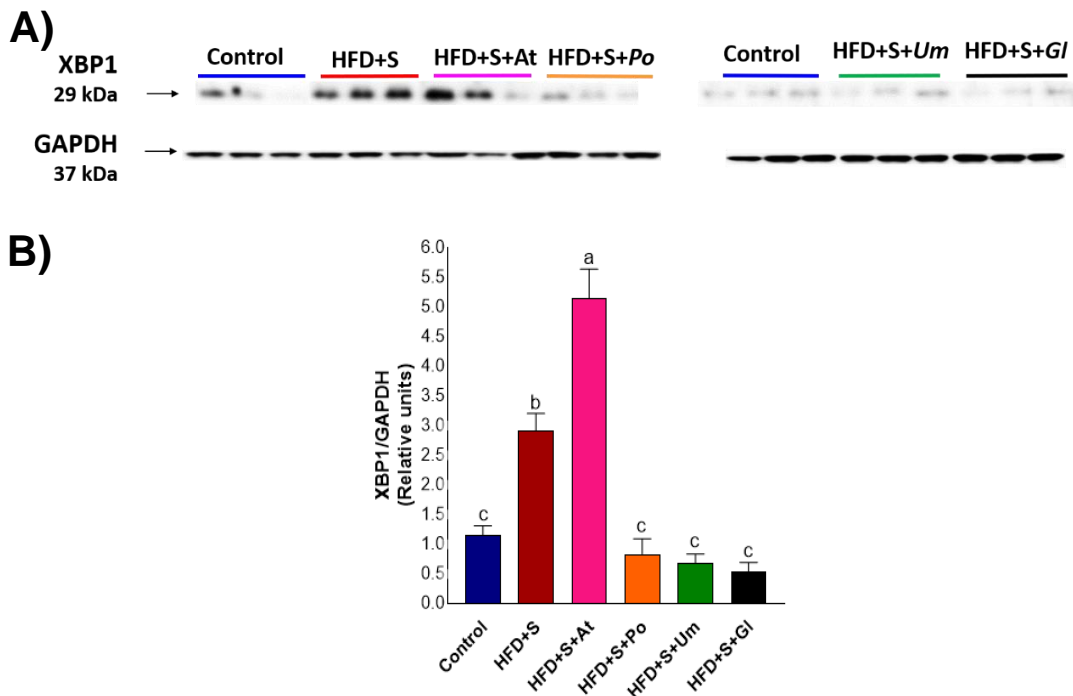
Por el contrario, en los grupos HFD+S y HFD+S+At, la adiponectina se expresa en menor cantidad ( $0.35\pm 0.04$  y  $0.40\pm 0.07$  respectivamente). Diversos estudios sustentan que la adiponectina disminuye en las personas obesas, en pacientes con diabetes tipo 2 o con enfermedades cardiovasculares. En roedores, el decrecimiento de la expresión de adiponectina se correlaciona con la resistencia a la insulina (Ouchi y Walsh, 2007; Yamauchi et al., 2001). Además, una alta expresión del TNF- $\alpha$ , IL-6, agonistas  $\beta$  adrenérgicos o glucocorticoides reduce la expresión génica de la adiponectina (Havel, 2004). De esta forma es posible explicar la baja expresión de adiponectina en los grupos HFD+S y HFD+S+At, los cuáles también mostraron una alta expresión del TNF- $\alpha$ .

En la Figura 15 y 16 se muestra que la expresión de las proteínas BiP y XBP-1 fue mayor en los grupos HFD+S ( $3.52\pm 0.44$  y  $2.91\pm 0.29$  respectivamente) y HFD+S+At ( $1.36\pm 0.30$  y  $5.14\pm 0.49$  respectivamente). En condiciones de un alto aporte energético u obesidad se desencadena la activación de la ruta UPR, en esta se activan factores clave como BiP y XBP-1, de tal forma que el estrés generado en el RE lleva a la respuesta inflamatoria y al aumento de la actividad de JNK y de NF- $\kappa$ B (Ozcan et al., 2004; Urano et al., 2000). Un estudio realizado en ratones alimentados con una dieta alta en grasas demostró que el tejido adiposo subcutáneo es más susceptible al estrés del RE con respecto al visceral, ya que se observó mayor expresión génica de BiP, ATF6 y CHOP, lo cual indica que la obesidad conduce al aumento de las demandas de síntesis de proteínas, una activación desadaptativa de la UPR y un aumento de la lipólisis y reducción de la síntesis y secreción de adiponectina (Torre-Villalvazo et al., 2018). Por lo tanto, la elevada expresión de las proteínas BiP y XBP-1 confirman lo ya reportado. En los grupos experimentales con hongos, BiP y XBP-1 se expresaron en menor cantidad que el grupo control ( $1.00\pm 0.20$  y  $0.99\pm 0.08$  respectivamente) aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Para la expresión de BiP, la dieta con *G. lucidum* ( $0.41\pm 0.05$ ) mostró menores valores que *P. ostreatus* ( $0.97\pm 0.39$ ) y *U. maydis* ( $0.98\pm 0.09$ ). De igual forma la expresión de XBP-1 fue menor en el grupo alimentado con *G. lucidum* ( $0.53\pm 0.16$ ), seguido de *U. maydis* y *P. ostreatus* ( $0.68\pm 0.14$  y  $0.83\pm 0.25$  respectivamente), incluso estos valores de expresión fueron menores que el grupo control ( $0.99\pm 0.08$ ). La baja expresión de estas proteínas en los hongos, principalmente en *G. lucidum* puede explicarse con lo reportado por Romero et al. (2021) quienes demostraron que los extractos de *G. lucidum* previenen

el estrés del retículo endoplásmico y el plegamiento incorrecto de proteínas mejorando la vía Der13 y los genes de proteínas de choque térmico Hsp1a/Dnajb1; también el gen Atp2a1 fue regulado positivamente en respuesta al estrés de colesterol alto mejorando la eficiencia del sistema del retículo endoplásmico. Lo anterior nos permite pensar que la baja expresión de los marcadores de estrés en el RE de tejido adiposo, BiP y XBP-1, pueden estar relacionados con la vía Der13 y la modulación de los genes de las proteínas Hsp1a/Dnajb1 y Atp2a1, por lo que, es posible proponer que no solo *G. lucidum* previene el estrés del RE, sino también *P. ostreatus* y *U. maydis*, no obstante es necesario ampliar las pruebas para determinar con mayor precisión los mecanismos de acción de estos hongos ante el estrés del retículo endoplásmico e inflamación causada por la obesidad.



**Figura 15.** Expresión de la masa proteica de BiP en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) Panel superior: Inmunoblot de BiP y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) Panel inferior: Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica del BiP en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM (n=3). Los valores de masa proteica del BiP fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras (p<0.05).

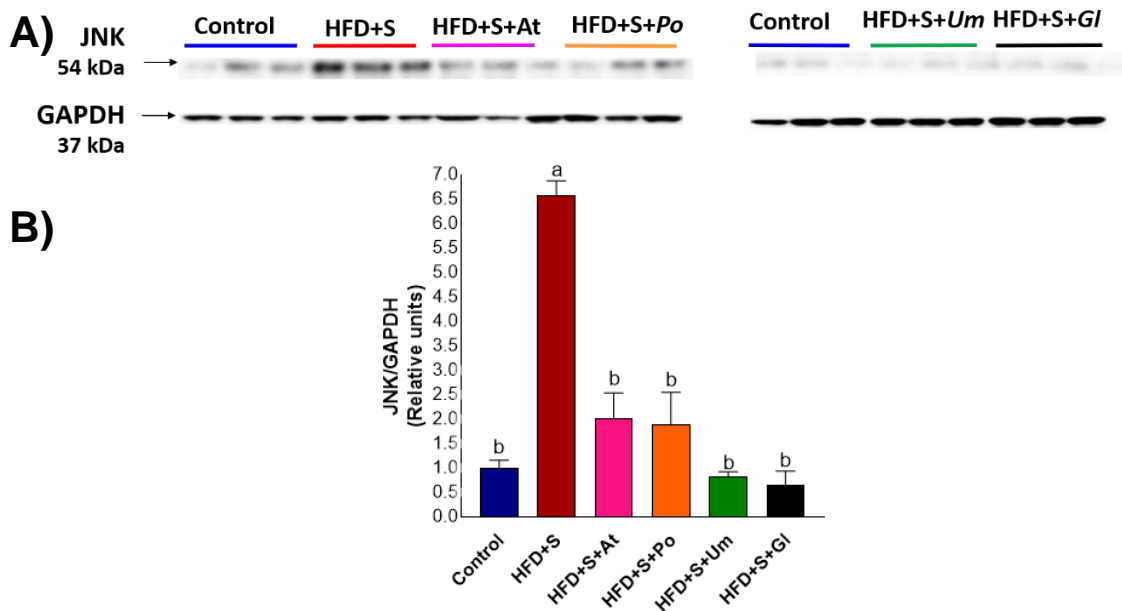


**Figura 16.** Expresión de la masa proteica de XBP-1 en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) Panel superior: Inmunoblot de XBP-1 y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) Panel inferior: Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica del XBP-1 en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM (n=3). Los valores de masa proteica del XBP-1 fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras (p<0.05).

La inflamación crónica e infiltración de macrófagos en el tejido adiposo blanco explica la estrecha relación entre el sistema inmunitario y la obesidad. El tejido adiposo secreta un número considerable de factores proteicos, denominados genéricamente como adipocinas, estas son muy diversas en cuanto a la estructura química y función fisiológica. En los estados de inflamación causados por la obesidad se expresan citocinas como el TNF- $\alpha$ , IL-1, IL-6, IL-8, IL-10, IL-4, IL-13 y MCP-1 (Vázquez-Vela et al., 2008; Mathieu et al., 2009). También, ante estos efectos proinflamatorios se vinculan dos vías de señalización NF- $\kappa$ B y la vía de c-Jun NH2-terminal quinasa (JNK) que se activan por diferentes estímulos proinflamatorios incluyendo a la citoquina TNF- $\alpha$  (Shoelson et al., 2007). Se ha demostrado que en el hígado como en el tejido adiposo de ratones

alimentados crónicamente con una dieta alta en grasas, la fosforilación de PERK e IRE1 $\alpha$  y la actividad de JNK aumentan significativamente en comparación con los animales delgados (Ozcan et al., 2004). De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó una alta expresión de JNK en el grupo HFD+S ( $6.59\pm 0.28$ ), lo que confirma la activación de la vía JNK en la obesidad. Por el contrario, se obtuvo una baja expresión de en los grupos HFD+S+At ( $2.00\pm 0.52$ ), HFD+S+Po ( $1.90\pm 0.64$ ), HFD+S+Um ( $0.82\pm 0.09$ ) y HFD+S+Gl ( $0.66\pm 0.27$ ) respecto al grupo alimentado con una dieta alta grasa, incluso los grupos alimentados con *U. maydis* y *G. lucidum* mostraron valores de expresión más bajos respecto al grupo control ( $1.00\pm 0.15$ ) aunque sin diferencias estadísticamente significativas (Figura 17). Por tanto, se demuestra que el consumo de hongos tiene efectos antiinflamatorios en un modelo de obesidad, lo cual concuerda con lo reportado por Chang et al. (2015), donde el extracto acuoso de *Ganoderma lucidum* inhibió la fosforilación de JNK en tejidos hepáticos y adiposos de ratones alimentados con una dieta alta en grasas, además de evitar la activación de la vía inflamatoria NF-kB.

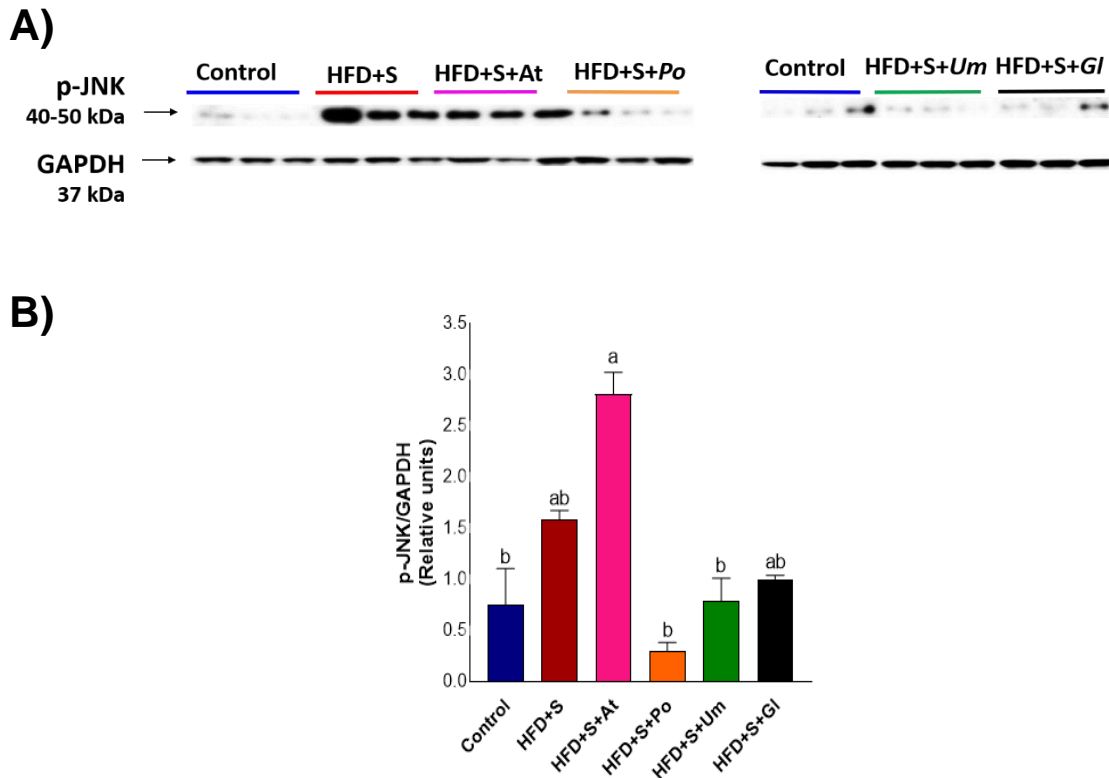




**Figura 17.** Expresión de la masa proteica de JNK en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) *Panel superior:* Inmunoblot de JNK y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) *Panel inferior:* Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica del JNK en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM (n=3). Los valores de masa proteica del JNK fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras ( $p < 0.05$ ).

Sobre la expresión de JNK fosforilado (p-JNK) se observó una mayor expresión en el grupo HFD+S+At ( $2.81 \pm 0.20$ ) con diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo control ( $0.75 \pm 0.34$ ) y los alimentados con *P. ostreatus* ( $0.30 \pm 0.08$ ) y *U. maydis* ( $0.78 \pm 0.22$ ). Curiosamente el grupo con atorvastatina, el cual sirvió como control positivo, mostró una alta expresión de esta proteína posiblemente por los lípidos "endógenos" (una serie de ácidos grasos libres saturados) presentes en las ratas con obesidad, estos activan al receptor 4 tipo Toll (TLR4), el cual juega un papel importante en la patogénesis de inflamación inducida por lípidos en el tejido adiposo y resistencia a la insulina. Al unirse estos ligandos al TLR4, una molécula adaptadora que contiene el dominio Toll/IL-1 (TIR) y MyD88, se recluta en el receptor llevando a la activación de las vías JNK y NF- $\kappa$ B. Se requiere mayor investigación de los efectos de las estatinas en tejido adiposo, en

particular, su acción en los macrófagos (Abe et al., 2008). Por lo tanto, se confirman los efectos antiinflamatorios de los hongos utilizados en esta investigación.

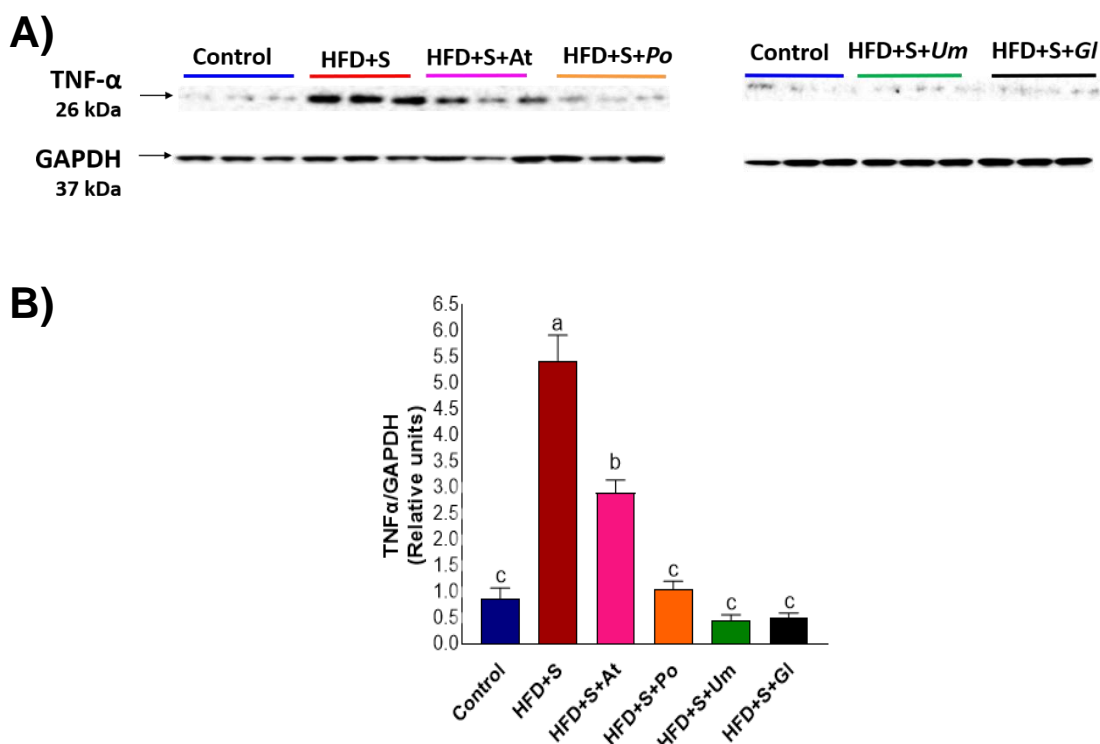


**Figura 18.** Expresión de la masa proteica de p-JNK en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) *Panel superior:* Inmunoblot del p-JNK y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) *Panel inferior:* Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica del p-JNK en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM(n=3). Los valores de masa proteica del p-JNK fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras ( $p < 0.05$ ).

El TNF- $\alpha$  es una citoquina reguladora multifuncional y un marcador inflamatorio vinculado con la adiposidad y con factores de riesgo cardiovascular. Se produce por los macrófagos dentro del tejido adiposo y por los adipocitos, es estimulada por el estrés del RE y la respuesta a proteínas mal plegadas (Ferranti y Mozaffarian, 2008). Existe una mayor cantidad de macrófagos que secretan citocinas proinflamatorias como el TNF- $\alpha$ , la IL-6, la IL-8 y la IL-1b en el tejido adiposo blanco de individuos obesos (Mathieu et al., 2009). En la Figura 19 se observa la alta expresión del TNF- $\alpha$  en el grupo HFD+S confirmando su rol como marcador inflamatorio y lo cual coincide con el estudio de Liang et al. (2008),

quienes observaron en el tejido adiposo epididimal de ratas alimentadas con una dieta rica en sacarosa y grasa un aumento significativo en la expresión de TNF- $\alpha$ .

Se observaron diferencias significativas al comparar el grupo HFD+S ( $5.43 \pm 0.48$ ) con el grupo control ( $0.87 \pm 0.19$ ), también al comparar este mismo grupo con los alimentados con hongos (*Po*:  $1.05 \pm 0.14$ ; *Gf*:  $0.51 \pm 0.07$ ; *Um*:  $0.46 \pm 0.09$ ). En el caso de *G. lucidum*, Chang et al. (2015) demostraron que el extracto acuoso de micelio de *Ganoderma lucidum* (WEGL) reduce los niveles de proteínas secretadas de TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6 de una manera dependiente de la dosis en ratones alimentados con una dieta alta en grasas, esto debido a la acción de sus polisacáridos de alto peso molecular (>300 kDa) que actúan como agentes prebióticos modulando la microbiota intestinal. También, los  $\beta$ -glucanos de *Ganoderma* reducen la secreción de factores inflamatorios (TNF- $\alpha$  y NO) provocada por los lipopolisacáridos (LPS) mediante la inhibición de la vía NF- $\kappa$ B (Wang et al., 2014). Otro estudio demostró que un glicopéptido de *G. lucidum* (GI-PS) promueve la polarización de macrófagos M1, donde el nivel de IL-6, IL-12 y TNF- $\alpha$  que secretan macrófagos estimulado por LPS se regula positivamente de una manera dependiente de la dosis después del tratamiento de GI-PS, lo que demuestra el potencial de GI-PS para promover la polarización M1 frente a M2, por lo que, los polisacáridos de *Ganoderma* poseen propiedades de inmunomodulación superiores (Sun et al., 2017).



**Figura 19.** Expresión de la masa proteica de TNF- $\alpha$  en el tejido adiposo subcutáneo de ratas Wistar. *Nota.* A) Panel superior: Inmunoblot del TNF- $\alpha$  y GAPDH del tejido adiposo subcutáneo. Grupo control; grupo HFD+S (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua); grupo HFD+S+AT (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+0.3% de atorvastatina); grupo HFD+S+Po (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Pleurotus ostreatus*); grupo HFD+S+Um (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ustilago maydis*); grupo HFD+S+Gl (High Fat Diet + 10 % sacarosa en el agua+10% de *Ganoderma lucidum*). B) Panel inferior: Análisis densitométrico de la expresión de la masa proteica de TNF- $\alpha$  en el tejido adiposo subcutáneo. Los valores se expresan como la media  $\pm$  SEM (n=3). Los valores de masa proteica del TNF- $\alpha$  fueron corregidos por los niveles de GAPDH presentes en cada una de las muestras. Las diferencias entre grupos se resaltan con distintas letras (p<0.05).

Nuestros resultados indican que los grupos alimentados con una dieta adicionada con *Pleurotus ostreatus*, *Ustilago maydis* y *Ganoderma lucidum* benefician la expresión de proteínas, superando o al menos igualando los valores obtenidos por el control positivo (atorvastatina) en varios de los parámetros inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico. De esta forma se demuestra que los hongos pueden inducir efectos benéficos a la salud superiores a los producidos por un fármaco, lo que los coloca como alimentos funcionales que poseen varias sustancias y diversos mecanismos de acción que producen un efecto sinérgico en favor de la salud.

## IX. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

- I. Existe una alta prevalencia de sobrepeso, obesidad y dislipidemias en las comunidades de Santiago Coltzingo y San Miguel Tianguistenco, las cuales son resultado de un patrón de alimentación no saludable.
- II. La obesidad aumentó la expresión de marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico de tejido adiposo subcutáneo.
- III. La incorporación de los hongos comestibles, funcionales y medicinales en una dieta alta en grasa disminuyó la expresión de los marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico de tejido adiposo subcutáneo.

## X. CONCLUSIONES

Existe una alta prevalencia de sobrepeso, obesidad y dislipidemias en las comunidades evaluadas, lo cual confirma la hipótesis planteada en este trabajo. Se requiere establecer acciones poblacionales para el diagnóstico y monitoreo desde edades tempranas para estas patologías, así como el desarrollo de estrategias que promuevan e integren el consumo de alimentos regionales de alto valor nutritivo y propiedades funcionales como los hongos comestibles en la cotidianeidad familiar de las comunidades analizadas, tales estrategias incluirían la realización de guías alimentarias que incorporen a este grupo de alimentos de origen microbiano en platillos regionales, así como la realización de pláticas y talleres que eduquen a la población en la selección de alimentos nutritivos y regionales que impacten positivamente a su salud y nutrición.

Por primera vez en México se realizó un estudio que analiza el efecto del consumo de los recursos genéticos nativos de *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en el tejido adiposo subcutáneo mediante la expresión de marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico de un modelo animal de obesidad inducido por dieta. Con lo anterior, se hace una contribución al conocimiento de sus propiedades antiinflamatorias.

Los resultados encontrados en el modelo *in vivo* señalan que los efectos negativos del consumo de una dieta alta en grasas pueden ser disminuidos cuando se combinan con el consumo de alguno de los hongos descritos. Estos contribuyeron a la disminución de las

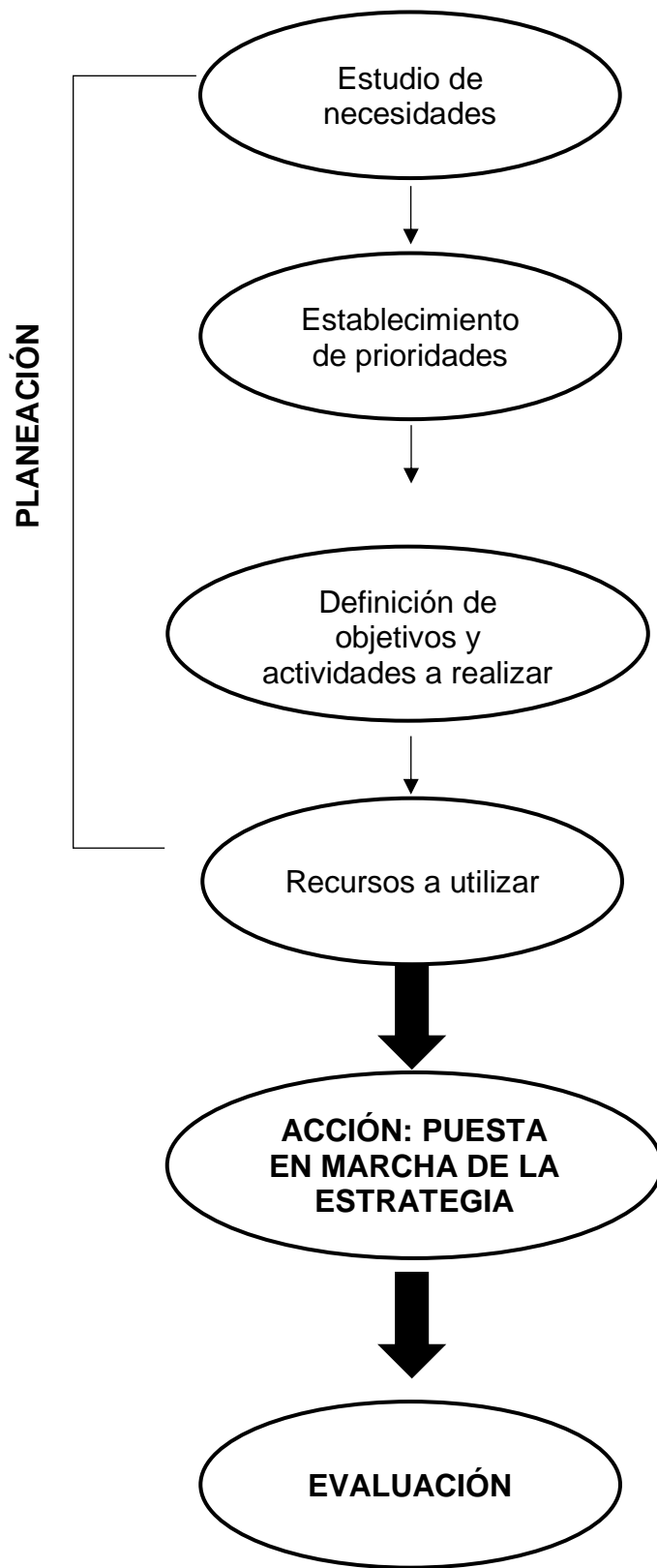
anormalidades producidas en el desarrollo de la obesidad tales como: i) reducción del tamaño y área de los adipocitos del tejido subcutáneo; ii) menor expresión de los genes BiP, XBP-1, TANK, eIF2 $\alpha$  y JNK al compararse con el grupo alimentado con una dieta alta en grasas; iii) aumento en la oxidación de ácidos grasos mediada por la adiponectina; iv) disminución de los marcadores inflamatorios como la c-Jun N-terminal cinasa (JNK), p-JNK y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ). Por lo que, se puede concluir que el consumo de los hongos *Ustilago maydis*, *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* disminuyen los marcadores inflamatorios y del estrés del retículo endoplásmico, incluso de forma superior que los producidos por la atorvastatina, lo cual es relevante como alternativa para la prevención de la obesidad y sus complicaciones metabólicas asociadas, tales como la resistencia a la insulina y diabetes mellitus tipo 2.

El presente trabajo tiene algunas limitaciones respecto al diseño transversal del estudio y tamaño de muestra, ya que no permite establecer relaciones causa/efecto, sólo de asociación y de carácter exploratorio, en particular sobre el bajo porcentaje de consumidores de hongos obtenido en este estudio, por lo que, se debe tener precaución al extrapolar estos hallazgos a otras zonas del país. Se recomienda realizar un mayor número de cuestionarios que consideren los distintos niveles socioeconómicos y educativos para desarrollar en el futuro mejores estrategias que fomenten el consumo de alimentos con alto valor nutricional y funcional, sobre todo para estos sectores vulnerables de la población.

## **XI. ESTRATEGÍA PARA MEJORAR EL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS COMUNIDADES DE SAN MIGUEL TIANGUISTENCO Y SANTIAGO COLTZINGO MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE HONGOS COMESTIBLES, FUNCIONALES Y MEDICINALES EN LA DIETA.**

En México, la obesidad y enfermedades asociadas son un problema de salud pública que afecta el desempeño económico. Se ha estimado que los gastos en salud serán del 8.9% por año durante el período 2020 a 2050. Además, estas enfermedades impactarán en la fuerza laboral mexicana, ya que alrededor de 2.4 millones de trabajadores de tiempo completo por año tendrán menos probabilidades de estar empleadas o serán menos productivas (OCDE, 2020). En este sentido, la alta prevalencia de sobrepeso, obesidad y dislipidemias presente en las comunidades evaluadas son consecuencia del excesivo consumo de energía, lípidos y colesterol, así como de la baja ingesta de fibra, vitaminas B6, B9, calcio, potasio, selenio y zinc que evidentemente afectan su estado de salud por no tratarse en las etapas de prevención y control de estas enfermedades, asimismo repercuten negativamente en la economía individual y del país. Por lo tanto, son necesarias las estrategias integrales derivadas de la investigación científica básica y aplicada para el establecimiento de líneas de acción que aborden el problema de la obesidad. En este contexto la inclusión de los recursos genéticos nativos de hongos comestibles, funcionales y medicinales en la alimentación son relevantes por sus efectos antiinflamatorios, los cuales fueron demostrados en esta investigación.

La nutrición comunitaria nace del conjunto de conocimientos para el desarrollo de estrategias en la prevención y promoción de la salud, en esta se busca una participación activa por parte de la comunidad, se estudian aspectos cualitativos como la calidad de la dieta, patrones alimentarios, conocimientos en materia de nutrición, conocimientos de las repercusiones causadas por las enfermedades crónicas, la calidad de vida y el estado de salud mental. Para desarrollar las estrategias de intervención en materia de la nutrición comunitaria se consideran tres etapas importantes: planeación, acción y evaluación (Aranceta, 2013) (Figura 20).



**Figura 20.** Etapas del proceso de planificación de programas en nutrición comunitaria.



Tomando como referencia el marco NOURISHING, la estrategia NAOS (2005) y el Programa Especial de Seguridad Alimentaria (PESA, 2016), se proponen las siguientes acciones:

- I. Informar y concientizar a la población sobre alimentación saludable y nutrición por medio de talleres prácticos que expongan la importancia de disminuir el consumo de alimentos ultraprocesados de bajo costo y alto contenido energético en su dieta, así como la divulgación de los beneficios de incluir a los hongos comestibles, funcionales y medicinales en los platillos regionales de las comunidades.
- II. Diseñar guías de alimentación saludables que incorporen alimentos accesibles y nutritivos; dentro de estas incluir a los hongos comestibles con propiedades funcionales.
- III. Orientación y consejería en atención primaria sobre las causas y complicaciones del sobrepeso y obesidad.
- IV. Generar competencias y habilidades en nutrición para que los profesionistas del área blanca (nutrición, medicina y enfermería) doten de conocimientos y herramientas encaminadas al contexto individual de las personas de la comunidad.
- V. Realizar el seguimiento de las medidas propuestas y la evaluación de los resultados obtenidos a través de la estrategia.

Se proponen los siguientes talleres prácticos nutricionales como una forma de motivar a los habitantes de las comunidades San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla adquirir buenos hábitos alimentarios que impacten en la disminución de incidencia del sobrepeso, la obesidad y enfermedades derivadas a través de la promoción de la inclusión de hongos comestibles con propiedades funcionales, así como la adquisición de habilidades sociales suficientes para que puedan desarrollar una vida saludable. Los talleres se llevarán a cabo en los Centros de Salud y escuelas de las comunidades. Es necesario destacar que en ambas localidades, la mayoría de los voluntarios no cuentan con un esquema de educación básica, por lo que, la información a proporcionar será adecuada, concisa y con un lenguaje claro y sencillo, evitando el uso del lenguaje y/o discurso especializado. El cupo máximo por taller será de 20 participantes con la finalidad de mantener un buen desarrollo de las actividades. Sobre el contenido de los talleres, se

compartirá información básica nutricional y herramientas con aplicación inmediata a los hábitos y estilos de vida saludable de cada individuo. A continuación, se describen los objetivos generales y específicos de los talleres prácticos nutricionales.

### **Objetivo general**

Formar hábitos alimentarios y estilos de vida saludables de las unidades familiares de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla, para prevenir las enfermedades crónicas no transmisibles.

### **Objetivos específicos**

- Introducir conceptos básicos sobre alimentación, nutrición y dieta saludable.
- Difundir los beneficios del consumo de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la salud.
- Familiarizar al individuo con las herramientas básicas nutricionales mediante el uso de la “Guía de alimentación saludable incluyendo hongos comestibles con propiedades funcionales”.
- Elaborar platillos con ingredientes económicos, accesibles, nutritivos y propios de la región.
- Promover la inclusión de hongos comestibles con propiedades funcionales a un patrón de alimentación saludable.
- Elaborar una lista de compras para optimizar el gasto de la economía doméstica.
- Informar y estimular a la población del impacto positivo que, para su salud, tiene la práctica regular de actividad física.

Los talleres tendrán una duración de 9 horas repartidas en sesiones de 90 minutos, una vez a la semana. Se desarrollará en 6 sesiones, cada sesión constará una parte teórica (30 minutos) y una parte práctica (60 minutos). Para el desarrollo de la parte teórica se utilizará el método deductivo con un enfoque bidireccional, de tal manera que se conozca el grado de asimilación de los contenidos, así como los comentarios y opiniones de los

participantes. En la parte práctica se elaborarán dinámicas que evalúen los conceptos e información brindada en cada taller. También se realizarán las recetas y menús de la “Guía de alimentación saludable incluyendo hongos comestibles con propiedades funcionales” elaborada por Jennifer Torres Pérez, la cual se desarrolló a partir de los resultados obtenidos en la presente investigación. Cabe señalar que esta se encuentra en proceso de registro.

Por último, durante los talleres los participantes tendrán un aprendizaje activo, de la teoría a la aplicación de la información dada por el facilitador. Se realizarán evaluaciones continuas y finales; la primera se llevará a cabo a través de las reuniones de coordinación del equipo técnico, la segunda evaluará el diseño, objetivos, metodología, recursos y efectos no previstos por medio de encuestas que responderán los participantes de cada taller. Para la evaluación de los talleres se considerarán los siguientes indicadores: número de asistentes, grado de participación, número de actividades realizadas y cuestionario de evaluación a los participantes. Este último partirá de los indicadores de conocimientos en nutrición y hábitos de alimentación establecidos previamente por el equipo de trabajo, de esta forma será posible valorar el grado de impacto en la mejora de los hábitos alimentarios y estilos de vida de los participantes.

Con base en lo anterior, en el Cuadro 18 se describen las propuestas e instrumentos que tendrán un impacto positivo en el estado nutricional de los habitantes de San Miguel Tianguistenco y Santiago Colzingo. En el Cuadro 19 se exponen los actores involucrados en la estrategia.

**Cuadro 18.** Talleres prácticos nutricionales para promover hábitos alimentarios y estilos de vida saludables.

<b>Talleres</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados</b>
Variado y bien alimentado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Promover una alimentación equilibrada y variada.</li> <li>-Conocer los distintos grupos de alimentos y sus características, así como la importancia de incluir a los hongos comestibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Presentación del plato de Harvard para llevar la alimentación de manera simple a través de una lámina con recortes de alimentos.</li> <li>-Enseñar a través de ejemplos prácticos la importancia de cada grupo de alimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identifica los grupos de alimentos y su adecuada combinación de acuerdo al plato de Harvard para una alimentación saludable.</li> <li>-Identifica las recomendaciones generales para la alimentación saludable de su familia a partir de los alimentos disponibles en su localidad.</li> </ul>
Qué son las calorías y la importancia de estar en movimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aprender a calcular de manera rápida las calorías totales y porcentajes de los macronutrientes que se necesitan en la adultez (18- 59 años de edad).</li> <li>-Conocer los beneficios de la incorporación del ejercicio físico, así como la actividad física diaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Calcular los requerimientos de alimentos basado en la guía.</li> <li>-Explicar cómo usar la distribución de calorías a través del uso de la guía de alimentos elaborada previamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aprender a usar la guía alimentaria.</li> <li>-Sensibilizar a la población sobre la importancia de la incorporación de la actividad física a un estilo de vida saludable.</li> </ul>

<b>Talleres</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados</b>
Sobrepeso y obesidad	<p>-Sensibilizar y concientizar a los participantes sobre las causas y consecuencias del sobrepeso y la obesidad.</p> <p>-Reforzar el papel de una alimentación adecuada en la prevención de enfermedades crónico degenerativas.</p> <p>-Destacar las propiedades funcionales y beneficios a la salud de los hongos comestibles.</p>	<p>-Determinar su IMC y clasificarlo según su estado.</p> <p>-Seleccionar el plan de alimentación adecuado a su IMC y sus requerimientos calóricos.</p>	<p>-Identifica las principales enfermedades causadas por una alimentación inadecuada.</p> <p>-Reconoce las causas y consecuencias del sobrepeso y la obesidad.</p> <p>-Identifica los malos hábitos en su alimentación actual y su relación con las enfermedades.</p> <p>-Conoce la importancia de la inclusión de los hongos comestibles en su alimentación.</p>
Elaboración de una lista para la compra de alimentos del hogar.	<p>-Dar a conocer los alimentos que necesitan consumir para el menú semanal acompañado de sus precios para evitar el desperdicio y compra de alimentos no recomendados.</p>	<p>-Reforzar el conocimiento del uso de la guía.</p> <p>-Explicar cómo hacer mejores selecciones de alimentos antes, durante y después de la compra.</p> <p>-Brindar una lista de compra de alimentos por semana junto con los precios.</p>	<p>-Elabora una lista de alimentos nutritivos de acuerdo al presupuesto familiar.</p> <p>-Utiliza la guía alimentaria para la elaboración de su lista de compras.</p>

<b>Talleres</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados</b>
Caminando entre hongos y su historia	Conocer el ecosistema de los hongos.	Visita al <i>Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepétl</i> acompañado de un guía o experto en el área.	Acercar a la población sobre la importancia del rescate, cuidado y consumo de los hongos.
Feria gastronómica de hongos comestibles.	Adquirir nuevas técnicas culinarias y platillos que incluyan a los hongos comestibles.	Elaborar los platillos de la guía alimentaria que incluyen a los hongos comestibles.	Identifica los beneficios de incluir a los hongos comestibles en su alimentación.  Se interesa por mejorar la preparación, conservación o transformación de alimentos para el autoconsumo familiar o la venta.

Recursos para la realización de los talleres prácticos nutricionales:

- Infraestructura: Espacios facilitados por los centros de salud y escuelas de educación básica.
- Materiales: Guía de alimentación saludable, utensilios de cocina, alimentos para cocinar, computadora y proyector.
- Humanos y técnicos: agentes de cambio provenientes de las comunidades, responsables y/o encargados de los centros de salud y escuelas, profesionistas del área blanca.

## ACTORES SOCIALES

**Cuadro 19.** Actores de la estrategia para mejorar el estado nutricional de las comunidades de San Miguel Tianguistenco y Santiago Coltzingo, Puebla.

ACTORES	RECURSOS	ACTIVIDAD	FINES
Familias de las localidades (niños, adolescentes, adultos y ancianos)	-Voluntad y compromiso. -Conocimiento tradicional.	-Participación colaborativa -Entrevistas, grupos focales, cuestionarios.	-Líderes comunitarios. -Trabajo colectivo. -Difusión de información sobre nutrición saludable y actividad física. -Alcanzar los resultados y las metas establecidas. -Continuidad del proyecto y resultados más duraderos.
Productores y organizaciones de hongos comestibles funcionales y medicinales	-Tierra. -Mano de obra. -Semillas. -Conocimiento tradicional.	-Producción de alimentos. -Autoconsumo. -Producción de hongos.	-Ingresos. -Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. -Seguridad alimentaria nutricional.
Autoridades federales y municipales (instituciones gubernamentales, centros de investigación, universidades públicas o privadas)	-Centros de salud y equipo médico. -Inversión. -Conocimiento. -Equipos y reactivos para la producción de basidio-carpos.	-Promoción de la salud en clínicas y escuelas. -Articulación institucional. -Asesoría técnica para el cultivo de hongos.	-Disminuir los índices de sobrepeso y obesidad. -Seguridad alimentaria nutricional. -Compartir y divulgar los productos generados por los proyectos.

<b>ACTORES</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FINES</b>
Colectivos profesionales implicados (profesionales de todas las disciplinas sanitarias, investigadores y psicosociales)	-Investigación. -Divulgación. -Conocimiento. -Micelio de hongos. -Sustratos.	-Capacitación. -Promoción de los beneficios de inclusión de los hongos comestibles con propiedades funcionales. -Talleres prácticos nutricionales. -Feria gastronómica de hongos. -Talleres y reuniones con grupos focales.	-Disminuir los índices de sobrepeso y obesidad. -Rescate de las dietas tradicionales variadas y sanas. -Análisis de experiencias exitosas para extrapolar y aplicar en otros espacios geográficos con similitud de características. -Compartir y divulgar los productos generados por los proyectos.



## XII.LITERATURA CITADA

- Abe, M., Matsuda, M., Kobayashi, H., Miyata, Y., Nakayama, Y., Komuro, R., Fukuhara, A. y Shimomura, I. (2008). Effects of statins on adipose tissue inflammation: their inhibitory effect on MyD88-independent IRF3/IFN-beta pathway in macrophages. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 28(5), 871-877.10.1161/ATVBAHA.107.160663.
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria (AESAN). (2005). Estrategia NAOS: Invertir la tendencia de la obesidad. Estrategia para la nutrición, actividad física y prevención de la obesidad [Archivo PDF]. <https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/estrategianaos.pdf>
- Agrawal, R., Chopra, A., Lavekar, G., Padhi, M., Srikanth, N., Ota, S., y Jain, S. (2010). Effect of oyster mushroom on glycemia, lipid profile and quality of life in type 2 diabetic patients. *Australian Journal of Medical Herbalism*, 22(2), 50-54.
- Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., y Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de Hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 76-81. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.33649>
- Alam, N., Amin, R., Khan, A., Ara, I., Shim, M. J., Lee, M. W., Lee, U. Y., y Lee, T. S. (2009). Comparative Effects of Oyster Mushrooms on Lipid Profile, Liver and Kidney Function in Hypercholesterolemic Rats. *Mycobiology*, 37(1), 37-42. 10.4489/MYCO.2009.37.1.037
- Alarcón, J., y Águila, S. (2006). Lovastatin production by *Pleurotus ostreatus*: Effects of the C:N ratio. *Z Naturforsch C J Biosci*, 61(1-2), 95-98. <https://doi.org/10.1515/znc-2006-1-217>
- Alberti, K.G., Zimmet, P., y Shaw, J. (2006). Metabolic syndrome a new world-wide definition. A Consensus Statement from the International Diabetes Federation. *Diabetic Med*, 23(5),469-480. 10.1111/j.1464-5491.2006.01858.x
- Aldhahi, W., y Hamdy, O. (2003). Adipokines, inflammation, and the endothelium in diabetes. *Curr Diab Rep*, 3, 293-298. <https://doi.org/10.1007/s11892-003-0020-2>
- Al-rejaie, S.S., Aleisa, A.M., Sayed-Ahmed, M.M., Al-Shabanah O.A., Abuohashish, H.M., Ahmed, M.M., Al-Hosaini, K.A., y Hafez, M.M. (2013). Protective effect of rutin on the antioxidant genes expression in hypercholesterolemic male Westar rat. *BMC Complement Altern Med*, 13 (136). 13. 10.1186/1472-6882-13-136
- Alvarado, R.D., Saavedra, R. L., Almaraz, S.A., Tlapal, B.B., Trejo, R.O., Davidson, J., Kliejunas, J.T., Oak, S., O'Brien, J.G., Orozco-Torres, F., y Quiroz-Reygadas, D. (2007). Agentes asociados y su papel en la declinación y muerte de encinos (*Quercus*, Fagaceae) en el Centro-Oeste de México. *Polibotánica*, (23), 1-21.
- Amalan, V., Vijayakumar, N., Indumathi, D., y Ramakrishnan, A. (2016). Antidiabetic and antihyperlipidemic activity of p-coumaric acid in diabetic rats, role of pancreatic

- GLUT 2: *In vivo* approach. *Biomed Pharmacother*, 84, 230–236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2016.09.039>
- An, R. (2013). Effectiveness of subsidies in promoting healthy food purchases and consumption: a review of field experiments. *Public Health Nutr*, 16(7),1215-28. [10.1017/S1368980012004715](https://doi.org/10.1017/S1368980012004715)
- Anderson, N., Wang, S., y Schwandt, J. (1973). The *Pleurotus ostreatus-sapidus* species complex. *Mycologia*, 65 (1), 28-35. <https://doi.org/10.2307/3757783>
- Aranceta, J. (2013). *Nutrición comunitaria*. (3a ed.). ELSEVIER.
- Arroyo, P., Fernández, V., Loría, A., Pardío, J., Laviada, H., Vargas-Ancona, L., y Ward, Ryk. (2007). Obesidad, morfología corporal y presión arterial en grupos urbanos y rurales de Yucatán. *Salud Pública Méx*, 49(4): 274-85.
- Asfors, K.E., y Ley, K. (1993). Sulfated polysaccharides in inflammation. *J. Lab. Clin. Med*, 121, 201-202.
- Atarashi, K., Tanoue, T., Shima, T., Imaoka, A., Kuwahara, T., Momose, Y., Cheng, G., Yamasaki, S., Saito, T., Ohba, Y., Taniguchi, T., Takeda, K., Hori, S., Ivanov, I.I., Umesaki, Y., Itoh, K., y Honda, K. (2011). Induction of colonic regulatory T cells by indigenous *Clostridium* species. *Science*, 331(6015), 337–341. [10.1126/science.1198469](https://doi.org/10.1126/science.1198469)
- Bach, E. E., Matias, E., Hi, B., Maria, A., Martins, C., Nascimento, P. A. M., Sumie, N., y Wadt, Y. (2018). Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of *Ganoderma lucidum* in Streptozotocin-Induced *Diabetic Rats*. *Medicines*, 5(78), 1–9. <https://doi.org/10.3390/medicines5030078>
- Banuett, F. (2007). History of the mating types in *Ustilago maydis*. Sex in Fungi: Molecular determination and evolutionary Implications. *Plant and animal pathogenic yeast*. 351-375. [10.1128/9781555815837.ch21](https://doi.org/10.1128/9781555815837.ch21)
- Bastarrachea, R.A., Curran, J.E., Eugenia, B.V., Kent, J.J., López-Alvarenga, J.C., Téllez-Mendoza, J., Blangero, J., y Comuzzie, A.G. (2006). Vinculando la respuesta inflamatoria, la obesidad y la diabetes con la sobrecarga (estrés) del retículo endoplásmico a través de las acciones de la selenoproteína S. *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 14 (2):89-101.
- Bautista-González, J., y Moreno-Fuentes, A. (2015). Los hongos medicinales en México. En A. Moreno-Fuentes, y R. Garibay-Orijel (eds.), *La Etnomicología en México. Estado del Arte. Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural* (pp.145-176). Cromo edit.
- Bento-Silva, A., Vaz Patto M.C., y do Rosário Bronze, M. (2018). Relevance, structure and analysis of ferulic acid in maize cell walls. *Food Chem*, 2018;246,360–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.012>

- Blüher, M., y Mantzoros, C.S. (2015). From leptin to other adipokines in health and disease: facts and expectations at the beginning of the 21st century. *Metabolism*, 64(1): 131-145. 10.1016/j.metabol.2014.10.016
- Borradaile, N.M., Han, X., Harp, J.D., Gale, S.E., Ory, D.S., Schaffer, J.E. (2006). Disruption of endoplasmic reticulum structure and integrity in lipotoxic cell death. *J. Lipid Res* 47(12), 2726–2737. 10.1194/jlr.M600299-JLR200
- Bourdieu, P. (1988). *La distinción: criterios y bases sociales del gusto*. Altea Taurus. [https://pics.unison.mx/maestria/wp-content/uploads/2020/05/La\\_Distincion-Bourdieu\\_Pierre.pdf](https://pics.unison.mx/maestria/wp-content/uploads/2020/05/La_Distincion-Bourdieu_Pierre.pdf)
- Browning, L.M., Hsieh, S.D, y Ashwell, M. (2010). A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0.5 could be a suitable global boundary value. *Nutr Res Rev*, 23(2):247-69. 0.1017/S0954422410000144
- Burrola-Aguilar, C., Montiel, O., Garibay-Orijel, R., y Zizumbo-Villarreal, L. (2012). Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología*, 35, 1-16.
- Caesar, R., Reigstad, C.S., Bäckhed, H.K., Reinhardt, C., Ketonen, M., Lundén, G.Ö., Cani, P.D., y Bäckhed, F. (2012). Gut-derived lipopolysaccharide augments adipose macrophage accumulation but is not essential for impaired glucose or insulin tolerance in mice. *Gut*, 61, 1701–1707. 10.1136/gutjnl-2011-301689
- Calvo, M.S., Mehrotra, A., Beelman, R.B., Nadkarni, G., Wang, L., Cai, W., Goh, B.C., Kalaras, M.D., y Uribarri, J. (2016). A Retrospective Study in Adults with Metabolic Syndrome: Diabetic Risk Factor Response to Daily Consumption of *Agaricus bisporus* (White Button Mushrooms). *Plant Foods Hum Nutr*, 71(3):245-51.10.1007/s11130-016-0552-7.
- Castañeda, V.T., y Leal, H. (2012). Logros y desafíos de la producción masiva de “cuitlacoche” *Ustilago maydis* en México. En J. E. Sánchez y G. Mata (eds.), *Hongos Comestibles y medicinales en Iberoamérica* (1 ed., pp. 193-206). El Colegio de la Frontera Sur.
- Castellanos, A.F., Rosado, J.G., Chel, L.A., Gallegos, S., y Betancur, D.A. (2018). Diagnóstico nutricional e intervención de orientación alimentaria en dos comunidades rurales de mujeres campesinas del Sureste Mexicano. *Nutr. clín. diet. Hosp*, 38(4):116-122. 10.12873/384castellanos
- Chang, C.J., Lin, C.S., Lu, C.C., Martel, J., Ko, Y.F., Ojcius, D.M., Tseng, S.F., Yi, T.R., Chen, Y.M., Young, J.D., y Lai, H.C. (2015). *Ganoderma lucidum* reduces obesity in mice by modulating the composition of the gut microbiota. *Nat Commun*, 6, 7489. <https://doi.org/10.1038/ncomms8489>

- Chang, S.T., y Buswell, J.A. (1999). *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. (Aphyllorphomycetidae) a mushrooming medicinal mushroom. *Int. J. Med. Mushrooms*, 1 (2), 139–146.
- Chang, S.T., y Miles, P.G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*. CRC Press.
- Chao, J., Huo, T., Cheng, H., Tsai, J., Liao, J., Lee, M.S., Qin, X.M., Hsieh, M.T., Pao, L.H., y Peng, W.H. (2014). Gallic Acid Ameliorated Impaired Glucose and Lipid Homeostasis in High Fat Diet-Induced NAFLD Mice. *PLoS One*, 9(6):1–18. 10.1371/journal.pone.0096969
- Chau, T.L., Gioia, R., Gatot, J.S., Patrascu, F., Carpentier, I., Chapelle, J.P., O'Neill, L., Beyaert, R., Piette, J., y Chariot, A. (2008). Are the IKKs and IKK-related kinases TBK1 and IKK-epsilon similarly activated? *Trends Biochem. Sci*, 33 (4), 171–180. 10.1016/j.tibs.2008.01.002
- Chirinang, P., y Intarapichet, K.O. (2009). Amino acids and antioxidant properties of oyster mushrooms. *ScienceAsia*, 35, 326. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.326>
- Chorváthová, V., Bobek, P., Ginter, E., y Klvanová, J. (1993). Effect of the oyster fungus on glycaemia and cholesterolaemia in rats with insulin-dependent diabetes. *Physiological research*, 42(3), 175–179.
- Choudhury, B., Rahman, T., Kakon, A., Akhtaruzzaman, M., Begum, M.M., Choudhuri, M., Shahabuddin, K., y Hossain, S. (2013). Effects of *Pleurotus ostreatus* on Blood Pressure and Glycemic Status of Hypertensive Diabetic Male Volunteers. *Bangladesh Journal of Medical Biochemistry*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.3329/bjmb.v6i1.13280>
- Coffield, E., Nihiser, A.J., Sherry, B., y Economos, C.D. (2015). Shape Up Somerville: change in parent body mass indexes during a child-targeted, community-based environmental change intervention. *Am J Public Health*, 105(2), e83-9. 10.2105/AJPH.2014.302361
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [http://dduia.puebla.gob.mx/SITEP/apartados/areas\\_naturales/Biodiversidad/LBPE E.pdf](http://dduia.puebla.gob.mx/SITEP/apartados/areas_naturales/Biodiversidad/LBPE E.pdf)
- Contreras Cortés, L.E.U., Vázquez García, A., y Ruan-Soto, F. (2018). Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia fungorum*, 47, 47-55.

- Corona-González, S.M. (2017). Prácticas tradicionales de aprovechamiento de los hongos silvestres alimenticios en Zongozotla, Puebla, México. [Tesis de Licenciatura]. UNAM.
- Delint-Ramirez, I., Maldonado Ruiz, R., Torre-Villalvazo, I., Fuentes-Mera, L., Garza Ocañas, L., Tovar, A., y Camacho, A. (2015). Genetic obesity alters recruitment of TANK-binding kinase 1 and AKT into hypothalamic lipid rafts domains. *Neurochemistry International*, 80, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2014.11.002>.
- Dong, Y., Zhang, J., Gao, Z., Zhao, H., Sun, G., Wang, X., y Jia, L. (2019). Characterization and anti-hyperlipidemia effects of enzymatic residue polysaccharides from *Pleurotus ostreatus*. *Int J Biol Macromol*, 129: 316–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.164>
- Estrada, E., Guzmán, G., Cibrián-Tovar, D., y Ortega-Paczka, R. (2012). Contexto socioeconómico del conocimiento micológico tradicional en la Sierra Nevada, México. *Rev. Mex. Cien. For*, 3(12), 57-70. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322012000400006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000400006&lng=es&tlng=es).
- Estrada-Martínez, E., Guzmán, G., Cibrián-Tovar, D., Ortega-Paczka, R. (2009). Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos Comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). *Revista Interciencias*, 34, 25-33. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000100006&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000100006&lng=es).
- Fantuzzi, G. (2005). Adipose tissue, adipokines, and inflammation. *J Allergy Clin Immunol*, 115, 911-919. 10.1016/j.jaci.2005.02.023
- Farmer, S.R. (2006). Transcriptional control of adipocyte formation. *Cell Metab*, 4 (4), 263-73. 10.1016/j.cmet.2006.07.001
- Finkelstein, E.A., Strombotne, K.L, Zhen, C., y Epstein, L.H. (2014). Food prices and obesity: a review. *Adv Nutr*, 5(6):818-21. 10.3945/an.114.007088
- Flores, M. (2018). Acceso a los alimentos y el estado nutricional en México. Documento de trabajo interno.
- Folta, S.C., Kuder, J.F., Goldberg, J.P., Hyatt, R.R., Must, A., Naumova, E.N., Nelson, M.E., y Economos, C.D. (2013). Changes in diet and physical activity resulting from the Shape Up Somerville community intervention. *BMC Pediatr*, 13, 157. 10.1186/1471-2431-13-157
- Fujita, E., Kouroku, Y., Isoai, A., Kumagai, H., Misutani, A., Matsuda, C., Hayashi, Y.K., y Momoi, T. (2007). Two endoplasmic reticulum-associated degradation (ERAD) systems for the novel variant of the mutant dysferlin: ubiquitin/proteasome ERAD(I)

- and autophagy/lysosome ERAD(II), *Hum Mol Genet.*;16 (6), 618–629. 10.1093/hmg/ddm002
- Galarraga, M., Campion, J., Munoz-Barrutia, A., Haritz, N.B., Martínez, J.A., Milagro, F., y Ortiz-de-Solórzano, C. (2012). Adiposoft: automated software for the analysis of white adipose tissue cellularity in histological sections. *J Lipid Res*, 53 (12), 2791–2796. 10.1194/jlr.D023788
- Gao, Z., Yin, J., Zhang, J., Ward, R.E., Martin, R.J., Lefevre, M., Cefalu, W.T., y Ye, J. (2009). Butyrate improves insulin sensitivity and increases energy expenditure in mice. *Diabetes*, 58 (7), 1509–1517. 10.2337/db08-1637
- Garibay-Orijel, R., y Ruan-Soto, F. (2015). Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. En A.R. Moreno-Fuentes, y R. Garibay-Orijel (eds.), *La Etnomicología en México. Estado del Arte. Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural* (pp. 91-112). Cromo edit.
- Giddens, A. (2006). *La constitución de la sociedad: bases para la teoría de la estructuración*. Amorrortu.
- Gillespie, S., y Van den Bold, M. (2017). Agriculture, Food Systems, and Nutrition: Meeting the Challenge. *Global Challenges*, 1(3), 1-12. <https://doi.org/10.1002/gch2.201600002>
- Guevara, M., Hernández, M., y Huesca, J. (2014). Comunidades rurales, estrategias familiares y género. Lectura desde el enfoque de los medios de vida sostenibles. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 5 (6), 1111-1124. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014000600016&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000600016&lng=es&tlng=es).
- Guillou, H., Martin, P.G.P., y Pineau, T. (2008). Transcriptional regulation of hepatic fatty acid metabolism. *Sub-Cellular Biochemistry*, 49, 3-47. 10.1007/978-1-4020-8831-5\_1
- Guzmán, G. (1994). Los hongos y líquenes en la medicina tradicional mexicana. En A. Argueta, L.M. Cano y M.E. Rodarte (eds.), *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana* (pp. 1427-1487). Instituto Nacional Indigenista.
- Hajjaj, H., Mace, C., Roberts, M., Niederberger, P., y Fay, L.B. (2005). Effect of 26-oxygenosterols from *Ganoderma lucidum* and their activity as cholesterol synthesis inhibitors. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7), 3653–3658. 10.1128/AEM.71.7.3653-3658.2005
- Hall, K.D., y Guo, J. (2017). Obesity Energetics: Body Weight Regulation and the Effects of Diet Composition. *Gastroenterology*, 152(7):1718-1727. 10.1053/j.gastro.2017.01.052

- Havel, P.J. (2004). Update on Adipocyte Hormones: Regulation of Energy Balance and Carbohydrate/Lipid Metabolism. *Diabetes*, 53 (1), S143-S151. 10.2337/diabetes.53.2007.s143
- Hikino, H., Konno, C., Mirin, Y., y Hayashi, T. (1985). Isolation and hypoglycemic activity of ganoderans A and B, glycans of *Ganoderma lucidum* fruit bodies 1. *Planta Med*, 51, 339–340. 10.1055/s-2007-969507
- Hinckson, E., Schneider, M., Winter, S.J., Stone, E., Puhan, M., Stathi, A., Porter, M.M., y Gardiner, P.A., Lopes-dos-Santos, D., Wolff, A., y King, A.C. (2017). Citizen science applied to building healthier community environments: advancing the field through shared construct and measurement development. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0588-6>
- Hoelscher, D.M., Springer, A.E., Ranjit, N., Perry, C.L., Evans, A.E., Stigler, M., y Kelder, S.H. (2010). Reductions in child obesity among disadvantaged school children with community involvement: the Travis County CATCH Trial. *Obesity (Silver Spring)*, 18(1), S36-44. 10.1038/oby.2009.430
- Hossain, S., Hashimoto, M., Choudhury, E. K., Alam, N., Hussain, S., Hasan, M., y Mahmud, I. (2003). Dietary mushroom (*Pleurotus ostreatus*) ameliorates atherogenic lipid in hypercholesterolaemic rats. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 30(7), 470–475. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2003.03857.x>
- Hotamisligil, G.S. (2006). Inflammation and metabolic disorders. *Nature*; 444(7121), 860–867. 10.1038/nature05485
- Hotamisligil, G.S. (2010). Endoplasmic Reticulum Stress and the Inflammatory Basis of Metabolic Disease. *Cell*, 140(6): 900–917. 10.1016/j.cell.2010.02.034
- Hsu, C.L., Wu, C.H., Huang, S.L., y Yen, G.C. (2009). Phenolic compounds rutin and o-coumaric acid ameliorate obesity induced by high-fat diet in rats. *J Agric Food Chem*, 57(2):425–31. 10.1021/jf802715t
- Hsu, C.L., y Yen, G.C. (2007). Effect of gallic acid on high fat diet-induced dyslipidaemia, hepatosteatosis and oxidative stress in rats. *Br J Nutr*, 98(04), 727–35. [http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S000711450774686X](http://www.journals.cambridge.org/abstract_S000711450774686X)
- Huerta Esparza, G. (2013). *Efecto del huitlacoche sobre indicadores de estrés oxidativo en ratas normales y diabéticas* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/1130/379324.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). *Síntesis Geográfica del Estado de Puebla (SIGE)*.

- [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222949/702825222949\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222949/702825222949_1.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tlahuapan, Puebla* [Archivo PDF]. [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21180.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21180.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla* [Archivo PDF]. [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/PUE\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/PUE_ANUARIO_PDF.pdf)
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2012). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales* [Archivo PDF]. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/informes/ENSANUT2012ResultadosNacionales.pdf>
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2020a). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Resultados de Puebla* [Archivo PDF]. [https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/Resultado\\_Entidad\\_Puebla.pdf](https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/Resultado_Entidad_Puebla.pdf)
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2020b). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19. Resultados Nacionales* [Archivo PDF]. [https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut\\_2018\\_informe\\_final.pdf](https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_informe_final.pdf)
- Istvan, E.S., y Deisenhofer, J. (2001). Structural mechanism for statin inhibition of HMG-CoA reductase. *Science*, 292(5519), 1160–4. 10.1126/science.1059344
- Jayasuriya, W.J., Wanigatunge, C.A., Fernando, G.H., Abeytunga, D.T., y Suresh, T.S. (2015). Hypoglycaemic activity of culinary *Pleurotus ostreatus* and *P. cystidiosus* mushrooms in healthy volunteers and type 2 diabetic patients on diet control and the possible mechanisms of action. *Phytother Res*, 29(2), 303-9. 10.1002/ptr.5255.
- Jiménez Merino, A. (2010). *Cadenas Productivas Agropecuarias y Acuícolas del estado de Puebla*. Secretaría de Desarrollo Rural (SDR). <http://www.jimenezmerino.com.mx/libros/PUEBLAUNAESTRATEGIA.pdf>
- Johnson, B. M., Radwan, F., Hossain, A., Doonan, B. P., Hathaway-Schrader, J. D., God, J. M., Voelkel-Johnson, C. V., Banik, N. L., Reddy, S. V., y Haque, A. (2019). Endoplasmic reticulum stress, autophagic and apoptotic cell death, and immune activation by a natural triterpenoid in human prostate cancer cells. *Journal of cellular biochemistry*, 120(4), 6264–6276. <https://doi.org/10.1002/jcb.27913>
- Jong, S.C., y Birmingham, J.M. (1992). Medicinal benefits of the mushroom *Ganoderma*. *Advances in Applied Microbiology* 37, 101–134. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(08\)70253-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(08)70253-3)



- Kajaba, I., Simoncic, R., Frecerova, K., y Belay, G. (2008). Clinical studies on the hypolipidemic and antioxidant effects of selected natural substances. *Bratisl. Lek. Listy*, 109(6), 267–272.
- Kharroubi, I., Ladriere, L., Cardozo, A.K., Dogusan, Z., Cnop, M., y Eizirik, D.L. (2004). Free fatty acids and cytokines induce pancreatic beta-cell apoptosis by different mechanisms: role of nuclear factor-kappaB and endoplasmic reticulum stress. *Endocrinology*, 145(11), 5087–5096. 10.1210/en.2004-0478
- Khatun, K., Mahtab, H., Khanam, P.A., Sayeed, M.A., y Khan, K.A. (2007). Oyster mushroom reduced blood glucose and cholesterol in diabetic subjects. *Mymensingh Med J*, 16(1):94-9. doi: 10.3329/mmj.v16i1.261
- Kim, M.Y., Park, M.H., y Kim, G.H. (1997). Effects of mushroom protein-bound polysaccharides on the blood glucose levels and energy metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Kor. Nutr*, 30 (7), 743-750.
- Kintscher, U., Hartge, M., Hess, K., Foryst-Ludwig, A., Clemenz, M., Wabitsch, M., Fischer-Posovszky, P., Barth, T.F., Dragun, D., Skurk, T., Hauner, H., Blüher, M., Unger, T., Wolf, A.M., Knippschild, U., Hombach, V., y Marx, N. (2008). T-lymphocyte infiltration in visceral adipose tissue: A primary event in adipose tissue inflammation and the development of obesity-mediated insulin resistance. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 28(7),1304-10. 10.1161/ATVBAHA.108.165100.
- Komoda, Y., Shimizu, M., y Sonoda, Y. (1989) Ganoderic acid and its derivatives as cholesterol synthesis inhibitors. *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, 37(2), 531–533. 10.1248/cpb.37.531
- Kong, W. S. (2004). Oyster Mushrooms. En Mushworld (Ed.), *Mushroom Growers Handbook* (pp. 55-61). Mushworld. <https://pdfroom.com/books/mushroom-growers-handbook-1/NpgpZ09W5jr>
- Kosuru, R.Y., Roy, A., Das, S.K., y Bera, S. (2018). Gallic Acid and Gallates in Human Health and Disease: Do Mitochondria Hold the Key to Success?. *Mol Nutr Food Res*, 62(1). <http://doi.wiley.com/10.1002/mnfr.201700699>
- Kraegen, E.W., Cooney, G.J., Ye, J.M., Thompson, A.L., y Furler, S.M. (2001). The role of lipids in the pathogenesis of muscle insulin resistance and beta cell failure in type II diabetes and obesity. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*, 109(2), S189-201. 10.1055/s-2001-18581
- Laforest, S., Labrecque, J., Michaud, A., Cianflone, K., y Tchernof, A. (2015). Adipocyte size as a determinant of metabolic disease and adipose tissue dysfunction. *Crit Rev Clin Lab Sci*, 52(6),301-313. 10.3109/10408363.2015.1041582
- Lai, K.N., Chan, L.Y., Tang, S.C., y Leung, J.C. (2006). *Ganoderma* extract prevents albumin-induced oxidative damage and chemokines synthesis in cultured human proximal tubular epithelial cells. *Nephrology Dialysis Transplant*, 21, 1188–1197. 10.1093/ndt/gfk085.

- Lara Visconti, C. (2010). *Transformación y valoración del paisaje en la Preciosita, Santa Rita Tlahuapan, Puebla y el programa de ordenamiento ecológico regional del Volcán Popocatepetl*. [Tesis de doctorado]. Colegio de Postgraduados. <https://docplayer.es/45334153-Colegio-de-postgraduados.html>
- Lee, A.H., Iwakoshi, N.N., y Glimcher, L.H. (2003). XBP-1 regulates a subset of endoplasmic reticulum resident chaperone genes in the unfolded protein response. *Mol. Cell. Biol*, 23, 7448–7459. 10.1128/MCB.23.21.7448-7459.2003
- Lee, J.M., Kwon, H., Jeong, H., Lee, J.W., Lee, S.Y., Baek, S.J., y Surh, Y.J. (2001). Inhibition of lipid peroxidation and oxidative DNA damage by *Ganoderma lucidum*. *Phytotherapy Research*, 15 (3), 245–249. 10.1002/ptr.830
- Lelliott, C., y Vidal-Puig, A.J. (2004). Lipotoxicity, an imbalance between lipogenesis de novo and fatty acid oxidation. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 28 (4), S22-8. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802854>
- Lemin, M., Vázquez, A., y Chacón, S. (2010). Etnomicología y comercialización de hongos en el mercado de tres poblados del Noroeste del Estado de Puebla I. *Brenesia* 73-74, 58-63. [http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/etnomicologia\\_comercializacion\\_hongos.pdf](http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/etnomicologia_comercializacion_hongos.pdf)
- Liang, C., Li, H., Zhou, H., Zhang, S., Liu, Z., Zhou, Q., y Sun, F. (2012). Recombinant Lz-8 from *Ganoderma lucidum* induces endoplasmic reticulum stress-mediated autophagic cell death in SGC-7901 human gastric cancer cells. *Oncology reports*, 27(4), 1079–1089. <https://doi.org/10.3892/or.2011.1593>
- Liang, H., Yin, B., Zhang, H., Zhang, S., Zeng, Q., Wang, J. Jiang, X., Yuan, L., Wang, C.Y., y Li, Z. (2008). Blockade of Tumor Necrosis Factor (TNF) Receptor Type 1-Mediated TNF- $\alpha$  Signaling Protected Wistar Rats from Diet-Induced Obesity and Insulin Resistance. *Endocrinol*, 149, 2943-2951. 10.1210/en.2007-0978
- Lindgren, V., Luskey, K.L., Russell, D.W., y Francke, U. (1985). Human genes involved in cholesterol metabolism: Chromosomal mapping of the loci for the low density lipoprotein receptor and 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase with cDNA probes. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 82(24), 8567–71. 10.1073/pnas.82.24.8567
- Lowell, B.B., y Shulman, G.I. (2005). Mitochondrial dysfunction and type 2 diabetes. *Science*, 307 (5708), 384-387. 10.1126/science.1104343
- Madrigal-Rodríguez, J., Villanueva-Verduzco, C., y Sahagún-Castellanos, J. (2010). Ensayos de producción de huitlacoche (*Ustilago maydis*) hidropónico en Invernadero. *Rev Chapingo Ser Hortic*, 16(3):177–82. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2010000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000300005&lng=es&tlng=es).

- Martínez-Alfaro, M., Pérez-Silva, E., y Aguirre-Acosta, E. (1983). Etnomicología y exploraciones micológicas en la sierra Norte de Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 18, 51-64. <https://doi.org/10.33885/sf.1983.2.574>
- Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Tovar-Palacio, A., Torres, N., Meneses, M.E., Sobal Cruz, M., Morales Almora, P., Bonilla Quintero, M., Escudero Uribe, H., Tello-Salgado, I., Bernabé-González, T., Martínez Sánchez, W., y Mayett, Y. (2016). Contribución de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México. En D. Martínez Carrera y J. Ramírez Juárez (Eds.), *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México* (pp. 581-641). Biblioteca Básica de Agricultura, IICA, Academia Mexicana de Ciencias.
- Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., y Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. En J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal (Eds.), *El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México* (p. 20). ECOSUR.
- Martínez-Carrera, D., Leben, R., Morales, P., Sobal, M., y Larqué-Saavedra A. (1991). Historia del cultivo comercial de los hongos comestibles en México. *Ciencia y Desarrollo* 96. 33-43.
- Martínez-Flores, A., Corrales-García, J., Espinosa-Solares, J., García-Gatica, y P.G., Villanueva-Verduzco, C. (2008). Cambios postcosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (D. C.) Corda). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 14(3), 339-346. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n3/v14n3a16.pdf>
- Mathieu, P., Poirier, P., Pibarot, P., Lemieux, I., y Després, J.P. (2009). Visceral obesity: The link among inflammation, hypertension, and cardiovascular disease. *Hypertension*, 53(4), 577-84. 10.1161/HYPERTENSIONAHA.108.110320
- Mau, J.L., Chao, G.R., y Wu, K.T. (2001). Antioxidant properties of methanolic extracts from several ear mushrooms. *J. Agric. Food Chem*, 49(11), 5461-5467. 10.1021/jf010637h
- Maury, E., y Britchard, SM. (2010). Adipokine dysregulation, adipose tissue inflammation and metabolic syndrome. *Mol Cell Endocrinol*, 314 (1), 1-16. 10.1016/j.mce.2009.07.031
- Mayett Y., y Martínez-Carrera, D. (2010). El consumo de los hongos comestibles y su relevancia en la seguridad alimentaria de México. En D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales y V. M. Mora (Eds.), *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI* (pp. 293-329). Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla.

- 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(1), 11-26. <https://www.redalyc.org/pdf/685/68522692002.pdf>
- 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. En D. Martínez Carrera y J. Ramírez Juárez (Eds.), *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Biblioteca Básica de Agricultura, IICA, Academia Mexicana de Ciencias.
- Medina-Gómez, G., y Vidal-Puig, A. (2009). Tejido adiposo como diana terapéutica en la obesidad. *Endocrinol Nutr*, 56(8), 404-11. 10.1016/S1575-0922(09)72710-X
- Menchú, M.T. (1996). Método de recordatorio de un día. En H. Madrigal y H. Martínez (Eds.), *Manual de encuestas de dieta* (pp. 65-80). Instituto Nacional de Salud Pública,
- Méndez-López, A., Sánchez-Vega, M., Cruz-Salazar, J., Martínez-Amador, S., y Leal-Robles, A. (2019). El cultivo de huitlacoche: alimento nutritivo y sustentable. En E. Loera-Alvarado, N.S. Gómez-Domínguez y C. Granados-Echegoyen (Eds.), *Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología* (pp.9-12). CIDIIR.
- Meneses, M.E., Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bernabé, T., Granados-Portillo, O., Torres, N., y Tovar, A. (2015b). A *Ganoderma lucidum* extract derived from Mexican genetic resources and its effect on lipid metabolism gene expression and liver fatty acid composition. *The FASEB Journal* 29 (1). 10.1096/fasebj.29.1\_supplement.271.4
- Meneses, M.E., Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Escudero, H., y Sánchez, M., (23-26 de mayo de 2015a). *Beneficial effects of extract from Mexican genetic resources of Ganoderma lucidum on cholesterol metabolism and gut microbiota in C57BL6 mice* [Discurso principal]. 17th International Symposium on Atherosclerosis, Amsterdam, Holanda.
- Meneses, M.E., Martínez-Carrera, D., Torres, N., Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Morales, P., Sobal, M., Bernabé, T., Escudero, H., Granados-Portillo, O., y Tovar A.R. (2016). Hypocholesterolemic Properties and Prebiotic Effects of Mexican *Ganoderma lucidum* in C57BL/6 Mice. *PLoS One*, 11(7). 10.1371/journal.pone.0159631
- Meneses, M.E., Martínez-Carrera, D., Tovar, A. R., Morales, P., Sobal, M., y Bernabé, T. (26-28 de noviembre de 2014). *Nutrigenómica de la interacción hongos comestibles, funcionales y medicinales- metabolismo de lípidos: su impacto potencial en obesidad, síndrome metabólico y enfermedades cardiovasculares* [Discurso principal]. Simposio general Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México CP-AMP-CONACYT-UPAEP, Puebla, Puebla.
- Mirunalini, S., y Deepalakshmi, K. (2013). Modulatory effect of *Ganoderma lucidum* on expression of xenobiotic enzymes, oxidant-antioxidant and hormonal status in 7,12-

- dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary carcinoma in rats. *Pharmacognosy Magazine*, 9(34), 167-75. 10.4103/0973-1296.111286
- Montaño, A., Valenzuela, R., Sánchez, A., Coronado, M., y Esqueda, M. (2006). Aphyllophorales de Sonora, México, I. Algunas Especies de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Revista Mexicana de Micología*, 23, 17-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88302304>
- Morales, A. (2010). Visión epistemológica de la obesidad a través de la historia. *Comunidad y Salud*, 8(2), 81-88. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1690-32932010000200011&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-32932010000200011&lng=es&tlng=es).
- Nakatani, Y., Kaneto, H., Kawamori, D., Yoshiuchi, K., Hatazaki, M., Matsuoka, T., Ozawa, K., Ogawa, S., Hori, M., Yamasaki, Y., y Matsuhisa, M. (2005). Involvement of endoplasmic reticulum stress in insulin resistance and diabetes. *J Biol Chem*, 280(1), 847-851. 10.1074/jbc.M411860200
- Nau, W.M. (1998). A fluorescent probe for antioxidants. *J Am Chem Soc*, 120(48), 12614–12618. <http://dx.doi.org/10.1021/ja981453>
- Oluba, O.M., Adebisi, K.E., Eidangbe, G.O., Odutuga, A.A., y Onyeneke, E.C. (2014). Modulatory effect of crude aqueous extract of Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom, *Ganoderma lucidum* (Higher Basidiomycetes), on hematological and antioxidant indices in Plasmodium berghei-infected mice. *Int J Med Mushrooms*, 16(5), 499-506. 10.1615/intjmedmushrooms.v16.i5.90
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (8 de enero de 2020). *La Pesada Carga de la Obesidad: La Economía de la Prevención*. <https://www.oecd.org/about/secretary-general/heavy-burden-of-obesity-mexico-january-2020-es.htm>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Obesity update 2017. OECD. <https://www.oecd.org/els/health-systems/Obesity-Update-2017.pdf> (2017).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). El sistema alimentario en México. Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible [Archivo PDF]. <http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). El proceso educativo en el PESA [Archivo PDF]. [https://issuu.com/bruno\\_king/docs/fichas\\_proceso\\_educativo\\_fao-pesa](https://issuu.com/bruno_king/docs/fichas_proceso_educativo_fao-pesa)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (9 de junio de 2021). Obesidad y sobrepeso. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

- Orozco-Ruiz, X., Pichardo-Ontiveros, E., Tovar, A.R., Torres, N., Medina-Vera, I., Prinelli, F., Lafortuna, C.L., y Guevara-Cruz, M. (2018). Development and validation of new predictive equation for resting energy expenditure in adults with overweight and obesity. *Clin Nutr*, 37(6), 2198-2205. 10.1016/j.clnu.2017.10.022.
- Otten, J.J., Pitzzi-Hellwig, J., y Meyers, L.D. (2006). *Dietary Reference intakes. The Essential Guide to Nutrient Requirements*. Institute of Medicine of the National Academies.
- Ouchi, N., y Walsh, K. (2007). Adiponectin as an anti-inflammatory factor. *Clin Chim Acta*, 380(1-2), 24-30. 10.1016/j.cca.2007.01.026
- Ozcan, U., Cao, Q., Yilmaz, E., Lee, A. H., Iwakoshi, N. N., Ozdelen, E., Tuncman, G., Gorgun, C., Glimcher, L.H., y Hotamisligil, G.S. (2004). Endoplasmic reticulum stress links obesity, insulin action, and type 2 diabetes. *Science*, 306(5695), 457–61. 10.1126/science.1103160
- Öztürk, M., Tel-Çayan, G., Muhammad, A., Terziollu, P., y Duru, M.E. (2015). Mushrooms: A source of exciting bioactive compounds. En A.U. Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 45., pp.363-456). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63473-3.00010-1>
- Pan, D., Zhang, D., Wu, J., Chen, C., Xu, Z., Yang, H., y Zhou, P. (2013). Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant activities of a novel proteoglycan from *Ganoderma lucidum* fruiting bodies on db/db mice and the possible mechanism. *PLOS ONE*, 8(7), e68332. 10.1371/journal.pone.0068332
- Paredes, O., Guevara-Lara F., y Bello-Pérez L. A. (2006). El huitlacoche: exquisitez culinaria mexicana con altas propiedades nutraceuticas. En O. Paredes-López, F. Guevara-Lara, y L. A. Bello-Pérez (Eds.). *Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericana* (1 ed.p.75). Fondo de Cultura Económica.
- Patel, S. (2016). Nutrition, safety, market status quo appraisal of emerging functional food corn smut (huitlacoche). *Trends in Food Science and Technology*, 57, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.006>
- Patsouris, D, Li, P.P., Thapar, D., Chapman, J., Olefsky, J.M., y Neels, J.G. (2008). Ablation of CD11c-positive cells normalizes insulin sensitivity in obese insulin resistant animals. *Cell Metab*, 8(4), 301-9. 10.1016/j.cmet.2008.08.015
- Pellicer-González, E., Martínez-Carrera, D., Sánchez, M., Aliphat, M., y A. Estrada-Torres. (2002). *Rural management and marketing of wild edible mushrooms in Mexico* [Discurso principal]. Proceed. IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Cuernavaca, Mexico.
- Pérez, A. (2018). *Patrón alimentario: caracterización y propuesta para mejorar el estado nutricional de las familias de San Felipe, Cuapexco, Cohuecan, Puebla*. [Tesina de Maestría]. Colegio de Postgraduados, Campus, Puebla.

- Pérez, E., Soriano, M.M., Lozano, V., Morales, E.M.L., Luz, B.L.M., y Rugerio, Q.M.A. (2008). Factores de riesgo cardiovascular en población adulta aparentemente sana de la ciudad de Puebla. *Revista Mexicana de Enfermería Cardiológica*, 16(3), 87-92. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=21670>
- Pérez-Luna, D. (2020). *Efecto del consumo de hongos comestibles y medicinales sobre el metabolismo lipídico, en un modelo de obesidad inducido por dieta* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca.
- Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., Yescas-Pérez, A., Delgado-Alvarado, y A., Xoconostle-Cázares, B. (2008). Wild mushroom markets in Central Mexico and a case study at Ozumba. *Economic Botany* 62 (3), 425-436. 10.1007/s12231-008-9043-6
- Pérez-Noriega E, Soriano-Sotomayor MM, Lozano-Galindo V, Morales EML, Luz BLM, Rugerio QMA. Factores de riesgo cardiovascular en población adulta aparentemente sana de la ciudad de Puebla. *Rev Mex Enfer Cardiol*. 2008;16(3):87–92.
- Ravi, B., Renitta, R. E., Prabha, M. L., Issac, R., y Naidu, S. (2013). Evaluation of antidiabetic potential of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in alloxan-induced diabetic mice. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 35(1), 101–109. <https://doi.org/10.3109/08923973.2012.710635>
- Reeves, P.G. (1997). Symposium: Animal Diets for Nutritional and Toxicological Research Components of the AIN-93 Diets as Improvements in the AIN-76A Diet. *Journal of Nutrition*, 127, 838–41.
- Rivera Dommarco, J.A., Colchero, M.A., Fuentes, M.L., González de Cosío Martínez, T., Aguilar Salinas, C.A., Hernández Licona, G., y Barquera, S. (2018). *La obesidad en México. Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control* [Archivo PDF]. <https://cesni-biblioteca.org/mexico-obesidad-politica-publica/>
- Robek, K., Kuniak, L., y Ozdín, L. (1993). The mushroom *Pleurotus ostreatus* reduces secretion and accelerates the fractional turnover rate of very-low-density lipoproteins in the rat. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 37(3), 142-145. <https://doi.org/10.1159/000177762>
- Romero, S. L., Salido-Guadarrama, I., Meneses, E., Cosentino, G., Iorio, M.V., Tagliabue, E., Torres, N.S.M., Bonilla, M., Castillo, I., Petlascalco, B., Tovar, A. R., y Mart, D. (2021). Mexican *Ganoderma lucidum* Extracts Decrease Lipogenesis Modulating Transcriptional Metabolic Networks and Gut Microbiota in C57BL/6 Mice Fed with a High-Cholesterol Diet. *Nutrients*, 13(38), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu13010038>
- Romero-Bautista, L., Pulido, F.G., y Valenzuela, R. (2010). Estudio micoflorístico de los hongos poliporoides del estado de Hidalgo, México. *Polibotánica* 29, 1-28.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682010000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682010000100001&lng=es&tlng=es).

- Rosales-Acosta, B., Mendieta, A., Zúñiga, C., Tamariz, J., Hernández Rodríguez, C., Ibarra-García, J.A., y Villa-Tanaca, L. (2019). Simvastatin and other inhibitors of the enzyme 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase of *Ustilago maydis* (Um-Hmgr) affect the viability of the fungus, its synthesis of sterols and mating. *Revista Iberoamericana de Micología*, 36(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2018.05.004>.
- Rosen, E.D. (2015). Two paths to fat. *Nat Cell Biol*, 17(4), 360-361. <https://doi.org/10.1038/ncb3133>
- Rosen, E.D., y Spiegelman, B.M. (2006). Adipocytes as regulators of energy balance and glucose homeostasis. *Nature*, 444, 847-53. <https://doi.org/10.1038/nature05483>
- Salazar López, J.M. (2013). *Efecto del huitlacoche (Ustilago maydis-Zea mays) sobre indicadores de glicemia y lipidemia en ratas diabéticas* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/945/382420.pdf?sequence=1>
- Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Pérez-Cruz, C., Pichardo-Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S.M., Tovar, A.R., y Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific Reports*, 7(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05096-4>
- Schneider, I., Kressel, G., Meyer, A., Krings, U., Berger, R.G., y Hahn, A. (2011). Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans. *J. Funct. Foods*, 3(1), 17–24. 10.1016/j.jff.2010.11.004
- Secretaría de Salud (MX). (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-037-SSA2-2002, Para la prevención, tratamiento y control de las dislipidemias*. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/037ssa202.html>
- Secretaría de Salud (MX). (2009). *Norma Oficial Mexicana NOM-030-SSA2-2009, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la hipertensión arterial sistémica*. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5480159&fecha=19/04/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5480159&fecha=19/04/2017)
- Secretaría de Salud (MX). (2017). *Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2017, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad*. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5523105&fecha=18/05/2018](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5523105&fecha=18/05/2018)
- Secretaría de Salud (MX). (2018). *Norma Oficial Mexicana NOM-015-SSA2-2018, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la Diabetes Mellitus*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5521405&fecha=03/05/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5521405&fecha=03/05/2018)



- Secretaría de Salud. (2013). *Estrategia Nacional para la Prevención y el Control del Sobrepeso, la Obesidad y la Diabetes* [Archivo PDF]. <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/descargas/pdf/EstrategiaNacionalSobrepeso.pdf>
- SEDESOL. (2015). Tlahuapan, Puebla. [http://sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes\\_pobreza/2015/Municipios/Puebla/Puebla\\_180.pdf](http://sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes_pobreza/2015/Municipios/Puebla/Puebla_180.pdf)
- SEMARNAT y CONANP. (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl*. México. CONANP. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/87\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/87_libro_pm.pdf)
- Seto, S.W., Lam, T.Y., Tam, H.L., Au, A.L., Chan, S.W., Wu, J.H., Yu, P.H., Leung, G.P., Ngai, S.M., Yeung, J.H., Leung, P.S., Lee, S.M., y Kwan, Y.W. (2009). Novel hypoglycemic effects of *Ganoderma lucidum* water-extract in obese/ diabetic ( $\beta$  db/ $\beta$  db) mice. *Phytomedicine*, 16(5), 426 – 436. 10.1016/j.phymed.2008.10.004
- Shao, B. M., Dai, H., Xu, W., Lin, Z.B., y Gao, X.M. (2004). Immune receptors for polysaccharides from *Ganoderma lucidum*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 323(1), 133-141. 10.1016/j.bbrc.2004.08.069
- Shiao, M.S., Lee, K.R., Lin, L.J., y Wang, C.T. (1994). Natural products and biological activities of the Chinese medicinal fungus *Ganoderma lucidum*. En C.T. Ho, T. Osawa, M.T. Huang y R.T. Rosen (Eds.), *Food Phytochemicals for cancer prevention II. Teas, spices and herbs* (pp.342-345). ACS Symposium series. 10.1021/bk-1994-0547.ch035
- Shoelson, S.E., Herrero, L., y Naaz, A. (2007) Obesity, inflammation, and insulin resistance. *Gastroenterology*, 132(6), 2169-2180. 10.1053/j.gastro.2007.03.059
- Slawik, M., y Vidal-Puig A.J. (2007). Adipose tissue expandability and the metabolic syndrome. *Genes Nutr*, 2(1), 41-5. 10.1007/s12263-007-0014-9
- Springer, A.E., Kelder, S.H., Byrd-Williams, C.E., Pasch, K.E., Ranjit, N., Delk, J.E., y Hoelscher, D.M. (2013). Promoting energy-balance behaviors among ethnically diverse adolescents: overview and baseline findings of The Central Texas CATCH Middle School Project. *Health Educ Behav*, 40(5), 559-70. 10.1177/1090198112459516
- Suárez-Carmona, W., Sánchez-Oliver, A.J., y González-Jurado, J.A., (2017). Pathophysiology of obesity: Current view. *Revista chilena de nutrición*, 44(3), 226-233. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182017000300226>
- Suarez-Medellín, J., Luna-Rodríguez, M., Mendoza, G., Salinas, A., Quiroz, M.L.S., y Trigos A., (2012). Caracterización morfológica y molecular de una cepa silvestre mexicana perteneciente al género *Ganoderma*. *Revista Mexicana de Micología*, 36, 33-39. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-31802012000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802012000200006&lng=es&tlng=es).

- Sun, L.X., Lin, Z.B., Lu, J., Li, W.D., Niu, Y.D., Sun, Y., Hu, C.Y., Zhang, G.Q., y Duan, X.S. (2017). The improvement of M1 polarization in macrophages by glycopeptide derived from *Ganoderma lucidum*. *Immunol Res*, 65(3):658–665. <https://doi.org/10.1007/s12026-017-8893-3>
- Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K.D., McPherson, K., Finegood, D.T., Moodie, M.L., y Gortmaker, S.L. (2011). The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. *Lancet* 378(9), 804–814. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60813-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60813-1)
- Tello, S.I. (2010). *Diversidad de los recursos genéticos mexicanos del hongo funcional Ganoderma (Fungi Ganodermataceae), conocido como REISHI en los mercados internacionales, y su relevancia para el desarrollo regional*. [Tesis de doctorado]. Colegio de Postgraduados. <https://1library.co/document/myjdgny-diversidad-geneticos-mexicanos-funcional-ganodermataceae-internacionales-relevancia-desarrollo.html>
- Torres, F., y Trápaga, Y. (2001) *La alimentación de los mexicanos en la alborada del tercer milenio, México*. Universidad Autónoma de México.
- Torre-Villalvazo, I., Bunt, A.E., Alemán, G., Marquez-Mota, C.C., Diaz-Villaseñor, A., Noriega, L.G., Estrada, I., Figueroa-Juárez, E., Tovar-Palacio, C., Rodríguez-López, L.A., López-Romero, P., Torres, N., y Tovar, A.R. (2018). Adiponectin synthesis and secretion by subcutaneous adipose tissue is impaired during obesity by endoplasmic reticulum stress. *J Cell Biochem*, 119(7), 5970-5984 <https://doi.org/10.1002/jcb.26794>
- Umadevi, S., Gopi, V., Simna, S.P., Parthasarathy, A., Yousuf, S.M.J., y Elangovan, V. (2012). Studies on the cardio protective role of gallic acid against age-induced cell proliferation and oxidative stress in H9C2 (2-1) cells. *Cardiovasc Toxicol*, 12(4), 304–11. 10.1007/s12012-012-9170-2
- Urano, F., Wang, X., Bertolotti, A., Zhang, Y., Chung, P., Harding, H.P., y Ron, D. (2000). Coupling of stress in the ER to activation of JNK protein kinases by transmembrane protein kinase IRE1. *Science*, 287(5453), 664-666. 10.1126/science.287.5453.664
- Valadez-Azua, R., Moreno, A., y Gómez, G. (2011). *Cujtlacocho: El Huitlacocho*. UNAM. <http://ru.iiia.unam.mx:8080/bitstream/10684/49/1/382.pdf>
- Valdez-Morales, K.M., Barry, G. C., Fahey, G., Dominguez, J., Mejia, E., Yoo, M., y Paredes-López, O. (2010). Effect of maize genotype, developmental stage, and cooking process on the nutraceutical potential of huitlacocho (*Ustilago maydis*). *Food Chemistry*, 119(2), 689–697. 10.1016/j.foodchem.2009.07.015
- Valdez-Morales, M., Valverde, M.E, Vanegas, P.P., y Paredes, L. (2009). *Procedimiento Tecnológico para la Producción Masiva de Huitlacocho* [Archivo PDF]. <https://docplayer.es/78927761-Procedimiento-tecnologico-para-la-produccion-masiva-de-huitlacocho-paredes-lopez-1.html>

- Valverde, M. E., y Paredes-López, O. (1993). Production and evaluation of some food properties of huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Food Biotechnology* 7(3),207-219. <https://doi.org/10.1080/08905439309549858>
- Valverde, M.E., Hernández-Pérez, T., y Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms:improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*. 10.1155/2015/376387
- Vamanu, E. (2018). Complementary Functional Strategy for Modulation of Human Gut Microbiota. *Current Pharmaceutical Design*, 24(35), 4144–9. 10.2174/1381612824666181001154242
- Vanegas, P. E., Valverde, M.E., Paredes, O., y Pataky, J.K. (1995). Production of the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis*): effect maize genotype on chemical composition. *Journal of Fermentation and Bioengineering*,80(1), 104-106.
- Vázquez-García, V., Montes-Estrada, M., y Montes-Estrada, M. (2005). Consumo de alimentos y situación nutricional en dos comunidades indígenas del Sureste Veracruzano en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 2(1), 2-13. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722005000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722005000100001&lng=es&tlng=es).
- Vázquez-Vela, M.E., Torres, N., y Tovar, A.R. (2008). White adipose tissue as endocrine organ and its role in obesity. *Arch Med Res*, 39(8),715-28. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2008.09.005>
- Vélez, M., Bilbao, T., Mejía, B., Zenteno, S., y Ortega, J.A. (2012). Estado de los consumos alimentarios en comunidades del Estado Mexicano de Puebla. *Rev Cubana Aliment Nutr*, 22(2), 270-86.
- Wang, J.G., Yuan, Y.H, y Yue, T.L. (2014). Immunostimulatory activities of beta-D-glucan from *Ganoderma lucidum*. *Carbohydr Polym* 102, 7–54. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.087>
- Wang, X., Xi, R., Li, Y., Wang, D., y Yao, Y. (2012). The Species Identity of the Widely Cultivated *Ganoderma*, ‘*G. lucidum*’ (Ling-zhi), in China. *PLOS ONE*, 7(7). 10.1371/journal.pone.0040857
- Wasser, S.P. (2002). Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 60(3), 258-274. 10.1007/s00253-002-1076-7
- Wasser, S.P., y Weis, A.L. (1997). Medicinal Mushrooms. *Ganoderma lucidum*, (Curtis: Fr.), P. Karst. Peledfus Publ House.
- Wei, X., Liu, X., Yang, J., Fang, J., Qiao H., Zhang, Y. y Yang, J. (2012). Two C-type lectins from shrimp *Litopenaeus vannamei* that might be involved in immune response against bacteria and virus. *Fish Shellfish Immunol*, 32(1), 132-40. 10.1016/j.fsi.2011.11.001

- Wei, Y., Wang, D., Topczewski, F., y Pagliassotti, M.J. (2006). Saturated fatty acids induce endoplasmic reticulum stress and apoptosis independently of ceramide in liver cells. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab*, 291(2), E275–E281. 10.1152/ajpendo.00644.2005
- Weisberg, S.P., McCann, D., Desai, M., Rosenbaum, M., Leibel, R.L., y Ferrante, A.W. (2003). Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. *J Clin Invest.*, 112(12),1796-808. 10.1172/JCI19246.
- Wen-Sen, H., Dandan, C., Lingling, L., Li-Tao, T., Jiaxin, R., He, L., Huijuan, Z., y Xinqi, L. (2019). Cholesterol-reducing effect of ergosterol is modulated via inhibition of cholesterol absorption and promotion of cholesterol excretion. *Journal of Functional Food*, 57, 488-496, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.042>.
- Williams, J. S. (1995). Theorizing Class, Health and Lifestyles: Can Bourdieu Help Us?. *Sociology of Health and Illness* 17(5), 577-604. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.ep10932093>
- World Health Organization (WHO). (2017). *World health statistics 2017: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals*. World Health Organization,
- Wronska, A., y Kmiec, Z. (2012). Structural and biochemical characteristics of various white adipose tissue depots. *Acta Physiol*, 205(2),194-208. 10.1111/j.1748-1716.2012.02409.x
- Wynn, T.A. (2007). Common and unique mechanisms regulate fibrosis in various fibroproliferative diseases. *J Clin Invest*, 117(3), 524–529. 10.1172/JCI31487
- Yamauchi, T., Kamon, J., Waki, H., Terauchi, Y., Kubota, N., Hara, K., Mori, Y., Ide, T., Murakami, K., Tsuboyama-Kasaoka, N., Ezaki, O., Akanuma, Y., Gavrilova, O., Vinson, C., Reitman, M.L., Kagechika, H., Shudo, K., Yoda, M., Nakano, Y., Tobe, K., Nagai, R., Kimura, S., Tomita, M., Froguel, P., y Kadowaki, T. (2001). The fat-derived hormone adiponectin reverses insulin resistance associated with both lipotrophy and obesity. *Nat Med*, 7(8), 941-946. 10.1038/90984.
- Yang, H. J., Lin, C.H., y Mau, L.J. (2002). Antioxidant properties of several commercial mushrooms. *Food Chemistry* 77(2), 229–235.
- Yoo, H., Ku, S.K., Baek, Y.D., y Bae, J.S. (2014). Anti-inflammatory effects of rutin on HMGB1-induced inflammatory responses in vitro and in vivo. *Inflamm Res*, 63(3),197–206. 10.1007/s00011-013-0689-x
- Zang, L.Y., Cosma, G., Gardner, H., Shi, X., Castranova, V., y Vallyathan, V. (2000). Effect of antioxidant protection by p -coumaric acid on low-density lipoprotein cholesterol oxidation. *Am J Physiol Physiol*, 279(4), C954–60. <http://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpcell.2000.279.4.C954>

- Zervakis, G., Sourdis, J., y Balis, C. (1994). Genetic variability and systematics of eleven *Pleurotus* species based on isozyme analysis. *Mycological Research* 98, 329-341. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80461-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80461-9)
- Zhu, M., Chang, Q., y Wong, L.K., (1999). Triterpene antioxidants from *Ganoderma lucidum*. *Phytotherapy Research*, 13(6), 529–531. 10.1002/(sici)1099-1573(199909)13:6<529: aid-ptr481>3.0.co;2-x

## ANEXOS

### **Solución de formalina 10%**

Formaldehído 100 ml

PBS1X 900 ml

#### 1. Preparación de PBS10X

NaCl 80 g

KCl 2 g

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2.4 g

Disolver en 800 ml de agua destilada, ajustar pH a 7.4 y aforar a 1 litro.

#### 2. Preparación de PBS1X

PBS10X 100 ml

Agua destilada 900 ml

### **Solución salina 9%**

NaCl 90 g

Para un litro con agua destilada

### **Tiocianato de Guanidina 4M**

Tiocianato 236.32 g

Citrato de Na 1M pH7 12.5 ml

Aforar con H<sub>2</sub>O DEPC 500 ml

Filtrar en campana con unidades de filtro estériles Merck Millipore.

### **Cloruro de Cesio 5.7 M**

CsCl 460 g

Acetato de sodio 4 ml

Aforar con H<sub>2</sub>O DEPC 500 ml

Filtrar en campana con unidades de filtro estériles Merck Millipore.

### **H<sub>2</sub>O DEPC**

Agua desionizada 4 L

Solución para eliminar RNA

### **Sarcosil al 10%**

-Se deja en parrilla con agitador toda la noche.

### Preparación de buffer de lisis RIPA (50 mL)

---

PBS 1X mL	49.5
NP-40 al 1% mL	0.5
Deoxicolato de sodio al 0.5% g	0.25
SDS 0.1% g	0.05
Azida de sodio al 0.006% g	0.003

---

### Tinción Ponceau S

---

	Concentración final (%)	50 ml
Ponceau S (g)	0.2	0.1
Ácido Acético (ml)	0.5	0.25

---

\*Aforar. Guardar a temperatura ambiente y proteger de la luz.