



BENÉMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**“Uso potencial de hongos silvestres comestibles del municipio de
Tlatlauquitepec, Puebla”**

TESIS

Que para obtener el título de

Licenciada en Biotecnología

PRESENTA:

p. I.B. MELISA PÉREZ PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. MARCO ANTONIO MARÍN CASTRO

CODIRECTOR DE TESIS: DRA. PAOLA HERNÁNDEZ CARRANZA

PUEBLA, PUEBLA

JUNIO 2024



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento en vida, pese a las adversidades que he enfrentado a lo largo de mi vida siempre estuvo en los momentos más difíciles.

A mi madre Irais, por tu amor incondicional, apoyo y comprensión. Tu confianza en mí me ha dado la fuerza para seguir adelante y superar cada obstáculo. Esta tesis es reflejo de tu amor y dedicación.

A mi abuela Eulalia, por ser mi guía y mi ejemplo por seguir. Por tu fortaleza, sabiduría y tu amor que han sido esenciales en mi formación académica y personal.

A mis tías Yadira y Celia, por su cariño, apoyo y guía que han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por sus palabras de aliento, consuelo y consejos.

A mi hermano Alejandro, por tu alegría, apoyo y amor. Gracias por ser mi compañero de vida y mi mejor cómplice de travesuras.

A Luis, por su apoyo y amor incondicional, por ser mi mejor amigo y mi compañero de aventuras. Gracias por tu paciencia, por creer en mí y por siempre motivarme a ser mi mejor versión.

A mis amigos, Alejandro, Carlos y Sharon por todos estos años de amistad, por los buenos y malos momentos juntos y por siempre ser mis cómplices en todo.

A mis amigos de la carrera, Gonzalo, Karla, Jesús y Abigail. Por su valiosa amistad en estos años de carrera, por la confianza, las experiencias vividas y por su apoyo.

Con amor, Melisa.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas y el Departamento de Bioquímica-Alimentos de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por permitirme utilizar sus instalaciones durante mi estancia y desarrollo de mi presente trabajo.

A mis directores de tesis, el Dr. Marco Antonio Marín Castro y la Dra. Paola Hernández Carranza. Gracias por confiar en mí y apoyarme en este trabajo. Agradezco sus consejos, enseñanzas, paciencia y dedicación, por brindarme sus consejos para culminar esta tesis. Infinitas gracias por todo.

A mi comité, conformado por el Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, el Dr. Ricardo Irving Pérez López y el Biol. Eloy Vázquez Herrera, gracias por formar parte de este trabajo, por el tiempo, esfuerzo y compromiso para la revisión de mi tesis. Sus conocimientos y comentarios han sido esenciales para mi investigación.

Índice

1	RESUMEN.....	6
2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	MARCO TEÓRICO	8
3.1	Generalidades de los hongos.....	8
3.2	Diversidad fúngica.....	9
3.2.1	Macromicetos	9
3.3	Hongos silvestres comestibles	10
3.3.1	<i>Amanita caesarea</i>	11
3.3.2	<i>Russula brevipes</i>	12
3.3.3	<i>Infundibulicybe gibba</i>	13
3.4	Etnomicología	14
3.5	Composición nutricional de los hongos	15
3.5.1	Proteínas	15
3.5.2	Carbohidratos	18
3.5.3	Lípidos	19
3.5.4	Vitaminas	19
3.5.5	Minerales	19
4	JUSTIFICACIÓN.....	21
5	OBJETIVOS.....	22
5.1	Objetivo general	22
5.2	Objetivos específicos	22
6	DIAGRAMA DE TRABAJO	23
	23

7	METODOLOGÍA	24
7.1	Aplicación de encuestas	24
7.2	Zona de estudio y recolección de los ejemplares.....	24
7.3	Colecta de macromicetos.....	25
7.4	Descripción macroscópica y microscópica e identificación taxonómica.....	26
7.5	Preparación de las muestras para análisis bromatológico	26
7.5.1	Determinación de humedad.....	26
7.5.2	Determinación de proteína por el método Kjeldhal.....	27
7.5.3	Determinación de cenizas	28
7.5.4	Determinación de grasas por el método Soxhlet	29
7.5.5	Determinación de carbohidratos	30
7.5.6	Análisis estadístico	30
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
8.1	Descripción y caracterización de las especies fúngicas estudiadas	31
	32
8.2	Entrevista sobre el conocimiento de hongos silvestres comestibles	33
8.3	Composición bromatológica de los hongos estudiados	36
9	CONCLUSIONES.....	39
10	RECOMENDACIONES	40
11	REFERENCIAS.....	41
12	ANEXOS	50

Índice de figuras

Figura 1.	Especies del complejo <i>Amanita caeserea</i> (Soto-García et al., 2022).....	12
Figura 2.	<i>Russula brevipes</i> recolectada en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla. ..	13
Figura 3.	<i>Infundibulicybe gibba</i> en acículas de pino (Conabio, s.f.)	14
Figura 4.	Diagrama de trabajo de la investigación.	23
	25
Figura 5.	Localización del municipio de Tlatlauquitepec.....	25

.....	32
Figura 6. Hongos silvestres comestibles: a) Esporas distintivas del complejo <i>Amanita caesarea</i> y fotografía del esporocarpio. b) Esporas pertenecientes a la especie <i>Russula brevipes</i> y ejemplar recolectado. c) Esporas de <i>Infundibulicybe gibba</i> y venta de la especie en el mercado.	32
Figura 7. Gráfico de porcentajes de edades de encuestados en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.	33
Figura 8. Gráfico con el porcentaje de especies fúngicas que conocen los encuestados.	34
Figura 9. Gráfico porcentual de las causas de pérdida de diversidad fúngica.	36

Índice de tablas

Tabla 1.	16
Contenido nutricional y aproximado de algunas especies de hongos silvestres y cultivados.	17
Tabla 2.	20
Contenido de minerales en especies fúngicas silvestres y cultivadas en orden descendiente (Kalac, 2012).	20
Tabla 3.	35
Hongos comestibles conocidos por la población de Tlatlauquitepec, Puebla.	35
Tabla 4.	38
Composición bromatológica de hongos cosechados en Tlatlauquitepec.	38

1 RESUMEN

Los hongos silvestres comestibles son una parte importante de la dieta tradicional mexicana, incluso desde épocas prehispánicas donde eran utilizados para diversos fines, y actualmente, las comunidades indígenas mantienen este conocimiento ancestral. Desde el punto de vista nutricional, los hongos son una fuente de carbohidratos, fibra y proteínas, así como de minerales, siendo una opción importante en zonas rurales donde existe una limitada ingesta de alimentos de origen animal.

El objetivo de este trabajo fue revalorar el recurso micológico del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, evaluando su composición bromatológica.

Se realizó una entrevista a los recolectores de hongos de la región, quienes venden en el mercado local para determinar las especies fúngicas recolectadas y aquellas con mayor demanda. Con ello, se identificaron tres especies de hongos, los cuales, se les realizó un análisis bromatológico donde se determinó, contenido de humedad, ceniza, proteína, grasa y carbohidratos.

Los resultados del análisis bromatológico mostraron que las tres especies de hongos presentaron un contenido de humedad en un intervalo de 90.76 a 95.60 %. En cuanto al contenido de proteína la especie *Infundibulicybe gibba* presentó el mayor contenido de proteína, con 3.14 % y 2.21 % respecto a las otras dos especies, *Russula brevipes* y *Amanita caesarea*. Por otro lado, se observó que habitantes de comunidades del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla aún conservan el conocimiento ancestral heredado por sus antepasados, sin embargo, se requiere un mayor estudio para garantizar un aprovechamiento sostenible.

2 INTRODUCCIÓN

Los hongos silvestres comestibles (HSC) son un alimento tradicional en México, con una gran diversidad de especies y un alto valor nutricional. Sin embargo, son poco valorados en comparación con países asiáticos o europeos, donde son parte importante de la dieta diaria (Pérez-Moreno *et al.*, 2021; Comandini y Rinaldini, 2020). En el México prehispánico, las culturas mesoamericanas, utilizaban los hongos para alimentación, medicina y recreación. Actualmente, las comunidades indígenas han preservado este conocimiento, incorporándolo en sus tradiciones y costumbres (Torres-Gómez *et al.*, 2023).

Desde el punto de vista nutricional, los hongos aportan a la dieta carbohidratos, fibra y proteína, además, algunos de ellos contienen minerales como calcio, potasio, fósforo, magnesio zinc y cobre (Cano-Estrada y Romero-Bautista, 2016). En zonas rurales, donde el acceso a alimentos de origen animal es limitado, su consumo puede contribuir a disminuir la desnutrición y obtener una mejor alimentación.

México es un país megadiverso, debido a que alberga el 12 % de la biodiversidad mundial (CONABIO, 2020). En cuanto diversidad fúngica, se estima que en nuestro país existen más de 200, 000 especies (Aguirre-Acosta *et al.*, 2014). Sin embargo, debido a la pérdida de bosques, la migración y la globalización, el conocimiento sobre HSC se ha perdido (Pérez-Moreno *et al.*, 2008). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es revalorar el recurso micológico del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla mediante el estudio de hongos comestibles de este municipio, evaluando su composición bromatológica, así como su potencial como recurso forestal no maderable del bosque mesófilo de montaña.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades de los hongos

Los hongos son organismos eucariotas, filamentosos con crecimiento apical, heterótrofos, desarrollan un cuerpo tubular bastante difuso y ramificado, con una reproducción asexual y sexual por medio de esporas y con pared celular constituida por quitina (Herrera y Ulloa, 1998; Dube, 2013). Los hongos desempeñan un papel crucial en la biogeoquímica global, mediante la descomposición de la materia orgánica muerta, reciclando el carbono y movilizándolo nutrientes como el nitrógeno, fósforo y otros bioelementos, contribuyendo con el ciclo de nutrientes en los ecosistemas (Naranjo-Ortiz y Gabaldón, 2019).

Existen diferentes tipos de hongos, dependiendo de su nutrición como son: los simbióticos o micorrizógenos, los cuales requieren la asociación de las raíces de las plantas para adquirir nutrientes para su desarrollo; otros son los parásitos, que se alimentan de otros seres vivos, como pueden ser animales, plantas e incluso otros hongos; mientras que, los saprófitos descomponen organismos muertos o sustancias que contienen compuestos orgánicos y se alimentan de ellos cuando se han podrido (Singara Charya, 2015).

Ecológicamente, los hongos pueden prosperar en una amplia gama de ecosistemas y hábitats, desde la estratósfera hasta glaciares antárticos, en los desiertos hasta los sedimentos oceánicos profundos e incluso en el interior de los insectos (Hawksworth y Lucking, 2017).

Por la diversidad ecológica que presentan los hongos, han formado parte de diversas culturas, tanto en la creación de alimentos y bebidas fermentadas, así como de

numerosos fármacos y actualmente en el descubrimiento de enzimas y muchos otros compuestos importantes de uso industrial (Mukherjee *et al.*, 2018).

3.2 Diversidad fúngica

El reino Fungi pertenece al dominio Eukarya y es uno de los grupos con mayor variación morfológica y ecológica; se estima que en el mundo existen entre 1 a 5 millones de especies. Este grupo abarca desde levaduras unicelulares hasta hongos filamentosos que incluyen a aquellos que forman grandes cuerpos fructíferos, los hongos macromicetos (Hawksworth y Lucking, 2017; Karimi *et al.*, 2021).

La taxonomía actual, ha reconocido nueve filos en el reino fúngico, los cuales son: *Opisthokonta*, *Chytridiomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Blastocladiomycota*, *Zoopagomycota*, *Mucoromycota*, *Glomeromycota*, *Basidiomycota* y *Ascomycota* (Naranjo-Ortíz y Gabaldón, 2019).

3.2.1 Macromicetos

Existe un grupo de hongos muy diversos conocidos como hongos macroscópicos o macromicetos, debido a que forman cuerpos fructíferos y se pueden observar a simple vista; se encuentran dentro de los filos *Basidiomycota* y *Ascomycota* debido a que presentan grandes estructuras portadoras de esporas observables (Mandal, 2022). Estos hongos forman una fase somática microscópica, en forma de telaraña, que consiste en una red hifal entrelazada e interconectada con el micelio. El micelio puede crecer en múltiples sustratos y proliferar en ellos de manera exuberante. Las estructuras reproductivas, las fructificaciones o esporóforos, varían en textura, desde carnosas y subcarnosas hasta coráceas. La parte fértil (himenio) presenta forma de branquias,

laminas o tubos que se abren mediante poros que se denominan miembros laminares o poroides (Sai *et al.*, 2023).

3.3 Hongos silvestres comestibles

Los hongos silvestres comestibles (HSC) son un recurso forestal no maderable, que han sido utilizados a lo largo de la historia por muchos países del mundo. En México, el conocimiento y uso de hongos silvestres proviene desde la época prehispánica y colonial, y ha perdurado en grupos indígenas y mestizos a través de su uso en rituales, alimentos o medicinas (Moreno, 2014).

La mayor diversidad fúngica mexicana se encuentra en los bosques tropicales y subtropicales seguido de los bosques de encino y coníferas de zonas templadas, y en menor proporción en zonas áridas (Guzmán, 1998a). Aunque existen especies de hongos que no son endémicas de un solo ecosistema y las podemos encontrar entre los ambientes templados, mesófilos y tropicales (Bautista-Nava *et al.*, 2010).

En México, se consumen aproximadamente 317 especies de hongos silvestres, y se sabe que 180 especies adicionales son potencialmente comestibles. Las especies más codiciadas en temporada de lluvia son: *Amanita caesarea* (tecomate, yema de huevo, hongo amarillo), *Boletus edulis* (panzas, xipos, hongo de pino), *Cantharellus cibarius* (amarillitos, corneta de pino, hongo de trompeta), *Entoloma clypeatum* (cabezón, clavito) *Lactarius deliciosus* (colorado, enchilado de ocote), *Morchella esculenta* (morilla, mazorquilla), *Pleurotus ostreatus* (ostra, hongo ostra) y *Russula virescens* (gorro verde) (Garibay-Orijel *et al.*, 2014).

En el mundo, los géneros de hongos más consumidos son: *Agaricus*, *Amanita*, *Auricularia*, *Boletus*, *Cantharellus*, *Clitocybe*, *Cordyceps*, *Cortinarius*, *Flammulina*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Leccinum*, *Lentinula*, *Lentinus*, *Lepista*, *Lycoperdon*, *Macrolepiota*, *Morchella*, *Pleurotus*, *Podaxis*, *Polyporus*, *Ramaria*, *Russula*, *Suillus*, *Sparassis*, *Terfezia*, *Termitomyces*, *Tricholoma*, *Tuber* y *Volvariella* (Kaliyaperumal et al., 2018).

3.3.1 *Amanita caesarea*

Las especies que conforman el complejo *Amanita caesarea sensu lato* (Guzmán y Ramírez-Guillén, 2001) se encuentran distribuidas en bosques tropicales y subtropicales del mundo. En México, este complejo comprende diversas especies de hongos ectomicorrízicos, entre los que destacan: *A. basii*, *A. tecomate*, *A. tullossii*, *A. yema*, *A. jacksonii* y *A. laurae* y son consumidos en estados como Michoacán, Tlaxcala, Oaxaca, Puebla, Chiapas y México. Este grupo de especies se caracteriza por nacer de una volva blanca (huevo) carnoso que las envuelve, presentar un sombrero grande convexo a plano-convexo con un color anaranjado a rojizo. Las láminas son anchas, libres y juntas, de color amarillo a amarillo dorado. El pie es cilíndrico amarillento y presenta un anillo del mismo color, delgado, colgante y membranáceo, como se puede observar en la Figura 1. Se conoce comúnmente como yema de huevo, tecomate, coralillo (Pérez-Silva y Herrera, 1991).



Figura 1. Especies del complejo *Amanita caesarea* (Soto-García et al., 2022).

3.3.2 *Russula brevipes*

El género *Russula*, se encuentra distribuido ampliamente a nivel mundial. En América del Norte se distribuye principalmente la especie *Russula brevipes* Peck. (1890), la cual se caracteriza por ser de tamaño mediano a grande, sombrero curvado en forma de embudo, con margen ondulado, color blanco cuando es joven y comienza a tornarse café con el paso del tiempo. Presenta laminas juntas y anchas, y con pie cilíndrico y corto

(Song *et al.*, 2022, Wang *et al.*, 2015). En la Figura 2, se pueden observar dichas características. Se conoce comúnmente como hongo blanco y trompas de puerco.



Figura 2. *Russula brevipes* recolectada en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.

3.3.3 *Infundibulicybe gibba*

Infundibulicybe gibba (Pers.) Harmaja (2003) Es una especie que habita en bosques de roble, encinos y coníferas y crecen de forma saprofita en hojarasca. Presenta un sombrero pequeño, de joven convexo mamelonado y de adulto plano embudado, con un color crema. Láminas apretadas y finas de color crema blanquecino. Su pie es cilíndrico, esbelto, fibroso del color del sombrero o más claro. Se conoce comúnmente como campanita, clavito, hongo campanita y Tecajete (Aranda-Pineda *et al.*, 2022).



Figura 3. *Infundibulicybe gibba* en acículas de pino (Conabio, s.f.).

3.4 Etnomicología

La etnomicología es un campo relativamente nuevo, donde se estudia cómo se relacionan los humanos y los hongos, busca entender las manifestaciones culturales y los conocimientos tradicionales en torno al vínculo establecido. Surge a principios de la década de 1950, a partir de los trabajos del matrimonio Wasson, estableciendo las diferencias entre las culturas micófilas y micófobas, con base en el valor y aprovechamiento que se hace en cada grupo con respecto a los recursos micológicos (Child, 2023; Ruan-Soto y Ordaz-Velázquez, 2016).

En México, la etnomicología ha tenido una mayor relevancia en los últimos 20 años, debido a la consolidación de grupos de especialistas que han realizado investigaciones en distintas partes del país. Con ello, ocasionó que esta disciplina ampliara sus horizontes en distintas áreas, como lo es la identificación y clasificación taxonómica de

especies de hongos en distintas partes del país con importancia cultural local o regional. Así como también, en la restauración de ecosistemas, para la recuperación de especies fúngicas de importancia cultural y con ello, crear soluciones sustentables que beneficien a los pobladores de las zonas micológicas como los festivales y ferias micoculturales. En ellas, se destaca la comercialización y aprovechamiento de especies seguras para consumo humano (Moreno, 2018).

Además, ha generado que aquellas especies fúngicas utilizadas en la gastronomía y medicina tradicional durante siglos tengan un interés por la comunidad científica, para determinar el valor nutrimental, terapéutico, compuestos bioactivos y antioxidantes que contienen (Badalyan y Zambonelli, 2023).

3.5 Composición nutricional de los hongos

Los hongos han sido consumidos por diversas civilizaciones a lo largo de la historia, siendo utilizados como alimento y medicina popular debido a sus propiedades sensoriales, así como su composición nutrimental (El-Ramady *et al.*, 2022). Contienen una gran cantidad de nutrientes y metabolitos, como proteínas, carbohidratos, polisacáridos, esteroides, vitaminas, nucleótidos, enzimas, flavonoides, aminoácidos y polifenoles (Krishnamoorthi *et al.*, 2022). Actualmente el consumo de hongos, tanto silvestres como comestibles ha tenido un crecimiento significativo debido a la concientización de los consumidores respecto a llevar una dieta sana y equilibrada.

3.5.1 Proteínas

La importancia del consumo de hongos está asociada al índice de proteína, donde se ha demostrado que tienen entre 19 % a 40 % de contenido proteico en base seca, en

comparación con la mayoría de los alimentos de origen vegetal (Zhang *et al.*, 2021). Además, las proteínas de los hongos ofrecen aminoácidos esenciales, particularmente lisina y leucina, las cuales no las podemos encontrar en los cereales (Procházka *et al.*, 2023).

Se sabe que los hongos cultivados como *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* y *Pleurotus ostreatus* presentan un mayor contenido de proteínas en comparación a los hongos silvestres, sin embargo, se han encontrado especies silvestres que presentan rangos similares de proteína (Kaliyaperumal *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se muestra el contenido proximal de algunas especies de hongos comestibles de importancia.

Tabla 1. Contenido nutricional y aproximado de algunas especies de hongos silvestres y cultivados.

Nombre	Componente (%)					Referencias
	Energía Kcal/100g	Proteína %	Carbohidratos %	Grasa %	Ceniza %	
<i>Agaricus bisporus</i>	341.33	39.84	41.6	1.73	8.23	(Krishnamoorthi <i>et al.</i> , 2022)
<i>Armillaria mellea</i>	400.68	16.38	71.28	5.56	6.78	(Vaz <i>et al.</i> , 2011)
<i>Boletus edulis</i>	366.5	15.15	70.35	1.48	2.47	(Leahu <i>et al.</i> , 2015)
<i>Cantharellus cibarius</i>	391.07	22.95	65.73	3.48	7.84	(Dospatliev <i>et al.</i> , 2023)
<i>Laccaria laccata</i>	345	25.71	58.50	3.30	11.75	(Jha y Tripathi, 2012)
<i>Lactarius deliciosus</i>	378.60	17.19	66.61	4.82	8.62	(Xi <i>et al.</i> , 2019)
<i>Lentinula edodes</i>	342.20	23.51	72.52	0.88	5.87	(Salamat <i>et al.</i> , 2017; Wunjuntut <i>et al.</i> , 2022)
<i>Morchella esculenta</i>	147.71	11.31	78.33	2.54	7.81	(Papazav <i>et al.</i> , 2020)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	326.97	22.61	47.86	5.01	8.24	(Majesty <i>et al.</i> , 2019)

De igual forma, se ha observado que, los hongos presentan una gran cantidad de proteínas de interés con actividad biológica, como lo son lectinas, lacasas, proteínas inactivadoras de ribosomas, proteínas inmunomoduladoras fúngicas y ribonucleasas (Painuli *et al.*, 2020).

3.5.2 Carbohidratos

Los carbohidratos son los componentes más abundantes en los hongos, constituyendo entre el 35 % y el 70 % en peso seco. Este grupo comprende varios compuestos, como azúcares (monosacáridos, derivados y oligosacáridos), así como polisacáridos de reserva y construcción, como los glucanos (Anusiya *et al.*, 2021). En general, la glucosa, el manitol y la trehalosa son las principales formas de monosacáridos presentes en los hongos, y suelen ser el componente predominante de los cuerpos fructíferos. Sin embargo, su contenido es bajo, en el nivel de g/100g de materia seca (Alzand *et al.*, 2019, Borthakur y Joshi, 2019).

Los polisacáridos en los hongos son componentes estructurales de las paredes celulares. Los dos tipos principales son fibrilares, como la quitina y los glucanos (incluyendo los β -glucanos con enlaces β -1,3 y β -1,6 en proporciones variables). La quitina, constituyendo el 80 % de la materia seca de las paredes celulares de los hongos, es insoluble en agua y al ser indigerible para los humanos restringe la disponibilidad de otros componentes de los hongos (On-mon *et al.*, 2023).

La fibra dietética de los hongos se compone principalmente por fibra insoluble, destacando la quitina y los β - glucanos como los más representativos, mientras que la fibra soluble es inferior al 10 % de materia seca (Fernandes *et al.*, 2015).

3.5.3 Lípidos

La grasa cruda (lípidos totales) de los hongos está formada por una amplia gama de complejos lipídicos con ácidos grasos libres, esteroides, glicéridos (mono, di y tri) y fosfolípidos. El contenido de lípidos totales en hongos es bajo y se encuentra entre 20 y 30 g/kg de materia seca (Badalyan y Zambonelli, 2023). Se han identificado decenas de ácidos grasos en los lípidos de los macromicetos, no obstante, solo el ácido linoleico y el ácido oleico destacan debido a que, constituyen aproximadamente dos tercios o incluso más del peso total de todos los ácidos grasos que se han identificado; el ácido palmítico, por su parte, se ubica en el tercer puesto, aunque con una diferencia considerable en proporción (Kalac, 2012).

3.5.4 Vitaminas

En lo referente a vitaminas, los hongos presentan niveles altos en vitamina B2, B1, B12, C, D y E, niacina, folatos, ergosterol (provitamina D), β -caroteno (precursor de la vitamina A).

Los hongos son los únicos alimentos de origen no animal que contiene vitamina D (ergocalciferol), y esta se encuentra principalmente en especies fúngicas silvestres debido a la mayor exposición que tienen a la luz ultravioleta en comparación con los hongos comestibles cultivados (Alzand, *et al.*, 2019; Rathore *et al.*, 2017).

3.5.5 Minerales

Se han identificado otros micronutrientes en los hongos, como lo son compuestos minerales, siendo el potasio uno de los que se encuentra en mayor cantidad, seguido de calcio, magnesio, fósforo y sodio. Además de otros elementos en menor proporción

como cadmio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc. En la Tabla 2 se muestran el contenido habitual de los principales minerales en hongos silvestres y cultivadas.

Tabla 2. Contenido de minerales en especies fúngicas silvestres y cultivadas en orden descendiente (Kalac, 2012).

Elemento	Contenido ($g\ kg^{-1}\ MS$)
Potasio	20-40
Fósforo	5-10
Cloro	1-6
Azufre	1-6
Magnesio	0.8-1.8
Calcio	0.1-1.5
Sodio	0.1-1.4

La capacidad para acumular estos minerales se debe al tipo de sustrato donde crecen, aunque hay especies de hongos que viven en zonas contaminadas y pueden acumular cantidades elevadas siendo peligrosas para el consumo humano (Alzand *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

4 JUSTIFICACIÓN

Los hongos silvestres comestibles son una fuente de alimento tradicional en muchas culturas alrededor del mundo, incluyendo México. Sin embargo, en las últimas décadas su consumo ha disminuido debido a la pérdida de conocimientos relacionado con su identificación, preparación, y diversos usos, tanto medicinal como alimenticio, lo que afecta la transmisión de conocimiento local. Asimismo, se siguen considerando las especies silvestres comestibles como venenosas o letales, pero la realidad es que son raros los episodios de envenenamiento (Pérez-Moreno *et al.*, 2008; Comandini y Rinaldini, 2020).

A su vez, la disminución en el consumo de hongos silvestres tiene implicaciones en la nutrición de las comunidades locales, debido a que estos alimentos les aportan los nutrientes esenciales (Barroetaveña y Toledo, 2017).

Por ello el presente trabajo pretende revalorar el recurso micológico del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla mediante su evaluación como recurso forestal no maderable y su importancia nutrimental a través de un análisis bromatológico de las especies más representativas.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Revalorar la importancia de los hongos silvestres comestibles en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar entrevistas a los pobladores recolectores del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla para conocer la importancia que presentan los hongos silvestres comestibles en su día a día, englobando los ámbitos alimentario, cultural y social.
- Recolectar los hongos silvestres comestibles de mayor aceptación y consumo del municipio de Tlatlauquitepec, así como generar su identificación.
- Realizar el análisis bromatológico de los hongos silvestres comestibles recolectados.

6 DIAGRAMA DE TRABAJO

En la Figura 4 se presenta el diagrama de trabajo que se llevó a cabo durante la investigación.

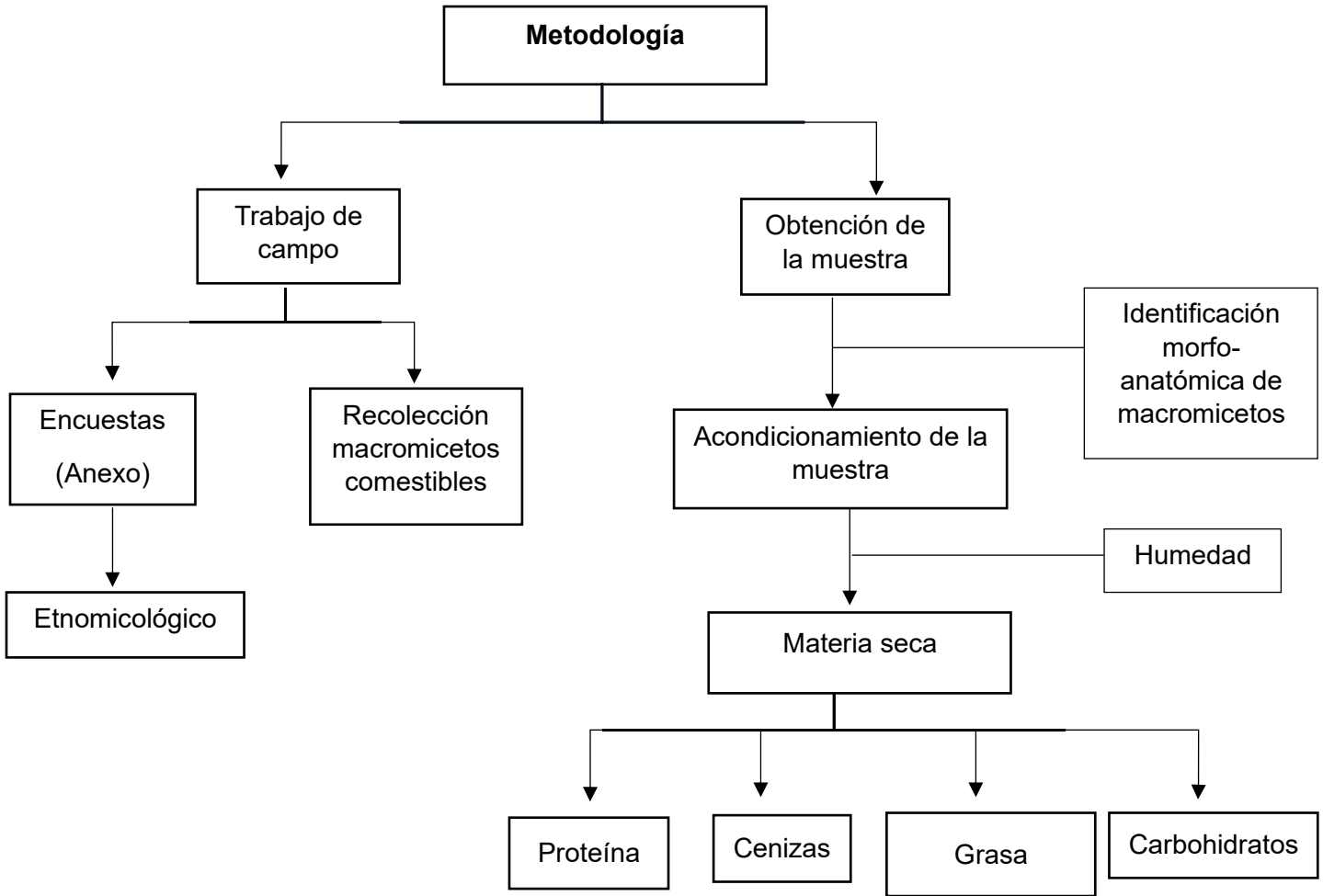


Figura 4. Diagrama de trabajo de la investigación.

7 METODOLOGÍA

7.1 Aplicación de encuestas

Se realizó una encuesta dirigida a las personas recolectoras de hongos (hongueros) de la región, que usualmente venden los ejemplares que recolectan en el tianguis de Tlatlauquitepec y Zaragoza; el formato de preguntas que se utilizó se encuentra en el Anexo 1 y con ello, se obtuvo un panorama general de las especies fúngicas que son recolectadas y vendidas, así como también, las especies con mayor demanda por la población.

El muestreo fue dirigido a 10 personas y se aplicó durante los meses de agosto a octubre de 2022. Con ello, se tuvo la certeza de registrar información sobre el conocimiento etnomicológico, así como los nombres comunes de los hongos, usos y costumbres que le dan a los macromicetos.

7.2 Zona de estudio y recolección de los ejemplares

La zona de estudio corresponde al municipio de Tlatlauquitepec, Puebla. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 19° 36' 24" y 20° 03' 18" latitud norte y entre 97° 14' 42" y 97° 28' 06" longitud oeste. El municipio colinda al norte con el municipio de Cuetzalan, al este con los municipios de Yaonahuac, Atempan y Teziutlán; al sur con Cuyoaco y al oeste con los municipios de Zaragoza y Zacapoaxtla (Figura 5). Cuenta con una extensión territorial de 246.22 km^2 . En cuanto a su latitud, es variable debido a las diferentes elevaciones que presenta, pero se encuentra entre 1929 a 3000 msnm.

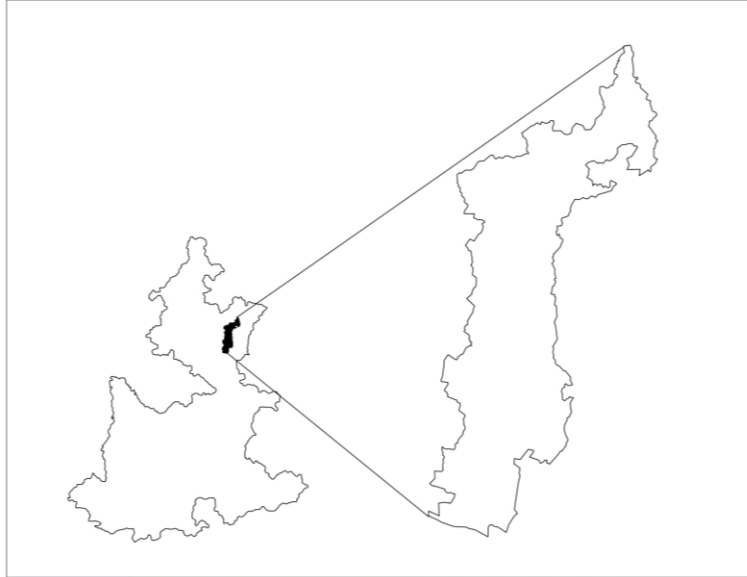


Figura 5. Localización del municipio de Tlatlauquitepec.

Para la obtención de los ejemplares, se decidió realizar una colecta en la comunidad de Tzincuilapan, perteneciente al municipio de Tlatlauquitepec, Puebla. La recolecta de los macromicetos se realizó a finales del mes de septiembre de 2022, sin embargo, se hallaron pocos especímenes. Debido a ello, los ejemplares faltantes se adquirieron en el tianguis local de Tlatlauquitepec y Zaragoza, por hongueras residentes de la comunidad donde se realizó la colecta en el mes de octubre de 2022. Por lo que la muestra se dividió en dos lotes, lote nuevo y lote viejo.

7.3 Colecta de macromicetos

La colecta de hongos se llevó a cabo a finales del mes de septiembre de 2022. Se realizaron dos salidas de campo, guiado por una persona de la región de estudio (honguera), con una navaja de campo se colectaron las especies de ejemplares seleccionadas para el estudio. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de

Biotecnología del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

7.4 Descripción macroscópica y microscópica e identificación taxonómica

La descripción macroscópica se realizó en el laboratorio y se tomaron en cuenta las siguientes características. Color del espécimen antes y después de colectarlo. Píleo: forma, margen, textura, olor y sabor. Laminas: unión, frecuencia, borde. Estípite: forma. Las características microscópicas con importancia taxonómica fueron: tamaño, forma y color de las esporas. Se midió un número (30) de esporas, donde se determinó largo y ancho, se utilizó un microscopio LW Scientific Revelation III (Senanayake *et al.*, 2020). Para la identificación taxonómica se utilizaron claves vía web, “MushroomExpert” (Kuo, 2023).

7.5 Preparación de las muestras para análisis bromatológico

Las muestras se trasladaron al laboratorio de Bioquímica-Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla para la realización del análisis bromatológico de las tres especies fúngicas.

Limpieza: Las muestras biológicas se limpiaron con una brocha para eliminar residuos de tierra.

Molienda: Se llevó a cabo la molienda de las muestras en una licuadora marca Oster, donde se obtuvo la harina de los hongos. Se guardaron en frascos de vidrio limpios.

7.5.1 Determinación de humedad

En un horno se colocaron charolas de aluminio a peso constante por 24 h. Posteriormente, se pesaron y se les colocaron 2 g de cada muestra distribuida

homogéneamente. Las charolas se colocaron nuevamente en la estufa por 3 h a 105°C. Pasado ese tiempo se colocaron en un desecador para que alcanzaran la temperatura ambiente y, por último, se pesaron en una balanza analítica. Se siguió la ecuación siguiente para determinar el % de humedad.

Cálculos

$$\% \text{ humedad} = \left[\frac{(W_i + g_m) - W_f}{g_m} \right] * 100$$

Donde:

W_i = Peso en gramos de la charola vacía.

g_m = Peso en gramos de la muestra.

W_f = Peso en gramos de la charola con muestra seca.

7.5.2 Determinación de proteína por el método Kjeldhal

Digestión: Se pesó 0.25 g de cada muestra seca sobre papel aluminio. Se añadió a un matraz Kjeldhal junto con 0.8 g de mezcla digestora y 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. La digestión se llevó a cabo en una campana de extracción, donde los matraces Kjeldhal se calentaron por 2 h a temperatura de 300°C, hasta que la muestra tomo un color verde esmeralda claro.

Destilación: Los matraces se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les añadió 12 mL de agua destilada para disolver la solución. Se procedió a preparar el aparato de destilación, colocando en la salida del refrigerante 5 mL de ácido bórico al 4 % en una probeta de 25 mL con indicador rojo de metilo. Al equipo se le añadió 15 mL de hidróxido

de sodio al 40 % y la muestra disuelta en agua. Se conectó al flujo de agua y se inició la destilación. Una vez recuperado 8 mL de destilado se retiró la probeta y se apagó el equipo.

Titulación: Se valoró la muestra con una solución de ácido clorhídrico al 0.1N, hasta que se observó el viraje de amarillo a rojo. Se realizó los cálculos correspondientes para determinar el porcentaje de proteína.

7.5.3 Determinación de cenizas

Se colocaron crisoles en la estufa a peso constante por 24 h. Pasado ese tiempo, se colocaron por 15 min en un desecador para que estuvieran a temperatura ambiente. Se pesó cada crisol en una balanza analítica, se añadió 1 g de muestra seca, se colocaron sobre la flama de un mechero en una campana de extracción, hasta que la muestra se carbonizó y no desprendiera humo.

Se pasaron los crisoles a una mufla por 4 h a 550°C. Al cabo de ese tiempo, se apagó la mufla y se esperó que los crisoles con las muestras se enfriaran. Finalmente, se pasaron a un desecador para que estuvieran a temperatura ambiente y se pesaron. Se aplicó la siguiente fórmula para determinar el % de cenizas.

Cálculos

$$\% \text{ cenizas} = \left(\frac{W_{\text{final}} - W_{\text{inicial}}}{g_m} \right) * 100$$

Donde:

W_{final} = Peso en gramos del crisol con la muestra después de incinerada.

W_{inicial} = Peso en gramos del crisol a peso constante.

g_m = Peso en gramos de la muestra.

7.5.4 Determinación de grasas por el método Soxhlet

Se llevó a peso constante un matraz de bola esmerilado en una estufa por 24 h. Al terminar dicho tiempo, se colocó el matraz en un desecador por 15 min, para que estuviera a temperatura ambiente. El matraz se pesó en una balanza analítica y se registró el peso.

Se utilizó un trozo de papel filtro, al cual se le dio una forma circular; dicha figura se pesó en una balanza analítica, luego en la parte central del círculo se colocó 3 g de la muestra. Se cerró el cartucho a modo de que la muestra no llegara a salirse, por lo que se les colocaron grapas a los costados y por último se pesó el cartucho en una balanza.

Al matraz esmerilado se le adicionó 100 mL de hexano, después se le colocó en la parte superior el sifón junto con el cartucho y se conectó a un refrigerante. Todo el equipo se instaló sobre parrillas de calentamiento, por lo que al corroborar la recirculación del agua se encendió el aparato, comenzado así con la extracción continua. Se dejó en extracción por 4 h hasta que se obtuvo la extracción total de grasa. Al terminar la extracción, se retiró el cartucho y se registró el peso del matraz después de la extracción. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el % de grasa.

Cálculos

$$\% \text{ grasa} = \left(\frac{W_{\text{final}} - W_{\text{inicial}}}{g_m} \right) * 100$$

Donde:

W_{final} = Peso en gramos del matraz con la muestra después de incinerada.

W_{inicial} = Peso en gramos del matraz a peso constante.

g_m = Peso en gramos de la muestra

7.5.5 Determinación de carbohidratos

Los carbohidratos fueron calculados por diferencia de 100, respecto a la sumativa de la humedad, cenizas, proteína y grasa.

7.5.6 Análisis estadístico

Los datos de la composición bromatológica fueron analizados mediante el software MINITAB 2016, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de Turkey con nivel de confianza del $\alpha=0.05$.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Descripción y caracterización de las especies fúngicas estudiadas

A continuación, se presenta la descripción, caracterización e identificación de las especies colectadas.

Amanita del complejo *caesarea* (Scop.) Pers. Características macroscópicas: Píleo: de 5 a 18 cm, hemisférico y extendido en la maduración, con borde estriado. Color: Anaranjado rojizo cuando esta joven y tiende a ser más pálido cuando este maduro. Laminas: Libres y amarillas. Estípite: de 8-20 cm de largo x 2-4 cm de ancho, con color amarillento, cilíndrico macizo, con un anillo amarillo membranoso y presencia de volva blanca en forma de saco. Caracteres microscópicos: Esporas: de 7-10 μm de largo x 6-8 μm de ancho, elípticas y no amiloides. Hábitat: Común en bosques de pino encino.

Russula brevipes Peck. Características macroscópicas: Píleo: de 8-20 cm, convexo con depresión central y margen enrollado cuando es joven. Color: Blanco al ser colectado y con el tiempo de tono oscuro a amarillento. Laminas: Juntas a muy juntas. Tallo: de 3-5 cm de largo x 1.5-4 cm de ancho, con decoloración con el maltrato, de blanco a café. Olor: Húmedo. Sabor: Ligeramente picante. Características microscópicas: Esporas: de 7.5-11.5 μm de largo x 5.5-8.5 μm ancho, elipsoides a subglobosas y con ornamentación de 0.5 μm con espinas.

Infundibulicybe gibba Pers. Características macroscópicas: Píleo: 2-7 cm, con depresión central profunda, ligeramente húmedo en su contexto. Algunos ejemplares presentan borde ondulado. Color: Café claro. Laminas: Recurrentes en el estípite, apretadas y de color blanquecinas. Estípite: 2-6 cm de largo x 1 cm ancho, con color similar al sombrero,

pero ligeramente más claro. Características microscópicas: Esporas: de 3-4 μ m de ancho x 5-6 μ m de largo, elipsoide alargado.

En la Figura 6, se observan imágenes de las esporas distintivas de cada especie, así como fotografías de su esporocarpio.

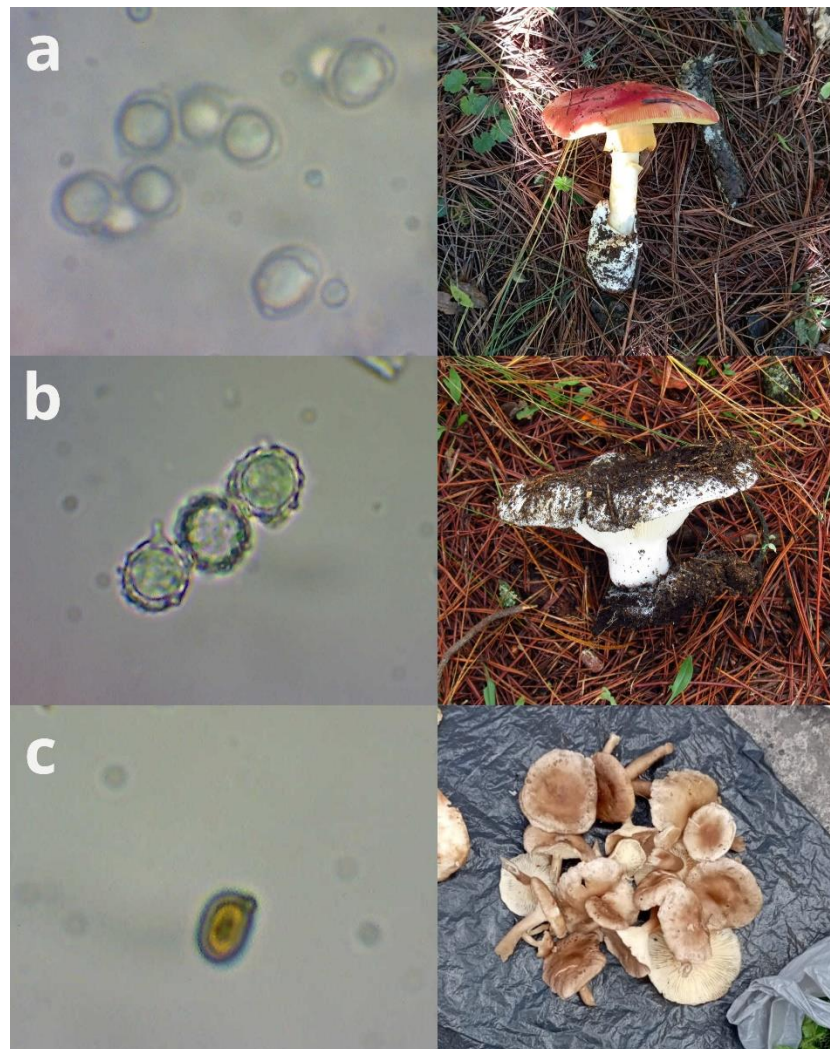
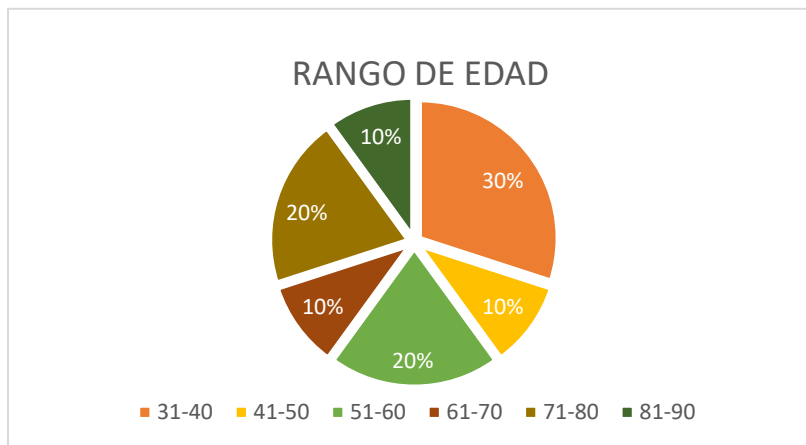


Figura 6. Hongos silvestres comestibles: a) Esporas distintivas del complejo *Amanita caesarea* y fotografía del esporocarpio. b) Esporas pertenecientes a la especie *Russula brevipes* y ejemplar recolectado. c) Esporas de *Infundibulicybe gibba* y venta de la especie en el mercado.

8.2 Entrevista sobre el conocimiento de hongos silvestres comestibles

A continuación, se presenta el resultado del instrumento aplicado a personas recolectoras de hongos del municipio de Tlatlauquitepec, el cual busca determinar el uso y conocimiento de los hongos silvestres comestibles.

Los participantes presentaron edades entre 30 y 90 años. El 30 % tenía entre 31 a 40 años, un 20 % indicó tener entre 51 a 60 años, y el 20 % estaba en el rango de 71 a 80



años. El porcentaje restante se distribuyó entre las demás categorías de edad, según se observa en la Figura 7.

Figura 7. Gráfico de porcentajes de edades de encuestados en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.

Del número total de entrevistados, el 90 % de los participantes fueron mujeres. En la recolección de hongos comestibles, no se requiere especificada de género para convertirse en un experto recolector. Sin embargo, diversos estudios etnomicológicos han destacado la relevancia de las mujeres en el uso y manejo de los HSC, desde la cosecha hasta el consumo y en la venta en mercados locales (Mariaca *et al.*, 2001, Garibay-Orijel *et al.*, 2012).

Usualmente la recolección de hongos se realiza en grupos familiares liderados por mujeres. Donde los más jóvenes (hijos o nietos) aprenden directamente de sus mayores, siendo esta actividad de transferencia de conocimientos excepcional, especialmente en lo que respecta a la identificación, recolección y consumo de especies fúngicas (Mariaca *et al.*, 2001, Salinas-Rodríguez *et al.*, 2017, Contreras-Cortés *et al.*, 2019). Un 60 % de los participantes afirmaron que sus padres les enseñaron a recolectar e identificar hongos, mientras que el restante menciona que aprendieron de los abuelos.

El conocimiento sobre especies de hongos que los encuestados conocen, se distribuye de la siguiente manera: 80 % conoce entre 6 a 10 especies, 10 % conoce entre 11 a 15 especies, y 10 % conoce entre 1 a 5 especies. Estos datos se encuentran detallados en la Figura 8.

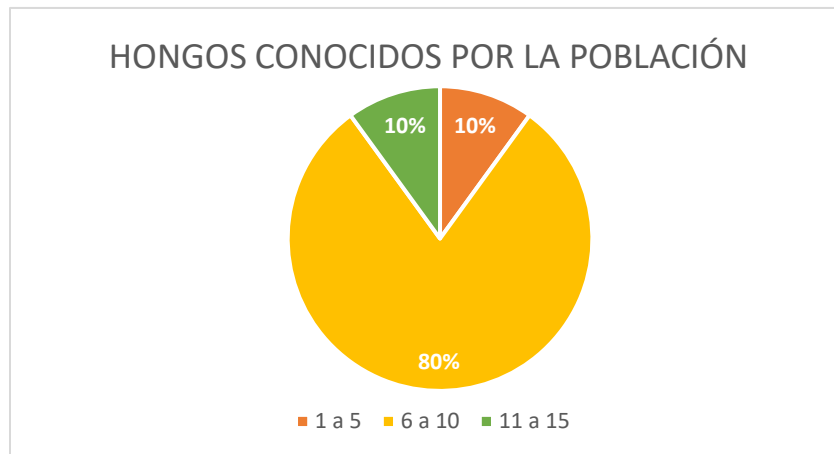


Figura 8. Gráfico con el porcentaje de especies fúngicas que conocen los encuestados.

Además, se les preguntó a los participantes acerca de los nombres comunes de los HSC, y mencionaron entre 1 a 3 nombres por especie, lo que muestra la riqueza semántica y la importancia de este recurso en la región. La asignación de nombres comunes se debe a la sus características físicas y ecológicas de los hongos, es decir, a su morfología,

color, forma y lugar de crecimiento; incluso pueden hacer referencia a objetos con características similares (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012).

Tabla 3. Hongos comestibles conocidos por la población de Tlatlauquitepec, Puebla.

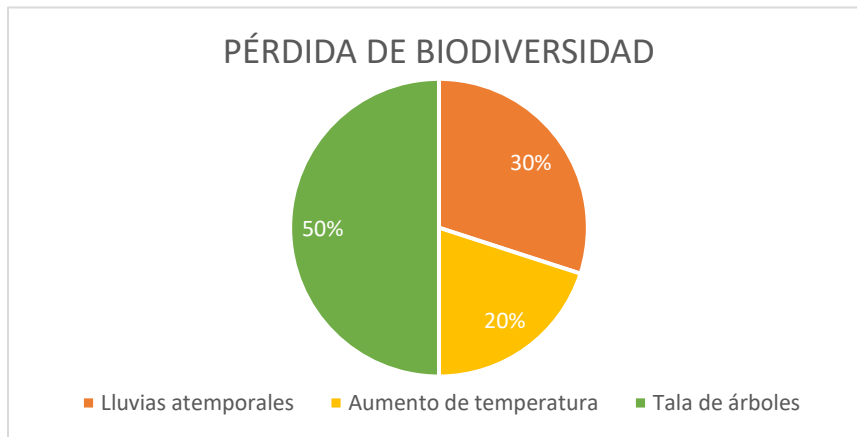
Nombre común	Nombre científico*
Hongo azul, quexque, Kexkelt	<i>Lactarius indigo</i>
Escobeta, escobetilla	<i>Ramaria spp.</i>
Tecomate, rojos, quesaguite, xochinanacatl, yema de huevo, amarillos.	Complejo <i>Amanita caesarea</i>
Totalpechuga, totalcoxcatl	<i>Entoloma abortivum</i>
Borregos, blancos, oconanacatl, cacalote blanco	<i>Russula brevipes, Lactarius vellereus,</i>
Tlalista	<i>Infundibulicybe gibba</i>
Chopitza, xopitza	<i>Armillaria mellea</i>
Enchilados	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>
Soldadito de Cortes, soldadito	<i>Helvella lacunosa</i>
Panzas, xipos	<i>Boletus edulis</i>

*Los hongos fueron solo mencionados por los participantes por lo que su identidad taxonómica fue asumida por nombre común.

En la Tabla 3, se observan algunos de los nombres comunes que conocen a los HSC en la región. Los participantes mencionaron tres hongos con mayor frecuencia por su consumo, los cuales fueron el complejo *Amanita caesarea* (tecomates), *Boletus edulis* (xipos) y *Entoloma abortivum* (totalcoxcatl); sin embargo, este último es muy difícil de encontrar y, por ende, su precio es más caro por lo que optan por consumir otros hongos de temporada.

Con relación a la fenología, un 70 % de los participantes observaron una mayor abundancia de hongos en los meses de junio a agosto, mientras que el 30 % los observó

de septiembre a diciembre. Sin embargo, también comentaron que en los últimos años se ha visto afectado la diversidad fúngica, debido a factores como la pérdida de bosques



(50 %) y lluvias atemporales (30 %), como se observa en la Figura 9. Esto concuerda con lo comentado por Parladé *et al.* (2017) y Tomao *et al.* (2020) quienes explican que el raleo intensivo provoca una disminución en especies de hongos ectomicorrízicos y que se mantiene durante al menos tres años después de la tala de árboles.

Figura 9. Gráfico porcentual de las causas de pérdida de diversidad fúngica.

8.3 Composición bromatológica de los hongos estudiados

Se analizaron tres especies de hongos silvestres comestibles del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla colectadas en los meses de septiembre y octubre de 2022. En la Tabla 4 se muestra los resultados obtenidos del análisis bromatológico en base húmeda (bh), donde existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en las especies evaluadas. Se observa que el contenido de humedad fue el componente mayoritario, en un intervalo de 90.76 % a 95.60 %. Este contenido de humedad es similar a lo reportado por Breene (1990) y Kalac (2012), quienes mencionan que los hongos, tanto silvestres como cultivados, contienen entre un 86 % a 95 % de agua.

Por el bajo nivel de materia seca que contiene los hongos, aunado a un alto porcentaje de humedad y una alta actividad metabólica, genera que los cuerpos fructíferos sean más susceptibles al crecimiento microbiano y con ello un rápido deterioro (Tripathi *et al.*, 2017, Jablonska-Rys *et al.*, 2022).

El contenido de materia seca de los hongos es bajo, cerca de un 10 % y se compone principalmente por carbohidratos, proteínas, fibra y minerales. En cuanto al contenido de ceniza de las tres especies estudiadas, el valor más alto lo obtuvo *Russula brevipes* (0.87 %), siendo un valor relativamente menor al reportado por Kumar *et al.*, (2014) que fue de 0.95. *Amanita caesarea* (complejo) tuvo el menor valor de ceniza (0.32 %) en este estudio y es ligeramente menor al reportado por Gómez-Flores *et al.* (2019) y Naranjo *et al.* (2013) con un valor de ceniza de 0.61 % y 0.79 %, respectivamente. El contenido de ceniza hace referencia a la cantidad de minerales que contiene los hongos, sin embargo, su porcentaje puede variar por factores como, la especie, la edad del hongo o el sustrato donde se encuentren (Bernás *et al.*, 2006; Barroetaveña y Toledo, 2017).

Por otro lado, el contenido de grasa en hongos es bajo, en 100 g de materia fresca menos del 1 % corresponde a componentes grasos (Breene, 1990; Bernás *et al.*, 2006; Barroetaveña y Toledo, 2017). Con respecto a las tres especies de hongos analizadas en este estudio, se observa que todas se encuentran dentro de este valor.

En relación con el contenido proteico, se observa una variabilidad significativa ($p < 0.05$) entre las diversas especies de hongos estudiados. La especie *I. gibba* presenta el mayor contenido de proteína, con 3.14 % y 2.21 %, respectivamente. Estos resultados son similares con lo reportado por Pereira *et al.* (2012), quienes obtuvieron un valor de proteína de 3.93 %, y con los resultados de Palazzolo *et al.*, (2012), quienes reportaron

un contenido proteico de 3.87 % para *I. geotropa*. Por ende, los resultados obtenidos concuerdan con los de otros investigadores en la materia.

La especie *R. brevipes* obtuvo el valor más bajo de contenido proteico (0.42 %) y fue menor a lo obtenido por Kumar *et al.* (2014) con 3.93 %. Sin embargo, esto pudo deberse a factores como, su estado de desarrollo, la parte muestreada, el nivel de nitrógeno disponible y el lugar de cosecha (Beluhan y Ranogajec, 2011).

Por último, el contenido de carbohidratos se calculó por diferencia de los otros nutrientes cuantificables (agua, ceniza, grasa y proteína), en donde *R. brevipes* presenta el mayor contenido de carbohidratos, con 7.57 % y 6.29 %. Los hongos presentan un contenido de carbohidratos relativamente bajo en comparación con otros alimentos, pero son una buena fuente de fibra dietética. Este componente, contribuye a regular el tránsito intestinal y reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Kalac, 2012, Barroetaveña y Toledo, 2017).

Tabla 4. Composición bromatológica de hongos cosechados en Tlatlauquitepec.

Componente (% bh)	Variedad de hongo					
	<i>Infundibulicybe gibba</i>		<i>Russula brevipes</i>		<i>Amanita caesarea</i>	
	(S)	(O)	(S)	(O)	(S)	(O)
Humedad	90.76 ± 0.02c	93.66 ± 0.03b	90.82 ± 0.39c	91.27 ± 0.04c	95.60 ± 0.19a	91.54 ± 0.35c
Cenizas	0.77 ± 0.01b	0.49 ± 0.02d	0.87 ± 0.01a	0.65 ± 0.04c	0.32 ± 0.02e	0.69 ± 0.03c
Grasa	0.21 ± 0.03b	0.23 ± 0.03b	0.32 ± 0.12a	0.33 ± 0.12a	0.70 ± 0.15a	0.73 ± 0.15a
Proteína	3.14 ± 0.09a	2.21 ± 0.03b	0.42 ± 0.02d	1.49 ± 0.02c	0.45 ± 0.04d	1.55 ± 0.07c
Carbohidratos*	5.12	3.41	7.57	6.26	2.93	5.49

*Los carbohidratos fueron calculados por diferencia. Promedio \pm desviación estándar. Letras diferentes en fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). S: Lote cosechado en el mes de septiembre. O: Lote cosechado en el mes de octubre.

9 CONCLUSIONES

- Se observó que los habitantes recolectores de especies fúngicas del municipio de Tlatlauquitepec aún conservan el conocimiento ancestral heredado por sus antepasados, siendo las personas de mayor edad las que conocen más especies de hongos a diferencia de las nuevas generaciones. Por lo que se requiere una mayor divulgación para que este conocimiento no se pierda a futuro.
- El consumo de hongos silvestres comestibles aporta los nutrientes necesarios para personas que viven en zonas rurales y no tienen fácil acceso a alimentos de origen animal.
- Debido a su alto contenido de humedad de los hongos, es recomendable consumirlos frescos, debido a que, son susceptibles a perder sus propiedades nutritivas y a experimentar crecimiento microbiano.
- *Infundibulicybe gibba* presentó el mayor contenido de proteína, respecto a *Russula brevipes* y *Amanita caesarea*, por lo que se recomienda que, se incluya esta especie como un complemento a la dieta diaria.
- La gran diversidad fúngica de nuestro país, junto con el etnomicológico de las comunidades indígenas, muestra la necesidad de seguir estudiando este recurso, en colaboración con científicos, gobiernos locales, empresarios y las propias comunidades, para garantizar un aprovechamiento sostenible.

10 RECOMENDACIONES

- Determinar el contenido mineral de las especies fúngicas estudiadas.
- Evaluar el potencial biotecnológico que tienen los HSC en el área de alimentos como posibles alimentos funcionales.
- Desarrollar un recetario de la gastronomía local y usos de los hongos silvestres para los pobladores del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.
- El estudio actual ha sentado una base sólida para comprender la importancia social y cultural de los HSC. Sin embargo, se recomienda realizar un estudio etnomicológico más detallado para aprovechar su máximo potencial.

11 REFERENCIAS

- Aguirre-Acosta E., M. Ulloa, S. Aguilar, J. Cifuentes y R. Valenzuela. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. México. 1:76-81.
- Alzand, K. I., Mustafa Bofaris, M. S., y Ugis, A. (2019). Chemical composition and nutritional value of edible wild growing mushrooms: a review. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 8.
- Anusiya, G., Gowthama, U., Yamini, N. V., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Bharath, G., y Banat, F. (2021). A review of the therapeutic and biological effects of edible and wild mushrooms. *Bioengineered*, 12:11239-11268.
- Aranda-Pineda, K., Garibay-Orijel, R., y Ramírez-Terrazo, A. (2022). *Infundibulicybe gibba* [Infografía]. *Hongos Comestibles y Tóxicos de México*.
- Badalyan, S. M., y Zambonelli, A. (2023). The potencial of mushrooms in developing healthy food and biotech products. En Satyanarayana, T., Deshmukh, S.K. (eds) *Fungi and fungal products in human welfare and biotechnology*. 1:307-344.
- Barroetaveña, C., y Toledo, C. V. (2017). The nutritional benefits of mushrooms. En Ferreira, I., Morales, P., Barros, L. (eds) *Wild Plants, Mushrooms and Nuts: Functional Food Properties and Applications*. 1:65-81.
- Bautista-Nava, E., Moreno-Fuentes, A., Pulido, M. T., Valadez-Azúa, R. y Ávila, R. (2010). Bases bioculturales para el aprovechamiento y conservación de los hongos silvestres

comestibles en el municipio de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural*.

Beluhan, S., y Ranogajec, A. (2011). Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms. *Food Chemistry*. 124:1076-1082.

Bernás, E., Jaworska, G., y Lisiewska, Z. (2006). Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 1:5-20.

Breene, W. M. (1990). Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms. *Journal of Food Protection*. 53:883-894.

Borthakur, M., y Joshi, S. R. (2019). Wild mushrooms as functional foods: the significance of inherent perilous metabolites. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. 1:1-11.

Burrola-Aguilar, C., Montiel, O., Garibay-Orijel, R., y Zumbo-Villareal, L. (2012). Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología*. 1:35.

Cano-Estrada, A., y Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición*. 1:75-80.

Child, S. (2023). The Past and Present of Latin American Ethnomycology. *Undergraduate Research and Creative Activities Journal*. 1-15.

Comandini, O., y Rinaldi, A. C. (2020). Ethnomycology in Europe: the past, the present, and the future. En: Pérez-Moreno, J., Guerin-Languette, A., Flores Arzú, R., Yu, FQ. (eds) *Mushrooms, Humans and Nature in a Changing World* 1:341-364.

- Conabio. (s. f.). *Tejamanilero (Infundibulicybe gibba)*. EncicloVida. Disponible: <https://enciclovida.mx/especies/6573>.
- CONABIO. (2020). *México megadiverso*. Recuperado el 5 de julio de 2023, de Biodiversidad mexicana.
- Contreras-Cortés, L., Vázquez, 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.
- Dube, H. C. (2013). Kingdoms of fungi and their classification. In an introduction to fungi. 4:16-32.
- Dospatliev, L., Petkova, Z., Antova, G., Angelova-Romova, M., Ivanova, M., y Mustafa, S. (2023). Proximate composition of wild edible mushrooms from the Batak Mountain, Bulgaria. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 12:1-7.
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Toros, G., Hajdú, P., Eid, Y., y Prokisch, J. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*. 14:4941.
- Fernandes, A., Barreira, J. C.M., Antonio, A. L., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Martins, A., Oliveira, M. B., y Ferreira, I. (2015). Exquisite wild mushrooms as a source of dietary fiber: Analysis in electron-beam irradiated samples. *LWT - Food Science and Technology*. 60:855-859.
- Garibay-Orijel, R., Ramírez-Terrazo, A., y Ordaz-Velázquez, M. (2012). Women care about local knowledge, experiences from ethnomycology. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 8:25.
- Garibay-Orijel, R. y Ruan-Soto, F. (2014) Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. En: Moreno-Fuentes, A, Garibay-Orijel, R. (eds) La

Etnomicología en México. Estado del Arte. Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural (CONACYT)-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Instituto de Biología UNAM-Sociedad Mexicana de Micología-Asociación Etnobiológica Mexicana A.C.-Grupo Interdisciplinario para el Desarrollo de la Etnomicología en México-Sociedad Latinoamericana de Etnobiología, México D.F. 1:91-112

Gómez-Flores, L. d. J., Martínez-Ruíz, N. d. R., Enríquez-Anchondo, I. D., Garza-Ocañas, F., Nájera-Medellín, J. A., y Quiñónez-Martínez, M. (2019). Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 1-15.

Guzmán, G. (1998a). Inventorying the fungi of Mexico. *Biodiversity and conservation*. 7:369-384.

Guzmán, G. (1998b). Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (Ensayo sobre el inventario fúngico del país). En *La diversidad biológica de Iberoamérica II. Acta Zoológica Mexicana*. (pp. 111-175). México: CYTED e Instituto de Ecología de Xalapa.

Guzmán, G., y Ramírez-Guillén, F. (2001). "The *Amanita caesarea* complex". En: *Bibliotheca Mycologica*, 187.

Hawksworth, D. L., y Lucking, R. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*.

Herrera, T. y Ulloa, M. (1998) *El reino de los hongos, micología básica y aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. México. 1:551.

- Jablonska-Rys, E., Slawinska, A., Skrzypczak, K., Kowalczyk, D., y Stadnik, J. (2022). Content of biogenic amines and physical properties of lacto-fermented button mushrooms. *Applied Sciences*. 12: 8957.
- Jha, S. K., y Tripathi, N. N. (2012). Comparative nutritional potential of three dominant edible and medicinal macrofungi of Kathmandu valley, Nepal. *American Journal of Pharmtech Research*. 2:1-7.
- Kalac, P. (2012). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Society of Chemical Industry*. 93:209-218.
- Kaliyaperumal, M., Kezo, K., y Gunaseelan, S. (2018). A global overview of edible mushrooms. In *Biology of Macrofungi*. En Singh, B., Lallawmsanga, Passari, A. *Biology of Macrofungi* 1:15-56.
- Karimi, S., Ferreira, J. A., y Taherzadeh, M. J. (2021). The application of fungal biomass as feed. En Zaragoza, Ó., Casadevall, A. (eds) *Encyclopedia of Mycology*. 2: 601-612.
- Krishnamoorthi, R., Srinivash, M., Mahalingam, P. U., y Malaikozhundan, B. (2022). Dietary nutrients in edible mushroom. *Agaricus bisporus* and their radical scavenging, antibacterial, and antifungal effects. *Process Biochemistry*. 121:10-17.
- Kumar, R., Tapwal, A., Pandey, S., Rishi, R., Mishra, G., y Giri, K. (2014). Six unrecorded species of *Russula* (Russulales) from Nagaland, India and their nutrient composition. *Nusantara Bioscience*, 6:33-38.
- Kuo, M. (n.d.). Key to Major Groups of Mushrooms. Recuperado el 24 agosto de 2023, de Mushroom Expert.

- Leahu, A., Damian, C., Oroian, M., y Ropciuc, S. (2015). Establishing the antioxidant activity based on chemical composition of wild edible mushrooms. *Food and Environment Safety*. 14:398-416.
- Majesty, D., Ijeoma, E., Winner, K., y Prince, O. (2019). Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *Ecricon nutrition*. 14:36-59.
- Mandal, S. (2022). Beauty, diversity, and potential uses of certain macrofungi. En Arya, A., Rusevka, K. *Biology, Cultivation and Applications of Mushrooms*. 1:3-25.
- Mariaca, R., Silva, L. D. C., y Castaños, C. A. (2001). Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres en el Valle de Toluca, México. *Ciencias Sociales*. 8:30-40.
- México megadiverso. (2020). Biodiversidad Mexicana. Actualizado 10 de julio de 2023.
- Moreno, Á. (2014) Un recurso alimentario de los grupos originarios y mestizos de México: los hongos silvestres. *Anales de Antropología*. 48:241-272.
- Moreno, Á. (2018). La Etnomicología. México. Disponible en: https://patrimoniobiocultural.com/archivos/publicaciones/articulos/LA_ETNOMICOLOGIA.pdf
- Mukherjee, D., Singh, S., Kumar, M., Kumar, V., Datta, S., y Dhanjal, D. S. (2018). Fungal biotechnology: role and aspects. En Gehlot, P., Singh, J. *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives* 1: 91-103.
- Naranjo, N., Andrade, S., Herrera, J., Ávila, J. A., Almaraz, N., y Gurrola, N. (2013). Análisis proximal de seis especies de hongos silvestres comestibles en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

- Naranjo-Ortíz, M. A., y Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the fungi. *Biological reviews*. 94:2101-2137.
- On-mon, N., Suttisansanee, U., Chathiran, W., Charoenkiatul, S., Thiyajai, P., y Srichamnong, W. (2023). Nutritional security: carbohydrate profile and folk remedies of rare edible mushrooms to diversify food and diet: Thailand case study. *Sustainability*. 15:14034.
- Painuli, S., Semwal, P., y Egbuna, C. (2020). Mushroom: nutraceutical, mineral, proximate constituents and bioactive component. En Egbuna, C., Dable Tupas, G. *Functional Foods and Nutraceuticals*. 1:301-336.
- Palazzolo, E., Gargano, M. L., y Venturella, G. (2012). The nutritional composition of selected wild edible mushrooms from Sicily (southern Italy). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 63:79-83.
- Papazav, P., Vassilev, D., Valchev, N., y Denev, P. (2020). Chemical and lipid composition of wild Edible Mushrooms (*Morchella esculenta*) In Bulgaria. *Oxidation Communications*. 43:104-203.
- Parladé, J., Martínez-Peña, F., y Pera, J. (2017). Effects of forest management and climatic variables on the mycelium dynamics and sporocarp production of the ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis*. *Forest Ecology and Management*. 390:73-79.
- Pereira, E., Barros, L., Martins, A., y Ferreira, I. (2012). Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry*. 130:394-403.
- Pérez-Moreno, J., Guerin-Laguet, A., Rinaldi, A. C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F., y Martínez-Reyes, M. (2021). Edible mycorrhiza fungi of the world: What is

their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change? *Plants People Planet*. 3:471-490.

Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., Yescas-Pérez, A., Delgado-Alvarado, A., y Xoconostle-Cázares, B. (2008). Wild mushroom markets in Central Mexico and a case study at Ozumba. *Economic Botany*. 62:425-436.

Pérez-Silva, E. y Herrera, T. (1991) *Iconografía de macromicetos de México: Amanita*. I. Universidad Autónoma de México.

Procházka, P., Soukupová, J., Mullen, K. J., Tomšík, K., y Cábelloková, I. (2023). Wild mushrooms as a source of protein: a case study from central Europe, especially the Czech Republic. *Foods*.

Rathore, H., Prasad, S., y Sharma, S. (2017). Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: a review. *PharmaNutrition*. 5:35-46.

Ruan-Soto, F., y Ordaz-Velázquez, M. (2016). Aproximaciones a la etnomicología maya. *Pueblos y Fronteras Digital*. 10:44-69.

Sai, I., Basavaraju, R., Thakur, M., y Lakhanpal, T. N. (2023). Health benefits of mushrooms: an appraisal. En Singh, I., Rajpal, V.R., Navi, S.S. *Fungal Resources for Sustainable Economy*. 1:176-226.

Salamat, S., Shahid, M., y Najeeb, J. (2017). Proximate analysis and simultaneous mineral profiling of five selected wild commercial mushroom as a potential nutraceutical. *International Journal of Chemical Studies*. 5:297-303.

Salinas-Rodríguez, M., Gómez-Reyes, V. M., y Blanco, A. (2017). Conocimiento tradicional de los hongos silvestres comestibles y venenosos de dos localidades del municipio de Pátzcuaro, Michoacán. *Biológicas*. 19:28-34.

- Senanayake, I., Rathnayaka, A. R., Marasinghe, D. S., Calabon, M. S., Gentekaki, E., Lee, H.B., Hurdeal, V.G., Pem, D., Dissanayake, L. S., Wijesinghe, S.N., Bundhun, D., Nguyen, T. T., Goonasekara, I. D., Abeywickrama, P. D., Bhunjun, C. S., Jayawardena, R. S., Wanasinghe, D. N., Jeewon, R., Bhat, D. J. y Xiang, M. M. (2020) Morphological approaches in studying fungi: collection, examination, isolation, sporulation and preservation. *Mycosphere*. 11:2678-2754.
- Singara Charya, M. A. (2015). Fungi: an overview. En Bahadur, B., Venkat Rajam, M., Sahijram, L., Krishnamurthy, K. *Plant Biology and Biotechnology*. 1:197-215.
- Song, J., Li, H., Win, S., Chen, Q., Yang, G., Zhang, J., Liang, J., y Chen, B. (2022). Morphological and molecular evidence for two new species within *Russula subgenus Brevipes* from China. *Diversity*. 14:112.
- Soto-García, A., Ramírez-Terrazo, A., y Garibay-Orijel, R. (2022). Complejo *Amanita caesarea* s.l. Hongos comestibles y tóxicos de México.
- Tomao, A., Bonet, J. A., Castaño, C., y de-Miguel, S. (2020). How does forest management affect fungal diversity and community composition? Current knowledge and future perspectives for the conservation of forest fungi. *Forest Ecology and Management*. 457:117678.
- Torres-Gómez, M., Gómez-Peralta, M., y Vázquez-Marrufo, G. (2023). Wild mushroom consumption in the P'urhépecha Plateau at Michoacán, México: social, ethnomycological and nutritional issues. *Journal of Ethnic Foods*. 10:4.
- Tripathi, N. N., Singh, P., y Vishwakarma, P. (2017). Biodiversity of macrofungi with special reference to edible forms: a review. *Indian Botanical Society*. 96:144-187.

- Vaz, J. A., Barros, L., Martins, A., Santos-Buelga, C., Vasconcelos, M. E., y Ferreira, I. (2011). Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. *Food Chemistry*. 126:610-616.
- Wang, P., Zhang, Y., Mi, F., Tang, X., He, X., Liu, C., Yang, D., Dong, J., Zhang, K., y Xu, J. (2015). Recent advances in population genetics of ectomycorrhizal mushrooms *Russula* spp. *Mycology*. 6:110-120.
- Xi, Z., Fu, L., Feng, S., Yuan, M., Huang, Y., Liao, J., Zhou, L., Yang, H., y Ding, C. (2019). Chemical composition, antioxidant and antihyperglycemic activities of the wild *Lactarius deliciosus* from China. *Molecules*. 24:1357.
- Zhang, Y., Wang, D., Chen, Y., Liu, T., Zhang, S., Fan, H., Liu, H., y Li, Y. (2021). Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food Science and Human Wellness*. 10:408-420.

12 ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para la aplicación de encuestas.

CUESTIONARIO DIRIGIDO A COLECTORES DE LA ZONA NORORIENTAL DE PUEBLA

Objetivo: La presente entrevista servirá como base para obtener datos que nos permita conocer el uso y consumo de hongos comestibles en la zona nororiental de Puebla

LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONE SERÁ EstrictAMENTE CONFIDENCIAL, NO SE UTILIZARA PARA OTRO FIN QUE NO SEA ESTADÍSTICO

No. Cuestionario: _____

1. Edad: _____
2. ¿A qué se dedica?: _____
3. Lugar donde vive: _____

4. ¿Sabe cómo crecen y se reproducen los hongos?
 - Suelo (Tierra u hojas)
 - Madera (Troncos vivos o muertos)
 - Estiércol
 - Otros
5. ¿Qué edad tenía cuándo comenzó a coleccionar hongos comestibles?
 - 5-15 años
 - 16-25 años
 - 26-35 años
6. ¿Quién le enseñó a coleccionar hongos comestibles?
 - Padres
 - Abuelos
 - Amigos
 - Otros
7. ¿Usted le ha enseñado a alguien a coleccionar hongos comestibles?
Si: _____ No: _____

Si su respuesta fue SI, ¿a quién le ha enseñado a recolectar hongos?

- Hijos
 - Nietos
 - Amigos
 - Otros
8. ¿Aproximadamente cuántos hongos conoce?
 - 1-5
 - 6-10
 - 11-15
 - 16-20
 - Más de 20
 9. ¿Cómo se llaman los hongos que conoce?

10. ¿Qué aspecto considera importante para coleccionar hongos comestibles?

- Forma
- Consistencia
- Tamaño
- Madurez
- Ausencia de plaga
- Todas las anteriores

11. ¿Cuáles son los meses del año donde aparecen más hongos comestibles?

- Enero- Mayo
- Junio- Agosto
- Septiembre- Diciembre

12. ¿Conoce qué tipos de árboles hay en donde se encuentran los hongos?

13. ¿Cuáles hongos aparecen al inicio de la temporada y cuales al final?

14. ¿Cuáles son los hongos más abundantes? ¿Los que más encuentran?

15. ¿Cuál es el hongo más raro o difícil de encontrar?

16. ¿Cómo diferencia a un hongo venenoso de uno comestible?

Aporte socioeconómico de la colecta de hongos comestibles

17. ¿Usted recolecta hongos comestibles para consumo o para venta?

- Consumo
- Venta

- Ambos
- 18. ¿Con que frecuencia recolecta hongos?
 - 1 vez a la semana
 - 2 veces a la semana
 - 3 veces a la semana

Aporte biocultural de la colecta de hongos

19. ¿Conoce algún hongo medicinal?

Si: _____ No: _____

20. ¿Existe algún hongo que se utilice como adorno u artesanía?

Si: _____ No: _____ No sé: _____

21. ¿Sabe qué animales visitan o comen los hongos?

22. ¿Cuál es su hongo favorito? ¿a qué se debe que sea su favorito?

23. ¿Cómo cocinan sus hongos?

- Guisados
- Asados
- Fritos
- Otros

24. ¿En temporada de hongos prefieren comer hongos u otra cosa? ¿Son los hongos un alimento preferido por encima de otros?

Si: _____ No: _____

25. ¿Considera que hay más o menos hongos?

- Más hongos que antes
- Menos hongos que antes
- No ha cambiado

26. ¿Por qué hay más o menos hongos?

- Lluvias atemporales
- Aumento de temperatura
- Tala de árboles
- Otro

27. ¿Ha notado algún cambio en el uso de los hongos por parte de los habitantes en los últimos 30 años?

28. ¿Existe alguna historia o leyenda sobre los hongos o que los involucre?

Si: _____ No: _____ No sé: _____