



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**PROPIEDADES NUTRICIONALES Y POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE
HONGOS COMESTIBLES DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA, PUEBLA**

TESIS

**Que como requisito parcial para
obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA



Presenta:

TONATHIU RESCENDIZ GUTIERREZ

Bajo la supervisión de: DIANA GUERRA RAMÍREZ, DRA.

APROBADA



**Maestría en
Ciencia y Tecnología
Agroalimentaria**

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2023

**PROPIEDADES NUTRICIONALES Y POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE
HONGOS COMESTIBLES DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA, PUEBLA**

Tesis realizada por **TONATHIU RESCENDIZ GUTIERREZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR:



DRA. DIANA GUERRA RAMÍREZ

CO-DIRECTOR:



DRA. IRMA SALGADO ESCOBAR

ASESOR:



DR. BENITO REYES TREJO

CONTENIDO

Contenido	iii
Lista de Cuadros.....	vii
Lista de Figuras	viii
Dedicatorias	ix
Agradecimientos	x
Datos Biográficos.....	xi
Resumen General.....	xii
General Abstract.....	xiii
1. Introducción General.....	1
1.1. Literatura citada	1
2. Revisión de Literatura	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Hongos Silvestres Comestibles.....	3
<i>Amanita jacksonii</i> Pomerl. (1984)	5
<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt. (1889).....	6
<i>Helvella lacunosa</i> Afzel. (1783)	7
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul. (1860).....	7
<i>Imperator torosus</i> (Fr.) Assyov, Bellanger, Bertéa, Courtec., Koller, Loizides, G.Marques, J.A.Muñoz, N.Oppicelli, D.Puddu, F.Rich. & P.- A.Moreau (2015).....	8
<i>Infundibulicybe squamulosa</i> (Pers.) Harmaja (2003)	8
<i>Lactarius indigo</i> (Schwein) Fr. (1838)	9
<i>Lactifluus gerardii</i> (Peck) Kuntze (1891).....	9

<i>Pholiota terrestris</i> Overh. (1924).....	10
<i>Ramaria stricta</i> (Pers.) Quél. (1888).....	10
<i>Russula brevipes</i> Peck (1890)11 <i>Tricholoma equestre</i> (L.) P. Kumm. (1871)	12
Otras especies.....	12
2.1.2. Composición Mineral de los Hongos	13
2.1.3. Composición Química	14
2.2. Marco de referencia	18
2.2.1. Zacapoaxtla, Puebla.....	18
Condiciones geográficas	18
Situación demográfica	19
2.2.2. Zaragoza, Puebla.....	20
Condiciones geográficas	21
Situación demográfica	21
2.3. Literatura citada	22
3. Exploración etnomicológica en los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla.....	27
Resumen	27
Abstract.....	28
3.1. Introducción	28
3.2. Materiales y métodos.....	30
3.2.1. Colecta de datos	30
3.3. Resultados y discusión	30
3.4. Conclusiones	33
3.5. Agradecimientos	33
3.6. Literatura citada	34
4. Perfil Mineral de Hongos Silvestres Comestibles de la Sierra Norte de Puebla, México.....	35
Resumen	35
Abstract.....	36
4.1. Introducción	36

4.2. Materiales y métodos.....	37
4.2.1. Colecta de materiales.....	37
4.2.2. Acondicionamiento de las muestras.....	37
4.2.3. Análisis de elementos en ICP-MS.....	38
4.2.4. Índice de Riesgo a la Salud (HRI)	38
4.3. Resultados y discusión	39
4.3.1. Contenido mineral	40
4.3.2. Índice de Riesgo a la Salud.....	42
4.4. Conclusiones	44
4.5. Agradecimientos	45
4.6. Literatura citada	45
5. Potencial Nutricional y Nutracéutico de Hongos Silvestres Comestibles de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla.....	47
Resumen	47
Abstract.....	48
5.1. Introducción	48
5.2. Materiales y métodos.....	50
5.2.1. Colecta de materiales.....	50
5.2.2. Acondicionamiento de muestras	50
5.2.3. Preparación de extractos para pruebas de potencial nutracéutico.....	51
5.2.4. Determinación de Contenidos de compuestos fenólicos totales ..	51
5.2.5. Determinación de capacidad antioxidante por ensayo FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) y ABTS	51
5.2.6. Determinación de proteína soluble total	52
5.2.7. Determinación de contenido calórico	52
5.2.8. Determinación de β -glucanos.....	53
5.2.9. Análisis estadístico.....	54
5.3. Resultados y discusión	54
5.3.1. Contenido de compuestos fenólicos totales	54
5.3.2. Capacidad antioxidante	55
5.3.3. Contenido de Proteína Soluble Total.....	56

5.3.4. Contenido calórico.....	56
5.3.5. Cuantificación de β -Glucanos	57
5.4. Conclusiones	58
5.5. Agradecimientos	58
5.6. Literatura citada	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especies identificadas y nombres comunes en la región.	30
Cuadro 2. Frecuencia de mención en las encuestas aplicadas a hongueras. .	32
Cuadro 3. Categorías alimentarias y frecuencia.	33
Cuadro 4. Especies identificadas y nombres comunes en la región.	39
Cuadro 5. Concentración de macroelementos en cada especie (mg kg ⁻¹).	40
Cuadro 6. Concentración de elementos traza por especie (µg kg ⁻¹).	41
Cuadro 7. Concentración de elementos tóxicos por especie (µg kg ⁻¹).	42
Cuadro 8. Ingesta Diaria de Metales (DMI), en µg día ⁻¹ kg ⁻¹	43
Cuadro 9. Índice de Riesgo a la Salud (HRI) por consumo de cada especie de hongo y para cada elemento.	43
Cuadro 10. Identificación de las especies colectadas.	54
Cuadro 11. Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante por especie.	55
Cuadro 12. Contenido de Proteína Soluble Total y Contenido calórico de cada especie.	57
Cuadro 13. Contenido de glucanos totales, α-glucanos y β-glucanos.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Amanita jacksonii</i>	6
Figura 2. <i>Clavulina coralloides</i>	6
Figura 3. <i>Helvella lacunosa</i>	7
Figura 4. <i>Hypomyces lactifluorum</i>	8
Figura 5. <i>Imperator torosus</i>	8
Figura 6. <i>Infundibulicybe squamulosa</i>	9
Figura 7. <i>Lactarius indigo</i>	9
Figura 8. <i>Lactifluus gerardii</i>	10
Figura 9. <i>Pholiota terrestris</i>	10
Figura 10. <i>Ramaria stricta</i>	11
Figura 11. <i>Russula brevipes</i>	11
Figura 12. <i>Tricholoma equestre</i>	12
Figura 13. Ubicación del municipio de Zacapoaxtla.....	18
Figura 14. Ubicación del municipio de Zaragoza, Puebla.....	20

DEDICATORIAS

A mis padres (Miguel y Norma), a mis hermanas (Citlali, Glenda, Miriam y Laura) y a mis sobrinos (Julián, Erandy, Venus, Nahim y Daniel) por ser mi gran motor en la vida, por inspirarme, por no rendirse y darme las lecciones más importantes.

A mi familia en general, por su apoyo, acompañamiento y cariño en cada etapa de la vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme brindado una formación profesional inigualable y contribuir a mi desarrollo personal.

A mis profesores, por todas y cada una de sus enseñanzas.

A mis compañeros de generación, por los aprendizajes, los consejos, las risas y la compañía en esta etapa.

A mis compañeros de laboratorio, por su apoyo y compañía en las horas de trabajo de investigación, ya que sin su ayuda el resultado hubiera sido diferente.

A mis amigos (Yessica, Daniel, Laura, Dalia, Camilo, Erika Daniela, Darío, Abigail, Yessica, Lissette, Anahí y Alejandra), porque su presencia, su compañía, su apoyo y cariño han sido indispensables.

A mis directoras, Dra. Diana y Dra. Irma, por su paciencia, su confianza su cariño, su guía y su amistad.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por los conocimientos y facilidades durante esta etapa de formación académica. Así mismo, a la Dirección General de Investigación y Posgrado por el apoyo financiero al presente trabajo mediante el proyecto de investigación con clave 22176-C-90.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero durante este proceso formativo mediante la beca con número de apoyo 801156.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez, por dirigir este proyecto con paciencia y atención, además de proveer apoyo y entendimiento incondicional durante esta etapa académica.

A la Dra. Irma Salgado Escobar, del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, por co-dirigir este trabajo, además de brindar un acompañamiento e interés constante.

Al Dr. Benito Reyes Trejo, por el apoyo brindado como asesor para el desarrollo del presente trabajo.

Al M. en C. José María Cunill Flores, profesor investigador de la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, por su apoyo en los temas etnomicológicos, además de fungir como asesor externo del presente trabajo.

Al Dr. Héctor Hernández-Mendoza, adscrito al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) por su orientación para el análisis elemental. Al Dr. Ricardo Hernández Lee, del Departamento de Preparatoria Agrícola, por el material fotográfico empleado en este trabajo, y a la Lic. Paola Díaz Barrios por su invaluable apoyo durante la evaluación de compuestos fenólicos y ensayos de actividad antioxidante.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Tonathiu Rescendiz Gutierrez
Fecha de nacimiento	7 de diciembre de 1989
Lugar de nacimiento	Chicoloapan, Estado de México, México
Nacionalidad	Mexicana
CURP	REGT891207HMCSTN00
Profesión	Ingeniero Agroindustrial
Cédula profesional	12445233

Desarrollo académico

Bachillerato	Departamento de Preparatoria Agrícola Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura	Departamento de Ingeniería Agroindustrial Universidad Autónoma Chapingo

Desarrollo profesional

Gerente de Producción, Calidad, Inocuidad y Desarrollo de nuevos productos – BAC SYNERGY S.A. de C.V. (2011-2012).

Jefe de Departamento de Evaluación de Proyectos – Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2012-2016)

Director de Área de Proyectos y Capacitaciones – Agroinnova Panamá S.A. (2016-2021).

RESUMEN GENERAL

PROPIEDADES NUTRICIONALES Y POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE HONGOS COMESTIBLES DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA, PUEBLA¹

A pesar de que en México se tiene una cultura etnomicológica muy importante, no se ha explorado profundamente la riqueza fúngica del país, específicamente para la región norte de Puebla sólo se han realizado exploraciones etnomicológicas. Este estudio pretende actualizar y profundizar sobre los probables beneficios del consumo de hongos silvestres comestibles en la región de la Sierra Norte de Puebla mediante la evaluación de su potencial nutraceutico. Durante 2021 y 2022 se exploraron los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla para realizar un estudio etnomicológico sobre su consumo. De los hongos colectados se evaluó las concentraciones de 14 elementos (Mn, Fe, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Se, Sr, Ag, Hg, As, Pb y Cd) y su posible riesgo a la salud, además de evaluar el potencial nutraceutico, aporte calórico y contenido de β -glucanos. Se identificaron 19 especies y se registraron seis formas de consumo; se seleccionaron 12 especies de trabajo: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta*, *Russula brevipes* y *Tricholoma equestre*. Se observaron concentraciones que exceden límites de seguridad en siete elementos (Fe, Cu, Cr, Ag, Hg, As y Cd). Los compuestos fenólicos totales oscilaron entre 0.69 y 3.52 mg EAG $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$, los valores de capacidad antioxidante se encontraron en el intervalo de 37.47 a 394.85 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$ por ensayo ABTS, mientras que por ensayo FRAP los valores variaron de 0.58 a 41.13 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$. El contenido energético osciló entre 3.82 y 4.44 kcal $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$. Los β -glucanos se encontraron entre 9.43 y 24.09 % (m m^{-1}). Los resultados obtenidos aportan nueva información respecto a 10 especies de hongos silvestres comestibles que no habían sido estudiadas previamente en el país.

Palabras clave: Etnomicología, Índice de Riesgo a la Salud, Perfil mineral, β -glucanos

¹ Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Tonathiu Rescendiz Gutierrez

Director de Tesis: Dra. Diana Guerra Ramírez

GENERAL ABSTRACT

NUTRITIONAL PROPERTIES AND NUTRACEUTIC POTENTIAL OF EDIBLE MUSHROOMS FROM MUNICIPALITY OF ZARAGOZA, PUEBLA²

Despite Mexico's very important ethnomycological culture, the country's fungal richness has not been deeply explored, specifically for the northern region of Puebla just has made ethnomycological explorations. This study pretends to actualize and deepen about probable benefits of wild edible mushroom consumption in the Sierra Norte in Puebla region by means of the evaluation of their nutraceutical potential. In 2021 and 2022 the traditional markets of Zaragoza and Zacapoaxtla, Puebla were explored to make an ethnomycological study about their consumption. For the collected mushrooms the concentrations of 14 elements (Mn, Fe, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Se, Sr, Ag, Hg, As, Pb and Cd) and their possible health risk were evaluated, besides of evaluating their nutraceutical potential, caloric supply, and β -glucans content. 19 species were identified, and six consumption forms were registered, it was selected 12 work species: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta*, *Russula brevipes* and *Tricholoma equestre*. Concentrations that exceed security limits were observed in seven elements (Fe, Cu, Cr, Ag, Hg, As y Cd). The total phenolic compounds oscillated between 0.69 and 3.52 mg EAG $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$, the antioxidant capacity values were found in the interval from 37.47 to 394.85 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$ by ABTS essay, while by FRAP essay the values varied from 0.58 to 41.13 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$. The energetic content oscillated between 3.82 and 4.44 kcal $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$. β -glucans were found between 9.43 and 24.09 % (m m^{-1}). The results obtained contribute new information about 10 species of wild edible mushrooms that had not been studied previously in the country.

Keyword: Ethnomycology, Health Risk Index, Mineral Profile, β -glucans

² Master's Thesis in Agrifood Science and Technology, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Tonathiu Rescendiz Gutierrez

Thesis Director: Dra. Diana Guerra Ramírez

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los hongos silvestres comestibles tienen una gran importancia alimentaria, no sólo por su valor nutricional sino también por sus propiedades organolépticas además de ser considerados como alimentos nutraceuticos (Sarikurkcü *et al.*, 2020).

México, junto con Centroamérica, es uno de los principales centros de diversidad biocultural y genética respecto a hongos silvestres comestibles a nivel mundial, consumiéndose más de 450 especies diferentes de estos organismos desde tiempos prehispánicos; muchas de estas especies son de autoconsumo mientras que otras se comercializan en pequeña escala, encontrándose alrededor de 120 taxas que son comercializadas en mercados locales y tradicionales (Pérez-Moreno *et al.*, 2021).

En México el 23.5 % de la población vive en pobreza alimentaria, sin embargo, esta cifra aumenta considerablemente en población indígena puesto que el 65 % vive en alguna condición de pobreza, la situación es tan crítica que 1 de cada 4 niños indígenas padece desnutrición crónica (The Hunger Project, México; 2022). Es ante esta situación que se ha mirado hacia los hongos silvestres comestibles como una alternativa promisorio en la búsqueda de la seguridad alimentaria y la mitigación de la desnutrición, a la vez que se conserva la biodiversidad y se hace un rescate cultural y etnomicológico asociado a su consumo (Molina-Castillo *et al.*, 2023).

A pesar de que la micofagia en el país está muy arraigada en la cultura popular, aún no se han explorado la composición química y actividad biológica de la diversidad fúngica que se consume nacionalmente, a la fecha solamente se han estudiado 21 especies (Álvarez-Parrilla *et al.*, 2007; López-Vázquez *et al.*, 2017; Moctezuma-Pérez *et al.*, 2017; Yahia *et al.*, 2017; González-Morales *et al.*, 2021). Por otra parte, en la región de la Sierra Norte de Puebla, donde se desarrolló el presente estudio, sólo se han realizado tres trabajos de exploración etnomicológica (Martínez-Alfaro

et al., 1983; Lemin *et al.*, 2010; Contreras-Cortés *et al.*, 2018). Este escenario revela claramente una notable área de oportunidad para futuras investigaciones.

El objetivo de este trabajo fue actualizar y profundizar acerca de los estudios micológicos de la funga regional de la Sierra Norte de Puebla para ampliar el panorama sobre los probables beneficios del consumo de hongos silvestres comestibles de la región mediante la evaluación de su potencial nutracéutico.

Como resultado de este trabajo se abordaron tres temáticas principales, mismas que se distribuyen en los capítulos 3, 4 y 5.

En el capítulo 3, «Exploración etnomicológica en los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla», se presentan los resultados de la exploración etnomicológica donde se identificaron 19 especies de hongos silvestres comestibles, haciendo énfasis en las especies mayormente reportadas por las «hongueras», así como el uso gastronómico que se les da.

En el capítulo 4, «Perfil mineral de hongos silvestres comestibles de la Sierra Norte de Puebla, México», a partir de la determinación de composición elemental de hongos silvestres comestibles mediante Espectrometría de Masas con fuente de Plasma Acoplada Inductivamente (ICP-MS) se calculó el Índice de Riesgo a la Salud para siete elementos (Fe, Cu, Cr, Ag, Hg, As y Cd).

Finalmente, en el Capítulo 5, «Potencial nutricional y nutracéutico de hongos silvestres comestibles de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla», se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante por dos ensayos (ABTS y FRAP), el aporte calórico y contenido de β -glucanos.

1.1. Literatura citada

Álvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L.A., Martínez, N.R. & González-Aguilar, G.A. (2007). Total phenols and antioxidant activity of commercial and wild mushrooms from Chihuahua, Mexico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(5): 329-334. <https://doi.org/10.1080/11358120709487708>.

- Contreras-Cortés, L.E.U., Vázquez-García, A., & Ruan-Soto, F. (2018). Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia Fungorum*. 47: 47-55. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.47.1192>.
- González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R.M. & Burrola-Aguilar, C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia Fungorum*. 52: e1410. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>.
- Lemin, M., Vázquez, A. & Chacón, S. (2010). Etnomicología y comercialización de hongos en mercados de tres poblados del noreste del estado de Puebla, México. *Brenesia*. 73-74: 58-63.
- López-Vázquez, E., Prieto-García, F., Gayosso-Canales, M., Otazo-Sánchez, E.M. & Villagómez-Ibarra, J.R. (2017). Phenolic acids, flavonoids, ascorbic acid, β -glucans and antioxidant activity in mexican wild edible mushrooms. *Italian Journal of Food Science*, 29(4): 766-774. <https://doi.org/10.14674/IJFS-838>.
- Martínez-Alfaro, M.A., Pérez-Silva, E. & Aguirre-Acosta, E. (1983). Etnomicología y exploraciones micológicas en la Sierra Norte de Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*. 18: 51-63. <https://doi.org/10.33885/sf.1983.2.574>.
- Moctezuma-Pérez, I., Martínez-García, M., Campos-Contreras, J.E., Rivera-Yáñez, N., Juárez-Contreras, A., Hernández-Portilla, L.B., Flores-Ortiz, C.M., Hernández-Hernández, A.B., Martínez-Elizalde, K.S., Rodríguez, M.G., Rivera-Yáñez, C.R., Rodríguez-Monroy, M.A. & Canales-Martínez, M.M. (2017). Propiedades Nutracéuticas de *Morchella vulgaris* (Pers.) Boud. *Interciencia*, 42(7): 423-429. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33952188004>.
- Molina-Castillo, S., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Gastronomic diversity of wild edible mushrooms in the Mexican cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 31: 100652. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100652>.
- Pérez-Moreno, J., Guerin-Laguette, A., Rinaldi, A.C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F. & Martínez-Reyes, M. (2021). Edible mycorrhizal fungi of the world: What is their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change?. *Plants, People, Planet*, 3:471–490. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10199>.
- Sarikurkcü, C., Popović-Djordjević, J. & Solak, M.H. (2020). Wild edible mushrooms from Mediterranean region: Metal concentrations and health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 190: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110058>.
- The Hunger Project. México. (2022). Datos de Hambre y Pobreza. Consultado en: <https://thp.org.mx/mas-informacion/datos-de-hambre-y-pobreza/>.
- Yahia, E.M., Gutiérrez-Orozco, F. & Moreno-Pérez, M.A. (2017). Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 226: 14–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.044>.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Hongos Silvestres Comestibles

Se estima que a nivel mundial pueden existir de 2.2 hasta 165.6 millones de diferentes especies pertenecientes al reino Fungi, de las cuales, aproximadamente, 151 000 han sido identificadas (Dekvota et al., 2023); de éstas, se han reportado 2 300 hongos como comestibles o medicinales (Martínez-Medina et al., 2021). Por otra parte, se estima que México alberga más de 200 000 especies, aunque otros cálculos demuestran que la diversidad fúngica nacional se encuentra entre 90 000 y 110 000 especies. De éstas, el 10 % corresponderían a los macrohongos (Aguirre-Acosta et al., 2014) y se han identificado al menos 450 especies comestibles (González-Morales et al., 2021). Los hongos son esenciales para los ecosistemas y están presentes en una gran variedad de ambientes, particularmente en la época de lluvias, ya sea descomponiendo la materia orgánica, como parásitos de árboles o incluso en simbiosis con otras especies vegetales (Kour, et al., 2022).

El consumo de hongos tiene una historia que se remonta a 6 000 años atrás. Sin embargo, a diferencia de las plantas y los animales, han sido menos estudiados en su relación con los seres humanos. Los hongos comestibles tienen una importancia tal en la historia, que los romanos se referían a ellos como «alimento de los dioses» y los chinos los consideraban el «elixir de la vida». Actualmente los hongos silvestres comestibles son uno de los principales productos forestales, siendo recolectados en más de 80 países (Sarikurkcu et al., 2020). Los hongos silvestres comestibles tienen la particularidad de mejorar el sabor de los alimentos, además de aportan nutrientes y pocas grasas; en comparación con las hortalizas, tienen la ventaja de crecer en lugares deshabitados y relativamente sin perturbar, por lo que se les considera un alimento saludable, y con propiedades funcionales (Dimitrijevic et al., 2019).

Después de China, México es el país con mayor diversidad de hongos silvestres comestibles, teniendo una gran importancia para los pueblos indígenas y comunidades rurales debido a su presencia histórica en la alimentación (Molina-Castillo et al., 2023). Es gracias a sus características, tales como aroma y sabor; sus beneficios nutricionales; propiedades medicinales; las altas concentraciones de proteína, fibra, aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos; y los bajos contenidos de compuestos lipídicos que los hongos silvestres comestibles tienen una gran importancia comercial, culinaria y alimenticia (Rugolo et al., 2022). Muchos de estos hongos poseen actividad anticancerígena, antidiabética, antihipertensiva, antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, inmunomodulatoria, hipocolesterolémicas, neuroprotectoras, entre otras, por lo que los hongos comestibles se consideran como alimentos funcionales. Estos productos son tan importantes que se estima que en 2023 el valor del mercado global de los hongos comestibles alcanzará los 62 mil 190 millones de dólares (Niego et al., 2021).

En México, numerosos hongos son utilizados tanto para autoconsumo como para su comercialización, y representan un ingreso económico adicional (Ruan-Soto, 2018). Desde tiempos prehispánicos, ha existido una estrecha relación entre la funga y la sociedad, por lo que etnomicología, que estudia el conocimiento tradicional y las interacciones culturales y/o ambientales entre los hongos y el hombre, cobra relevancia al explorar la importancia de estos organismos, ya sea desde el uso alimenticio, hasta por las aplicaciones rituales o medicinales (Montoya et al., 2019). No obstante, la importancia de los hongos en la dieta, poco se ha estudiado sobre los compuestos bioactivos de la funga nacional. De acuerdo con González-Morales et al. (2021), se ha investigado un conjunto limitado de especies, entre las que se incluyen: *Agaricus* sp., *Boletus* sp., *Macrolepiota* sp., *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Ramaria* sp., *Hygrophorus sordidus*, *Agaricus arvensis*, *B. frostii*, *R. flava*, *Lycoperdon perlatum*, *B. luridus*, *Hypomyces lactiflorum*, *B. edulis*, *Lactarius indigo*, *Morchella vulgaris*, *A. rubescens*, *Flammulina mexicana*, *Floccularia* aff. *luteovirens*, *Gyromitra* sp., *Morchella* sp. y *Turbinellus floccosus*. Este conjunto representa únicamente el 4.8 % de las especies consumidas, subrayando la necesidad de una investigación más exhaustiva en este ámbito.

La zona de estudio dentro de la Sierra Norte Puebla es una región con clima templado húmedo a subhúmedo, con una temperatura media anual que oscila entre 12 y 16 °C y una precipitación pluvial total anual que varía de 1 000 a 1 200 mm. En este territorio se desarrollan bosques de pino-encino y encino, aunque de manera fraccionada, estas condiciones proporcionan un entorno óptimo para el desarrollo de la funga local. A pesar de la riqueza fúngica de la región y de la tradición de consumo de estos alimentos sólo se han reportado tres investigaciones etnomicológicas de la región, la primera en 1983 por Martínez-Alfaro y colaboradores donde se reportaron 84 taxas en 13 comunidades; posteriormente Lemin *et al.* exploraron tres mercados en 2010 (Tlatlauquitepec, Zaragoza y Zacapoaxtla) e identificaron 22 especies; finalmente, en 2018 Contreras-Cortés *et al.* registraron 21 especies en el mercado de Zaragoza, Puebla.

Como resultado de este trabajo, que se llevó a cabo durante los años 2021 y 2022, y que consistió en identificar los hongos silvestres comestibles, en los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla, se encontraron las siguientes especies:

***Amanita jacksonii* Pomerl. (1984)**

Esta especie se considera dentro del complejo de *A. caesarea*; tiene un sombrero rojo, liso con orillas estriadas; y se le puede encontrar sobre los residuos (hojarasca) en bosques de pino-encino (CONABIO, 2023). Cuando está en estado juvenil tiene una forma ovoide que se abre al madurar, se considera que tiene un sabor dulce con aroma suave y agradable, por lo que su consumo está muy extendido (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023). Este hongo es llamado *Yema*, *Tecomate* o *Cozahuitl* en la zona de trabajo (Figura 1).



Figura 1. *Amanita jacksonii*.

***Clavulina coralloides* (L.) J. Schröt. (1889)**

Este es un hongo conocido como *Escobetilla* en la región de estudio, sin embargo, también se le conoce como *Patatas de pájaro* o *Coral blanco* en otras regiones del país (Figura 2). Para esta especie se tienen las siguientes sinonimias: *Ramaria cristata*, *Clavaria coralloides* o *Clavulina cristata* (CONABIO, 2023). Este es un hongo terrestre de hasta 8 cm de altura, con forma de coral muy ramificado, de color blanco crema, con puntas crestadas en las ramas y que se encuentra principalmente durante el verano y el otoño asociado a raíces de coníferas, por lo que se considera un hongo micorrízico; éste se considera un hongo nativo del país, aunque también tiene una amplia distribución cosmopolita (Vieira-Ribeiro, 2020). Aunque se considera un hongo sin un olor o sabor característico, esta especie es ampliamente comercializada en la región de estudio, siendo posiblemente (junto con *Ramaria stricta*) las especies de mayor presencia en los mercados tradicionales visitados.



Figura 2. *Clavulina coralloides*.

***Helvella lacunosa* Afzel. (1783)**

Este hongo ectomicorrízico es considerado de forma rara, ya que el sombrero presenta 2 ó 3 lóbulos de color negro con forma de mitra o silla de montar y pie costillado y se encuentra en bosques caducifolios y de coníferas, además de requerir mucha humedad (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023). Este hongo tiene grandes cavidades en su interior, puede medir hasta 10 cm de alto y 3 cm de diámetro, teniendo una forma cilíndrica; se considera que esta especie puede tratarse realmente de *Helvella jocatoi* (UNAM-IB, 2023). Esta especie tiene un gran número de nombres comunes tales como *Gachupín negro*, *Hongo chipotle*, *Hongo de carbón* entre otros, sin embargo, en la región estudiada se le conoce como *Panza* (Figura 3). Se destaca que, según los informes, para que este hongo sea apto para el consumo, se requiere una cocción prolongada (aproximadamente 1 hora) ya que crudo o con cocción incompleta puede presentar toxicidad (CONABIO, 2023).



Figura 3. *Helvella lacunosa*.

***Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul. (1860)**

Se conoce comúnmente como *Enchilado*, *Chichilnanacatl* o *Xintazcal*. Se trata de hongo parasitario que ataca principalmente a *Russula brevipes*, provocando un cambio de color de blanco a anaranjado rojizo, incluso modifica el sabor brindando un toque distintivo a mariscos, de igual manera cambia la forma del hongo hospedero tornándolo liso y con protuberancias (UNAM – IB, 2023). Esta especie es bastante similar a *Hypomyces macrosporus*, salvo que está última es de color marrón, por lo que es difícil que sean confundidas (Figura 4). Es de amplia distribución dentro de los mercados visitados.



Figura 4. *Hypomyces lactifluorum*.

***Imperator torosus* (Fr.) Assyov, Bellanger, Bertéa, Courtec., Koller, Loizides, G.Marques, J.A.Muñoz, N.Oppicelli, D.Puddu, F.Rich. & P.-A.Moreau (2015)**

Esta especie (Figura 5) es de gran tamaño y peso, su sombrero puede llegar a medir hasta 20 cm de diámetro, tiene forma hemisférica con colores que van de amarillo a marrón, conforme madura; su tallo puede medir hasta 15 cm y un diámetro máximo de 6 cm, además de tener una textura pegajosa en condiciones de mucha humedad (Picture Mushroom, 2023). En ocasiones, se confunde comercialmente con *Boletus edulis*, por lo que ambos se conocen como *Chipo de toro* o simplemente *Chipo*. Se reporta que es tóxico por lo cual su consumo no debe ser en crudo (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023).



Figura 5. *Imperator torosus*.

***Infundibulicybe squamulosa* (Pers.) Harmaja (2003)**

Esta especie se conoce en la zona de estudio como *Cueritos* o *Tlalixtla* (Figura 6); posee un sombrero, de forma convexa, que puede llegar a medir hasta 8 cm de diámetro, tiene una textura lisa, color marrón canela, con láminas de color blanquecino a pardo, además de un pie de hasta 10 cm de largo (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023). Se considera que tiene una textura firme pero suave, con un sabor único y rico en nutrientes (Guo et al., 2022). Según la CONABIO (2023) se trata de un hongo nativo.



Figura 6. *Infundibulicybe squamulosa*.

***Lactarius indigo* (Schwein) Fr. (1838)**

En la Figura 7 se muestra esta especie, es un hongo micorrízico de amplia distribución mundial, normalmente se localiza en bosques caducifolios y de coníferas, se encuentra asociado a robles y pinos; se trata de una especie de color azul oscuro a gris azulado con un tamaño que llega a 15 cm de diámetro en el sombrero, y con un pie de hasta 8 cm de longitud y 2.5 cm de grosor (CONABIO, 2023). Este hongo, conocido como *Azul* o *Quexque*, es ampliamente consumido y tiene una demanda muy alta (UNAM – IB, 2023).



Figura 7. *Lactarius indigo*.

***Lactifluus gerardii* (Peck) Kuntze (1891)**

Es un hongo micorrízico normalmente asociado a robles y coníferas, con una amplia distribución, su sombrero es convexo con un punto en el centro y puede ir de los 3 a 10 cm de diámetro (Figura 8), su color tiende a ser de café amarillento a café grisáceo, tiene láminas blancas, firmes y separadas; el tallo es de 3 a 8 cm de largo y de 1 a 2.5 cm de ancho; y con un aroma no distintivo (Kuo, 2011). Esta especie también se ha reportado como *Lactarius gerardii* y se le considera nativa en México (CONABIO, 2023).



Figura 8. *Lactifluus gerardii*.

***Pholiota terrestris* Overh. (1924)**

Es el único hongo del género *Pholiota* de amplia distribución y que se desarrolla de manera gregaria. Se reporta que su hábitat incluye suelos boscosos o áreas con presencia de madera ya que es saprobio (Kuo, 2005). Sin embargo, en la zona de estudio se documentó que las colectoras lo encuentran en peñascos; su sombrero, de forma convexa, puede medir hasta 8 cm de diámetro, tiene un color café amarillento y un pie de 8 cm de largo y 1 cm de diámetro, aunque se encontraron ejemplares que superaron esas dimensiones (Figura 9). Según el sitio en línea “Picture Mushroom”, se considera moderadamente tóxico, es de amplia comercialización y alto valor en los mercados visitados. Este hongo es conocido como Pechuga, y debido a la dureza del hongo, se recomienda someterlo a un largo periodo de cocción.



Figura 9. *Pholiota terrestris*.

***Ramaria stricta* (Pers.) Quél. (1888)**

Este hongo es conocido como *Escobetilla* o *Patas de pájaro*, comparte similitudes con *C. coralloides*, incluso puede ser confundido con esta especie hasta el punto de ser comercializadas de manera conjunta (Figura 10). Este hongo es el de menor tamaño del género *Ramaria*, con dimensiones que oscilan entre 4 y 10 cm de alto y

de 3 a 8 cm de ancho, es de forma coraloide con muchas ramificaciones que terminan con bifurcaciones, de tronco amarillento y con olor débil, agradable y sabor amargo. (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023). Esta especie es de distribución cosmopolita, y tiene un comportamiento saprófito que se alimenta de residuos de coníferas (Krupodorova & Sevindik, 2020). Aunque se ha reportado como una especie sin interés alimenticio, esta especie se comercializaba ampliamente en los mercados visitados.



Figura 10. *Ramaria stricta*.

***Russula brevipes* Peck (1890)**

Este hongo es conocido como *Borrego*, aunque también se le ha reportado como *Oconanacatl* o *Iztaknanacatl*. Su sombrero puede llegar a medir hasta 30 cm de diámetro de color blanco amarillento, el pie es cilíndrico pero corto puesto que llega a medir 3.8 cm de largo y 4 cm de grosor (CONABIO, 2023). Esta especie se encuentra asociada a *Abies religiosa* en bosques templados, normalmente semienterrado en la hojarasca (Figura 11). El borrego es un hongo ampliamente conocido por las comunidades aledañas a los bosques donde se desarrolla, por lo que se consume regularmente teniéndose una amplia diversidad de platillos y formas de ingerirlos (UNAM – IB, 2023).



Figura 11. *Russula brevipes*.

***Tricholoma equestre* (L.) P. Kumm. (1871)**

En la Figura 12 se muestra esta especie conocida comúnmente como *Sombrero*, aunque también se le ha reportado como *Canario*, *Palomita* o *Yema de huevo* (CONABIO, 2023). Se trata de un hongo cosmopolita, y de crecimiento gregario en bosques de coníferas especialmente asociado a *Pinus*, y en otros casos a *Abies* y *Picea*; tiene sombrero campanulado de 3 hasta 18 cm de diámetro de color amarillo a marrón, además de un tallo de 3 a 10 cm de largo y de 8 a 30 mm de diámetro (UNAM – IB, 2023). Es un hongo consumido ampliamente, aunque se ha reportado como tóxico no se puede asegurar de que efectivamente se trataba de *T. equestre* (Asociación Cultural “Baxauri”, 2023).



Figura 12. *Tricholoma equestre*.

Otras especies

En este trabajo también se identificaron otras especies en menor cantidad y que según sus características morfológicas corresponden a: *Cantharellus cibarius* Fr., *Lepista* sp., *Hypomyces chrysospermus* Tul. & C.Tul., *H. macrosporus* Seaver, *Lactarius* sp., *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm., *Hygrophoropsis aurantiaca* (Wulfen) Marie; además existen reportes por parte de Contreras-Cortés et al. (2018) y Lemín et al. (2010) de *Agaricus sylvaticus* Schaeff., *Amanita muscaria* (L.) Lam., *Boletus edulis* Bull., *Clitocybe gibba* (Pers.) P. Kumm., *Entoloma abortivum* (Berk. & M.A. Curtis) Donk, *Gyromitra infula* (Schaeff.) Quél., *Helvella crispa* Bull., *Helvella infula* Fr., *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke, *Lactarius salmonicolor* R. Heim & Leclair, *Lepista nuda* (Bull.) Cooke, *Lycoperdon perlatum* Pers. y *Ustilago maydis* D. C. Cord. en la misma región. Lo anterior brinda un panorama de la amplia riqueza de la funga regional.

2.1.2. Composición Mineral de los Hongos

Desde el punto de vista nutricional, la ingesta adecuada de diferentes elementos es indispensables para el correcto funcionamiento del cuerpo. Algunos elementos como, como el cobre, selenio y zinc; son necesarios en cantidades pequeñas, y tanto el exceso como la deficiencia de estos elementos pueden llevar a problemas médicos. Por otra parte, también hay elementos no esenciales, especialmente metales y metaloides como cromo, mercurio, cadmio o arsénico que pueden ingerirse mediante el consumo de alimentos, y aunque no tienen una función esencial, pueden ser tóxicos, aún en bajas concentraciones. Es por lo anterior que se han hecho estudios sobre la composición elemental en hongos, particularmente enfocados en elementos tóxicos, sobre todo en China, Polonia y Turquía (Barea-Sepúlveda *et al.*, 2021). Algunas investigaciones han señalado que la concentración de elementos tóxicos (Pb, Cd, Hg y As) es mayor en hongos que en cultivos hortofrutícolas, lo cual es un riesgo a la salud si estos elementos se encuentran en altas cantidades y la ingesta es frecuente (Liu *et al.*, 2021). La captura de metales y otros elementos depende, además de los factores ambientales, de grupos funcionales como fosfato, carboxil y amino (Domínguez-Zúñiga *et al.*, 2021). Es esencial comprender estos aspectos para evaluar la seguridad alimentaria y los posibles riesgos asociados con el consumo de hongos, especialmente en regiones donde se ha observado una mayor acumulación de elementos tóxicos.

El análisis elemental en hongos silvestres tiene algunas limitantes como la especificidad del sitio de colecta y la etapa de desarrollo de los especímenes a analizar, estos factores impiden obtener resultados representativos para las diferentes especies; por lo que se debe tener en cuenta que la acumulación de elementos depende de la especie, siendo así, más que un indicativo taxonómico, un indicador de bienestar ambiental (Niedzielski *et al.*, 2023). Debido a lo anterior, los hongos tienen el potencial de presentar una herramienta con la que se puede evaluar cambios ambientales (Siwulski *et al.*, 2020). Acompañando al análisis de concentración mineral se debe calcular el potencial riesgo a la salud que puede representar el consumo frecuente de estos hongos (Fu *et al.*, 2020).

Una de las metodologías para análisis elemental que recientemente ha tomado mayor relevancia es la Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), presentada en 1980 por Houk y colaboradores, empleando un espectrómetro de masas basado en un cuadrupolo acoplado a una fuente de plasma a presión normal; sin embargo, gracias a los avances tecnológicos se han desarrollado equipos con mayor resolución y sensibilidad; teniéndose así una alta productividad, mayor sensibilidad, precisión y exactitud en los análisis, además es posible analizar hasta 70 elementos con una sola lectura. Este método tiene una gran versatilidad de campos de aplicación, incluyendo el sector alimenticio (Ríos-Lugo & Hernández-Mendoza).

2.1.3. Composición Química

Los hongos comestibles, al igual que todo ser vivo, está conformado por compuestos bioquímicos, tales como carbohidratos (triosas, quitosanos, β -carotenos, entre otros), proteínas (lectinas), ácidos grasos (ácidos linoleico, oleico y palmítico), compuestos fenólicos (ácidos cafeico, gálico y cinámico, hidroxibenzoico, coumárico y protocatecuico; además de melatonina), compuestos derivados del indol (L-triptófano y 5-hidroxi-L-triptófano), vitaminas (B, C y tocoferoles), terpenoides (β -caroteno y licopeno) y compuestos como ergotioneina y glutatión (Martínez-Medina *et al.*, 2021).

Como se ha mencionado anteriormente, los compuestos bioactivos presentes en los hongos comestibles los posicionan como alimentos funcionales ya que dichos compuestos previenen enfermedades, tales como diabetes, hipercolesterolemia y diferentes tipos de cáncer, aunque no ayuden en su cura o tratamiento (Fu *et al.*, 2020; Dimitrijevic *et al.*, 2019). Dentro los principales compuestos bioactivos de los hongos están los compuestos fenólicos, los cuales han sido analizados en una gran variedad de especies, aunque en México este tipo de análisis se limita a 22 especies (Bahadori *et al.*, 2019; González-Morales *et al.*, 2021).

Respecto a compuestos nitrogenados no proteicos se encuentran ácidos nucleicos, aminoácidos y quitina; algunos aminoácidos están relacionados con el sabor de los hongos comestibles, además, la alanina, el triptófano y la glicina tienen una relación sinérgica con ciertas vitaminas como la E y la C, las cuales tienen propiedades antioxidantes (Irshad *et al.* 2023). Por otra parte, la quitina es un polisacárido estructural de la pared celular, con cadenas, de longitud variable dependiendo de cada especie, el 2-(acetilamino)-2-deoxi-D-glucosa se considera como fibra dietética, por lo que se considera como un compuesto benéfico y deseable en estos alimentos (Falandysz, 2021).

No obstante lo anterior, cada especie tiene su composición particular de compuestos antioxidantes, los cuales pueden ser fenólicos, glucanos, tocoferoles, carotenoides, ergotioneína y ácido ascórbico.

- Los compuestos fenólicos son compuestos aromáticos hidroxilados con uno o más grupos hidroxilos y uno o más anillos aromáticos. Estos compuestos promueven la producción de otras moléculas antioxidantes, además de tener actividad antioxidante por sí mismos, además de secuestrar oxígeno, inactivar metales y descomponer peróxidos. Dentro de estos compuestos se encuentran ácidos fenólicos, hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos; lignanos, taninos, entre otros. Cabe destacar que estos compuestos se encuentran en todos los hongos.
- Los glucanos son homopolisacáridos de D-glucosa unidos por enlaces glicosídicos, su clasificación en α y β responde al tipo de enlace; los α -glucanos son principalmente moléculas de reserva (almidón, glucógeno o dextrano), mientras que los β -glucanos son moléculas formadas por D-glucosa unidas entre sí por enlaces 1-3 glicosídicos con ramificaciones 1-6. Dependiendo la estructura central de los β -glucanos, los tipos de enlace, grado de ramificación, peso molecular y conformación, se tendrán diferentes propiedades fisicoquímicas. Los β -glucanos son indispensables en la pared celular y varían en sus características dependiendo de cada especie de hongo.

- El ácido L-ascórbico (vitamina C) ha sido encontrado en muchas especies de hongos.
- Los tocoferoles, mejor conocidos como Vitamina E, son un conjunto de ocho compuestos (α -, β -, γ - y δ -tocoferol, además de tocotrienoles) que son los que tienen mayor actividad biológica y se encuentran dentro de las membranas celulares. Estos compuestos se han encontrado en la mayoría de los hongos.
- El β -caroteno y el licopeno son carotenoides que actúan como pigmentos naturales; el β -caroteno además es precursor de la vitamina A, mientras que el licopeno es un isómero acíclico del antes mencionado con una potente actividad antioxidante. Estos compuestos se han encontrado en abundancia en algunas especies fúngicas.
- El ergosterol, precursor de la vitamina D, es otro compuesto encontrado en una gran cantidad de especies fúngicas, que al exponerse a radiación UV se convierte en ergocalciferol (vitamina D₂), siendo la única fuente de vitamina D para aquellos que no consumen productos animales.

(Sánchez, 2017).

Respecto a los polisacáridos presentes en los hongos (glucanos, heteroglicanos y complejos proteína polisacáridos) han demostrado ser de gran importancia médica en la prevención de cáncer y otras enfermedades autoinmunes (Maity *et al.*, 2021). Específicamente los β -glucanos han mostrado actividad antitumoral, además de tener un efecto prebiótico y reducción en niveles de colesterol (Kozarski *et al.*, 2023).

En diferentes trabajos realizados en México se han aislado ergosterol y peróxido de ergosterol, además de evaluar su utilidad contra diferentes parásitos humanos. Respecto a hongos comestibles, medicinales y/o rituales se han identificado compuestos como D-manitol, 1,4-dimetoxi-2-nitro-3,5,6-tricloro-benceno, psilocibina, quitina, quitosano, fucosa, 3-octanona, 3-octanol, cerevisterol, 3 β ,5 α ,6 β ,9 α -tetrahidroxiergosta-7,22-dieno y 3 β ,5 α ,9 α -trihidroxiergosta-7,22-dien-6-ona, entre otros en diferentes especies (Suárez-Medellín *et al.*, 2018).

Para evaluar la capacidad antioxidante se puede partir de cuantificar los compuestos fenólicos totales con el reactivo Folin-Ciocalteu que contiene iones poliméricos complejos que se formaron a partir de heteropoliácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico, para posteriormente medir la absorbancia del complejo molibdeno-tungsteno formado por la reacción redox de los fenolatos con el reactivo, y el resultado se expresa en equivalente de ácido gálico. Por otra parte, para la actividad antioxidante se emplean diferentes mecanismos, como la actividad antirradical de un extracto a través de la decoloración de radicales ABTS [2,2'-zino-bis(ácido 3-benzothiazolina-6-sulfónico)] debido a la presencia de antioxidantes; o el potencial reductor de Fe^{3+} a Fe^{2+} del mismo extracto (Bahadori *et al.*, 2019; Dimitrijevic *et al.*, 2019).

Por otra parte, para la extracción de β -glucanos se han explorado diferentes métodos como el método tradicional a través de purificación de diferentes fracciones, el método asistido por ultrasonido, método asistido por microondas, la extracción asistida por enzimas o la extracción con agua subcrítica (Gong *et al.*, 2020); y para estos métodos se puede usar un tratamiento acuoso o con un proceso alcalino, particularmente usando NaOH (Pérez-Bassart *et al.*, 2023). Según Díaz-Talamantes *et al.* (2021) se tienen mejores resultados con la extracción alcalina, y no hay una diferencia entre hongos recolectados y cultivados *in vitro*.

McCleary & Draga (2016), propusieron una nueva metodología para la cuantificación de β -glucanos, usando un método indirecto a través de la determinación de glucanos totales y α -glucanos, empleando una hidrólisis ácida con H_2SO_4 para después agregarse un reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa. Los α -glucanos se obtuvieron a partir de una hidrólisis del almidón/glicógeno con ayuda de enzimas (glucoamilasa e invertasa) y usando el reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa. Finalmente, los β -glucanos se obtienen por la diferencia de los valores obtenidos.

lluvias todo el año (Cf) y cálido subhúmedo con lluvias todo el año (Aw). Respecto a la hidrografía del municipio, hay tres ríos principales: Huichautla, el Hueyteco y, el río principal, el Hueyateno o Tepetitlán (EcuRed, s.f.).

Situación demográfica

Se tiene registro que para el año 2020 se tenía una población de 57,887 habitantes, siendo la mayor parte mujeres (53.1 %); por otra parte, la población mayor a 19 años representa el 60.57 %. 17,769 personas mayores a 3 años (alrededor del 30.7 %) habla una lengua indígena, la más hablada es el náhuatl (17,485 hablantes) y en menor medida el totonaco (266) y el mixteco (18). En referencia al empleo, con los datos a nivel estatal, se estima que el 71.3 % de las personas empleadas laboran en un trabajo informal. De las 14,800 viviendas registradas alrededor del 32 % tienen mujeres como jefas del hogar.

Respecto a la escolaridad, de las personas con estudios y mayores a 15 años, el 35.4 % tiene la primaria como máximo grado de estudios, el 28.4 % llegó a la secundaria y el 19.5 % tiene estudios de preparatoria o bachillerato general; no obstante, la tasa de analfabetismo en el municipio es del 10.4 %, siendo las mujeres el 66.8 % de este sector de la población.

Finalmente, respecto a las actividades económicas, el censo económico de 2019 indicó que se tuvieron ingresos por 1,208 millones de pesos (63.0 % de los ingresos totales) por comercio al menor, el 15.2 % se debió al comercio al por mayor y 107 millones de pesos (5.57 %) por servicios de alojamiento y de preparación de alimentos y bebidas (normalmente asociados al flujo de turistas), por otra parte cabe destacar que 1.42 millones de pesos ingresaron por actividades agropecuarias y de aprovechamiento forestal. Sin embargo, el 54.6 % de las personas de Zacapoaxtla viven bajo condiciones de pobreza moderada mientras que el 19.5 % se encuentran en pobreza extrema (Data México, 2023).

2.2.2. Zaragoza, Puebla

Este municipio, como población prehispánica, tenía el nombre de *Tlalcuechahuayan*, que proviene de las palabras en náhuatl *talla*, tierra, *chautl*, llover y *yan*, lugar, dando como significado «lugar donde llueve». El nombre de Zaragoza fue dado posteriormente por los fundadores de la población, la familia Rueda y Mondragón Márquez, originarios de Zaragoza, España (Martínez-Morales, 2023).

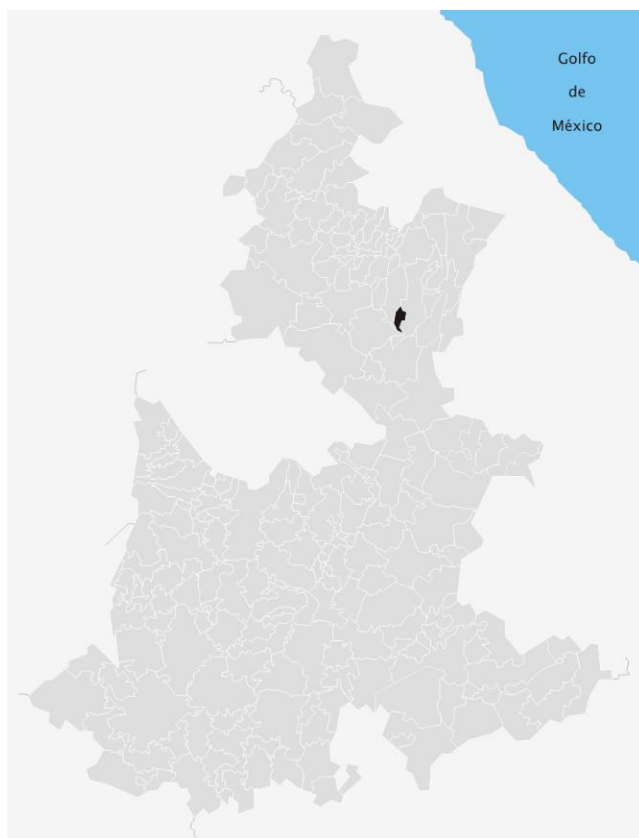


Figura 14. Ubicación del municipio de Zaragoza, Puebla.
Imagen obtenida de Wikipedia.

Este municipio (Figura 14) se localiza en la parte noreste del estado, con una superficie de 51.03 km², y está comprendido entre las coordenadas geográficas 19° 43' 18" y 19° 49' 54" latitud norte, y 97° 32' 36" y 97° 35' 42" de longitud oeste, a una altitud entre 1,989 y 2,600 msnm (Municipios Mx, s.f.).

Condiciones geográficas

Zaragoza pertenece a dos regiones orográficas, la parte central y meridional forma parte de la Sierra Norte, la zona sur, al declive austral de la Sierra Norte, hacia la llanura costera del Golfo de México. La principal característica que presenta el municipio es su pendiente sur a norte, este irregular descenso es interrumpido por algunos cerros o lomas aisladas, como el cerro de la Pedrera. Por otro lado, los principales ríos del municipio son el río Acuaco que se origina al sur, el río Cuatlamingo y el río Jardín, además del Acueducto de la Barranca.

Las condiciones mencionadas propician climas templados teniéndose cuatro variaciones climáticas; clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano (Ce) (W2) en la zona montañosa del sureste; en la parte central del territorio municipal se tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw'); finalmente en una franja al norte de Zaragoza se tiene un clima templado húmedo con lluvias en verano (Cm) (Compuactual, 2019)

Situación demográfica

El municipio de Zaragoza en 2020 reportó una población total 16,752 habitantes, de los cuales el 53.7 % son mujeres; a su vez que el 63.22 % de los habitantes son mayores de 19 años. El 4.33 % de la población (725 personas) habla una lengua indígena, siendo la principal el Náhuatl con 674 hablantes y el Totonaco con 26, aunque también se reportan hablantes de Tsotsil, Chinanteco, Zapoteco y Maya. Con los datos a nivel de la entidad federativa, se estima que el 59.6 % pertenece a la Población económicamente activa con un 2.79 % de desocupación. Para este municipio se reporta que el 37.3 % de las 4,420 viviendas tienen mujeres como jefas de familia.

En este municipio se tiene una tasa de analfabetismo del 4.84 %, siendo la mayoría mujeres (69.4 %); no obstante, de la población de 15 años o más el 22.2 % tiene como grado máximo de estudios la primaria, el 25.5 % estudió la secundaria y el 24.0 % llegó a nivel preparatoria o bachillerato general; de igual manera el 20.6 % tiene estudios de licenciatura.

De los aproximadamente 590 millones de pesos que se generan en el municipio, el 67.3 % se generaron a través del comercio al por menor, 8.62 % por medio del comercio mayorista y el 6.40 % de las industrias manufactureras, siendo estas las principales actividades económicas; por otra parte, cabe destacar que las actividades agropecuarias no tienen registros de ingresos. Finalmente, pese a lo anterior el 52.2 % de la población se encuentra en condiciones de pobreza moderada mientras que un 9 % se encuentra en pobreza extrema. Las principales carencias sociales en Zaragoza son por seguridad social, accesos a servicios de salud y por acceso a la alimentación.

2.3. Literatura citada

Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., & Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: 76-81.

Alcántara-Ayala, I. & Borja-Baeza, R.C. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 53: 7-26. <https://www.researchgate.net/publication/26473305>.

Asociación Cultural “Baxauri” Kultur Elkartea (28 de Octubre de 2023). Fichas micológicas. <https://www.fichasmicologicas.com/>.

Bahadori, M.B., Sarikurkcü, C., Yalcin, O.U., Cengiz, M. & Gungor, H. (2019). Metal concentration, phenolics profiling, and antioxidant activity of two wild edible *Melanoleuca* mushrooms (*M. cognata* and *M. stridula*). *Microchemical Journal*, 150: 104172. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104172>.

Barea-Sepúlveda, M., Espada-Bellido, E., Ferreira-González, M., Benítez-Rodríguez, A., López-Castillo, J.G., Palma, M. & Barbero, G.F. (2021). Metal concentrations in *Lactarius* mushroom species collected from Southern Spain and Northern Morocco: Evaluation of health risks and benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 99: 103859. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103859>.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). EncicloVida. (28 de octubre de 2023). <https://enciclovida.mx/>.

Compuactual. (2019). *Zaragoza, Puebla*. Recuperado el 17 de marzo de 2023 de <http://www.zaragoza-puebla.com.mx/index.php?action=cap1#geo>

Contreras-Cortés, L.E.U., Vázquez-García, A., & Ruan-Soto, F. (2018). Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia Fungorum*. 47: 47-55. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.47.1192>.

Data México. (2023). Zacapoaxtla. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de <https://datamexico.org/es/profile/geo/zacapoaxtla>

Data México. (2023). Zaragoza. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de <https://datamexico.org/es/profile/geo/zaragoza-21211>

Dekvota, S., Fang, W., Arunachalam, K., Phyo, K.M.M. & Shakya, B. (2023). Systematic review of fungi, their diversity and role in ecosystem services from the Far Eastern Himalayan Landscape (FHL). *Heliyon* (9): e12756. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12756>.

Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar, C., Estrada-Zúñiga, M.E. & Zepeda-Gómez, C. (2021). Obtención de β -glucanos de esporomas silvestres y micelio *in vitro* de *Lycoperdon perlatum*. *Scientia Fungorum*, 52:e1409. <http://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1409>.

Dimitrijevic, M.V., Mitic, V.D., Nikolic, J.S., Djordjevic, A.S., Mutic, J.J., Jovanovic, V.P.S. & Stojanovic, G.S. (2019). First Report about Mineral Content, Fatty Acids Composition and Biological Activities of Four Wild Edible Mushrooms. *Chemistry & Biodiversity*, 16: e1800492. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800492>.

Domínguez-Zúñiga, L.I., Puente-Valenzuela, C.O., Estrada-Arellano, J.R., Aguirre-Acosta, E. & Aguillón-Gutiérrez, D.R. (2021). Concentración de metales pesados en hongos de la zona metropolitana de la Comarca Lagunera, México. *Scientia Fungorum* 52:e1389. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1389>.

EcuRed. (s.f.). Zacapoxtla. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de [https://www.ecured.cu/Zacapoxtla_\(México\)](https://www.ecured.cu/Zacapoxtla_(México))

Falandysz, J. (2021). Nutritional and Other Trace Elements and Their Associations in Raw King Bolete Mushrooms, *Boletus edulis*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19: 417. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010417>.

Fu, Z., Liu, G. & Wang, L. (2020). Assessment of potential human health risk of trace element in wild edible mushroom species collected from Yunnan Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:29218–29227. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09242-w>.

Gong, P., Wang, S., Liu, M., Chen, F., Yang, W., Chang, X., Liu, N., Zhao, Y., Wang, J. & Chen, X. (2020). Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: A mini-review. *Carbohydrate Research* 494: 108037. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108037>.

González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R.M. & Burrola-Aguilar, C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia Fungorum*. 52: e1410. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>.

Guo D, Lei J, Xu L, Cheng Y, Feng C, Meng J, Chang M & Geng X (2022) Two novel polysaccharides from *Clitocybe squamulosa*: their isolation, structures, and Bioactivities. *Frontiers in Nutrition*. 9: 934769. doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.934769>.

Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM – IB). (2023). Hongos Comestibles y Tóxicos de México. <https://hongoscomestiblesytoxicos.ib.unam.mx/fichas/Helvella%20lacunosa%20sl.html>.

Irshad, A., Tahir, A., Sharif, S., Khalid, A., Ali, S., Naz, A., Sadia, H. & Ameen, A. (2023). Determination of Nutritional and Biochemical Composition of Selected *Pleurotus* spp. *BioMed Research International*, 2023: 8150909. <https://doi.org/10.1155/2023/8150909>

Kour, H., Kour, D., Kour, S., Singh, S., Hashmi, S.A.J., Yadav, A.N., Kumar, K., Sharma, Y.P. & Ahluwalia, A.S. (2022). Bioactive compounds from mushrooms: Emerging bioresources of food and nutraceuticals. *Food Bioscience* 50: 102124. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102124>.

Kozarski, M., Klaus, A., van Griensven, L., Jakovljevic, D., Todorovic, N., Wan-Mohtar, W.A.A.Q.I. & Vunduk, J. (2023). Mushroom β -glucan and polyphenol formulations as natural immunity boosters and balancers: nature of the application. *Food Science and Human Wellness*, 12: 378-396. <http://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.040>.

Krupodorova, T. & Sevindik, M. (2020). Antioxidant potential and some mineral contents of wild edible mushroom *Ramaria stricta*. *AgroLife Scientific Journal* 9(1). <https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/579>.

Kuo, M. (2005). *Pholiota terrestris*. Consultado de MushroomExpert.Com el 30 de octubre de 2023 en https://www.mushroomexpert.com/pholiota_terrestris.html.

Kuo, M. (2011). *Lactarius gerardii*. Consultado de MushroomExpert.Com el 30 de octubre de 2023 en https://www.mushroomexpert.com/lactarius_gerardii.html.

Lemin, M., Vázquez, A. & Chacón, S. (2010). Etnomicología y comercialización de hongos en mercados de tres poblados del noreste del estado de Puebla, México. *Brenesia*. 73-74: 58-63.

Liu, S., Fu, Y., Shi, M., Wang, H. & Guo, J. (2021). Pollution level and risk assessment of lead, cadmium, mercury, and arsenic in edible mushrooms from Jilin Province, China. *Journal of Food Science*, 86: 3374–3383. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15849>.

Maity, P., Sen, I.K., Chakraborty, I., Mondal, S., Bar, H., Bhanja, S.K., Mandal, S. & Maity, G.N. (2021). Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 172: 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.081>.

Martínez-Alfaro, M.A., Pérez-Silva, E. & Aguirre-Acosta, E. (1983). Etnomicología y exploraciones micológicas en la Sierra Norte de Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*. 18: 51-63. <https://doi.org/10.33885/sf.1983.2.574>.

Martínez-Medina, G.A., Chávez-González, M.L., Verma, D.K., Prado-Barragán, L.A., Martínez-Hernández, J.L., Flores-Gallegos, A.C., Thakur, M., Srivastav, P.P. & Aguilar, C.N. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77: 104326. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104326>.

Martínez-Morales, R. (2023). Zaragoza. Auditoria Superior del Estado de Puebla. Recuperado el 17 de marzo de 2023 de <https://www.auditoriapuebla.gob.mx/sujetos-de-revision/cuentas-publicas/ayuntamientos/item/zaragoza>

McCleary, B.V. & Draga, A. (2016). Measurement of β -Glucan in Mushrooms and Mycelial Products. *Journal of AOAC International* 99(2). <https://doi.org/10.5740/jaoacint.15-0289>.

Molina-Castillo, S., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Gastronomic diversity of wild edible mushrooms in the Mexican cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 31: 100652. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100652>.

Montoya, A., Briones-Dumas, E., Núñez-López, R.A., Kong, A., Ortiz-Hernández, V. & Moreno-Fuentes, A. (2019). Los hongos conocidos por la comunidad Yuhmu de Ixtenco, Tlaxcala, México. *Scientia Fungorum*. 49: e1230. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1230>.

Municipios Mx. (s.f.). Zacapoaxtla. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de <http://www.municipios.mx/puebla/zacapoaxtla/>

Municipios Mx. (s.f.). Zaragoza. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de <http://www.municipios.mx/puebla/zaragoza/>

Navarro-Lara, E. (13 febrero 2023). Zacapoaxtla. Auditoria Superior del Estado de Puebla. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de <https://www.auditoriapuebla.gob.mx/sujetos-de-revision/informes/informes-individuales/itemlist/category/247-zacapoaxtla>.

Niedzielski, P., Szostek, M., Budka, A., Budzyńska, S., Siwulski, M., Proch, J., Kalač, P. & Mleczek, M. (2023). *Lactarius* and *Russula* mushroom genera – Similarities/differences in mineral composition within the *Russulaceae* family. *Journal of Food Composition and Analysis*. 115: 104970. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104970>.

Niego, A.G.; Rapior, S.; Thongklang, N.; Raspé, O.; Jaidee, W.; Lumyong, S. & Hyde, K.D. (2021). Macrofungi as a Nutraceutical Source: Promising Bioactive Compounds and Market Value. *Journal of Fungi*. 7: 397. <https://doi.org/10.3390/jof7050397>.

Pérez-Bassart, Z., Fabra, M.J., Martínez-Abad, A. & López-Rubio, A. (2023). Compositional differences of β -glucan-rich extracts from three relevant mushrooms obtained through a sequential extraction protocol. *Food Chemistry* 402: 134207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134207>.

Picture Mushroom. 2023. Consultado el 30 de octubre de 2023 en <https://picturemushroom.com/es/>.

Ríos-Lugo, M.J. & Hernández-Mendoza, H. (2020). Fundamentos teóricos de ICP-MS y su importancia en el análisis de elementos tóxicos en agua subterránea. *Glosa, Revista de Divulgación*. 8(14): 4-15. ISSN: 2448-766X.

Ruan-Soto, F. (2018). Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas, México. *Scientia Fungorum*. 48: 1-13. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1179>.

Rugolo, M., Spréa, R.M., Dias, M.I., Pires, T.C.S.P., Añibarro-Ortega, M., Barroetaveña, C., Caleja, C. & Barros, L. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Properties of Wild Edible Mushrooms from Native *Nothofagus* Patagonian Forests. *Foods* 11: 3516. <https://doi.org/10.3390/foods11213516>.

Sánchez, C. (2017). Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 2: 13-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.synbio.2016.12.001>.

Sarikurkcü, C., Popović-Djordjević, J. & Solak, M.H. (2020). Wild edible mushrooms from Mediterranean region: Metal concentrations and health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 190: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110058>.

Siwulski, M., Budka, A., Rzymiski, P., Mleczek, P., Budzyńska, S., Gąsecka, M., Szostek, M., Kalač, P., Kuczyńska-Kippen, N., Niedzielski, P., Goliński, P., Magdziak, Z., Kaniuczak, J. & Mleczek, M. (2020). Multiannual monitoring (1974e2019) of rare earth elements in wild growing edible mushroom species in Polish forests. *Chemosphere* 257: 127173. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127173>.

Suárez-Medellín, J., Espinoza, C., Mendoza, G. & Trigos, A. (2018). Micoquímica en México: breve reseña histórica. *Scientia Fungorum*, 48: 99-111. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1215>.

Vieira-Ribeiro, J.P. (2020). Quantificação de biomoléculas e investigação de atividades biológicas do extrato e frações do cogumelo *Clavulina coralloides*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Centro de Biociências. Monografias de Graduação. <https://antigo.monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/11373>.

3. EXPLORACIÓN ETNOMICOLÓGICA EN LOS MERCADOS TRADICIONALES DE ZARAGOZA Y ZACAPOAXTLA, PUEBLA³

Resumen

En la Sierra Norte de Puebla, México, las exploraciones etnomicológicas revelan la presencia de 23 especies de hongos silvestres comestibles. Factores como la erosión cultural, el cambio climático, y los avances en los estudios taxonómicos, pueden modificar la información previamente existente. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la información sobre el número de especies de hongos utilizadas como comestibles, así como registrar sus formas de consumo. Durante 2021 y 2022 se exploraron los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla para aplicar encuestas a las colectoras de hongos, también conocidas como «hongueras», al igual que coleccionar ejemplares para su identificación y posterior análisis. Se identificaron 19 especies, siendo 10 de éstas nuevos registros para la zona y las cuales son: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Hypomyces chrysospermus*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius deliciosus*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta* y *Tricholoma equestre*; de igual manera se registraron seis formas de consumo: en chilpozonte, con carne, en caldo, con mole, frito y en tamal. Según los resultados, este estudio refuerza y contribuye al conocimiento etnomicológico de la región.

Palabras clave: Hongos silvestres comestibles, micofagia

³ Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Tonathiu Rescendiz Gutierrez

Director de Tesis: Dra. Diana Guerra Ramírez

ETHNOMYCOLOGICAL EXPLORATION IN TRADITIONAL MARKETS IN ZARAGOZA AND ZACAPOAXTLA, PUEBLA

Abstract

In Sierra Norte in Puebla, Mexico, the ethnomycological explorations had revealed the presence of 23 species of wild edible mushrooms. Due to factors as cultural erosion, climate change and advances in taxonomic studies could modify the previous information. It is because of the previous that the objective of this study was to actualize the information about the number of mushroom species used as food, as well as to register their consumption forms. In 2021 and 2022 the traditional markets of Zaragoza and Zacapoaxtla, Puebla were explored to apply surveys to the mushroom collectors, also known as “hongueras”, and collecting exemplars for their identification and future analysis. 19 species were identified, 10 of them being new registers in the zone, and which are: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Hypomyces chrysospermus*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius deliciosus*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta* and *Tricholoma equestre*; in the same way it was registered six consumption forms: in chilpozonte, with meat, in broth, with mole, fried and in tamal. According to the results, this study reinforces and contributes to the regional ethnomycological knowledge.

Keywords: Wild edible mushroom, mycophagy

3.1. Introducción

A nivel mundial se estima que el reino Fungi comprende al menos, entre 2.2 - 3.8 y hasta 165.6 millones de especies, de las cuales sólo se han clasificado alrededor de 151 000, lo que conlleva un reto enorme para la identificación de la funga global (Dekvota *et al.*, 2023). Por otra parte, México alberga alrededor del 10 % de la diversidad biológica del planeta por lo que se considera un país megadiverso; en lo que respecta a hongos, se estima que a nivel nacional existen 200 000 especies, aunque datos más conservadores indican que la presencia de 90 000 a 110 000. De éstos, el 10 % corresponde a los macrohongos (Aguirre-Acosta *et al.*, 2014). De acuerdo con Martínez-Medina *et al.* (2021) se han reportado 2 300 especies de hongos, ya sea como comestibles o medicinales.

Los hongos comestibles silvestres, contienen compuestos bioactivos, como polisacáridos, proteínas, polifenoles, terpenos, vitaminas y fibra dietética; este tipo de compuestos pueden aportar beneficios a la salud por tener propiedades

antioxidantes, antihipertensivas, antibacterianas, antiinflamatorias, hepatoprotectoras e inmunoreguladoras, entre otras. Además, estos beneficios se complementan con el sabor y textura que aportan como alimentos (Wei *et al.*, 2022). Los hongos silvestres comestibles, aparte de ser un valioso complemento a la dieta diaria, representan un ingreso económico adicional debido a que las «hongueras», los colectan, tanto para el autoconsumo como para comercializarlos en los mercados tradicionales (Ruan-Soto, 2018).

En México, desde tiempos prehispánicos, ha existido una estrecha relación entre la funga y la sociedad, por lo que la etnomicología toma importancia en el estudio de estos organismos dentro de la cultura, con el fin de preservar el patrimonio biocultural mexicano (Montoya *et al.*, 2019). Sin dejar de lado el uso ritual o medicinal, los hongos de mayor importancia para las comunidades son los comestibles. A pesar de que son considerados alimentos periféricos, dentro de la gastronomía mexicana, México es el segundo país en diversidad de especies de hongos silvestres comestibles los cuales, a través de la historia, han sido parte de la dieta de las poblaciones indígenas, así como de las comunidades rurales (Molina-Castillo *et al.*, 2023).

En la Sierra Norte de Puebla, las exploraciones etnomicológicas más relevantes se llevaron a cabo por Martínez-Alfaro *et al.* (1983), quienes identificaron 84 taxas en 12 localidades de los municipios de Cuetzalan, Atempan, Zacapoaxtla y Zaragoza en Puebla, y una localidad en Veracruz; por otra lado, Lemin *et al.* (2010), identificaron y documentaron el uso de 22 especies comercializadas en Tlatlauquitepec, Zaragoza y Zacapoaxtla; finalmente, Contreras-Cortés *et al.* (2018) identificaron 21 especies y recabaron información sobre las personas colectoras que comercializan hongos en el mercado de Zaragoza, Puebla. Factores como la erosión cultural, el cambio climático, y los avances en los estudios taxonómicos, pueden modificar la información previamente existente. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la información acerca de los hongos silvestres comestibles que se comercializan en los «tianguis» de los municipios de Zacapoaxtla y Zaragoza, Puebla.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Colecta de datos

Durante los meses de agosto y septiembre de 2021 y septiembre de 2022 se hicieron visitas exploratorias, a los mercados tradicionales en las cabeceras de los municipios de Zaragoza (19° 46' 16.41" N, 97° 26' 39.14" O) y Zacapoaxtla (19° 52' 21.07" N, 97° 35' 16.30" O), Puebla, México. La recopilación de la información etnomicológica asociada a las especies colectadas se obtuvo a través de 8 entrevistas abiertas y semiestructuradas dirigidas a las «hongueras» que ofrecen sus productos en dichos mercados. Las principales preguntas fueron: nombre común de los hongos comercializados, características de los sitios de colecta y forma de preparación para el consumo. La identificación de las especies se realizó a través de claves taxonómicas y comparando los hongos colectados con ejemplares de herbario resguardados en la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla.

3.3. Resultados y discusión

En las entrevistas y con la colecta correspondiente se identificaron 19 especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies identificadas y nombres comunes en la región.

Nombre científico	Nombre común	Nombre en Náhuatl
<i>Amanita jacksonii</i> Pomerl. (1984)	Yema, Tecomate	Cozahuitl
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm. (1871)		Xopitza
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr. (1821)	Gallitos	
<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt. (1889)	Escobetilla	Xilhua, Ixpahuatl
<i>Helvella lacunosa</i> Afzel. (1783)	Panza	
<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> (Wulfen) Marie (1921)	Duraznito	
<i>Hypomyces chrysospermus</i> Tul. & C.Tul. (1860)	Xintazcal blanco	

Cuadro 1. Especies identificadas y nombres comunes en la región (continuación).

Nombre científico	Nombre común	Nombre en Náhuatl
<i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul. (1860)	Enchilado	Xintazcal, Chiltaska
<i>Hypomyces macrosporus</i> Seaver (1910)	Xintazcal café	
<i>Imperator torosus</i> (Fr.) Assyov, Bellanger, Bertéa, Courtec., Koller, Loizides, G.Marques, J.A.Muñoz, N.Oppicelli, D.Puddu, F.Rich. & P.-A.Moreau (2015)	Chipo, Chipo de toro	
<i>Infundibulicybe squamulosa</i> (Pers.) Harmaja (2003)	Cuerito	
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray (1821)	Emol	
<i>Lactarius indigo</i> (Schwein) Fr. (1838)	Azul	Quexque
<i>Lactifluus gerardii</i> (Peck) Kuntze (1891)	Mantequilla, Mantecados	
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke (1871)	Majada	
<i>Pholiota terrestris</i> Overh. (1924)	Pechuga	
<i>Ramaria stricta</i> (Pers.) Qué. (1888)	Escobetilla	Xilhua, Ixpahuatl
<i>Russula brevipes</i> Peck (1890)	Borrego	Oconanacatl
<i>Tricholoma equestre</i> (L.) P. Kumm. (1871)	Sombrero	

De manera general se puede decir que los hongos silvestres comestibles son alimentos con una temporalidad muy marcada dada por la época de lluvias donde los recolectores, en su mayoría mujeres, obtienen estos hongos de los meses de junio a septiembre, siendo de alto valor y consumo durante esta breve época, complementando la dieta regular. En las entrevistas se reporta que en su totalidad estos hongos se colectan de las zonas forestales del área de estudio, normalmente asociados a encino (*Quercus* spp.), ocote (*Pinus* spp.) e ilite (*Alnus acuminata*).

Es indudable la importancia de los hongos silvestres comestibles estudiados puesto que son muy apreciados por la población, esto indicado por las personas entrevistadas, así como por lo observado durante el trabajo de campo. No obstante,

de las especies identificadas solamente nueve habían sido reportadas anteriormente, tanto en los trabajos de Lemin *et al.* (2010), así como el de Contreras-Cortés *et al.* (2018) hay coincidencia con *Armillaria mellea*, *Cantharellus cibarius*, *Helvella lacunosa*, *Hygrophoropsis aurantiaca*, *Hypomyces lactifluorum*, *H. macrosporus*, *Lactarius indigo*, *Lepista nuda* y *Russula brevipes*, aunque reportan otros nombres comunes para *H. lacunosa* siendo éstos: Oreja, orejita, oreja negra y oreja de Judas; mientras que *C. cibarius* es reportado como duraznillo, *H. aurantiaca* como enchilado y *L. nuda* como aguananacatl u hongo de agua; con respecto a la exploración de Martínez-Alfaro y colaboradores (1983) sólo se tiene coincidencia para *H. lactifluorum* donde la reportan con el nombre en náhuatl de «chichilnanacatl». Por otra parte, se tienen nombres comunes similares asociados a diferentes especies, tal como Chipote que se reporta como *Boletus edulis*; el Yema, Tecomate o Cozahuitl se reporta como *Amanita caesarea*; y Mantequilla, que fue identificado como *Ampulloclitocybe clavipes*.

En las ocho encuestas aplicadas, se recabaron 30 menciones de hongos, mismas que se clasifican de acuerdo con su frecuencia en el Cuadro 2; de igual manera, se identificaron seis categorías por uso alimentario, mismas que se muestran en el Cuadro 3, con sus frecuencias correspondientes.

Cuadro 2. Frecuencia de mención en las encuestas aplicadas a hongueras.

Especie	Frecuencia	Especie	Frecuencia
<i>A. jacksonii</i>	4	<i>L. deliciosus</i>	1
<i>A. mellea</i>	2	<i>L. indigo</i>	3
<i>C. coralloides</i>	1	<i>L. gerardii</i>	1
<i>H. lactifluorum</i>	2	<i>P. terrestris</i>	1
<i>H. macrosporus</i>	1	<i>R. stricta</i>	1
<i>I. torosus</i>	4	<i>R. brevipes</i>	3
<i>I. squamulosa</i>	2	Otros	4

En las encuestas aplicadas hay una mayor presencia de *A. jacksonii* e *I. torosus*, sin embargo, en la exploración se pudo apreciar que las especies más abundantes en ambos mercados visitados fueron *C. coralloides*, *R. stricta*, y *R. brevipes*. En el caso de *R. stricta* y *C. coralloides* se venden de manera indistinta como *Escobetillas*, lo que impide hacer una diferenciación precisa sobre la importancia y/o abundancia

de éstas; situación similar que sucede entre *I. torosus* y *B. edulis*. También se hallaron dos hongos a los que se pudo identificar taxonómicamente.

Cuadro 3. Categorías alimentarias y frecuencia.

Categoría	Frecuencia	Observaciones
Chilpozonte	14	Platillo típico de la región
Con carne	2	Frecuentemente cerdo
Mole	8	
Caldo	7	Con epazote y/u otros ingredientes
Frito	11	
Tamal	3	
Otros	5	Asado, en adobo y otras preparaciones

La adaptabilidad gastronómica de los hongos silvestres comestibles de la región permite que varias especies puedan ser consumidas de diferentes formas; de igual manera, se puede apreciar el valor cultural de los hongos, al ser un ingrediente de ocasión, muy apreciado e integrado al principal platillo regional, el chilpozonte, el cual tiene muchas variantes dentro de la región. De la misma manera se ven preparaciones populares para el consumo de hongos silvestres como lo es frito, en caldo y en mole.

3.4. Conclusiones

Con el presente estudio se refuerza el conocimiento etnomicológico de la Sierra Norte de Puebla, ya que se exploran especies que no habían sido reportadas anteriormente, además de registrar formas de consumo para diferentes hongos silvestres comestibles, preservando parte del conocimiento tradicional.

3.5. Agradecimientos

A la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, por su apoyo en la identificación de las especies.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el financiamiento mediante la beca con número de apoyo 801156.

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo financiero al presente trabajo mediante el proyecto de investigación con clave 22176-C-90.

3.6. Literatura citada

- Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., & Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.* 85: 76-81.
- Contreras-Cortés, L.E.U., Vázquez-García, A., & Ruan-Soto, F. (2018). Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia Fungorum*. 47: 47-55. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.47.1192>
- Dekvota, S., Fang, W., Arunachalam, K., Phyo, K.M.M. & Shakya, B. (2023). Systematic review of fungi, their diversity and role in ecosystem services from the Far Eastern Himalayan Landscape (FHL). *Heliyon* (9): e12756. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12756>.
- Lemin, M., Vázquez, A. & Chacón, S. (2010). Etnomicología y comercialización de hongos en mercados de tres poblados del noreste del estado de Puebla, México. *Brenesia*. 73-74: 58-63.
- Martínez-Alfaro, M.A., Pérez-Silva, E. & Aguirre-Acosta, E. (1983). Etnomicología y exploraciones micológicas en la Sierra Norte de Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*. 18: 51-63. <https://doi.org/10.33885/sf.1983.2.574>.
- Martínez-Medina, G.A., Chávez-González, M.L., Kumar-Verma, D., Prado-Barragán, L.A., Martínez-Hernández, J.L., Flores-Gallegos, A.C., Thakur, M., Srivastav, P.P. & Aguilar, C.N. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods* 77: 104326. 17 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104326>
- Molina-Castillo, S., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Gastronomic diversity of wild edible mushrooms in the Mexican cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 31: 100652. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100652>.
- Montoya, A., Briones-Dumas, E., Núñez-López, R.A., Kong, A., Ortiz-Hernández, V. & Moreno-Fuentes, A. (2019). Los hongos conocidos por la comunidad Yuhmu de Ixtenco, Tlaxcala, México. *Scientia Fungorum*. 49: e1230. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1230>.
- Ruan-Soto, F. (2018). Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas, México. *Scientia Fungorum*. 48: 1-13. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1179>
- Wei, Y., Li, L., Liu, Y., Xiang, S., Zhang, H., Yi, L., Shang, Y. & Xu, W. (2022). Identification techniques and detection methods of edible fungi species. *Food Chemistry*. 374: 131803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131803>.

4. PERFIL MINERAL DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO⁴

Resumen

Los hongos tienen la capacidad de absorber elementos presentes en los diferentes tipos de suelo donde se desarrollan. En particular, es importante analizar el tipo de elementos en los hongos comestibles para determinar si resultan benéficos o tóxicos. El objetivo de este trabajo fue complementar el conocimiento tradicional y proporcionar directrices de seguridad en el consumo de hongos silvestres comestibles de la región de Zaragoza, Puebla. Se seleccionaron siete especies de trabajo: *Amanita jacksonii*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo* y *Lactifluus gerardii*, colectados en los mercados tradicionales de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla. Los diferentes tipos de elementos se analizaron por medio de Espectrometría de Masas con fuente de Plasma Acoplada Inductivamente (ICP-MS). En particular se determinaron las concentraciones de 14 elementos (Mn, Fe, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Se, Sr, Ag, Hg, As, Pb y Cd) y se calculó el Índice de Riesgo a la Salud. Con base en los resultados, se encontró que siete elementos (Fe, Cu, Cr, Ag, Hg, As y Cd) exceden los límites de seguridad. Aunque el consumo de especies comestibles silvestres es estacional, se recomienda ingerir cantidades que no representen riesgos para la salud.

Palabras clave: Índice de Riesgo a la Salud, Concentración elemental, Hongos comestibles

⁴ Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Tonathiu Rescendiz Gutierrez

Director de Tesis: Dra. Diana Guerra Ramírez

MINERAL PROFILE OF WILD EDIBLE MUSHROOMS FROM SIERRA NORTE IN PUEBLA, MÉXICO

Abstract

The mushrooms have the capacity of absorbing elements from the different types of soil where they develop. Particularly, it is important to analyze the type of element present in edible mushrooms to determinate if they are beneficial or toxic. The objective of this work was to complement the traditional knowledge and provide security guidelines for the wild edible mushrooms consumption in the Zaragoza and Zacapoaxtla, Puebla region. Seven work species were selected: *Amanita jacksonii*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo* and *Lactifluus gerardii*, these were collected in the traditional markets in Zaragoza and Zacapoaxtla, Puebla. The different types of elements were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Particularly, it was quantified the concentration of 14 elements (Mn, Fe, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Se, Sr, Ag, Hg, As, Pb and Cd) and their Health Risk Index. Based in the results, it was found that seven elements (Fe, Cu, Cr, Ag, Hg, As and Cd) exceed security limits. Despite the wild edible mushroom consumption is seasonal, it is recommended to ingest amounts that do not represent a health risk.

Keywords: Health Risk Index, Elemental concentration, Edible Mushroom

4.1. Introducción

Los alimentos silvestres tienen un gran potencial para responder a los retos agroalimentarios que se avecinan dado el incremento de la población; dentro de esta tendencia los hongos silvestres comestibles cobran una mayor relevancia debido a su contribución a la seguridad alimentaria, además de su valor biocultural (Molina-Castillo *et al.*, 2023).

Debido a al incremento en el consumo de Hongos Silvestres Comestibles, a su potencial medicinal e incluso a la capacidad de absorber ciertos elementos presentes en su entorno, es que se han realizado extensas investigaciones sobre la composición mineral de estos organismos (Niedzielski *et al.*, 2023). En el caso específico de la alimentación, la presencia de ciertos elementos en los hongos podría contribuir a los procesos metabólicos que regulan algunas reacciones bioquímicas (Barea-Sepúlveda *et al.*, 2021), asimismo, otros elementos pueden ser peligrosos si se encuentran en altas concentraciones (Fu *et al.*, 2020).

Desde un punto de vista nutricional los hongos son ricos en proteínas, vitaminas y fibra; mientras que sus contenidos de grasas son bajos. Además, contienen compuestos fenólicos con diferentes propiedades (antioxidantes, antimicrobianas, antivirales, anticancerosas entre otras) y otros compuestos bioactivos que pueden variar dependiendo la especie, el sitio geográfico, el sustrato donde se haya desarrollado e incluso el estadio de madurez de los ejemplares (González-Morales *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar el tipo iones metálicos presentes en los cuerpos fructíferos de algunos hongos comestibles silvestres adquiridos en un mercado tradicional, mediante un análisis ICP-MS, para determinar el aporte de minerales a la dieta y su potencial tóxico y biorremediador. Con este estudio se busca complementar el conocimiento tradicional y proporcionar directrices de seguridad en su consumo.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Colecta de materiales

Los hongos silvestres comestibles, 7 especies, fueron adquiridos en los mercados tradicionales de los municipios de Zaragoza (19° 46' 16.41" N, 97° 26' 39.14" O) y Zacapoaxtla (19° 52' 21.07" N, 97° 35' 16.30" O), Puebla, México. Estas especies fueron identificadas a través de claves taxonómicas y comparando con ejemplares de herbario de la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla. Los hongos colectados fueron deshidratados en un horno de convección forzada (Sedona SD-P9000-F, Tribest, Anaheim, Estados Unidos) a 60 °C hasta eliminar la humedad aparente.

4.2.2. Acondicionamiento de las muestras

A partir del material previamente deshidratado se tomó una submuestra que fue molida en un mortero de ágata. Se tomaron 0.2 g de muestra que se colocaron en un vaso de teflón de 50 mL. Posteriormente, se añadieron 10 ng mL⁻¹ de Sc, In, Ir, Bi como patrón interno, a fin de realizar la recuperación del método. Además, se agregaron 10 mL de HNO₃ concentrado ultrapuro, para después homogenizar la muestra, dejando reposar la reacción toda la noche.

Posteriormente se agregaron otros 10 mL de HNO_3 , se volvió a homogenizar y la muestra se colocó en una placa para llevar a cabo una evaporación, sin llevarla a sequedad; cuando se tuvo aproximadamente un mL de la muestra concentrada, se añadieron 10 mL de HCl concentrado, se continuó evaporando la mezcla hasta la mitad de su volumen y se añadieron 4 mL de H_2O_2 gota a gota hasta que las muestras se tornaron transparentes, luego, la muestra se llevó a sequedad hasta alcanzar un volumen aproximado de 1 mL. Finalmente, cada muestra fue aforada a 50 mL con HNO_3 al 2 % en matraces volumétricos.

4.2.3. Análisis de elementos en ICP-MS

Para el análisis de las muestras se utilizó un equipo de Sistema de espectrometría de masas de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) iCAP™ RQ, en modo de discriminación de energía cinética (KED, por siglas en inglés) y con celda de colisión. Las muestras fueron introducidas mediante un automuestreado y bomba peristáltica. Antes del análisis de los elementos totales, el equipo ICP-MS fue calibrado en modo STD y posteriormente en KED con una solución de calibración multielemental ICP-MS iCAP Q/RQ con los siguientes elementos: Ba, Bi, Ce, Co, In, Li y U. Esta solución tiene una concentración de $1.00 \pm 0.05 \text{ ng mL}^{-1}$ por cada elemento (Alfa Aesar, Specpure, USA). La cuantificación de elementos totales se hizo mediante una calibración externa, usando patrones certificados multielementales, donde se usó una disolución patrón certificada para 63 elementos $100 \pm 0.06 \text{ mg mL}^{-1}$ (High Purity Standards, USA). Para la cuantificación se realizó una curva de calibrado con 10 puntos desde 0.1 hasta 150 ng mL^{-1} . Además, se utilizó Iridio e Indio como patrones internos, para todas las muestras, el cual fue obtenido en una concentración $1\,000 \pm 0.03 \text{ mg mL}^{-1}$ de High Purity Standards, USA. Los datos fueron analizados con ayuda del Software Thermo Scientific™ Qtegra™. Además, los datos se analizaron manualmente mediante el uso de Excel para corroborar sus respectivas concentraciones.

4.2.4. Índice de Riesgo a la Salud (HRI)

El índice de riesgo a la salud (HRI, por sus siglas en inglés, Health Risk Index) se calculó siguiendo el método propuesto por Cui *et al.* (2004), usando la Ecuación (1):

$$HRI = DIM/R_fD_o \dots\dots\dots \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

R_fD_o es la Dosis de Referencia Oral, establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) y el Comité Mixto de la FAO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA)

DIM es la Ingesta Diaria de Metales y se calcula a partir de la Ecuación (2), propuesta por Liu *et al.* (2015):

$$DIM = \frac{C_M \times D_{FI}}{B_{AW}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

C_M es la concentración del metal en el hongo, en µg kg⁻¹;

D_{FI} es la ingesta diaria del hongo, en kg día⁻¹

B_{AW} es el peso corporal promedio de un adulto.

Para este indicador se toma como referencia lo propuesto por Sarikurkcü *et al.* (2020) donde se usa una porción de ingesta diaria de 30 g de hongo deshidratado (0.03 kg) y un peso promedio de consumidor de 70 kg.

4.3. Resultados y discusión

Se identificaron las siete especies de trabajo y se registraron sus nombres comunes, así como sus nombres en náhuatl (idioma indígena de la región de estudio), ver Cuadro 4.

Cuadro 4. Especies identificadas y nombres comunes en la región.

Nombre científico	Nombre común	Nombre en Náhuatl
<i>Amanita jacksonii</i>	Yema, Tecomate	Cozahuitl
<i>Helvella lacunosa</i>	Panza	
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	Enchilado	Xintazcal, Chiltaska
<i>Imperator torosus</i>	Chipo, Chipo de toro	
<i>Infundibulicybe squamulosa</i>	Cuerito	
<i>Lactarius indigo</i>	Azul	Quexque
<i>Lactifluus gerardii</i>	Mantequilla, Mantecados	

4.3.1. Contenido mineral

En este trabajo, se analizaron los valores de concentración de 20 elementos, que se clasificaron en tres grupos: macroelementos (Na, Mg, Al, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn), elementos traza (Li, V, Cr, Co, Ni, Se, Sr, Ag y Hg) y elementos tóxicos (As, Cd y Pb), estos datos se presentan en los Cuadros 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Concentración de macroelementos en cada especie (mg kg⁻¹).

Especie	Na	Mg	Al	Ca
<i>A. jacksonii</i>	463.87 ± 12.99	4,376.69 ± 144.43	710.31 ± 19.18	188.90 ± 5.48
<i>H. lacunosa</i>	186.54 ± 5.60	1,694.81 ± 64.40	159.82 ± 4.79	107.58 ± 2.37
<i>H. lactifluorum</i>	344.90 ± 8.97	2,388.23 ± 42.99	6,696.06 ± 140.62	258.55 ± 5.43
<i>I. torosus</i>	557.58 ± 15.61	2,242.73 ± 65.04	420.76 ± 10.52	128.75 ± 3.22
<i>I. squamulosa</i>	341.25 ± 4.78	2,396.82 ± 52.73	1,109.10 ± 32.16	113.34 ± 3.29
<i>L. indigo</i>	229.93 ± 4.14	2,532.77 ± 43.06	675.77 ± 14.87	173.80 ± 1.91
<i>L. gerardii</i>	407.41 ± 8.96	2,664.30 ± 79.93	1,211.29 ± 26.65	99.77 ± 2.19

Datos expresados como medias ± desviación estándar. n = 4.

Cuadro 5. Concentración de macroelementos en cada especie (mg kg⁻¹) (continuación).

Especie	Mn	Fe	Cu	Zn
<i>A. jacksonii</i>	67.17 ± 1.14	833.12 ± 20.83	46.38 ± 0.93	235.00 ± 7.29
<i>H. lacunosa</i>	15.70 ± 0.38	279.10 ± 3.63	54.60 ± 1.20	435.69 ± 6.97
<i>H. lactifluorum</i>	240.98 ± 2.41	3,503.44 ± 56.06	97.83 ± 1.96	218.10 ± 3.71
<i>I. torosus</i>	35.11 ± 1.26	1,106.77 ± 57.55	71.17 ± 1.21	221.87 ± 5.55
<i>I. squamulosa</i>	45.42 ± 1.27	713.16 ± 16.40	141.06 ± 2.68	208.28 ± 3.12
<i>L. indigo</i>	80.01 ± 1.44	498.43 ± 8.47	31.06 ± 0.84	252.02 ± 6.80
<i>L. gerardii</i>	44.64 ± 1.47	694.75 ± 17.37	209.91 ± 2.10	147.51 ± 2.51

Datos expresados como medias ± desviación estándar. n = 4.

Para los macroelementos, *H. lactifluorum* contiene las mayores concentraciones de Al, Ca, Mn y Fe, sobresaliendo de manera considerable respecto a las demás especies; por otra parte, para Na, *I. torosus* es la especie con mayor contenido de este elemento, *A. jacksonii* contiene la mayor concentración de Mg, mientras que la concentración de Cu es más alta en *L. gerardii*; finalmente, *H. lacunosa* es la especie con mayor contenido de Zn.

Cuadro 6. Concentración de elementos traza por especie ($\mu\text{g kg}^{-1}$).

Especie	Li	V	Cr	Co	Ni
<i>A. jacksonii</i>	202.61 $\pm$ 10.94	469.91 $\pm$ 11.28	5,262.70 $\pm$ 121.04	166.68 $\pm$ 3.33	7,645.86 $\pm$ 152.92
<i>H. lacunosa</i>	119.30 $\pm$ 23.38	247.50 $\pm$ 5.44	17,507.83 $\pm$ 437.70	204.42 $\pm$ 5.52	15,931.27 $\pm$ 350.49
<i>H. lactifluorum</i>	1,390.55 $\pm$ 154.35	5,786.55 $\pm$ 69.44	8,271.07 $\pm$ 124.07	885.29 $\pm$ 15.94	9,322.28 $\pm$ 186.45
<i>I. torosus</i>	184.33 $\pm$ 29.12	246.65 $\pm$ 7.89	6,144.44 $\pm$ 104.46	201.37 $\pm$ 7.05	8,096.11 $\pm$ 210.50
<i>I. squamulosa</i>	353.75 $\pm$ 35.73	940.51 $\pm$ 8.46	14,326.08 $\pm$ 286.52	310.89 $\pm$ 7.46	12,466.16 $\pm$ 261.79
<i>L. indigo</i>	163.15 $\pm$ 13.05	685.63 $\pm$ 11.66	3,252.54 $\pm$ 71.56	174.67 $\pm$ 2.62	5,800.89 $\pm$ 98.62
<i>L. gerardii</i>	351.29 $\pm$ 34.78	815.03 $\pm$ 10.60	5,560.35 $\pm$ 122.33	462.24 $\pm$ 12.02	4,064.22 $\pm$ 48.77

Datos expresados como medias $\pm$ desviación estándar. n = 4.

Cuadro 6. Concentración de elementos traza por especie ($\mu\text{g kg}^{-1}$) (continuación).

Especie	Se	Sr	Ag	Hg
<i>A. jacksonii</i>	184.87 $\pm$ 25.14	3,043.80 $\pm$ 76.09	11,826.21 $\pm$ 354.79	2,804.06 $\pm$ 56.08
<i>H. lacunosa</i>	8.74 $\pm$ 2.14	3,270.10 $\pm$ 49.05	528.36 $\pm$ 20.08	1,493.64 $\pm$ 5.97
<i>H. lactifluorum</i>	302.71 $\pm$ 29.67	11,693.20 $\pm$ 257.25	623.41 $\pm$ 8.73	1,135.13 $\pm$ 66.97
<i>I. torosus</i>	1,909.57 $\pm$ 106.94	2,219.60 $\pm$ 84.34	1,244.88 $\pm$ 32.37	3,295.70 $\pm$ 62.62
<i>I. squamulosa</i>	241.35 $\pm$ 20.03	2,601.93 $\pm$ 109.28	1,648.84 $\pm$ 39.57	2,403.67 $\pm$ 55.28
<i>L. indigo</i>	317.97 $\pm$ 17.49	6,839.86 $\pm$ 164.16	3,595.05 $\pm$ 129.42	2,820.28 $\pm$ 129.73
<i>L. gerardii</i>	324.58 $\pm$ 14.93	2,628.87 $\pm$ 97.27	1,467.53 $\pm$ 26.42	4,168.27 $\pm$ 54.19

Datos expresados como medias $\pm$ desviación estándar. n = 4.

En el caso de los elementos traza, nuevamente *H. lactifluorum* sobresale al contener la mayor concentración de Li, V, Co y Sr; por otra parte, *H. lacunosa* contiene las mayores cantidades de Cr y Ni, mientras que el Se se encuentra a una mayor concentración en *I. torosus*; *A. jacksonii* contiene la mayor concentración de Ag, y finalmente, *L. gerardii* sobresale por su contenido de Hg.

Cuadro 7. Concentración de elementos tóxicos por especie ($\mu\text{g kg}^{-1}$).

Especie	As	Cd	Pb
<i>A. jacksonii</i>	150.94 $\pm$ 7.85	5,230.73 $\pm$ 125.54	65.03 $\pm$ 1.20
<i>H. lacunosa</i>	77.96 $\pm$ 3.43	441.12 $\pm$ 8.82	434.62 $\pm$ 9.55
<i>H. lactifluorum</i>	739.14 $\pm$ 20.70	775.88 $\pm$ 38.02	1,209.21 $\pm$ 80.74
<i>I. torosus</i>	222.39 $\pm$ 4.23	1,487.31 $\pm$ 16.36	108.25 $\pm$ 2.16
<i>I. squamulosa</i>	1,023.19 $\pm$ 15.35	4,674.99 $\pm$ 93.50	972.20 $\pm$ 28.60
<i>L. indigo</i>	304.53 $\pm$ 9.14	1,401.89 $\pm$ 39.25	53.03 $\pm$ 2.65
<i>L. gerardii</i>	359.18 $\pm$ 5.03	23,643.06 $\pm$ 401.93	1,146.26 $\pm$ 39.02

Datos expresados como medias $\pm$ desviación estándar. n = 4.

Para el caso de los elementos tóxicos *I. squamulosa* se destaca por su contenido de As, mientras que *H. lactifluorum* tiene una alta concentración de Pb; finalmente *L. gerardii* tiene altas concentraciones de Pb y Cd.

H. lactifluorum se destaca en altas concentraciones de diferentes elementos, lo que puede implicar riesgos a la salud si se exceden dosis de consumo que superen la ingesta recomendada.

4.3.2. Índice de Riesgo a la Salud

La Ingesta Diaria de Metales, así como el Índice de Riesgo a la Salud se obtuvieron sólo para 14 elementos (Mn, Fe, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Se, Sr, Ag, Hg, As, Cd y Pb) ya que sólo se encontraron valores de RfD_0 para dichos elementos; cabe destacar que estas referencias se obtuvieron del Sistema Integrado de Información de Riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA-IRIS), mientras que para Cr, Hg y Pb se obtuvieron del trabajo presentado por Barea-Sepúlveda (2021) debido a que esos datos se encuentran en análisis y discusión por la USEPA. Los datos de DMI y HRI se encuentran en los Cuadros 8 y 9, respectivamente.

Cuadro 8. Ingesta Diaria de Metales (DMI), en $\mu\text{g día}^{-1} \text{ kg}^{-1}$.

Especie	Mn	Fe	Cu	Zn	V	Cr	Ni	Se	Sr	Ag	Hg	As	Cd	Pb
<i>A. jacksonii</i>	28.79	357.05	19.88	100.71	0.20	2.26	3.28	0.08	1.30	5.07	1.20	0.06	2.24	0.03
<i>H. lacunosa</i>	6.73	119.62	23.40	186.73	0.11	7.50	6.83	0.00	1.40	0.23	0.64	0.03	0.19	0.19
<i>H. lactifluorum</i>	103.28	1,501.48	41.93	93.47	2.48	3.54	4.00	0.13	5.01	0.27	0.49	0.32	0.33	0.52
<i>I. torosus</i>	15.05	474.33	30.50	95.09	0.11	2.63	3.47	0.82	0.95	0.53	1.41	0.10	0.64	0.05
<i>I. squamulosa</i>	19.47	305.64	60.45	89.26	0.40	6.14	5.34	0.10	1.12	0.71	1.03	0.44	2.00	0.42
<i>L. indigo</i>	34.29	213.61	13.31	108.01	0.29	1.39	2.49	0.14	2.93	1.54	1.21	0.13	0.60	0.02
<i>L. gerardii</i>	19.13	297.75	89.96	63.22	0.35	2.38	1.74	0.14	1.13	0.63	1.79	0.15	10.13	0.49
RfDo	140	300	40	300	9	3	20	5	600	5	0.3	0.3	1	3.5

RfDo: Dosis de referencia de ingesta oral

Cuadro 9. Índice de Riesgo a la Salud (HRI) por consumo de cada especie de hongo y para cada elemento.

Especie	Mn	Fe	Cu	Zn	V	Cr	Ni	Se	Sr	Ag	Hg	As	Cd	Pb
<i>A. jacksonii</i>	0.21	1.19	0.50	0.34	0.02	0.75	0.16	0.02	0.00	1.01	4.01	0.22	2.24	0.01
<i>H. lacunosa</i>	0.05	0.40	0.58	0.62	0.01	2.50	0.34	0.00	0.00	0.05	2.13	0.11	0.19	0.05
<i>H. lactifluorum</i>	0.74	5.00	1.05	0.31	0.28	1.18	0.20	0.03	0.01	0.05	1.62	1.06	0.33	0.15
<i>I. torosus</i>	0.11	1.58	0.76	0.32	0.01	0.88	0.17	0.16	0.00	0.11	4.71	0.32	0.64	0.01
<i>I. squamulosa</i>	0.14	1.02	1.51	0.30	0.04	2.05	0.27	0.02	0.00	0.14	3.43	1.46	2.00	0.12
<i>L. indigo</i>	0.24	0.71	0.33	0.36	0.03	0.46	0.12	0.03	0.00	0.31	4.03	0.44	0.60	0.01
<i>L. gerardii</i>	0.14	0.99	2.25	0.21	0.04	0.79	0.09	0.03	0.00	0.13	5.95	0.51	10.13	0.14

Los índices de riesgo a la salud se encuentran en niveles seguros (< 1) para Mn, Zn, V, Ni, Se, Sr y Pb en todas las especies; por otra parte, para todos los hongos se encontraron concentraciones excedentes de Hg. En el caso de Ag sólo *A. jacksonii* excede por poco la cantidad de ingesta máxima, para As, *H. lactifluorum* e *I. squamulosa* son las especies que exceden las cantidades seguras para su consumo frecuente. *H. lactifluorum*, *I. squamulosa* y *L. gerardii* exceden los límites seguros para Cu, mientras que *I. torosus*, *H. lactifluorum* e *I. squamulosa* lo hacen para Cr. Para Cd las especies que exceden las concentraciones seguras son *A. jacksonii*, *I. squamulosa* y *L. gerardii*. Finalmente, *A. jacksonii*, *H. lactifluorum*, *I. torosus* e *I. squamulosa* contienen Fe arriba de los rangos de seguridad.

Es relevante señalar que las especies *I. squamulosa* y *H. lactifluorum* presentan HRI en altos niveles en la mayor cantidad de elementos; ambos rebasan el límite de seguridad en Fe, Cu, Cr, Hg y As, e *I. squamulosa* también en Cd; sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos hongos no son de consumo frecuente y generalizado. Por otra parte, *L. indigo* excede límites seguros solamente en Hg.

4.4. Conclusiones

Las especies estudiadas brindan un nuevo panorama sobre el consumo de hongos silvestres comestibles en la región en la zona de la Sierra Norte de Puebla, ya que se tiene un conocimiento mayor de los contenidos de minerales en estos alimentos.

Se debe considerar que estos hongos son estacionales y sólo son consumidos en una temporada específica del año, y debido a la frecuencia de su comercialización (una vez por semana) estos no son de consumo frecuente, por lo que el riesgo de su ingesta debe tomarse con reserva.

Se recomienda repetir este estudio para otros años para determinar si la presencia de concentraciones elevadas de metales fue una situación de ese año en específico o es evidencia de una situación ecológica potencialmente de riesgo para la población local.

4.5. Agradecimientos

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por las facilidades para realizar las pruebas de ICP-MS.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el financiamiento mediante la beca con número de apoyo 801156.

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo financiero al presente trabajo mediante el proyecto de investigación con clave 22176-C-90.

4.6. Literatura citada

Barea-Sepúlveda, M., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Benítez-Rodríguez, A., López-Castillo, J.G., Palma, M. & Barbero, G.F. (2021). Metal concentrations in *Lactarius* mushroom species collected from Southern Spain and Northern Morocco: Evaluation of health risks and benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 99: 103859. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103859>.

Cui, Y.-J., Zhu, Y.-G., Zhai, R.-H., Chen, D.-Y., Huang, Y.-Z., Qiu, Y., & Liang, J.-Z. (2004). Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environment International*. 30(6): 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.01.003>.

Fu, Z., Liu, G. & Wang, L. (2020). Assessment of potential human health risk of trace element in wild edible mushroom species collected from Yunnan Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:29218–29227. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09242-w>.

González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R.M. & Burrola-Aguilar, C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia Fungorum*. 52: e1410. 10 pp. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>.

Liu, B., Huang, Q., Cai, H., Guo, X., Wang, T. & Gui, M. (2015). Study of heavy metal concentrations in wild edible mushrooms in Yunnan Province, China. *Food Chemistry*. 188: 294–300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.010>.

Molina-Castillo, S., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Gastronomic diversity of wild edible mushrooms in the Mexican cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 31: 100652. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100652>.

Niedzielski, P., Szostek, M., Budka, A., Budzyńska, S., Siwulski, M., Proch, J., Kalač, P. & Mleczek, M. (2023). *Lactarius* and *Russula* mushroom genera – Similarities/differences in mineral composition within the Russulaceae family. *Journal of Food Composition and Analysis*. 115: 104970. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104970>.

Sarikurkcü, C., Popović-Djordjević, J. & Solak, M.H. (2020). Wild edible mushrooms from Mediterranean region: Metal concentrations and health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 190: 110058. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110058>.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) - Integrated Risk Information System (IRIS). (23 de Octubre de 2023). <https://www.epa.gov/iris>.

5. POTENCIAL NUTRICIONAL Y NUTRACÉUTICO DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES DE ZARAGOZA Y ZACAPOAXTLA, PUEBLA⁵

Resumen

A pesar de la importancia de los hongos silvestres comestibles en la dieta mexicana, sólo se han estudiado el potencial nutraceutico de 21 especies, de las 450 que se consumen a nivel nacional. Este estudio pretende estudiar el valor nutricional y el potencial nutraceutico de algunas especies de hongos consumidas en Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla. Las especies colectadas: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta*, *Russula brevipes* y *Tricholoma equestre*, fueron analizadas para determinar contenido de compuestos fenolicos totales, la capacidad antioxidante por dos ensayos (ABTS y FRAP), el aporte calórico y contenido de β -glucanos. Los compuestos fenolicos totales oscilaron entre 0.69 y 3.52 mg EAG g_{bs}^{-1} , los valores de capacidad antioxidante se encontraron en el intervalo de 37.47 a 394.85 $\mu\text{mol ET } g_{bs}^{-1}$ por ensayo ABTS, mientras que por ensayo FRAP los valores variaron de 0.58 a 41.13 $\mu\text{mol ET } g_{bs}^{-1}$. El contenido energetico osciló entre 3.82 y 4.44 kcal g_{bs}^{-1} . Los β -glucanos se encontraron entre 9.43 y 24.09 % ($m m^{-1}$). Los resultados obtenidos aportan nueva información respecto a 10 especies de hongos silvestres comestibles que no habían sido estudiadas previamente en el país.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, β -glucanos, hongos comestibles

⁵ Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Tonathiu Rescendiz Gutierrez

Director de Tesis: Dra. Diana Guerra Ramírez

NUTRITIONAL AND NUTRACEUTIC POTENTIAL OF WILD EDIBLE MUSHROOMS FROM ZARAGOZA AND ZACAPOAXTLA, PUEBLA

Abstract

Despite the importance of the wild edible mushrooms in the Mexican cuisine, just 21 species, of 450 nationally consumed, had been studied for their nutraceutical potential. This research pretends to study the nutritional value and nutraceutical potential of some mushroom's species consumed in Zaragoza and Zacapoaxtla, Puebla. The collected species: *Amanita jacksonii*, *Clavulina coralloides*, *Helvella lacunosa*, *Hypomyces lactifluorum*, *Imperator torosus*, *Infundibulicybe squamulosa*, *Lactarius indigo*, *Lactifluus gerardii*, *Pholiota terrestris*, *Ramaria stricta*, *Russula brevipes* and *Tricholoma equestre* were evaluated to determinate the total phenolic compounds content, antioxidant capacity by two essays (ABTS and FRAP), caloric supply, and β -glucans content. The total phenolic compounds oscillated between 0.69 and 3.52 mg EAG $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$, the antioxidant capacity values were found in the interval from 37.47 to 394.85 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$ by ABTS essay, as well by FRAP essay the values variated from 0.58 to 41.13 $\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$. The energetic content oscillated between 3.82 and 4.44 kcal $\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$. β -glucans were found between 9.43 and 24.09 % (m m^{-1}). The results obtained contribute new information about 10 species of wild edible mushrooms that had not been studied previously in the country.

Keywords: Antioxidant capacity, β -glucans, edible mushrooms

5.1. Introducción

Los hongos silvestres comestibles, constituyen un alimento muy apreciado por diferentes grupos étnicos, la tradición del consumo es resultados del conocimiento empírico, generado gracias a un proceso de observación, ensayo y error, construido de manera colectiva. En general, se ha demostrado que los hongos comestibles poseen un alto contenido de proteínas y carbohidratos, una moderada cantidad de fibras y bajo porcentaje de grasas, además de ser una buena fuente de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales (Deveci *et al.*, 2019). Además , también se les considera como un alimento terapéutico debido a su producción de compuestos bioactivos (Ghosh *et al.*, 2021).

La importancia del consumo de hongos comestibles radica en la alta concentración de compuestos con propiedades antioxidantes, normalmente asociados a compuestos fenólicos, por lo cual se ha generado el interés del estudio de su composición (Novaković *et al.*, 2020). Entre los compuestos bioactivos presentes en los hongos se encuentran polifenoles, terpenoides, sesquiterpenos, alcaloides, lactonas, esteroides, agentes quelatantes de metales, nucleótidos, vitaminas, glicoproteínas y polisacáridos (Mena-García *et al.*, 2021).

La ingesta de los compuestos antioxidantes de los hongos son de gran importancia ya que permiten hacer frente a problemas de salud generados a partir de estrés oxidativo tales como: enfermedades autoinmunes, cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, entre otras. Es importante señalar que la concentración de los compuestos bioactivos dependerá de diferentes factores como la especie del hongo, sustrato y condiciones de crecimiento (cultivado o silvestre), etapa de desarrollo, tiempo de cosecha del material, entre otros (Sánchez, 2017).

Otros compuestos de gran interés nutracéutico son los polisacáridos estructurales (β -glucanos), ya que éstos han demostrado ser promotores de la salud humana gracias a sus propiedades antioxidantes, inmunomoduladoras, antitumorales y en la prevención de hiperglucemia e hipercolesterolemia, siendo aplicados en tratamientos médicos (Guo *et al.*, 2022). Estos β -glucanos están presentes en la pared celular y tienen una gran variabilidad en su estructura, y por lo tanto, diversas propiedades fisicoquímicas, y actividades biológicas (Díaz-Talamantes *et al.*, 2021). En 2016, McCleary y Draga, presentaron una nueva metodología específica para la cuantificación de β -glucanos en hongos y levaduras a través de digestiones y empleo de enzimas teniendo así la concentración de glucanos totales y α -glucanos, obteniendo el valor de los β -glucanos por diferencia.

A pesar de que México es el segundo país en riqueza de hongos silvestres comestibles (Pérez-Moreno *et al.*, 2021) y que éstos han estado presentes en la dieta tradicional desde tiempos prehispánicos (Molina-Castillo *et al.*, 2023), no se ha explorado profundamente el potencial nutracéutico de estos alimentos; en diferentes trabajos se documenta la exploración de sólo 21 especies (Álvarez-Parrilla *et al.*, 2007; López-Vázquez *et al.*, 2017; Moctezuma-Pérez *et al.*, 2017; Yahia *et al.*, 2017; González-Morales *et al.*, 2021).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el valor nutricional y el potencial nutracéutico de especies de hongos consumidas en las zonas aledañas al municipio de Zaragoza y Zacapoaxtla, Puebla, con el fin de tener una mayor certeza de los beneficios que aportan estos alimentos silvestres y así ampliar el conocimiento científico de la funga nacional y regional.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Colecta de materiales

Los materiales de estudio, hongos silvestres comestibles de diferentes especies, se obtuvieron de los mercados tradicionales de Zaragoza (19° 46' 16.41" N, 97° 26' 39.14" O) y Zacapoaxtla (19° 52' 21.07" N, 97° 35' 16.30" O), Puebla, México, en los meses de agosto y septiembre de 2022, a la par de la colecta se hicieron entrevistas a las «hongueras» para documentar las formas de consumo de los hongos. Las muestras colectadas se extendieron en charolas para evitar la condensación de agua por transpiración a fin de conservarlas hasta su acondicionamiento. Considerando la cantidad de muestra, sólo se seleccionaron 12 de 19 especies. Las especies se identificaron mediante claves taxonómicas y comparando los hongos colectados con ejemplares de herbario resguardados en la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla.

5.2.2. Acondicionamiento de muestras

Todas las muestras, se secaron en un deshidratador de convección forzada (Sedona SD-P9000-F, Tribest, Anaheim, Estados Unidos) a 60 °C hasta que el material no presentara humedad aparente

5.2.3. Preparación de extractos para pruebas de potencial nutracéutico

Cada una de las muestras deshidratadas y molidas, (600 mg) se mezclaron con 10 mL de solución metanol/agua (4:1, v/v). A esta disolución se le ajustó el pH a 3.0 con HCl 5 %, para posteriormente ser agitada en vortéx (1,000 rpm x 3 min), después se sonicó (8890, Cole-Parmer, Vernon Hills, Estados Unidos) (15 min) y se agitó (150 rpm, 30 min). Finalmente, se empleó una centrifugadora (Frontier 5718R, Ohaus, Persippany, Estados Unidos) para separar el sobrenadante (2500 rpm, 15 min). Este último se aforó a 10 mL con la misma solución de metanol/agua. Estos extractos se prepararon por triplicado y se almacenaron en refrigeración a 7 °C. A partir de estos extractos se hicieron las determinaciones de contenido fenólico total y capacidad antioxidante.

5.2.4. Determinación de Contenidos de compuestos fenólicos totales

Para la cuantificación de compuestos fenólicos se utilizó la técnica Folin-Ciocalteu adaptada para lector de microplacas con 96 pocillos (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2016), para lo cual se vertieron 125 µL de agua destilada, 25 µL del extracto obtenido anteriormente, 20 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (10 % v/v) y 30 µL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) (20 % m/v) en cada pocillo y se dejó reposar la reacción por 30 minutos. Posteriormente se leyó la absorbancia a 760 nm. Para la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales se utilizó una curva de calibración con una solución madre de ácido gálico (0.5 mg mL^{-1}) tomándose alícuotas de 20 a 180 µL y llevados a un mL con agua destilada. Los resultados obtenidos se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$).

5.2.5. Determinación de capacidad antioxidante por ensayo FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) y ABTS

Para el ensayo FRAP se utilizó el método descrito por Benzie & Strain (1996) adaptado a microplacas. Se preparó la mezcla FRAP con solución 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s triazina), ácido clorhídrico (HCl) 40 mM y una solución 20 mM de clorato de hierro (III) hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). En cada pocillo de la microplaca se vertieron 60 µL de agua destilada, 20 µL del extracto de la muestra

y 180 μL de la mezcla FRAP, se dejó reposar durante 5 minutos y se leyó la absorbancia a 595 nm; mientras que para el ensayo ABTS se utilizó el procedimiento de Re *et al.* (1999) adaptado a microplacas. Con al menos 16 horas de anticipación se preparó una mezcla con solución 7.4 mM del reactivo ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con una dilución de persulfato de potasio 2.6 mM ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Pasado el tiempo de incubación se diluyó la mezcla para tener lista la solución ABTS. En cada pocillo de la microplaca se vertieron 180 μL de la solución ABTS y 20 μL del extracto de la muestra, se dejó reposar durante 10 minutos y se leyó la absorbancia a 734 nm. Para la determinación de la capacidad antioxidante en ambos casos se utilizó una curva de calibración usando Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) en una solución de 0.05 mg mL^{-1} tomando alícuotas de 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 y 600 μL llevados a un mL con agua destilada. Los resultados obtenidos se expresaron en micromoles equivalente de Trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{mol ET} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$).

5.2.6. Determinación de proteína soluble total

Para determinar la cantidad de proteína soluble total se utilizó el método de Bradford (1976) modificado para uso con lector de microplacas. Para ello se colocaron 50 mg de la muestra deshidratada en un ml de agua destilada y se centrifugó a 9,000 rpm por 20 minutos. Del sobrenadante se tomaron 50 μL y se le agregaron 950 μL del reactivo de Bradford. Posteriormente se colocaron 200 μL de la preparación y se colocaron en cada pocillo de la microplaca y se leyó la absorbancia a 595 nm. Para la cuantificación de la proteína soluble total se preparó una curva de calibración con Suero de Albúmina Bovina (BSA) en solución de 1.01 mg mL^{-1} donde se tomaron alícuotas de 100 a 800 μL y llevados a un mL con agua destilada.

5.2.7. Determinación de contenido calórico

Para medir contenido energético se utilizó un calorímetro (6400, Parr Instrument Company, Moline, Estados Unidos) para lo cual se utilizaron 0.5 g de hongo deshidratado molido por cada lectura.

5.2.8. Determinación de β -glucanos

Para la cuantificación de β -glucanos se usó el kit «Mushroom and yeast beta-glucan assay kit» (Megazyme, Bray, Ireland) con el que se determinan glucanos totales y α -glucanos, siguiendo la metodología de McCleary & Draga (2016) adaptada a microplacas. Para glucanos totales, las muestras de los hongos deshidratados y molidas (45 mg), fueron colocadas en tubos de ensayo de vidrio; a cada tubo se adicionó un mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 12 M y se dejaron reposar en hielo por dos horas. Posteriormente, se agregaron 5 mL de agua destilada y se incubó por 2 horas a baño maría en agua hirviendo. Después de una neutralización usando hidróxido de sodio (NaOH) 1.7 M se aforó a 50 mL con buffer de acetatos de sodio 200 mM (pH 4.5). Para medir los glucanos totales se mezcló una alícuota de 0.1 mL con 0.1 mL de exo-1,3- β -glucanasa (20 U/mL) y β -glucosidasa (4 U/mL) y fue incubada en baño maría a 40 °C por 60 minutos. Finalmente se agregaron 3 mL de reactivo de glucosa-oxidasa-peroxidasa (solución GOPOD) y nuevamente se incubó a 40 °C por 20 minutos. Se midió la absorbancia a 510 nm en el lector de microplacas.

En la determinación de α -glucanos se depositaron 50 mg de polvo de hongos en tubos de ensayo de vidrio y se le agregó 1 mL de hidróxido de sodio 1.7 M y se dejó reposar por 20 minutos en baño de hielo. Después de agregar 4 mL de buffer de acetatos de sodio 1.2 M (pH 3.8) se agregaron 0.1 mL de amiloglucosidasa (1,630 U/mL) e invertasa (500 U/mL) para posteriormente ser incubadas a 40 °C por 30 minutos a baño maría. Finalmente, se tomó una alícuota de 0.1 mL a la cual se le agregó buffer de acetatos de sodio 200 mM (pH 4.5) y 3 mL de la solución GOPOD. Nuevamente se incubó a 40 °C por 20 minutos. Se midió la absorbancia en el lector de microplacas a 510 nm. El contenido de β -glucanos de un estándar de levadura y un hongo control fueron determinados. El contenido de β -glucanos se determinó substrayendo el contenido de α -glucanos del contenido de glucanos totales.

5.2.9. Análisis estadístico

Para el análisis de datos de cada variable se efectuó un análisis de varianza de una vía con prueba de Tukey para comparación de medias usando una significancia del 95%. Se usó el software Minitab 18 (Minitab Inc., Pensilvania, Estados Unidos) para efectuar el análisis antes mencionado.

5.3. Resultados y discusión

De los materiales seleccionados para su estudio se determinó que las especies colectadas corresponden a las especies reportadas en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Identificación de las especies colectadas.

Nombre científico	Nombre común	Nombre en Náhuatl
<i>Amanita jacksonii</i>	Yema, Tecomate	Cozahuitl
<i>Clavulina coralloides</i>	Escobetilla	Xilhua, Ixpahuatl
<i>Helvella lacunosa</i>	Panza	
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	Enchilado	Xintazcal, Chiltaska
<i>Imperator torosus</i>	Chipo, Chipo de toro	
<i>Infundibulicybe squamulosa</i>	Cuerito	
<i>Lactarius indigo</i>	Azul	Quexque
<i>Lactifluus gerardii</i>	Mantequilla, Mantecados	
<i>Pholiota terrestres</i>	Pechuga	
<i>Ramaria stricta</i>	Escobetilla	Xilhua, Ixpahuatl
<i>Russula brevipes</i>	Borrego	Oconanacatl
<i>Tricholoma equestre</i>	Sombrero	

De las especies identificadas, *Hypomyces lactifluorum* y a *Lactarius indigo* han sido de las pocas especies de hongos silvestres en México a las que se les ha determinado la concentración de compuestos fenólicos totales y evaluado la capacidad antioxidante (González-Morales, 2021).

5.3.1. Contenido de compuestos fenólicos totales

De las especies analizadas, como se puede apreciar en el Cuadro 11, se destaca *C. coralloides* ya que tiene la mayor concentración de estos compuestos ($3.52 \text{ mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$), de manera contrastante, *R. brevipes*, *H. lactifluorum* y *A. jacksonii* son las especies con menor contenido de estos compuestos bioactivos. Para el caso de *H. lactifluorum*, Yahia et al., en 2016 reportan un contenido de

compuestos fenólicos totales de $0.04 \text{ mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$, siendo considerablemente menor, respecto al obtenido en el presente estudio ($0.84 \text{ mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$), no obstante, debe considerarse que para el trabajo de 2016 se ocupó una extracción con una solución diferente (acetona) además de que el origen del material fúngico fue el estado de Querétaro. Para *L. indigo*, Yahia *et al.* reportan un valor de $6.6 \text{ mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$, sin embargo, López-Vázquez *et al.*, (2017), reportan un valor más cercano al obtenido ($1.91 \text{ mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$) empleando un extracto metanólico y hongos provenientes del estado de Hidalgo.

Cuadro 11. Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante por especie.

Especie	Contenido de compuestos fenólicos totales ($\text{mg EAG} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$)	Capacidad antioxidante	
		ABTS ($\mu\text{mol ET} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$)	FRAP ($\mu\text{mol ET} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$)
<i>A. jacksonii</i>	$0.69 \pm 0.09^{\text{f}}$	$146.62 \pm 12.98^{\text{c}}$	$0.58 \pm 0.05^{\text{e}}$
<i>C. coralloides</i>	$3.52 \pm 0.20^{\text{a}}$	$60.38 \pm 4.56^{\text{efg}}$	$41.13 \pm 2.16^{\text{a}}$
<i>H. lactifluorum</i>	$0.84 \pm 0.04^{\text{f}}$	$46.49 \pm 0.20^{\text{fg}}$	$1.07 \pm 0.03^{\text{de}}$
<i>H. lacunosa</i>	$1.54 \pm 0.09^{\text{c}}$	$114.31 \pm 4.66^{\text{cd}}$	$2.77 \pm 0.01^{\text{cd}}$
<i>I. squamulosa</i>	$1.22 \pm 0.11^{\text{d}}$	$138.04 \pm 12.81^{\text{c}}$	$1.64 \pm 0.15^{\text{de}}$
<i>I. torosus</i>	$1.40 \pm 0.04^{\text{cd}}$	$394.80 \pm 27.40^{\text{a}}$	$5.48 \pm 0.29^{\text{b}}$
<i>L. gerardii</i>	$1.20 \pm 0.05^{\text{de}}$	$207.2 \pm 17.60^{\text{b}}$	$0.74 \pm 0.04^{\text{e}}$
<i>L. indigo</i>	$1.42 \pm 0.04^{\text{cd}}$	$72.36 \pm 0.46^{\text{ef}}$	$3.88 \pm 0.16^{\text{bc}}$
<i>P. terrestres</i>	$1.29 \pm 0.10^{\text{cd}}$	$82.76 \pm 4.55^{\text{de}}$	$2.11 \pm 0.08^{\text{cde}}$
<i>R. brevipes</i>	$0.94 \pm 0.10^{\text{ef}}$	$44.40 \pm 0.98^{\text{fg}}$	$1.46 \pm 0.11^{\text{de}}$
<i>R. stricta</i>	$1.18 \pm 0.03^{\text{de}}$	$37.47 \pm 4.35^{\text{g}}$	$1.37 \pm 0.02^{\text{de}}$
<i>T. equestre</i>	$2.72 \pm 0.11^{\text{b}}$	$48.45 \pm 0.94^{\text{fg}}$	$2.41 \pm 0.06^{\text{cde}}$

Datos expresados como medias $\pm$ desviación estándar. $n = 3$. Datos con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$, ANOVA, Tukey-HSD).

5.3.2. Capacidad antioxidante

Conforme a lo mostrado en el Cuadro 11, hay un comportamiento diferenciado entre los resultados de los ensayos realizados. Para ABTS, *I. torosus* fue la especie que tuvo un mayor resultado ($394.80 \mu\text{mol ET} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$), mientras que la menor capacidad antioxidante se encontró en *R. stricta*. Por otra parte, en el ensayo FRAP, *C. coralloides* fue la especie con mayor capacidad antioxidante ($41.13 \mu\text{mol ET} \cdot \text{g}_{\text{bs}}^{-1}$), a la par de que *L. gerardii* y *A. jacksonii* tienen los contenidos menores.

Yahia *et al.* (2017), también realizaron un ensayo FRAP, aunque no reportan los valores puntuales se aprecia que, de las 17 especies analizadas, *H. lactifluorum* fue la especie con menor capacidad antioxidante, además de reportar esta variable con relación al material en peso fresco (o base húmeda).

El comportamiento similar entre el contenido de compuestos fenólicos y el ensayo de capacidad antioxidante FRAP demuestran que hay una fuerte relación entre estas dos variables, por otro lado, los resultados del ensayo ABTS pueden ser un indicativo de que hay que ahondar en los compuestos específicos presentes en las especies estudiadas.

5.3.3. Contenido de Proteína Soluble Total

H. lacunosa es el hongo con mayor contenido de proteína soluble (33.64 mg BSA $\cdot g_{bs}^{-1}$) mientras que *H. lactifluorum*, *L. indigo* y *P. terrestris* fueron las especies con los menores contenidos, cabe destacar el hecho de que el contenido de proteína de *C. coralloides* no pudo ser detectado con esta prueba (Cuadro 12). Cabe señalarse que el proceso de acondicionamiento y deshidratación de las muestras al llevarse a cabo a 60 °C pudo haber conllevado con la desnaturalización de proteínas, influyendo en los resultados presentados.

5.3.4. Contenido calórico

Para el contenido energético *L. indigo* e *I. torosus* se destacan por tener los mayores contenidos energéticos (4,435.30 y 4,421.50 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$); mientras que *R. brevipes*, *H. lactifluorum* y *P. terrestris* son las especies con menor aporte calórico. No obstante, se tienen valores mayores reportados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) para hongos como *Agaricus bisporus* (2,635 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$), *Pleurotus ostreatus* (2,635 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$) o *Lentinula edodes* (3,740 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$), por otra parte, dado que, como se mencionó anteriormente, los hongos tienen bajos contenidos de compuestos lipídicos y azúcares libres, se tienen aportes de energía menores a otros alimentos como manzana Red Delicious (5,270 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$), papa Golden cruda sin cáscara (6,205 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$) o carne de res cruda con 10 % grasa (15,725 cal $\cdot g_{bs}^{-1}$).

Cuadro 12. Contenido de Proteína Soluble Total y Contenido calórico de cada especie.

Especie	Contenido de Proteína Soluble Total	Contenido calórico
	(mg BSA · g _{bs} ⁻¹)	(calorías · g _{bs} ⁻¹)
<i>A. jacksonii</i>	29.62 ± 2.91 ^b	4,217.30 ± 121.30 ^{cd}
<i>C. coralloides</i>	ND	4,042.93 ± 2.51 ^{ef}
<i>H. lactifluorum</i>	3.78 ± 0.38 ^f	3,947.29 ± 3.56 ^{fg}
<i>H. lacunosa</i>	33.64 ± 1.21 ^a	4,260.10 ± 15.30 ^{bc}
<i>I. squamulosa</i>	28.93 ± 1.79 ^b	4,093.59 ± 6.16 ^{def}
<i>I. torosus</i>	22.96 ± 0.78 ^c	4,421.50 ± 49.60 ^{ab}
<i>L. gerardii</i>	18.94 ± 1.72 ^d	4,111.80 ± 26.30 ^{cdef}
<i>L. indigo</i>	3.61 ± 0.35 ^f	4,435.30 ± 46.20 ^a
<i>P. terrestris</i>	6.61 ± 0.45 ^f	3,818.40 ± 19.90 ^g
<i>R. brevipes</i>	12.78 ± 0.69 ^e	3,974.25 ± 6.98 ^{fg}
<i>R. stricta</i>	14.34 ± 1.42 ^e	4,047.89 ± 5.48 ^{ef}
<i>T. equestre</i>	27.01 ± 2.29 ^b	4,152.47 ± 0.38 ^{cde}

Datos expresados como medias ± desviación estándar. Para proteína soluble total n = 3; para contenido calórico n = 2. Datos con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes (p < 0.05, ANOVA, Tukey-HSD).

ND: No detectado por este método.

5.3.5. Cuantificación de β-Glucanos

Se registraron contenidos de β-glucanos en un rango de 9.43 a 24.09 %, siendo *P. terrestris* la especie con mayor contenido de estos polisacáridos, mientras que *R. brevipes* fue el hongo con menor concentración (Cuadro 13). Los valores encontrados fueron mayores a los reportados para *A. bisporus* (6.38 %) por la USDA, pero considerablemente menores a *Pleurotus eryngii* (37.57 %).

Aunado a lo anterior, respecto a lo reportado por López-Vázquez *et al.* (2017), se tienen valores mayores que los encontrado en *Boletus edulis* (4.00 %); por otra parte, *Amanita caesarea* (21.49 %) se encuentra dentro del rango de los valores encontrados. No obstante, para el caso de *L. indigo*, el valor encontrado en el presente trabajo es poco menor al doble de lo reportado por López-Vázquez y colaboradores.

Cuadro 13. Contenido de glucanos totales, α -glucanos y β -glucanos.

Especie	Contenido de Glucanos Totales	Contenido de α -Glucanos	Contenido de β -Glucanos
	% ($m \cdot m^{-1}$)	% ($m \cdot m^{-1}$)	% ($m \cdot m^{-1}$)
<i>A. jacksonii</i>	18.46 $\pm$ 0.35 ^b	1.78 $\pm$ 0.19 ^a	16.68 $\pm$ 0.15 ^b
<i>C. coralloides</i>	12.64 $\pm$ 0.54 ^{de}	1.16 $\pm$ 0.05 ^b	11.47 $\pm$ 0.49 ^{cd}
<i>H. lactifluorum</i>	19.11 $\pm$ 0.11 ^b	1.87 $\pm$ 0.20 ^a	17.24 $\pm$ 0.32 ^b
<i>H. lacunosa</i>	16.42 $\pm$ 1.38 ^{bc}	1.11 $\pm$ 0.08 ^{bc}	15.30 $\pm$ 1.46 ^b
<i>I. squamulosa</i>	17.02 $\pm$ 1.22 ^b	0.52 $\pm$ 0.03 ^{de}	16.50 $\pm$ 1.19 ^b
<i>I. torosus</i>	10.83 $\pm$ 0.22 ^e	0.49 $\pm$ 0.06 ^{de}	10.34 $\pm$ 0.16 ^{cd}
<i>L. gerardii</i>	11.77 $\pm$ 0.07 ^{de}	0.69 $\pm$ 0.01 ^d	11.08 $\pm$ 0.08 ^{cd}
<i>L. indigo</i>	17.30 $\pm$ 0.22 ^b	0.56 $\pm$ 0.05 ^{de}	16.73 $\pm$ 0.27 ^b
<i>P. terrestris</i>	24.85 $\pm$ 0.96 ^a	0.76 $\pm$ 0.04 ^{cd}	24.09 $\pm$ 0.93 ^a
<i>R. brevipes</i>	10.07 $\pm$ 0.34 ^e	0.65 $\pm$ 0.003 ^d	9.43 $\pm$ 0.34 ^d
<i>R. stricta</i>	10.83 $\pm$ 0.28 ^e	0.22 $\pm$ 0.01 ^e	10.60 $\pm$ 0.27 ^{cd}
<i>T. equestre</i>	14.11 $\pm$ 0.75 ^{cd}	1.61 $\pm$ 0.09 ^a	12.50 $\pm$ 0.66 ^c

Datos expresados como medias $\pm$ desviación estándar. n = 2. Datos con diferente letra en cada columna son significativamente diferentes (p < 0.05, ANOVA, Tukey-HSD).

5.4. Conclusiones

Con el presente estudio se amplía el conocimiento de especies de hongos silvestres comestibles de México aportando estudios de 10 especies que no habían sido trabajadas a nivel nacional (*A. jacksonii*, *C. coralloides*, *H. lacunosa*, *I. squamulosa*, *I. torosus*, *L. gerardii*, *P. terrestris*, *R. brevipes*, *R. stricta* y *T. equestre*) y actualizando la información de dos especies (*H. lactifluorum* y *L. indigo*), pudiendo apreciarse diferencias en valores que bien pueden deberse a las condiciones de crecimiento y desarrollo de estas especies.

El conocimiento más profundo de los aportes nutricionales y de compuestos bioactivos de los hongos silvestres comestibles es una herramienta que permite sustentar al conocimiento tradicional a la vez que refuerza la valorización de estas especies.

5.5. Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México por el apoyo durante el desarrollo de este proyecto, así como la facilidad de uso de equipos y material.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el financiamiento mediante la beca con número de apoyo 801156.

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo financiero al presente trabajo mediante el proyecto de investigación con clave 22176-C-90.

5.6. Literatura citada

Álvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L.A., Martínez, N.R. & González-Aguilar, G.A. (2007). Total phenols and antioxidant activity of commercial and wild mushrooms from Chihuahua, Mexico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(5): 329-334. <https://doi.org/10.1080/11358120709487708>.

Benzie, I. & Strain, J. (1996) The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power: The FRAP Assay". *Analytical Biochemistry*, 239: 70-76. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).

Deveci, E., Çayan, F., Tel-Çayan, G. & Duru, M.E. (2019). Structural characterization and determination of biological activities for different polysaccharides extracted from tree mushroom species. *Journal of Food Chemistry*, 43: e12965. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12965>.

Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar, C., Estrada-Zúñiga, M.E. & Zepeda-Gómez, C. (2021). Obtención de β -glucanos de esporomas silvestres y micelio *in vitro* de *Lycoperdon perlatum*. *Scientia Fungorum*, 52: e1409. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1409>.

Ghosh, S., Chatterjee, T. & Acharya, K. (2021). Revisiting Ramaria species: the Coral Fungi as Food and Pharmaceuticals. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3): 10790 – 10800. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1079010800>.

González-Morales, A., Ribas-Aparicio, R.M. & Burrola-Aguilar, C. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia Fungorum*. 52: e1410. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>.

Guo, D., Lei, J., Xu, L., Cheng, Y., Feng, C., Meng, J., Chang, M. & Geng, X. (2022). Two Novel Polysaccharides from *Clitocybe squamulosa*: Their Isolation, Structures, and Bioactivities. *Frontiers in Nutrition*, 9: 934769. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.934769>.

- Hernández-Rodríguez, G., Espinosa-Solares, T., Hernández-Eugenio, G., Villa-García, M., Reyes-Trejo, B. & Guerra-Ramírez, D. (2016). Influence of Polar Solutions on the Extraction of Phenolic Compounds from Capulín Fruits (*Prunus serotina*). *Journal of the Mexican Chemical Society*, 60(2): 73-78. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v60i2.76>.
- López-Vázquez, E., Prieto-García, F., Gayosso-Canales, M., Otazo-Sánchez, E.M. & Villagómez-Ibarra, J.R. (2017). Phenolic acids, flavonoids, ascorbic acid, β -glucans and antioxidant activity in Mexican wild edible mushrooms. *Italian Journal of Food Science*, 29(4): 766-774. <https://doi.org/10.14674/IJFS-838>.
- McCleary, B.V. & Draga, A. (2016). Measurement of β -Glucan in Mushrooms and Mycelial Products. *Journal of AOAC International* 99(2). <https://doi.org/10.5740/jaoacint.15-0289>.
- Mena-García, M., Branco-Paula, V., Dominguez-Olloqui, N., Fernández-García, D., Combarros-Fuertes, P., Miranda-Estevinho, L., González-Árias, L., Renes-Bañuelos, E. & Fresno-Baro, J.M. (2021). Effect of different cooking methods on the total phenolic content, antioxidant activity and sensory properties of wild *Boletus edulis* mushroom. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26: 100416. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100416>.
- Moctezuma-Pérez, I., Martínez-García, M., Campos-Contreras, J.E., Rivera-Yáñez, N., Juárez-Contreras, A., Hernández-Portilla, L.B., Flores-Ortiz, C.M., Hernández-Hernández, A.B., Martínez-Elizalde, K.S., Rodríguez, M.G., Rivera-Yáñez, C.R., Rodríguez-Monroy, M.A. & Canales-Martínez, M.M. (2017). Propiedades Nutracéuticas de *Morchella vulgaris* (Pers.) Boud. *Interciencia*, 42(7): 423-429. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33952188004>.
- Molina-Castillo, S., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H. & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Gastronomic diversity of wild edible mushrooms in the Mexican cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 31: 100652. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100652>.
- Novaković, S., Đekić, I., Klaus, A., Vunduk, J., Đorđević, V., Tomović, V., Šojić, B., Kocić-Tanaskov, S., & Tomašević, I. (2020). Antioxidant activity of mushrooms *in vitro* and in frankfurters. *Scientific Journal Meat Technology*, 61(1): 62-69. <https://doi.org/10.18485/meattech.2020.61.1.5>.
- Pérez-Moreno, J., Guerin-Laguette, A., Rinaldi, A.C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F. & Martínez-Reyes, M. (2021). Edible Mycorrhizal Fungi of the World: What Is Their Role in Forest Sustainability, Food Security, Biocultural Conservation and Climate Change? *Plants. People, Planet*, 3(5): 471-490. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10199>.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10): 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

Sánchez C. (2017). Bioactives from mushroom and their application. In: Puri M (ed.), *Food Bioactives*. Springer, Cham. 23-57. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51639-4_2.

United States Department of Agriculture. FoodData Central. (30 de octubre de 2023). <https://fdc.nal.usda.gov/>.

Yahia, E.M., Gutiérrez-Orozco, F. & Moreno-Pérez, M.A. (2017). Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 226: 14–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.044>.