

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Estudio de la actividad antifúngica, antibacteriana y capacidad antioxidante de extractos del hongo comestible *Tricholoma mesoamericanum*

Study of the antifungal, antibacterial activity, and antioxidant capacity of extracts of the edible mushroom *Tricholoma mesoamericanum*

Authors/Autores: Serrano-Márquez, L., Pedraza-Cubillas, M., Susan, P., Ramos, A.

ID: e2000

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2000>

Received/Fecha de recepción: September 29th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: May 12th 2026

Available online/Fecha de publicación: June 04th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Serrano-Márquez, L., Pedraza-Cubillas, M., Susan, P., Ramos, A. (2026). Study of the antifungal, antibacterial activity, and antioxidant capacity of extracts of the edible mushroom *Tricholoma mesoamericanum*. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2000. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2000>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.




Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Estudio de la actividad antifúngica, antibacteriana y capacidad antioxidante de extractos del hongo comestible *Tricholoma mesoamericanum*

Study of the antifungal, antibacterial activity, and antioxidant capacity of extracts of the edible mushroom *Tricholoma mesoamericanum*

Bioactividades de *T. mesoamericanum* / Bioactivities of *T. mesoamericanum*

Serrano-Márquez, L.¹ ( <https://orcid.org/0000-0001-5700-5978>), Pedraza-Cubillas, M.², Susan, P.¹ ( <https://orcid.org/0000-0003-2567-803X>), Ramos, A.^{1*} ( <https://orcid.org/0000-0003-1147-9291>).

¹Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C., Carretera Antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, C.P. 91073, Xalapa, Veracruz, México.

²Ingeniería en Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX), Sección 5A Reserva Territorial s/n, Col. Santa Bárbara, C.P. 91096, Xalapa, Veracruz, México.

*Corresponding Author:

Antero Ramos. Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C., Carretera Antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, C.P. 91073, Xalapa, Veracruz, México. Teléfono: (228) 842 1800 ext. 3113 y 3123. E-mail: antero.ramos@inecol.mx

RESUMEN

Los estudios de macrohongos han cobrado importancia para la comunidad científica en las áreas biomédica, nutricional y agrícola, en esta última como una alternativa para prevenir enfermedades en plantas. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial antifúngico, antibacteriano y la capacidad antioxidante de extractos crudos del hongo comestible *Tricholoma mesoamericanum* a través de bioensayos *in vitro*. Los extractos se evaluaron mediante los métodos del alimento envenenado y difusión en discos, así como contra tres radicales libres, y se determinó el contenido de fenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu. Los tres extractos de *T. mesoamericanum* presentaron bajos porcentajes de inhibición del crecimiento micelial (≤ 50 %) contra los hongos fitopatógenos, sin embargo, el extracto de acetato de etilo tuvo una inhibición moderada (< 20 a 12 mm) contra la bacteria *Clavibacter michiganensis*. Por otro lado, el extracto de la mezcla cloroformo-metanol presentó capacidad antioxidante al estabilizar al radical ABTS⁺ (158.6 ± 0.11 $\mu\text{mol TE/mg}$) este mismo extracto presentó la mayor cantidad de fenoles totales (35.45 ± 4.49 GAE/mg). El hongo comestible *T. mesoamericanum* representa un recurso importante para la investigación nutracéutica, farmacéutica y agrícola, al presentar bioactividad en las evaluaciones *in vitro* realizadas en esta investigación.

PALABRAS CLAVE:

Antioxidantes, bacterias, control biológico, hongos fitopatógenos, radicales libres.

ABSTRACT

Studies on macrofungi have gained increasing significance for the scientific community, particularly in biomedical, nutritional, and agricultural fields, especially as an alternative method for preventing plant diseases in agriculture. Therefore, this research aimed to evaluate the antifungal and antibacterial potential, as well as the antioxidant capacity, of crude extracts from the edible mushroom *Tricholoma mesoamericanum* using *in vitro* bioassays. The extracts were tested through poisoned food and disc diffusion methods against three free radicals, and the total phenolic content was measured with the Folin-Ciocalteu method. The three *T. mesoamericanum* extracts showed low levels of mycelial growth inhibition ($\leq 50\%$) against phytopathogenic fungi; however, the ethyl acetate extract exhibited moderate inhibition (< 20 to 12 mm) against *Clavibacter michiganensis*. Conversely, the chloroform-methanol mixture extract demonstrated antioxidant activity by stabilizing the ABTS⁺ radical (158.6 ± 0.11 $\mu\text{mol TE/mg}$), and this same extract showed the highest total phenolic content (35.45 ± 4.49 GAE/mg). The edible mushroom *T. mesoamericanum* is a valuable resource for nutraceutical, pharmaceutical, and agricultural research, as it demonstrated bioactivity in the *in vitro* assays conducted in this study.

KEY WORDS:

Antioxidants, bacteria, biological control, phytopathogenic fungi, free radicals.

Introducción

En los últimos años, ha incrementado la necesidad de sustituir a numerosos pesticidas sintéticos, los cuales son ampliamente utilizados en el área agrícola, su uso excesivo ha generado problemas ambientales, provocando la aparición de organismos fitopatógenos resistentes (Sivanandhan *et al.*, 2017; Clericuzio *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2021; Ayaz *et al.*, 2023). Ejemplos de estos fitopatógenos son los hongos y bacterias, los cuales reducen el rendimiento y la calidad de cultivos a nivel mundial, causando enormes pérdidas económicas en el sector agrícola (Peng *et al.*, 2021; Ayaz *et al.*, 2023). El desarrollo de productos ecológicos de origen natural se ha posicionado como una alternativa para prevenir y controlar plagas y enfermedades en las plantas (Ayaz *et al.*, 2023; Dharani *et al.*, 2025). Estos productos alternativos, sin embargo, deben poseer algunas características deseables, como: rentabilidad, biodegradabilidad, nuevos modos de acción y especificidad (Sivanandhan *et al.*, 2017).

Actualmente, los estudios de macrohongos han cobrado gran importancia para la comunidad científica en el área biomédica, nutricional y agrícola, además en los últimos 10 años se han incrementado las publicaciones científicas sobre el cribado, aislamiento y estudio de metabolitos de basidiomicetos con propiedades biopesticidas, las cuales se espera que mitiguen paulatinamente la contaminación ambiental, contribuyendo a una agricultura sustentable (Sivanandhan *et al.*, 2017; Ayaz *et al.*, 2023; Lysakova *et al.*, 2024; Zhao *et al.*, 2024). Dentro de los basidiomicetos se encuentran los hongos comestibles, que se consumen principalmente por su valor nutricional y sus propiedades organolépticas, ya que son ricos en proteínas, fibra dietética, vitaminas, minerales y otros componentes bioactivos (polisacáridos, ácidos grasos, fenoles, terpenoides, esteroides, alcaloides, lactonas, entre otros) (Kumar *et al.*, 2021; Assemie & Abaya, 2022; El-Ramady *et al.*, 2022). Los extractos y metabolitos bioactivos de estos hongos han sido eficientes en bioensayos antimicrobianos, antioxidantes, inmunoestimulantes, anticancerígenos, antidiabéticos, antivirales, hepatoprotectores, antihipercolesterolémicos, promotores de crecimiento vegetal, por tanto, son candidatos potenciales en la búsqueda de nuevos bioproductos medicinales, nutraceuticos y agrícolas (Clericuzio *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021; Assemie & Abaya, 2022; El-Ramady *et al.*, 2022; Castillo-Esparza *et al.*, 2023; Lysakova *et al.*, 2024; Dharani *et al.*, 2025).

Por otro lado, en el panorama actual, las investigaciones de metabolitos bioactivos en hongos comestibles tanto silvestres como cultivados, es aún insuficiente (Kumar *et al.*, 2021; Assemie & Abaya, 2022; Gamboa-Becerra *et al.*, 2024). No obstante, el género *Tricholoma* constituye un grupo de hongos que pueden aportar novedosas propiedades medicinales, comestibles y de biocontrol agrícola (Zhao *et al.*, 2024). Algunas especies del género han demostrado actividad antibacteriana (*Tricholoma terreum*) (Karakas *et al.*, 2023), actividad antimicrobiana (*Tricholoma virgatum*) (Selamoglu *et al.*, 2020), capacidad antioxidante (*Tricholoma imbricatum*, *Tricholoma fracticum*, *Tricholoma focale* y *Tricholoma mongolicum*) (You *et al.*, 2014; Kaplaner *et al.*, 2017; Canbolat *et al.*, 2024) y actividad hipoglucémica (*Tricholoma matsutake*) (Yang *et al.*, 2021). Ahora bien, *Tricholoma mesoamericanum* pertenece al complejo *Tricholoma matsutake*, este hongo es muy apreciado en México, con alto valor culinario, por lo que su precio es elevado (Bandala *et al.*, 2022; López-Hernández *et al.*, 2022). Gamboa-Becerra *et al.* (2024), sentaron las bases para el estudio de *T. mesoamericanum* en México, realizando un análisis metabolómico y nutricional, por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el potencial antifúngico, antibacteriano y la capacidad antioxidante de extractos crudos del hongo comestible *T. mesoamericanum* a través de bioensayos *in vitro*. En México existe un amplio conocimiento tradicional sobre el uso de macrohongos, lo que posiciona al país como el segundo a nivel mundial en su consumo (López-García *et al.*, 2024). Los resultados de este estudio aportan evidencia sobre el potencial de los extractos de macrohongos comestibles como alternativa para el control de bacterias de interés agrícola. Además de su valor nutricional, estos organismos constituyen una fuente importante de antioxidantes naturales, lo que aporta beneficios a la salud humana. El aprovechamiento de estos recursos biológicos locales puede fortalecer la soberanía alimentaria del país al promover su consumo, reducir la dependencia de productos manufacturados, revalorizar el conocimiento tradicional sobre los macrohongos.

Material y Métodos

Material biológico

Los basidiomas examinados de *Tricholoma mesoamericanum* fueron obtenidos del mercado Alcalde y García, del Municipio de Xalapa, Veracruz. La identificación taxonómica se realizó en un trabajo previo (Bandala *et al.*, 2022), posteriormente los hongos se congelaron, y se liofilizaron a -80 °C con una presión de vacío a 0.004 bares (LABCONCO, Kansas City, USA), las muestras se almacenaron a -80 °C, hasta su análisis.

Extractos fúngicos

Se maceraron 40 g de las muestras deshidratadas del hongo para cada uno de los disolventes utilizados, acetato de etilo, cloroformo y mezcla cloroformo-metanol (1:1 v/v), los disolventes fueron agregados en proporción de 1:10 p/v para la extracción hasta agotamiento. Las muestras se colocaron en un baño de ultrasonido (Vevor, KZ-D30, China) durante 60 min, con una frecuencia de 40 KHz. A continuación, se separó la biomasa del disolvente a través de papel filtro Whatman No. 1; posteriormente, se evaporó el disolvente en un rotavapor a 40 °C (Büchi R-100, Flawil, Suiza) (Serrano-Márquez *et al.*, 2021). Finalmente, los extractos crudos se filtraron con un filtro de jeringa de PTFE 25/0,22 µm (Thermo Scientific, China) y el disolvente de cada extracto se evaporó por completo al vacío a 35 °C en una Centrivap (Heto Lab VR-1/120/240, Dinamarca). El rendimiento de cada muestra se determinó mediante la ecuación 1:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{extracto crudo obtenido (g)}}{\text{muestras deshidratadas (g)}} * 100$$

Evaluación antifúngica

La evaluación antifúngica se realizó siguiendo el Método del alimento envenenado y los resultados se expresaron como el Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Micelial (PIMG %). Los

tres extractos de *T. mesoamericanum* se evaluaron en placas Petri (9 cm), cada placa contenía medio agar papa y dextrosa (PDA) y la solución madre del extracto ajustada a una concentración final de 1000 µg/mL y dimetilsulfóxido (DMSO) al 1 % (Al-Burtamani *et al.*, 2005; Kaur *et al.*, 2023). Posteriormente, se inoculó en el centro de la placa un disco con micelio (5 mm de diámetro) de cada hongo fitopatógeno: *Acremonium strictum* (CBF-230), *Colletotrichum asianum* (CBF-339) y *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (CBF-338), los cuales fueron proporcionados por la Planta Piloto para el Desarrollo de Agentes de Control Biológico, Instituto de Ecología, A. C. Se utilizó fluconazol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) como control positivo y como control negativo medio PDA con DMSO al 1 %. Las placas se incubaron durante 8 días a 25 ± 2 °C y se midió el crecimiento micelial (Ahuja *et al.*, 2019). La evaluación se realizó por triplicado y los resultados se expresan de acuerdo con Al-Burtamani *et al.* (2005), ecuación 2:

$$\text{PIMG\%} = \frac{\text{Mc-Mt}}{\text{Mc}} * 100$$

Donde: Mc= crecimiento de los diámetros promedio del micelio control

Mt= crecimiento de los diámetros promedio del micelio con tratamiento

Evaluación antibacteriana

La actividad antibacteriana se evaluó siguiendo el método de difusión en discos del protocolo M7-A9 del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), (2012) y Adongbede *et al.* (2020) con algunas modificaciones, los resultados se expresaron como los halos de inhibición del crecimiento (mm). Los extractos crudos de *T. mesoamericanum* se evaluaron contra cuatro especies de bacterias fitopatógenas de importancia agrícola: Gram positiva: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (ID/46) y Gram negativas: *Pseudomonas syringae* (ID/17), *Rhizobium radiobacter* (ID/70) y *Xanthomona campestris* (ID/138), proporcionadas por el Laboratorio de bacteriología del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). En placas Petri (9 cm) con agar Luria-Bertani (LB) (Merck, Darmstadt, Alemania) se inocularon por extensión con hisopo de algodón estéril 50 µL de una suspensión bacteriana ajustada a 1.5x10⁵ UFC/mL. En las placas se colocaron cuatro discos de papel filtro estériles (BIO-RAD, CA, USA) de 6 mm de diámetro, separados de manera equidistante, cada uno impregnado con 10 µL de los extractos, empleando cuatro concentraciones diferentes: 2.5, 1.25, 0.63 y 0.31 mg/mL. Como control positivo se utilizó cloranfenicol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) a las mismas concentraciones que los extractos y como control negativo se utilizó DMSO al 10 %. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado y las placas se incubaron a 28 ± 2 °C durante 48 h, el diámetro (mm) de los halos de inhibición se midió con un vernier digital.

Capacidad antioxidante

Los extractos crudos se evaluaron midiendo la estabilización de los radicales libres: ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS⁺), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y Galvinoxyl. Se utilizó Trolox (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) como antioxidante estándar para las curvas de calibración. Para determinar la concentración efectiva media (EC₅₀) se utilizó la ecuación de regresión lineal, para obtener la concentración necesaria del estándar que reduce a cada radical en un 50 %. Los resultados de los extractos fúngicos se expresaron como µmol equivalentes de Trolox por 1 mg de extracto (µmol TE/mg). Con los extractos fúngicos se prepararon soluciones stock a una concentración de 1 mg/mL en metanol y se evaluaron por triplicado (Serrano-Márquez *et al.*, 2021; Couttolenc *et al.*, 2022).

Radical ABTS⁺

El radical ABTS⁺ se obtuvo mezclando 750 μ L de una solución de ABTS preparada a una concentración de 7.4 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) con 750 μ L de persulfato de potasio a concentración 2.6 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) esta mezcla se dejó reaccionar entre 12-16 h (Serrano-Márquez *et al.*, 2021). Posteriormente, se diluyó el radical obtenido en metanol hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Multiskan SkyHigh™, Singapur). En microplacas de 96 pozos se adicionaron 160 μ L del radical ABTS⁺ y 40 μ L de la solución stock fúngica o estándar (Trolox). La microplaca se dejó reposar por 10 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 734 nm. Como blanco se utilizó metanol y como control la solución del radical ABTS⁺ (Abbou *et al.*, 2022). La curva estándar de Trolox se preparó en concentraciones dentro del rango 2.34-300 μ M.

Radical DPPH

El radical DPPH se preparó a 0.1 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) en metanol al 80 % (v/v) la solución se mantuvo en agitación durante 30 min, después se ajustó a una absorbancia de 0.5 ± 0.02 a 517 nm. En microplacas de 96 pozos se adicionaron 160 μ L del radical DPPH y 40 μ L de la solución stock fúngica o estándar (Trolox). La microplaca se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 517 nm (Rechek *et al.*, 2021). Como blanco se utilizó metanol 80 % y como control la solución DPPH. La curva estándar de Trolox se preparó en concentraciones dentro del rango 1.95-200 μ M.

Radical Galvinoxyl

El radical Galvinoxyl se preparó al 0.1 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), este se disolvió en metanol durante 20 min en agitación. En microplacas de 96 pozos se adicionaron 160 μ L del radical Galvinoxyl y 40 μ L de la solución stock fúngica o estándar (Trolox). La microplaca se dejó reposar por 60 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 428 nm. Como blanco se utilizó metanol y como control la solución Galvinoxyl (Abbou *et al.*, 2022). La curva estándar de Trolox se preparó en concentraciones dentro del rango 0.63-40 μ M.

Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales (TPC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu de acuerdo con Rechek *et al.* (2021) y Couttolenc *et al.* (2022) con modificaciones. Los extractos fúngicos se evaluaron a una concentración de 1 mg/mL por triplicado. Se preparó una curva estándar de ácido gálico (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) disuelto en metanol al 50 % en concentraciones de 1.53-200 μ g/mL. En microplacas de 96 pozos se adicionaron 15 μ L de la solución stock fúngica o estándar (ácido gálico), 15 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) y 90 μ L de agua desionizada. Después de 6 min de incubación a temperatura ambiente, se añadieron 80 μ L de una solución de Na₂CO₃ al 10.75 % (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) disuelta en agua desionizada (p/v) y se dejó reaccionar por 60 minutos. La absorbancia se midió a 760 nm, como blanco, se utilizó metanol 50 % v/v. Los resultados se expresaron como μ g equivalentes de ácido gálico por mg de extracto (GAE/mg de extracto).

Análisis estadístico

Los resultados de la actividad antibacteriana, antifúngica y la capacidad antioxidante se expresaron como la media \pm desviación estándar (n=3). Se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene respectivamente. Los datos del diámetro de micelio, actividad antioxidante y fenoles totales no cumplieron el supuesto de normalidad, por lo que se transformaron en rangos (Conover, 2012; Serafy *et al.*, 2015). Se realizó

un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías para los datos de actividad antifúngica y antioxidante, así como una prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$). Asimismo, se realizó un ANOVA de una vía para evaluar el contenido de fenoles totales, con su correspondiente prueba de comparaciones múltiples ($p \leq 0.05$). Debido a la limitada actividad antibacteriana observada en los extractos evaluados, únicamente se presentan los resultados correspondientes a las estadísticas descriptivas. Los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con los software JMP Pro® 14.0.0 y Sigma Plot 10.0.

Resultados y Discusión

Rendimiento de extractos crudos

A partir de los disolventes usados, se obtuvieron tres extractos crudos de *Tricholoma mesoamericanum* con rendimientos entre 4.8-4.9 %, siendo el extracto de acetato de etilo el que obtuvo el mayor rendimiento (4.9 %) (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de rendimiento de los extractos crudos de *Tricholoma mesoamericanum*, obtenidos con diversos disolventes.

Disolvente	Muestras deshidratadas (g)	Extracto obtenido (g)	Rendimiento (%)
Acetato de etilo	40	1.96	4.9
Cloroformo-metanol	40	1.92	4.8
Cloroformo	40	1.93	4.81

Los extractos son una mezcla de diferentes componentes; dependiendo del disolvente utilizado, se obtendrán diferentes rendimientos y compuestos químicos (Lysakova *et al.*, 2024). Sin embargo, en esta investigación los tres extractos obtuvieron rendimientos cercanos al 5 %. Esto podría estar asociado con la forma de extracción mediante ultrasonido, el cual, de acuerdo con Kumar *et al.* (2021) es un método adecuado para obtener extractos crudos.

Actividad antifúngica

Los resultados de la actividad antifúngica de los tres extractos de *T. mesoamericanum* contra los hongos fitopatógenos (*Acremonium strictum*, *Colletotrichum asianum* y *Fusarium oxysporum*) se presenta en la Tabla 2. Los rangos de bioactividad de los extractos se definieron de acuerdo con Krutmuang *et al.* (2022), donde se establecen rangos de inhibición muy alta (>75 %), inhibición alta (61–75 %), inhibición moderada (51–60 %) e inhibición baja (≤ 50 %). Existió diferencia significativa en el efecto de los tres extractos de *T. mesoamericanum* sobre el crecimiento del diámetro del micelio de los tres hongos fitopatógenos ($p \leq 0.05$), siendo *A. strictum*, el fitopatógeno que presentó un menor crecimiento micelial con los tres extractos. En lo referente al Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Micelial (PIMG %), los tres extractos de *T. mesoamericanum* presentaron una baja inhibición frente a los tres fitopatógenos, con diferencia significativa en su efecto ($p \leq 0.05$). El extracto de acetato de etilo fue el que presentó una mayor actividad contra *C. asianum* y *A. strictum* obteniendo un PIMG %=37.86 y 22.3 respectivamente. No obstante, contra *F. oxysporum* el extracto de la mezcla cloroformo-metanol fue el más activo con un PIMG %=15.02 (Tabla 2 y Figura 1). El control positivo (fluconazol) presentó una inhibición de aproximadamente 80 % en el crecimiento de los tres hongos fitopatógenos.

Tabla 2: Actividad antifúngica de extractos de *Tricholoma mesoamericanum* contra hongos de importancia agrícola.

Tipo de extracto	Diámetro del micelio (mm)			PIMG %		
	<i>A. strictum</i> (CBF-230)	<i>C. asianum</i> (CBF-339)	<i>F. oxysporum</i> (CBF-338)	<i>A. strictum</i> (CBF-230)	<i>C. asianum</i> (CBF-339)	<i>F. oxysporum</i> (CBF-338)
Acetato de etilo	27±0.5 ^a	38.4±0.3 ^e	65.4±2.0 ^a	22.3 ^{bc}	37.86 ^a	11.97 ^d
Cloroformo-Metanol	29.4±0.6 ^g	52.4±1.1 ^c	63.1±1.1 ^a	17.14 ^{cd}	15.1 ^{cd}	15.02 ^{cd}
Cloroformo	30.4±0.1 ^f	45.9±2.6 ^d	65.8±1.3 ^b	12.51 ^d	25.67 ^b	11.47 ^d
Fluconazol	5.8±0.2	10±0.3	15.1±0.2	83.16	83.71	79.68
Control negativo	34.7±0.3	61.8±4.1	74.3±1.5	ND	ND	ND

Nota: Diámetro micelial (media ± SD); PIMG % (Porcentaje de Inhibición del Crecimiento Micelial); ND: No detectado; Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

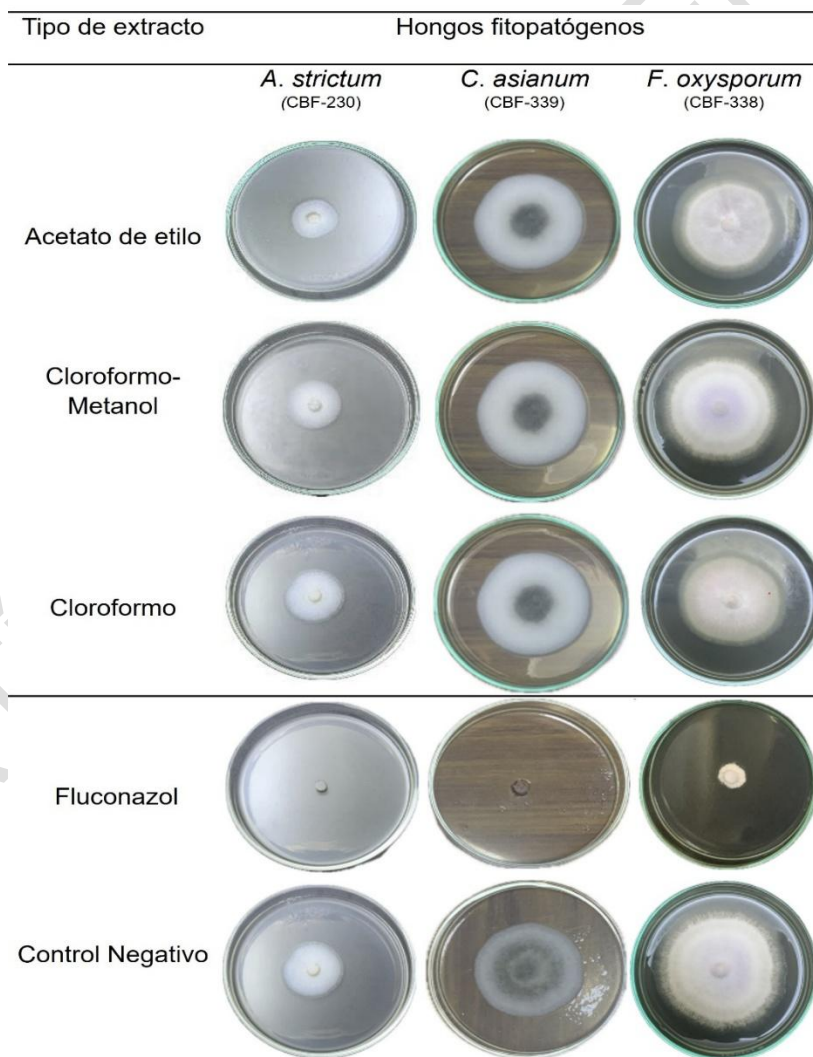


Figura 1: Actividad antifúngica de extractos crudos de *Tricholoma mesoamericanum* frente a hongos fitopatógenos a los 8 días. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha mencionado, el extracto de acetato de etilo de *T. mesoamericanum* fue el que obtuvo mayor inhibición contra *C. asianum* (Figura 2), un fitopatógeno prevalente en México que ocasiona antracnosis en mango, ocasionando pérdidas en almacenamiento y comercialización del fruto (Tovar-Pedraza *et al.*, 2020). Los resultados de *T. mesoamericanum* aportan nuevo conocimiento sobre la inhibición de hongos fitopatógenos, en la literatura Ramos *et al.* (2025) reportan que extractos de cloroformo-metanol de *Turbinellus floccosus* otro hongo comestible silvestre presentó PIMG % entre 30.09 - 62.20 contra estos tres hongos fitopatógenos (*A. strictum*, *C. asianum* y *F. oxysporum*).

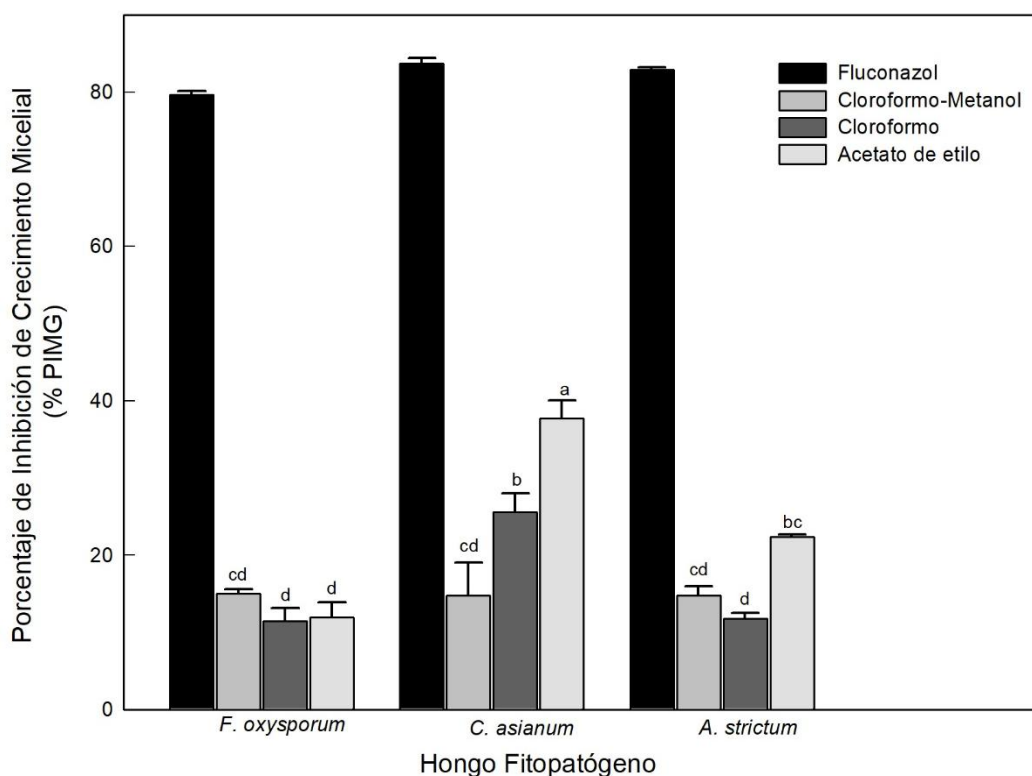


Figura 2: Porcentaje de Inhibición de Crecimiento Micelial de extractos crudos de *Tricholoma mesoamericanum* frente a hongos fitopatógenos a los 8 días. Fuente: Elaboración propia.

Actividad antibacteriana

En este segundo bioensayo se evaluó la bioactividad de los tres extractos contra cuatro bacterias de interés agrícola (*Clavibacter michiganensis*, *Pseudomonas syringae*, *Rhizobium radiobacter* y *Xanthomonas campestris*). La bioactividad en este bioensayo se definió de acuerdo con De Mendonça *et al.* (2012), donde se establecen valores de inhibición fuerte (≥ 20 mm), inhibición moderada (< 20 a 12 mm) e inhibición débil (> 12 mm). El extracto de acetato de etilo destacó al inhibir el crecimiento de la bacteria *C. michiganensis* con halos de inhibición de 12.3 ± 1.0 mm a 2.5 mg/mL y 11.5 ± 0.8 mm a 1.25 mg/mL, presentando inhibición moderada y débil, respectivamente. El control positivo (cloranfenicol) contra *C. michiganensis* presentó halos de inhibición de 31.4 ± 0.7 mm a una concentración de 2.5 mg/mL, 24 ± 0.5 mm a una concentración de 1.25 mg/mL, 18.5 ± 0.7 mm a una

concentración de 0.63 mg/mL y 15 ± 1.2 mm a una concentración de 0.31 mg/mL, el control negativo (DMSO 10 %) no presentó inhibición sobre el crecimiento de la bacteria (Figura 3).

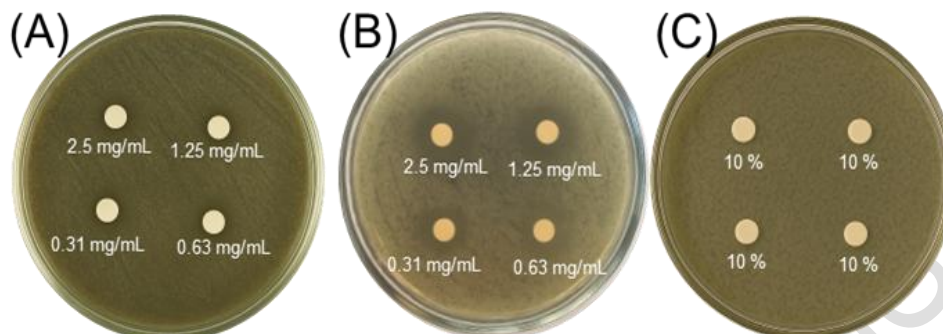


Figura 3. Actividad antibacteriana contra *Clavibacter michiganensis* del extracto de acetato de etilo (A), cloranfenicol (B) y DMSO 10 % (C). Fuente: Elaboración propia.

El extracto de acetato de etilo inhibió a la bacteria Gram-positiva *C. michiganensis* responsable de la marchitez y cancro bacteriano, ambas enfermedades destructivas y recurrentes en solanáceas como el jitomate (Rivera-Sosa *et al.*, 2022). Cabe señalar que, la actividad antibacteriana de especies del género *Tricholoma* se ha estudiado contra bacterias de interés médico, como la reportan Karakas *et al.* (2023) donde se determinó el significativo potencial antibacteriano del extracto de metanol de *Tricholoma terreum* contra *Staphylococcus epidermidis*, *Serratia marcescens* y *Proteus vulgaris* mediante el método de difusión en disco.

Gamboa-Becerra *et al.* (2024) dan a conocer compuestos presentes en *T. mesoamericanum* dentro de los cuales se reporta terpenoides, ácidos grasos, glicerofosfolípidos y esfingolípidos, los cuales pudieran estar relacionados con la actividad antibacteriana y antifúngica, también en la literatura se reporta que en el género *Tricholoma* se han identificado principalmente terpenoides (triterpenoides, diterpenoides y sesterterpenoides), esteroides (ergosterol), alcaloides (indoles), entre otros, los cuales previamente se han reportado por presentar bioactividad (Zhao *et al.*, 2024).

Capacidad antioxidante y Contenido de fenoles totales

Los resultados de la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de los tres extractos de *T. mesoamericanum* contra los radicales (ABTS⁺, DPPH y Galvinoxyl) se presenta en la Tabla 3, asimismo, se dan a conocer los resultados del contenido de fenoles totales (TPC). Existió diferencia significativa en la capacidad antioxidante de los extractos evaluados mediante los tres diferentes radicales ($p \leq 0.05$), siendo el extracto de la mezcla cloroformo-metanol el que presentó los valores más altos de capacidad antioxidante ($p \leq 0.05$) (Tabla 3). Para el método del radical ABTS⁺ se obtuvo una Concentración efectiva media (EC₅₀) del antioxidante estándar Trolox= 147.31 ± 0.42 μ M la cual estabilizó en un 50 % al radical. El extracto de la mezcla cloroformo-metanol estabilizó al radical ABTS⁺ con 158.6 ± 0.11 μ mol TE/mg una concentración superior a EC₅₀ de antioxidante control. Los siguientes radicales DPPH y Galvinoxyl fueron estabilizados con una EC₅₀ de Trolox de 126.10 ± 0.77 y 24.31 ± 0.17 μ M respectivamente, sin embargo, ningún extracto obtuvo valores cercanos para estabilizar a estos dos radicales.

Tabla 3: Capacidad antioxidante de extractos crudos de *Tricholoma mesoamericanum*, determinada mediante los ensayos ABTS⁺, DPPH, Galvinoxyl y Contenido de fenoles totales.

Tipo de extracto	TEAC (μmol TE/mg)			TPC (GAE/mg)
	ABTS ⁺	DPPH	Galvinoxyl	
Acetato de etilo	22.86 ± 1.48 ^a	< 1.95 ^e	1.89 ± 0.60 ^c	6.30 ± 0.34 ^b
Cloroformo-Metanol	158.6 ± 1.11 ^a	61.62 ± 1.47 ^a	9.29 ± 1.61 ^b	35.45 ± 4.49 ^a
Cloroformo	15.48 ± 1.71 ^e	< 1.95 ^d	1.06 ± 0.54 ^c	5.05 ± 0.50 ^c
EC ₅₀ : Trolox	147.31 ± 0.42	126.10 ± 0.77	24.31 ± 0.17	NA

Nota: TEAC: capacidad antioxidante equivalente a Trolox; TE: equivalentes de Trolox; TPC: contenido de fenoles totales; GAE: equivalentes de ácido gálico; EC₅₀: concentración efectiva media; Los valores son expresados como la media ± desviación estándar (n=3); NA: no aplica. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Del mismo modo, el extracto de la mezcla cloroformo-metanol estabilizó al radical ABTS⁺ con valores superiores del antioxidante control (Trolox), estos resultados confirman la capacidad antioxidante del extracto de *T. mesoamericanum*, esta capacidad es consistente con la reportada previamente en extractos de algunas especies en el género *Tricholoma*, por ejemplo, en el estudio de Kaplaner *et al.* (2017) se determinó la capacidad antioxidante de *Tricholoma imbricatum* y *Tricholoma focale* contra los radicales DPPH y ABTS⁺, estos fueron mayormente estabilizados por los extractos metanólicos. Asimismo, el extracto metanólico de *Tricholoma virgatum* demostró buena actividad contra el radical DPPH (Selamoglu *et al.*, 2020). You *et al.* (2014) evaluaron la capacidad antioxidante de polisacáridos de *Tricholoma mongolicum* contra el radical DPPH, los resultados sugieren que los polisacáridos purificados podrían actuar como donantes de átomos de hidrógeno o de electrones para estabilizar al radical. Es probable que los metabolitos presentes en el extracto de *T. mesoamericanum* sean los responsables de la capacidad antioxidante y en su mayoría, sean compuestos fenólicos, polisacáridos, glicoproteínas, ácidos orgánicos, vitaminas, alcaloides, carotenoides, péptidos, entre otros, los cuales son compuestos estables capaces de estabilizar radicales libres (Stajić *et al.*, 2013; Cör *et al.*, 2018; Assemie & Abaya, 2022).

En lo que respecta a la determinación del TPC, hubo una diferencia significativa en el contenido de fenoles totales según el extracto ($p \leq 0.05$). Al igual que con la actividad antioxidante, la mezcla cloroformo-metanol presentó la mayor cantidad de fenoles totales ($p \leq 0.05$) con 35.45 ± 4.49 GAE/mg, seguido del extracto de acetato de etilo con 6.30 ± 0.34 GAE/mg (Tabla 3). En estudios previos se ha demostrado que las especies *Tricholoma virgatum* y *Tricholoma fracticum* presentan un considerable contenido fenólico (Selamoglu *et al.*, 2020; Canbolat *et al.*, 2024), nuestros resultados también lo confirman. Es preciso señalar, que el extracto de cloroformo-metanol demostró resultados destacados de TEAC y TPC, probablemente debido a que la mezcla de disolventes extrajera una mayor cantidad de compuestos antioxidantes.

Conclusiones

Los macrohongos comestibles del género *Tricholoma* destacan por su valor nutricional y su potencial uso en la prevención de enfermedades, lo que ha impulsado su investigación y sus aplicaciones agrícolas y medicinales. Los resultados obtenidos en este estudio muestran una destacada capacidad antioxidante de *Tricholoma mesoamericanum*, de manera particular con el extracto de cloroformo-metanol que estabiliza el radical ABTS⁺, asimismo, contiene un alto contenido de fenoles totales. Por otro lado, se obtuvo un mayor rendimiento con el solvente acetato de etilo, cuyo extracto demostró una inhibición moderada frente a la bacteria de interés agrícola *Clavibacter michiganensis*. En conjunto, estos hallazgos resaltan el potencial bioactivo de *T. mesoamericanum* como una fuente prometedora para futuras investigaciones orientadas al aprovechamiento de extractos y compuestos de macrohongos comestibles, sentando las bases al desarrollo de productos

nutracéuticos y estrategias de biocontrol más sustentables que contribuyan a reducir el uso de pesticidas químicos sintéticos.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, L. Serrano-Márquez, P. Susan, A. Ramos; desarrollo de la metodología, L. Serrano-Márquez; M. Pedraza-Cubillas; manejo de software, L. Serrano-Márquez, M. Pedraza-Cubillas, P. Susan; validación experimental, L. Serrano-Márquez, P. Susan, A. Ramos; análisis de resultados, L. Serrano-Márquez, M. Pedraza-Cubillas, P. Susan, A. Ramos; manejo de datos, L. Serrano-Márquez, M. Pedraza-Cubillas; escritura y preparación del manuscrito, L. Serrano-Márquez; redacción, revisión y edición, L. Serrano-Márquez, M. Pedraza-Cubillas, P. Susan, A. Ramos; administrador de proyectos, A. Ramos; adquisición de fondos, A. Ramos. “Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a través del proyecto FORDECYT-PRONACES/CF 263959.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Biol. David Ramos y Dra. Ma. del Rosario Gregorio (ambos del Instituto de Ecología, A.C.) por su asistencia técnica en diferentes etapas y actividades del trabajo. L. Serrano-Márquez (CVU: 783842) y P. Susan (CVU: 50180), agradecen a SECIHTI por las becas posdoctorales otorgadas. M. Pedraza-Cubillas agradece al personal docente y administrativo del ITSX.

Conflicto de interés

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”.

Referencias

- Abbou, F., Azzi, R., Ouffai, K., El Haci, I. A., Belyagoubi-Benhammou, N., Bensouici, C., & Benamar, H. (2022). Phenolic profile, antioxidant and enzyme inhibitory properties of phenolic-rich fractions from the aerial parts of *Mentha pulegium* L. *South African Journal of Botany*, 146, 196–204. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2021.10.024>
- Adongbede, E. M., Jaiswal, Y. S., Davis, S. S., Randolph, P. D., Huo, L. N., & Williams, L. L. (2020). Antioxidant and antibacterial activity of *Trametes polyzona* (Pers.) Justo. *Food Science and Biotechnology*, 29(1), 27–33. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00642-4>
- Ahuja, R., Sidhu, A., & Bala, A. (2019). Synthesis and evaluation of iron(ii) sulfide aqua nanoparticles (FeS-NPs) against *Fusarium verticillioides* causing sheath rot and seed discoloration of rice. *European Journal of Plant Pathology*, 155(1), 163–171. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01758-3>
- Al-Burtamani, S. K. S., Fatope, M. O., Marwah, R. G., Onifade, A. K., & Al-Saidi, S. H. (2005). Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of the essential oil of *Haplophyllum tuberculatum* from Oman. *Journal of Ethnopharmacology*, 96(1–2), 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.08.039>
- Assemie, A., & Abaya, G. (2022). The effect of edible mushroom on health and their biochemistry. *International Journal of Microbiology*, 2022(1), Article 8744788. <https://doi.org/10.1155/2022/8744788>
- Ayaz, M., Li, C.-H., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y.-K., Shafiq, M., Ali, F., Yu, X.-Y., Yu, Q., Zhao, J.-T., Yu, J.-W., Qi, R.-D., & Huang, W.-K. (2023). Bacterial and fungal biocontrol agents for plant disease protection: journey from lab to field, current status, challenges, and global perspectives. *Molecules*, 28(18), Article 6735. <https://doi.org/10.3390/molecules28186735>

- Bandala, V. M., Ramos, A., César, E., Ramos, D., Montoya, L., Bandala, V. M., Ramos, A., César, E., Ramos, D., & Montoya, L. (2022). Actualización de la circunscripción taxonómica de *Tricholoma mesoamericanum* que incluye a *Tricholoma colposii* (Agaricales, Tricholomataceae). *Acta Botánica Mexicana*, 128(129). <https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.2112>
- Canbolat, F., Acar, İ., & Tezel, R. N. (2024). Development of chitosan nanoparticle loaded with *Tricholoma fracticum* extract and evaluation of in vitro antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 7971–7986. <https://doi.org/10.1111/IJFS.17585>
- Castillo-Esparza, J. F., Montoya, L., Desgarennes, D., Carrión, G., Ramos, A., César, E., Ortiz-Castro, R., & Bandala, V. M. (2023). Bioactivity of *Pseudomarasmius nidus-avis* and other wild fungi from the mesophytic mountain forest of Mexico in the control of phytopathogens. *Agrociencia* 57(3), 508–535. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i3.2864>
- Clericuzio, M., Bivona, M., Gamalero, E., Bona, E., Novello, G., Massa, N., Dovana, F., Marengo, E., & Robotti, E. (2021). A systematic study of the antibacterial activity of basidiomycota crude extracts. *Antibiotics*, 10(11), Article 1424. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10111424>
- Clinical and Laboratory Standards Institute (2012), Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically; Approved Standard, Ninth Edition. CLSI document M07-A9, Ed. Clinical and Laboratory Standards Institute.
- Conover, W. J. (2012) The rank transformation—an easy and intuitive way to connect many nonparametric methods to their parametric counterparts for seamless teaching introductory statistics courses. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 4(5), 432–438. <http://dx.doi.org/10.1002/wics.1216>
- Cör, D., Knez, Ž., & Hrnčič, M. K. (2018). Antitumour, antimicrobial, antioxidant and antiacetylcholinesterase effect of *Ganoderma lucidum* terpenoids and polysaccharides: A review. *Molecules*, 23(3), Article 649. <https://doi.org/10.3390/molecules23030649>
- Couttolenc, A., Medina, M. E., Trigós, Á., & Espinoza, C. (2022). Antioxidant capacity of fungi associated with corals and sponges of the reef system of Veracruz, Mexico. *Electronic Journal of Biotechnology*, 55, 40–46. <https://doi.org/10.1016/J.EJBT.2021.11.002>
- De Mendonça Rocha, P. M., Rodilla, J. M., Díez, D., Elder, H., Guala, M. S., Silva, L. A., & Pombo, E. B. (2012). Synergistic antibacterial activity of the essential oil of aguariabay (*Schinus molle* L.). *Molecules*, 17(10), 12023–12036. <https://doi.org/10.3390/molecules171012023>
- Dharani, S., Thiribhuvanamala, G., Angappan, K., Swarnakumari, N., Jeya Sundara Sharmila, D., & Manikanda Boopathi, N. (2025). Mushroom - derived antimicrobials – a source of eco-friendly antimicrobial compounds against phytopathogens. *Journal of Plant Pathology*. 1–15. <https://doi.org/10.1007/S42161-025-01914-1>
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., & Prokisch, J. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*, 14(9), Article 4941. <https://doi.org/10.3390/SU14094941>
- Gamboa-Becerra, R., Montoya, L., Bandala, V. M., Monribot-Villanueva, J. L., Guerrero-Analco, J. A., & Ramos, A. (2024). Metabolomic profiling, nutritional parameters and potential bioactive metabolites of the edible mushroom *Tricholoma mesoamericanum*. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(6), 4348–4358. <https://doi.org/10.1111/IJFS.17121>
- Kaplaner, E., Singeç, M. H., & Öztürk, M. (2017). Fatty acid composition and antioxidant activity of *Tricholoma Imbricatum* and *T. focale*. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(9), 1080–1085. <https://doi.org/10.24925/TURJAF.V5I9.1080-1085.1291>
- Karakas, F. P., Turker, A. U., & Bozat, B. G. (2023). Phenolic content, antibacterial and antioxidant potential of several edible agaricomycetes mushrooms sold in public bazaar in Bolu, Turkey. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 25(1), 45–56. <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.2022046526>
- Kaur, M., Goel, M., Mishra, R. C., Lahane, V., Yadav, A. K., & Barrow, C. J. (2023). Characterization of the red biochromes produced by the endophytic fungus *Monascus purpureus* CPEF02 with antimicrobial and antioxidant activities. *Fermentation*, 9(4), Article 328. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040328>
- Krutmuang, P., Rajula, J., Pittarate, S., Chatima, C., Thungrabeab, M., Mekchay, S., & Senthil-Nathan, S. (2022). The inhibitory action of plant extracts on the mycelial growth of *Ascosphaera apis*, the causative agent of chalkbrood disease in Honey bee. *Toxicology Reports*, 9, 713–719. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2022.03.036>

- Kumar, K., Mehra, R., Guiné, R. P. F., Lima, M. J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., Yadav, A. N., & Kumar, H. (2021). Edible mushrooms: a comprehensive review on bioactive compounds with health benefits and processing aspects. *Foods*, 10(12), Article 2996. <https://doi.org/10.3390/foods10122996>
- López-García, A., Gómez-Hernández, M., & Gándara, E. (2024). Variation in traditional knowledge of culturally important macromycete species among three indigenous communities of Oaxaca, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20(1), Article 38. <https://doi.org/10.1186/s13002-024-00679-8>
- López-Hernández, A., Arellano Mont, L. J., Uribe Jiménez, I., Carlos, J., & Aparicio, A. (2022). Recolección, comercialización y consumo de hongos silvestres en la región mixteca de Oaxaca, México. *Etnobiología*, 20(2), 173–197. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/488>
- Lysakova, V., Krasnopolskaya, L., Yarina, M., & Ziangirova, M. (2024). Antibacterial and antifungal activity of metabolites from basidiomycetes: a review. *Antibiotics*, 13(11), Article 1026. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13111026>
- Peng, Y., Li, S. J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J. P., Gao, A. J., Yao, X., Ruan, J. J., & Xu, B. L. (2021). Research progress on phytopathogenic fungi and their role as biocontrol agents. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 670135. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135>
- Ramos, A., Mendoza, G., & Serrano-Márquez, L. (2025). Antibacterial and antifungal activity and acute toxicity of crude extracts from the wild edible mushrooms *Cantharellus veraecrucis*, *Cantharellus violaceovinosus*, and *Turbinellus floccosus*. *International Journal of Food Science*, 2025(1), Article 5004650. <https://doi.org/10.1155/IJFO/5004650>
- Rechek, H., Haouat, A., Hamaidia, K., Allal, H., Boudiar, T., Pinto, D. C. G. A., Cardoso, S. M., Bensouici, C., Soltani, N., & Silva, A. M. S. (2021). Chemical composition and antioxidant, anti-inflammatory, and enzyme inhibitory activities of an endemic species from Southern Algeria: *Warionia saharae*. *Molecules*, 26(17), Article 5257. <https://doi.org/10.3390/molecules26175257>
- Rivera-Sosa, L. M., Ramírez-Valverde, G., Martínez-Yáñez, B., Judith-Hernández, A., & Aranda-Ocampo, S. (2022). Response of tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties to *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* infection. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 40(1), 18–39. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-8>
- Selamoglu, Z., Sevindik, M., Bal, C., Ozaltun, B., Sen, İ., & Pasdaran, A. (2020). Antioxidant, antimicrobial and DNA protection activities of phenolic content of *Tricholoma virgatum* (Fr.) P.Kumm. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 10(3), 5500–5506 <https://doi.org/10.33263/BRIAC103.500506>
- Serafy, J. E., Shideler, G. S., Araújo, R. J., & Nagelkerken, I. (2015). Mangroves enhance reef fish abundance at the Caribbean regional scale. *PLoS one*, 10(11), Article e0142022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142022>
- Serrano-Márquez, L., Trigos, Á., Couttolenc, A., Padrón, J. M., Shnyreva, A. V., & Mendoza, G. (2021). Antiproliferative and antibacterial activity of extracts of *Ganoderma* strains grown *in vitro*. *Food Science and Biotechnology*, 30(5), 711–721. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00903-1>
- Sivanandhan, S., Khusro, A., Paulraj, M. G., Ignacimuthu, S., & Al-Dhabi, N. A. (2017). Biocontrol properties of basidiomycetes: An overview. *Journal of Fungi*, 3(1), Article 2. <https://doi.org/10.3390/fof3010002>
- Stajić, M., Vukojevic, J., Knezevic, A., Lausevic, S., & Milovanovic, I. (2013). Antioxidant protective effects of mushroom metabolites. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 13(21), 2660–2676. <https://doi.org/10.2174/15680266113136660192>
- Tovar-Pedraza, J. M., Mora-Aguilera, J. A., Nava-Díaz, C., Lima, N. B., Michereff, S. J., Sandoval-Islas, J. S., Câmara, M. P. S., Téliz-Ortiz, D., & Leyva-Mir, S. G. (2020). Distribution and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with mango anthracnose in Mexico. *Plant Disease*, 104(1), 137–146. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0178-RE>
- Yang, H. R., Chen, L. H., & Zeng, Y. J. (2021). Structure, antioxidant activity and *in vitro* hypoglycemic activity of a polysaccharide purified from *Tricholoma matsutake*. *Foods*, 10(9), Article 2184. <https://doi.org/10.3390/foods10092184>
- You, Q., Yin, X., Zhang, S., & Jiang, Z. (2014). Extraction, purification, and antioxidant activities of polysaccharides from *Tricholoma mongolicum* Imai. *Carbohydrate Polymers*, 99, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.07.088>
- Zhao, M., Yuan, S., Li, Z., Liu, C., Zhang, R., Zhao, M., Yuan, S., Li, Z., Liu, C., & Zhang, R. (2024). Review of the structural characteristics and biological activities of *Tricholoma* secondary metabolites (2018–2023). *Molecules*, 29(19), Article 4719. <https://doi.org/10.3390/molecules29194719>