SCIENTIA FUNGORUM

DOI: 10.33885/sf.2026.57.1471
(2026) Vol. 57: e1471

Actividad *in vitro* de extractos alcohólicos de hongos comestibles contra *Colletotrichum gloeosporioides*

In vitro activity of alcoholic extracts of edible mushrooms against *Colletotrichum gloeosporioides*

Mónica de Jesús Narváez-Montaño[1], Rosalba Argumedo-Delira[1,2], Ma. Remedios Mendoza-López[2], Gabriela Sánchez-Viveros[1], Juan José Almaraz-Suarez[3]

[1]Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Xalapa 91000, Veracruz, México.
[2]Instituto de Química Aplicada, Universidad Veracruzana, Xalapa 91000, Veracruz, México.
[3]Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Montecillo 56264, Estado de México, México.

RESUMEN

Antecedentes: Los hongos comestibles destacan por sus múltiples propiedades. Sin embargo, los estudios de actividad antimicrobiana se han enfocado predominantemente en microorganismos patógenos humanos, mientras que la información sobre microorganismos fitopatógenos es escasa.

Objetivo: Evaluar la actividad antifúngica de cuatro extractos alcohólicos de los hongos comestibles *Lactarius* aff. *deliciosus, Ustilago maydis, Amanita* aff. *jacksonii y A. rubescens* en contra del fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides.*

Métodos: Los extractos alcohólicos se obtuvieron por maceración de los especímenes frescos en metanol y etanol. Se determinó la actividad antifúngica mediante las técnicas de difusión en pozos y microdilución en placa.

Resultados y conclusiones: Se observó disminución en el crecimiento micelial del hongo *C. gloeosporioides* en los extractos etanol-agua 3:7 de los hongos comestibles, empleando la técnica de difusión en pozo. Mientras que con la técnica de microdilución en placa el porcentaje de inhibición más alto (97.02%) correspondió al extracto metanólico de *L.* aff. *deliciosus* en dilución 3:7. Por lo cual, los extractos etanol-agua 3:7 de los hongos evaluados podrían tener el potencial de probarse in vivo en contra de *C. gloeosporioides* como una alternativa sostenible para el control de fitopatógenos de interés agrícola.

Palabras clave: actividad antifúngica, fitopatógeno, macromicetos, metabolismo de los hongos

ABSTRACT

Background: Edible mushrooms are well known for their diverse bioactive properties. However, studies evaluating their antimicrobial activity have predominantly focused on human pathogenic microorganisms, while research addressing their effects on phytopathogenic microorganisms remains limited.

Objective: To assess the antifungal activity of four alcoholic extracts derived from the edible mushrooms *Lactarius* aff. *deliciosus, Ustilago maydis, Amanita* aff. *jacksonii, and A. rubescens* against the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides.*

Methods: Alcoholic extracts were obtained by macerating mushroom samples in methanol and ethanol. Antifungal activity was evaluated using agar well diffusion and microdilution assays.

Results and conclusions: The agar well diffusion assay revealed growth inhibition of *C. gloeosporioides* when exposed to 3:7 ethanol–water extracts of the edible mushrooms. The microdilution assay demonstrated that the methanolic extract of *L.* aff. *deliciosus* at a 3:7 dilution achieved the highest inhibition rate (97.02%). These findings suggest that ethanol–water (3:7) extracts of the tested edible mushrooms possess promising antifungal potential and could be explored further for in vivo applications as a sustainable alternative for the management of agriculturally relevant phytopathogens.

Keywords: antifungal activity, phytopathogen, macromicetes, fungal metabolism

ARTICLE HISTORY

Received: 02/07/2024
Accepted: 24/02/2026
On line: 25/02/2026

CORRESPONDING AUTHOR

Rosalba Argumedo-Delira, e-mail: rargumedo@uv.mx
Orcid: 0000-0002-1454-9833

INTRODUCCIÓN

Los hongos fitopatógenos representan una amenaza significativa para la producción agrícola, ya que reducen la calidad y el rendimiento de los cultivos, generando grandes pérdidas económicas (Shukla *et al.* 2022). Un ejemplo destacado es *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc., un hongo de distribución cosmopolita responsable de la antracnosis, una enfermedad que afecta diversos frutales como mango, pera, papaya, durazno, manzana y membrillo, así como el café. Esta patología puede desarrollarse en tallos, ramas, hojas y frutos de sus hospedantes (Ceballos *et al.* 2023). Se han reportado pérdidas que oscilan entre el 50 % y el 100 %, con una severidad del 70 % al 80 % en frutos jóvenes (8-15 mm), especialmente bajo condiciones de alta humedad y manejo agronómico deficiente (Arauz 2000, Prusky *et al.* 2009, Monteón-Ojeda *et al.* 2018).

Tradicionalmente, se han utilizado fungicidas químicos para mitigar los daños de la antracnosis, aunque su uso excesivo puede generar resistencia en los fitopatógenos y efectos negativos en el medio ambiente. Como alternativa, se han explorado estrategias más sostenibles, incluyendo el uso de microorganismos, aceites esenciales y extractos de plantas (Dooh *et al.* 2014, Santos *et al.* 2019, Carrillo *et al.* 2023, Peralta-Ruiz *et al.* 2023). En este contexto, los hongos comestibles han cobrado interés debido a sus propiedades bioactivas y su potencial aplicación en el control biológico de enfermedades agrícolas (Dudekule *et al.* 2020, Merel *et al.* 2020).

Los hongos comestibles, clasificados como macromicetos, forman un esporoma o cuerpo fructífero que debe ser no tóxico, no venenoso y contar con un sabor y aroma agradables para el consumidor (Bolaniran *et al.* 2021, Rani *et al.* 2023). Además de su valor nutrimental, poseen aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y ambiental, destacando su capacidad para degradar compuestos contaminantes persistentes (Buswell y Chang 2024). Su potencial terapéutico y farmacológico se debe a la producción de metabolitos secundarios bioactivos, generados en respuesta a condiciones de estrés, que les confieren propiedades antibacterianas, antivirales, inmunomoduladoras, antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas e hipocolesterolémicas (Chaturvedi *et al.* 2018, Bolaniran *et al.* 2021, Ambhore *et al.* 2024, Hamza *et al.* 2024, Sun *et al.* 2024).

Diversos estudios han demostrado la actividad biológica de los extractos de hongos comestibles. Se ha reportado que los extractos acuosos de *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray tienen actividad antibacteriana contra *Listeria monocytogenes* (E. Murray) Pirie, *Escherichia coli* (Migula) Castellani & Chalmers y *Salmonella enterica* (ex Kauffmann y Edwards) Le Minor y Popoff (Gargano *et al.* 2024). Por su parte, Sevindik *et al.* (2024) identificaron actividad antibacteriana, antioxidante y antiproliferativa en el extracto etanólico de *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers., atribuyéndola a la presencia de 13 compuestos fenólicos. Asimismo, Kosanić *et al.* (2024) encontraron que los extractos metanólicos de *Meripilus giganteus* (Pers.) P. Karst. tienen actividad antimicrobiana contra *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn y presentan efectos citotóxicos en células de cáncer colorrectal humano. Naskar *et al.* (2024) destacaron el alto contenido de compuestos fenólicos (14 %) y flavonoides (3 %) en el extracto hidroetanólico de *Lentinus sajor-caju* (Fr.) Fr., relacionándolo con su actividad antioxidante, antibacteriana y antiinflamatoria.

En cuanto a la actividad antifúngica, Bal *et al.* (2023) reportaron que los extractos de etanol y metanol de *Bovista nigrescens* Pers. son efectivos contra bacterias y hongos. El extracto etanólico mostró actividad contra *Staphylococcus aureus* Rosenbach, *Enterococcus faecalis* (Orla-Jensen) Schleifer & Kilpper-Bälz, *E. coli, Pseudomona aeruginosa* (Schroeter) Migula y *Acitenobacter baumannii* Bouvet and Grimont en concentraciones de 50-200 µg/mL, mientras que a 100 µg/mL inhibió *Candida albicans* (C.P.Robin) Berkhout, *C. krusei* (Castellani) Berkhout y *C. glabrata* (Anderson) Meyer & Yarrow. En el caso del extracto metanólico, se observaron efectos antibacterianos con concentraciones de 100-400 µg/mL y antifúngicos en el rango de 100-200 µg/mL.

Los hongos comestibles son conocidos por contener una amplia variedad de metabolitos secundarios, muchos de los cuales poseen diversas actividades biológicas, entre ellas la actividad antimicrobiana contra patógenos humanos y fitopatógenos. En particular, *Ustilago maydis* ha sido ampliamente estudiado por su potencial biotecnológico, ya que es capaz de producir gran diversidad de moléculas bioactivas como ácidos orgánicos (malato, succinato, itaconato o itacónico, itatartarato y (S)-2-hidroxiparaconato), polioles (eritritol y manitol), glicolípidos (como los lípidos

de mannosileritritol y el ácido ustilágico), así como triacilglicéridos intracelulares (Guevara y Tabuchi 1990, Bölker *et al.* 2008, Mueller *et al.* 2008). Desde 1951 se ha reportado que los cultivos de este hongo presentan actividad antibiótica, atribuida a una mezcla de glicolípidos, en especial al ácido ustilágico, el cual es tóxico para diversos microorganismos tanto procariotas como eucariotas (Haskins y Thorn 1951).

Por su parte, el género *Lactarius* es reconocido por su capacidad para sintetizar sesquiterpenos, esteroides, compuestos nitrogenados y otros metabolitos secundarios, como pigmentos con potencial bioactivo (Feussi *et al.* 2017). Finalmente, diversas especies del género *Amanita* han sido reportadas como productoras de compuestos fenólicos con actividad antibacteriana y antioxidante, además de contener ácidos orgánicos como el ácido málico y el ácido ascórbico (Valentão *et al.* 2005, Martínez *et al.* 2021).

Dado el potencial de los hongos comestibles como fuente de compuestos con actividad antifúngica, en este estudio se evaluó la actividad antifúngica de cuatro extractos alcohólicos obtenidos de esporomas de *Lactarius* aff. *deliciosus* (L.) Gray, *Ustilago maydis* (DC.) Corda, *Amanita* aff. *jacksonii* Pomerl. y *A. rubescens* Pers., frente al fitopatógeno *C. gloeosporioides*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Los esporomas frescos de las especies comestibles conocidos popularmente como "enchilado" (*L.* aff. *deliciosus*), "huitlacoche" (*U. maydis*), "tecomate" (*A.* aff. *jacksonii*) y "portobello silvestre" (*A. rubescens*) fueron adquiridos en mercados locales de la ciudad de Xalapa, Veracruz en el mes de agosto del 2022. Los ejemplares se identificaron con el uso de claves taxonómicas de Pacioni (1981) y Laessoe *et al.* (1998). En el caso de *L. deliciosus* y *A. jacksonii*, se consideraron como afines a las especies, debido a que estudios sistemáticos recientes de especímenes mexicanos han mostrado variación en sus caracteres morfológicos, evidenciando la posibilidad de que correspondan a nuevas especies (Díaz Juárez 2019). La cepa de *C. gloeosporioides* (clave H-1-2) fue aislada de cerezas de café y donada por el cepario del Laboratorio de Química de Suelos de La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. La cepa se mantiene en papa dextrosa agar (PDA, Bioxon) a 25 °C.

Obtención de los extractos alcohólicos

Se siguió la metodología de Narváez *et al.* (2023) en donde se pesaron 330 g de material fúngico de cada hongo y se cortaron en fragmentos de aproximadamente 4 cm de lado. Los fragmentos se colocaron en frascos de vidrio herméticos de 3 L, seis recipientes en total. A tres de ellos se les añadieron 350 mL de metanol y a los otros tres, 350 mL de etanol. La maceración se llevó a cabo durante cinco días a temperatura ambiente.

Transcurrido este tiempo, los extractos fueron filtrados por gravedad utilizando papel filtro de poro medio (8 µm). El líquido obtenido se concentró mediante evaporación en un rotavapor (marca Buchi B-491), obteniendo extractos de consistencia pastosa-oleosa. Los extractos metanólicos y etanólicos se establecieron como soluciones madre y a partir de la totalidad de éstos se prepararon extractos hidroalcohólicos con las proporciones: etanol-agua 1:1, metanol-agua 1:1, etanol-agua 3:7 y metanol-agua 3:7, todo por triplicado.

Actividad antifúngica de los extractos alcohólicos

Difusión en pozos

Se prepararon cajas de Petri con medio PDA, a las cuáles se les realizaron tres perforaciones equidistantes en el agar con ayuda de un sacabocados de 0.5 mm de diámetro. A cada pozo se le colocó 50 µL de cada extracto alcohólico (concentrado de etanol y metanol, etanol-agua 1:1, metanol-agua 1:1, etanol-agua 3:7 y metanol-agua 3:7), mientras que en el centro de cada caja se colocó un disco *C. gloeosporioides* con micelio fresco. Dentro de los tratamientos se incluyó un control de agua destilada estéril, un control de metanol y etanol, todo por triplicado. Las cajas se incubaron a 28 °C durante diez días, transcurrido este tiempo se observó si había inhibición sobre el crecimiento de *C. gloeosporioides* cercana al pozo, midiendo el halo de inhibición (mm) alcanzado (Narváez *et al.* 2023).

Microdilución en placa

Determinación de la concentración de una solución de fragmentos de micelio de *C. gloeosporioides*.

Siguiendo la técnica adaptada de Narváez *et al.* (2023), se prepararon 100 mL de caldo papa dextrosa (Bioxon), al cual se inoculó un disco de 7 mm de Ø de micelio fresco de *C. gloeosporioides*. La incubación

se realizó durante 10 días a 25 °C. Después de este periodo, la solución fúngica se filtró a través de un sistema estéril (columna de plástico con algodón) para separar los fragmentos más pequeños de micelio. La concentración de los fragmentos en el líquido filtrado se determinó utilizando una cámara de Neubauer, alcanzando una concentración de 10^7 fragmentos de micelio/mL.

La actividad antifúngica se evaluó mediante el método de microdilución en placa descrito por Casaril *et al*. (2011) y Ren *et al.* (2014), con modificaciones. En cada pozo de la placa se colocaron 100 µL de caldo papa dextrosa, 50 µL del extracto alcohólico correspondiente (concentrado de etanol y metanol, etanol-agua 1:1, metanol-agua 1:1, etanol-agua 3:7 y metanol-agua 3:7) y 50 µL de la solución de fragmentos de micelio de *C. gloeosporioides.*

Los controles positivos en el experimento incluyeron agua destilada estéril, metanol, etanol, caldo de papa dextrosa y caldo de papa dextrosa con solución de fragmentos de micelio de *C. gloeosporioides*, todos por triplicado.

Las microplacas se incubaron a temperatura ambiente en un agitador horizontal a 400 rpm durante 4 días. Posteriormente, se midió la absorbancia a 595 nm con un lector de microplacas (Synergy 2 SL, Biotek®). La actividad antifúngica se determinó comparando las absorbancias de los pozos con los extractos y los controles. El porcentaje de inhibición del crecimiento fúngico se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = [A_F - (A_{FE} - A_E)] / A_F \text{ X } 100$$

Donde A_F es la absorbancia del control fúngico sin la adición del extracto; A_{FE} es la absorbancia de la mezcla (extracto alcohólico y suspensión de fragmentos de micelio) y A_E es la absorbancia del extracto correspondiente.

Análisis estadístico

Para la técnica de dilución en placa, el bioensayo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (LSD, α=0.05) con el programa estadístico SAS Institute (2023).

RESULTADOS

Actividad antifúngica de los extractos alcohólicos
Difusión en pozos

Se observaron cambios morfológicos en la cepa de *C. gloeosporioides* expuesta a los diferentes extractos alcohólicos de los hongos comestibles probados (Figura 1). Los cambios cualitativos detectados fueron en la disminución de la densidad del micelio y de la pigmentación del fitopatógeno, que no presentó las tonalidades de color salmón características. Además, se detectó un crecimiento micelial más lento en las muestras con los extractos de *A.* aff. *jacksonii*, *U. maydis* y *L.* aff. *deliciosus*. Si bien se esperaba una inhibición total del crecimiento alrededor de los pozos con el extracto, el hongo sí creció, aunque de manera más lenta en comparación con los controles. Esto sugiere que su metabolismo se vio afectado, lo que provocó un retraso en su desarrollo bajo estas condiciones.

En los controles, el hongo mostró crecimiento durante los primeros cinco días, presentando un micelio blanco, semiesponjoso y sin alteraciones en la coloración del medio de cultivo. Al transcurrir más días de incubación, comenzaron a formarse masas de micelio de color salmón a naranja, donde posteriormente se desarrollaron los conidios, esto coincide por lo reportado por Morales *et al.* (2024) en cuanto a la morfología de *C. gloesporioides.* Sin embargo, estas características morfológicas no se observaron en los cultivos con extractos de *U. maydis* (metanol, etanol, etanol-agua 3:7 y metanol-agua 3:7), *L.* aff. *deliciosus* (etanol-agua 1:1, metanol-agua 1:1, etanol-agua 3:7) y *A.* aff. *jacksonii* (metanol, etanol-agua 3:7 y metanol-agua 3:7. En esta parte de la investigación no se lograron detectar halos de inhibición medibles, por lo que la evaluación se realizó únicamente de manera observacional, registrando los cambios en la morfología del crecimiento del hongo fitopatógeno.

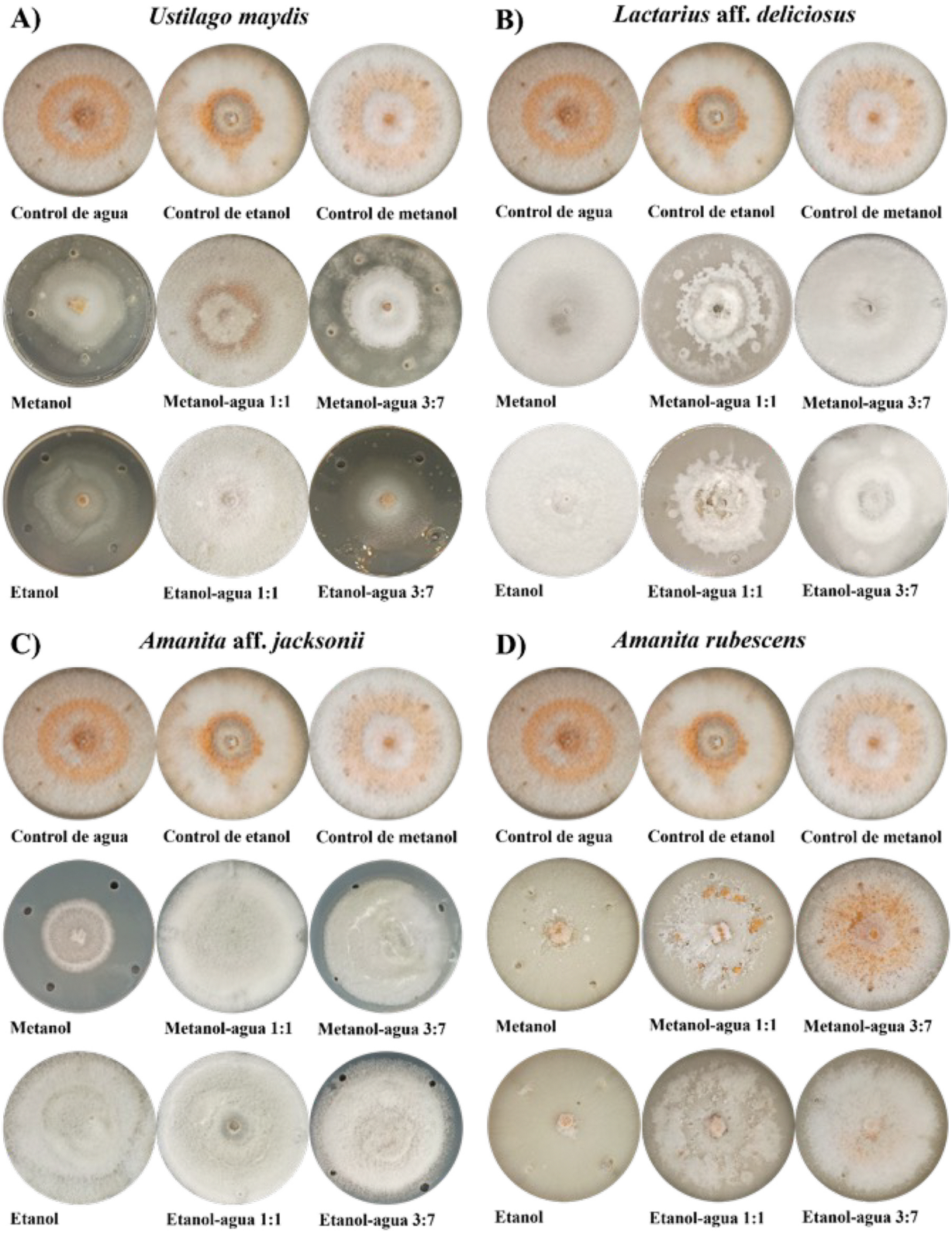


Figura 1. Actividad de extractos alcohólicos en confrontación con *C. gloeosporioides*, utilizando la técnica de difusión en pozos. *A: Ustilago maydis.* B: *Lactarius* aff. *deliciosus.* C: *Amanita* aff. *jacksonii.* D: *A. rubescens.*

Microdilución en placa

Se realizó un análisis estadístico por especie. En *U. maydis*, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos al nivel de significancia del 5 % (α = 0.05). El mayor porcentaje de inhibición (82.84 %) se observó con el extracto etanólico en dilución 3:7, aunque no fue estadísticamente diferente del resto (Figura 2 B).

Para *L.* aff. *deliciosus* (Figura 2 A) se obtuvo un comportamiento similar, sin diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas. El porcentaje de inhibición más alto (97.02 %) se registró con el extracto metanólico en dilución 3:7.

En contraste, los extractos de *A.* aff. *jacksonii* (Figura 3 A) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Las diluciones 3:7 (etanol y metanol) y 1:1 (etanol) fueron significativamente más efectivas. El tratamiento más eficaz fue el extracto etanólico en dilución 3:7, con un 95.10 % de inhibición, superando estadísticamente al resto (Figura 3).

Finalmente, en *A. rubescens* (Figura 3 B) también se detectaron diferencias significativas entre al menos dos tratamientos. Las diluciones 3:7 y 1:1 del extracto etanólico fueron las más efectivas.

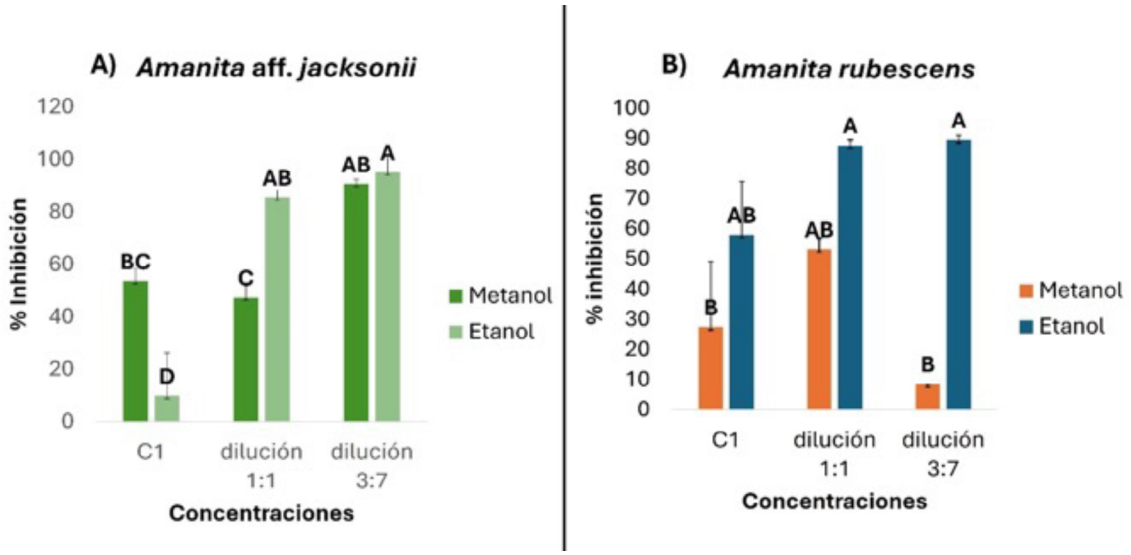


Figura 2. Actividad de extractos alcohólicos en contra de *C. gloeosporioides* con la técnica de microdilución en placa. A: *Amanita* aff *jacksonii*, B: *A. rubescens*. Media ± error estándar, n= 3.

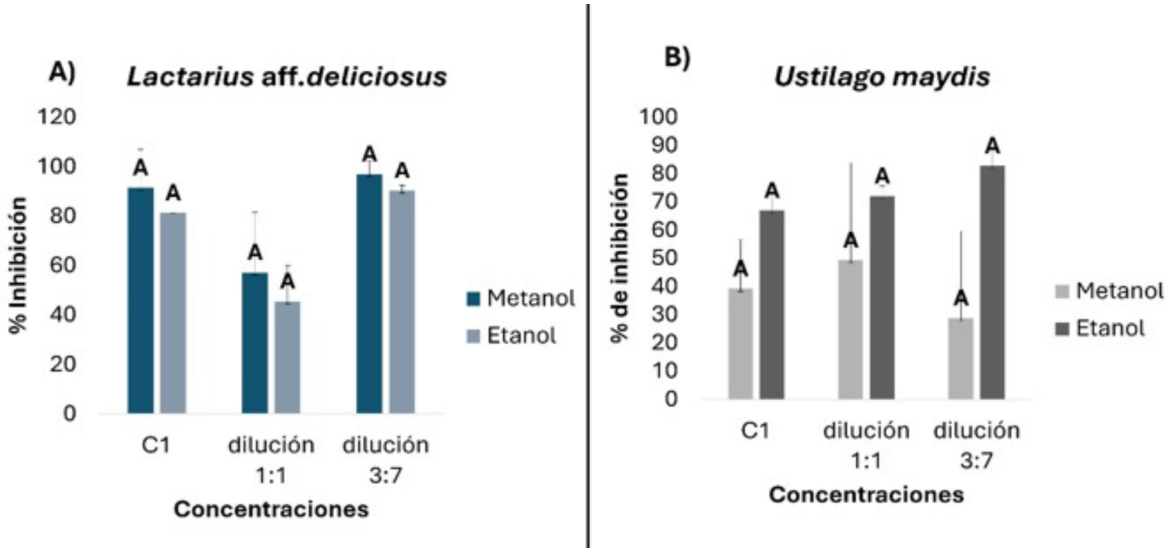


Figura 3. Actividad de extractos alcohólicos en contra de *C. gloeosporioides* con la técnica de microdilución en placa. A: *Lactarius* aff. *deliciosus*. B: *Ustilago maydis*. Media ± error estándar, n= 3.

DISCUSIÓN

Diversos estudios han demostrado que los extractos alcohólicos de hongos comestibles poseen actividad antimicrobiana (Kosanić *et al.* 2024, Setyawan *et al.* 2024). Sin embargo, la técnica de difusión en agar comúnmente utilizada para evaluar esta actividad presenta limitaciones, como la baja difusión de metabolitos debido a su solubilidad reducida y alto peso molecular, así como su baja sensibilidad (Ren *et al.* 2014, Martínez *et al*. 2021). Estas limitaciones podrían explicar por qué, en algunos casos, se observa solo un retraso en el crecimiento de *C. gloeosporioides* y no una inhibición completa.

Por otro lado, la técnica de microdilución en placa demostró mayor eficacia, ya que varios extractos alcohólicos alcanzaron altos porcentajes de inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides.* Particularmente, los extractos metanol-agua (3:7) y etanol-agua (3:7) de *L.* aff. *deliciosu*s y *A.* aff. *jacksonii*, así como los extractos metanólicos de *L.* aff. *deliciosus*, mostraron un fuerte potencial inhibitorio, lo que sugiere su posible aplicación en ensayos *in vivo.*

Estudios previos también han reportado la eficacia de extractos de otras especies comestibles o medicinales. Por ejemplo, el extracto de acetato de etilo de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. inhibió hasta un 70 % el crecimiento de *C. gloeosporioides* (Muniyappan *et al.* 2023, Gayathiri *et al.* 2021), mientras que Oka *et al* (2015) encontraron actividad antifúngica del hongo comestible *Hypsizygus marmoreus* (Peck) H.E. Bigelow contra diversas especies de hongos fitopatógenos. De forma similar, extractos de *Pleurotus cytidiosus* O.K. Mill. y compuestos aislados de *Coprinus comatus* (O.F. Mull.) Pers. como el orsellinaldehído han mostrado efectos antifúngicos relevantes (Menikpurage *et al.* 2009, Cabutaje *et al.* 2024). Sin embargo, la información específica sobre extractos alcohólicos de macromicetos frente a este fitopatógeno, aún es limitada.

En este estudio, todos los extractos alcohólicos evaluados mostraron algún grado de inhibición sobre *C. gloeosporioides.* En particular, la actividad de *L.* aff. *deliciosus* puede estar relacionada con su contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, licopeno, betacaroteno y diversos polioles y glucósidos (Zhou *et al.* 2011, Muszyńska *et al.* 2013, Bozdogan *et al.* 2018, Volcão *et al.* 2024). Volcão *et al.* también documentaron que el extracto etanólico de esta especie inhibe otros fitopatógenos como *Fusarium solani* y *Penicillium citrinum*, resultados que coinciden con lo reportado por Narváez *et al.* (2023) frente a *Rhizoctonia solani.*

Finalmente, los extractos alcohólicos e hidroalcohólicos de *A.* aff. *jacksonii* contienen compuestos bioactivos como ácido 4-hidroxibenzoico, betaína, carnitina y varios ácidos orgánicos que podrían explicar la inhibición observada en este estudio (Pacheco-Hernández *et al.* 2024a, 2024b). Aunque el extracto etanólico de *A.* aff. *jacksonii* también mostró eficacia frente a *R. solani*, no resultó igualmente efectivo contra *C. gloeosporioides*, evidenciando la especificidad de los efectos según el hongo objetivo (Narváez *et al*. 2023).

CONCLUSIONES

Los extractos alcohólicos de hongos comestibles demostraron actividad antifúngica contra *C. gloeosporioides* mediante las técnicas de difusión en pozos y microdilución en placa. En la técnica de difusión, se observaron alteraciones morfológicas en el hongo, como reducción del micelio, pérdida de pigmentación característica y retraso en el crecimiento, especialmente con los extractos de *A.* aff. *jacksonii, U. maydis* y *L.* aff. *deliciosus*. Estos efectos sugieren una alteración del metabolismo del fitopatógeno.

En la microdilución, los extractos de *U. maydis* y *L.* aff. *deliciosus* no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque se registraron altos porcentajes de inhibición. En cambio, *A.* aff. *jacksonii* y *A. rubescens* presentaron diferencias estadísticamente significativas, destacando las diluciones etanólicas y metanólicas 3:7 y 1:1 como las más efectivas. Estos resultados evidencian que la eficacia antifúngica varía según la especie de hongo comestible, el tipo de solvente y su concentración, lo que resalta el potencial selectivo de estos extractos como agentes de control biológico.

REFERENCIAS

Ambhore JP, Adhao VS, Rafique SS, Telgote AA, Dhoran RS, Shende BA. 2024. A concise review: edible mushroom and their medicinal significance. Exploration of Foods and Foodomics 2, 183-194. https://doi.org/10.37349/eff.2024.00033

Arauz LF. 2000. Mango anthracnose: economic impact and current options for integrated management. Plant Disease 84, 600-611. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.6.600

Bal C, Eraslan EC, Sevindik M. 2023. Antioxidant, antimicrobial activities, total phenolic and element contents of wild edible mushroom *Bovista nigrescens.* Prospects in Pharmaceutical Sciences 21, 37-41. https://doi.org/10.56782/pps.139

Bolaniran T, Jamiu A, Garuba T, Wudil A, Adeola H, Sabiu S. 2021. An appraisal of the metabolites, pharmacological and biotechnological significance of edible mushrooms. Transactions of the Royal Society of South Africa 76, 1-16. https://doi.org/10.1080/0035919x.2021.1947921

Bölker, M, Basse, CW, y Schirawski, J. 2008. *Ustilago maydis* secondary metabolism from genomics to biochemistry. Fungal Genetics and Biology 45, S88-S93.

Bozdogan A, Ulukanli Z, Bozok F, Eker T, Dogan HH, Buyukalaca S. 2018. Antioxidant potential of *Lactarius deliciosus* and *Pleurotus ostreatus* from Amanos mountains. Advancements in Life Sciences 5, 113-120. https://hdl.handle.net/20.500.12502/289

Buswell J, Chang S. 2024. Shuting mushrooms: Fungi for all seasons. Acta Edulis Fungi 31, 11. https://doi.org/10.16488/j.cnki.1005-9873.2024.01.002

Cabutaje EM, Ueno K, de la Cruz TEE, Ishihara A. 2024. Suppression of anthracnose disease by orsellinaldehyde isolated from the mushroom *Coprinus comatus.* Journal of Applied Microbiology 135, lxae128. https://doi.org/10.1093/jambio/lxae128

Carrillo M, Mora E, Ortiz R, Chaves B. 2023. *In Vitro* antifungal activity of ethanol extracts from *Cnidoscolus urens* L. in controlling *Colletotrichum* spp. in *Lycopersicum esculentum*: a sustainable agricultural perspective. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 17, e16283-e16283. https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.16283

Casaril KBPB, Kasuya MCM, Vanetti MCD. 2011. Antimicrobial activity and mineral composition of shiitake mushrooms cultivated on agricultural waste. Brazilian Archives of Biology and Technology 54, 991-1002. https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000500017

Ceballos C, Lizárraga S, Leyva M, Mc Caughey E, Chávez G, Valenzuela E, López V. 2023. Hospedantes en frutales de importancia económica asociados a patógenos foliares del duraznero (*Prunus persica* L.). Bioagro 35, 259-270. https://doi.org/10.51372/bioagro353.9

Chaturvedi VK, Agarwal S, Gupta KK, Ramteke PW, Singh MP. 2018. Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications. 3 Biotech 8, 334. https://doi.org/10.1007/s13205-018-1358-0

Díaz Juárez MU. 2019. Sistemática de las especies pertenecientes al género Lactarius sección Deliciosi con látex de color anaranjado en México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Tlaxcala. https://repositorio.uatx.mx:8443/jspui/handle/DSyTI_UATx/432

Dooh JPN, Ambang Z, Ewola AT, Heu A, Kosma P, Yalen EJM, Goghomu RT. 2014. Screening and the effect of extracts of *Thevetia peruviana* on the development of *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of cassava anthracnose disease. Journal of Agricultural Research and Development 4, 54-65. http://www.e3journals.org

Dudekula U, Doriya K, Devarai S. 2020. A critical review on submerged production of mushroom and their bioactive metabolites. 3 Biotech 10, 1-12. https://doi.org/10.1007/s13205-020-02333-y

Feussi TM, Qin J, Ndongo JT, y Laatsch H. 2017. New azulene-type sesquiterpenoids from the fruiting bodies of *Lactarius deliciosus.* Natural products and Bioprospecting 7 (3), 269-273.

Gargano ML, Balenzano G, Venturella G, Cavalluzzi MM, Rotondo NP, Lentini G, Cirlincione F, Mirabile G, Zapora E, Wołkowycki M, Pecoraro, L., Ferraro, V. 2024. Nutritional contents and antimicrobial activity of the culinary-medicinal mushroom *Leccinum scabrum*. Mycology 16(1), 402-41. https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2342519

Gasca CA, Dassoler M, Brand GD, de Medeiros Nóbrega YK, Gomes SM, Jamal CM, Silveira D. 2020. Chemical composition and antifungal effect of ethanol extract from Sapindus saponaria L. fruit against banana anthracnose. Scientia Horticulturae 259, 108842. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108842

Gayathiri M, Thiribhuvanamala G, Krishnamoorthy AS, Haripriya S, Akshaya SB, Arumukapravin I. 2021. Characterization of antimicrobial metabolites from medicinal mushrooms against Mango anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. Annals of Phytomedicine 10, 185-194. http://dx.doi.org/10.21276/ap.2021.10.1.19

Guevara ED, Tabuchi T. 1990. Accumulation of itaconic, 2-hydroxyparaconic, itatartaric, and malic acids by strains of the genus Ustilago. Agricultural and Biological Chemistry 54 (9), 2353-2358.

Hamza A, Mylarapu A, Krishna KV, Kumar DS. 2024. An insight into the nutritional and medicinal value of edible mushrooms: A natural treasury for human health. Journal of Biotechnology 381, 86-99. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.12.014

Hernández A, Barrera N, Bautista B, Bravo L. 2007. Antifungal potential of crude plant extracts on conidial germination of two isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc. Revista Mexicana de Fitopatología 25, 180-185.

Haskins, RH, y Thorn, J. A. 1951. Biochemistry of the ustilaginales: VII. Antibiotic activity of ustilagic acid. Canadian Journal of Botany 29 (6), 585-592.

Kosanić M, Petrovic N, Šeklić D, Živanović M, Kokanović M. 2024. Bioactivities and medicinal value of the fruiting body extracts of *Laetiporus sulphureus* and *Meripilus giganteus* polypore mushrooms (Agaricomycetes). International Journal of Medicinal Mushrooms 26, 17-26. https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2023051297

Laessoe T. 1998. Hongos: manual de identificación. Ediciones Omega, S.A., Madrid.

Martínez E, Vázquez G, Valero G, Álvarez P, Garza O, Najera M. Quiñónez M. 2021. Antimicrobial activity, phenolic compounds content, and antioxidant capacity of four edible macromycete fungi from Chihuahua, México. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 24, 1-11. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.318

Martinez-Burgos WJ, Montes E, Pozzan R, Serra JL, Torres DO, Manzoki MC, Vieira RL, dos Reis GA, Rodrigues C, Karp SG, Soccol CR. 2024. Bioactive compounds produced by macromycetes for application in the pharmaceutical sector: Patents and products. Fermentation 10, 275. https://doi.org/10.3390/fermentation10060275

Merel D, Savoie JM, Mata G, Salmones D, Ortega C, Atanasova V, Chereau S, Monribot JL, Guerrero-Analco JA 2020. Methanolic extracts from cultivated mushrooms affect the production of fumonisins B and fusaric acid by *Fusarium verticillioides*. Toxins 12 (6), 366. https://doi.org/10.3390/toxins12060366

Menikpurage IP, Abeytunga DTU, Jacobsen NE, Wijesundara RLC. 2009. An oxidized ergosterol from *Pleurotus cystidiosus* active against anthracnose causing *Colletotrichum gloeosporioides*. Mycopathologia 167, 155-162. https://doi.org/10.1007/s11046-008-9158-4

Monteón-Ojeda A, Sandoval-Islas JS, Mora-Aguilera JA, De León-García De Alba C, Peréz-Rodríguez A, Vásquez-López, A. 2018. An alternative inoculation technique of *Colletotrichum gloeosporioides* on mango for early anthracnose tolerance screening. Agronomía Mesoamericana 29, 263-274. https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.30424

Mueller O, Kahmann R, Aguilar G, Trejo AB, Wu A, y de Vries RP. 2008. The secretome of the maize pathogen *Ustilago maydis*. Fungal Genetics and Biology 45, S63-S70.

Muniyappan G, Gurudevan T, Thangaraj P, Balamurali AS, Iyadurai AP, Suppaiah R, Subbiah KA, Shanmugam H. 2023. Benzothiazole-An antifungal compound derived from medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* against mango anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz and (Sacc.)). Molecules 28, 2476. https://doi.org/10.3390/molecules28062476

Muszyńska B, Sułkowska-Ziaja K, Ekiert H. 2013. Phenolic acids in selected edible basidiomycota species: *Armillaria mellea, Boletus badius, Boletus edulis, Cantharellus cibarius, Lactarius deliciosus* and *Pleurotus ostreatus*. Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus 12, 107-116.

Naruzawa E, Papa M. 2011. Antifungal activity of extracts from brazilian Cerrado plants on *Colletotrichum gloeosporioides* and *Corynespora cassiicola*. Revista Brasileira de Plantas Medicinais 13, 408-412. https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400006

Narváez Montaño MJ, Mendoza López Ma. R, Sánchez Viveros G, Almaraz Suarez JJ, Argumedo-Delira R. 2023. Inhibitory activity of alcoholic extracts of edible fungi against *Rhizoctonia solani*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4, 615-625. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3200

Naskar A, Dasgupta A, Basak G, Acharya K. 2024. Antioxidative and antibacterial hydro-ethanolic fraction from an Asian edible mushroom *Lentinus sajor-caju* (Agaricomycetes) suppresses inflammatory responses by downregulating COX-2 and iNOS expression. International Journal of Medicinal Mushrooms 26, 1-15. https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2023051138

Oka K, Ishihara A, Sakaguchi N, Nishino S, Parada RY, Nagakiri A, Otani H. 2015. Antifungal activity of volatile compounds produced by an edible mushroom *Hypsizygus marmoreus* against phytopathogenic fungi. Journal of Phytopathology 163, 987-996. https://doi.org/10.1111/jph.12405

Pacioni G., 1981. Simon & schuster´s guide to Mushrooms. Fireside, New York.

Pacheco-Hernández Y, Lozoya-Gloria E, Mosso-González C, Varela-Caselis JL, Villa-Ruano N. 2024a. Insights into the chemistry and functional properties of edible mushrooms cropped in the northeastern highlands of Puebla, Mexico. Applied Sciences 14, 2520. https://doi.org/10.3390/app14062520

Pacheco-Hernández Y, Villa-Ruano N, Lozoya-Gloria E, Terán-Sánchez EJ, Becerra-Martínez E. 2024b. Revealing the 1H-NMR Profiling of Six Edible Mushrooms Consumed in the Northeastern Highlands of Puebla, Mexico. Chemistry & Biodiversity 21, 1-8. https://doi.org/10.1002/cbdv.202301851

Peralta RY, Rossi C, Grande TCD, Chaves LC. 2023. Green management of postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. Journal of Fungi 9, 623. https://doi.org/10.3390/jof9060623

Prusky D, Kobiler I, Miyara I Alkan N. 2009. Fruit diseases. In: Litz RE (ed.) The mango: Botany, production and uses. Oxfordshire, United Kingdom. Pp. 210-230.

Rani M, Mondal SM, Kundu P, Thakur A, Chaudhary A, Vashistt J, Shankar J. 2023. Edible mushroom: Occurrence, management and health benefits. Food Materials Research 3 (21), 2-9. https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0021

Ren L, Hemar Y, Perera CO, Lewis G, Krissansen GW, Buchanan PK. 2014. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight edible mushrooms. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre 3, 41-51. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.01.003

Setyawan RH, Ardiansyah A, Solihat NN, Elfirta RR, Saskiawan I, Ningrum RS, Widhyastuti N, Kasirah K, Saksono B, Sondari D, Melanie H, Nurhadi B, Ermawa RA. 2024. Chemical structure characterization of edible mushroom-extracted beta-glucan and its bioactivity. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre 31, 100411. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100411

Santos APFA, Mattos AP, Itako AT, Júnior JBT, Moura GS, Schwan-Estrada KRF. 2019. Effect of alcoholic extracts of *Cymbopogon citratus* upon the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro and upon the post-harvest quality of guavas. European Journal of Medicinal Plants 29, 1-8. https://doi.org/10.9734/ejmp/2019/v29i130145

SAS. 2023. Institute Inc. The System for Windows, version 9.4; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA.

Sevindik M, Gürgen A, Khassanov VT, Bal C. 2024. Biological activities of ethanol extracts of *Hericium erinaceus* obtained as a result of optimization analysis. Foods 13, 1560. https://doi.org/10.3390/foods13101560

Shukla S, Upadhyay D, Mishra A, Jindal T, Shukla K. 2022. Challenges faced by farmers in crops production due to fungal pathogens and their effect on Indian economy. In: Rajpal VR, Singh I, Navi SS. (eds.). Fungal diversity, ecology and control management. Springer, Singapore. Pp. 495-505. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8877-5_24

Sun X, Shi Y, Shi D, Tu Y, Liu L. 2024. Biological activities of secondary metabolites from the edible-medicinal macrofungi. Journal of Fungi 10, 144. https://doi.org/10.3390/jof10020144

Valentão P, Lopes G, Valente M, Barbosa P, Andrade PB, Silva BM y Seabra RM. 2005. Quantitation of nine organic acids in wild mushrooms. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53 (9), 3626-3630.

Volcão LM, Ramires PF, Tavella RA, de Lima Brum R, Fernandes Ramos D, Bernardi E, Rodrigues da Silva Júnior FM. 2024. Antifungal activity of *Lactarius deliciosus* and *Laccaria laccata* extracts against phytopathogenic fungi. Gaia Scientia 17, 97-107. https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2023v17n2.65378

Zhou ZY, Tan JW, Liu JK. 2011. Two new polyols and a new phenylpropanoid glycoside from the basidiomycete *Lactarius deliciosus*. Fitoterapia 82, 1309-1312. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2011.09.002