Uniciencia Vol. 39(1), pp. 1-16, January-December, 2025
www.revistas.una.ac.cr/uniciencia
revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Primera bioprospección de la especie neotropical *Favolus rugulosus*, para su potencial uso en la industria alimenticia

First bioprospecting of the neotropical species Favolus rugulosus for potential use in the food industry

Primeira bioprospecção da espécie neotropical Favolus rugulosus, para seu potencial uso na indústria alimentícia

Brenda Veloso-Paredes[1], Michelle Campi-Gaona[1], Yanine Maubet-Cano[1], Claudia Mancuello-Chaparro[1], Enzo Cristaldo-Centurión[1,3,4], Francisco Ferreira-Benitez[2]

Received: Aug/17/2023 • Accepted: Apr/3/2024 • Published: Jan/31/2025

Resumen

[Objetivo] El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de basidiomas de *Favolus rugulosus* bajo condiciones controladas en distintos sustratos de cultivo y analizar la composición proximal de los basidiomas producidos. **[Metodología]** La especie en estudio fue identificada por análisis morfológicos y filogenéticos moleculares basados en el marcador ITS. Se evaluó la capacidad de domesticación de la especie mediante el cultivo en distintos sustratos de fácil disponibilidad, se cuantificó el contenido de compuestos fenólicos totales, actividad antirradicalaria DPPH• y se realizó el análisis proximal de los basidiomas producidos. **[Resultados]** La mezcla eucalipto-paja mostró rendimientos más altos de producción en un periodo de 45 días. La fracción de acetato de etilo presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos (35.6 ± 2.6 mg GAE g^{-1}) y actividad antirradicalaria DPPH• (13.6 ± 1.3 mg AAE g^{-1}). En cuanto a la composición proximal, los basidiomas de *F. rugulosus* contienen 20 % de proteínas, 15.4 % de carbohidratos, 25.2 % de fibra alimentaria y 5.7 % de grasas. **[Conclusiones]** Con respecto al cultivo, la mezcla de aserrín de eucalipto y paja presentó los mayores rendimientos, eficiencia biológica y cantidad de oleadas. Los análisis de composición química y nutricional del basidioma cultivado revelan que *F. rugulosus* es un hongo comestible con potencial uso en la industria alimentaria, dado que es una fuente rica en proteínas, carbohidratos, fibra alimentaria y ácidos grasos esenciales.

Palabras clave: ácidos grasos esenciales; metabolitos bioactivos; composición proximal; domesticación; Paraguay.

* Corresponding author
Brenda Veloso-Paredes, brevelpa@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6093-6597
Michelle Campi-Gaona, geraldinecampi@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8809-0159
Yanine Maubet-Cano, ymaubet@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0322-6238
Claudia Mancuello-Chaparro, clau.man87@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2960-3820
Enzo Cristaldo-Centurión, eleo.criscent@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2221-3395
Francisco Ferreira-Benitez, franciscoferreira@facen.una.py, http://orcid.org/0000-0002-2793-6824
1 Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales Área Micología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.
2 Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales Área Química Orgánica de los Productos Naturales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.
3 Centro de Transferencia de Bioinsumos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Abstract

[Objective] This study aimed to assess the production of basidiomata of *Favolus rugulosus* under controlled conditions in different mushroom-growing substrates and to analyze the proximate composition of cultivated basidiomata. **[Methodology]** The species was identified through morphological and molecular phylogenetic analyses based on the ITS marker. Its domestication potential was evaluated using various easy-access substrates. Total phenolic content and the antiradical activity against DPPH• were measured, and proximate content was assessed in cultivated basidiomata. **[Results]** The mixture of eucalyptus sawdust and straw yielded the highest production over a 45-day period, while the ethyl acetate fraction exhibited the highest concentration of phenolic compounds (35.6 ± 2.6 mg GAE g^{-1}) and antiradical activity against DPPH• (13.6 ± 1.3 mg AAE g^{-1}). In terms of proximate composition, *F. rugulosus* basidioma contains 20% protein, 15.4% carbohydrates, 25.2% dietary fiber, and 5.7% fat. **[Conclusions]** Regarding the cultivation of *Favolus rugulosus*, the eucalyptus sawdust-straw mixture presented the highest yields, biological efficiency, and number of flushes. Nutritional and chemical composition analyses of basidiomata revealed that F. *rugulosus* is an edible mushroom with potential use in the food industry as it is a rich source of protein, carbohydrates, dietary fiber, and essential fatty acids.

Keywords: essential fatty acids; bioactive metabolites; proximate composition; domestication; Paraguay.

Resumo

[Objetivo] O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de basidiomas de *Favolus rugulosus* sob condições controladas em diferentes substratos de cultura e analisar a composição proximal dos basidiomas produzidos. **[Metodologia]** A espécie em estudo foi identificada por análises morfológicas e filogenéticas moleculares baseadas no marcador ITS. Foram quantificados a capacidade de domesticação da espécie foi avaliada através do seu cultivo em diferentes substratos de fácil disponibilidade, o conteúdo de compostos fenólicos totais, a atividade antirradical do DPPH, e a análise proximal dos basidiomas produzidos foi realizada. **[Resultados]** A mistura eucalipto-palha apresentou maior rendimento produtivo no período de 45 dias. A fração acetato de etila apresentou maior concentração de compostos fenólicos (35,6 ± 2,6 mg GAE g^{-1}) e atividade antirradicalar DPPH• (13,6 ± 1,3 mg AAE g^{-1}). Quanto à composição proximal, os basidiomas de *F. rugulosus* contêm 20% de proteínas, 15,4% de carboidratos, 25,2% de fibra alimentar e 5,7% de gorduras. **[Conclusões]** Em relação ao cultivo, a mistura de serragem de eucalipto e palha apresentou os maiores rendimentos, eficiência biológica e número de ondas. Análises da composição química e nutricional do basidioma cultivado revelam que *F. rugulosus* é um fungo comestível com potencial utilização na indústria alimentícia, visto que é uma fonte rica em proteínas, carboidratos, fibras alimentares e ácidos graxos essenciais.

Palavras-chave: ácidos graxos essenciais; metabólitos bioativos; composição proximal; domesticação; Paraguai.

Introducción

Los hongos se han utilizado como nutracéuticos, medicamento y fuente de alimento a lo largo de la historia de la humanidad (Bakratsas *et al*., 2021). En la industria alimentaria, los hongos son reconocidos por sus diversas cualidades, ya sea como alimentos (setas) o como mediadores en los procesos biotecnológicos para la obtención de alimentos (Karim, 2020). Con respecto a sus características nutricionales, los hongos

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

comestibles contienen un alto contenido de fibra alimentaria y proteínas, además de ser bajos en grasas (Campi *et al*., 2023). El creciente interés sobre el consumo de alimentos seguros y saludables ha impulsado la búsqueda de fuentes de compuestos bioactivos naturales que ofrezcan beneficios para la salud, además de sus valores nutritivos (Das *et al*., 2021).

Las setas son valoradas como *delicatesen* por sus propiedades organolépticas asociadas al sabor "*UMAMI*", un sabor intenso y agradable codiciado en el área gourmet y característico del reino Fungi (Sun *et al*., 2020). Los hongos también son considerados alimentos funcionales por producir compuestos bioactivos y terapéuticos beneficiosos para la salud (Kim y Kim, 1999; Gao y Zhou, 2002; Dimopoulou *et al*., 2022). El aprovechamiento de setas precisa de una producción continua y la adecuada estandarización de procesos para el cultivo extensivo. En el 2021, el tamaño del mercado mundial de hongos se valoró en USD 50 300 millones y se espera una tasa de crecimiento anual del 9,7 % entre el 2022 y el 2030 (Mushroom Market Size & Share, s. f.). Entre las especies más cultivadas en Latinoamérica se citan al *Agaricus bisporus* (J. E. Lange) Imbach y varias especies de género *Pleurotus,* seguida de *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler (Martínez-Carrera, 2000). Los estudios sobre la domesticación del hongo *Favolus rugulosus* son fundamentales para adquirir conocimientos sobre el sistema de producción, dado a su potencial aplicación en la industria de alimentos.

El género *Favolus* comprende especies con distribución neotropical y pantropical (Tianara *et al*., 2020; Palacio *et al*., 2021). Las especies *Favolus tenuiculus* P. Beauv*, F. alveolaris* (Bosc) Fr., y *F. brasiliensis* (Fr.) Fr. han sido citadas como comestibles en México (Ruán-Soto *et al*., 2006; Jiménez *et al*., 2013; del Moral Cervantes, 2015), y en Brasil se han citado las especies *F. brunneolus* Berk y Curt, *F. brasiliensis*, *F. tessellatus* Mont., *F. yanomami* Palacio y Menolli, *F. radiatifibrillosus* Palacio y R. M. Silveira y *F. rugulosus* Palacio y R. M. Silveira como comestibles y se ha registrado el uso alimenticio de estas especies por la tribu Yanomami (Prance, 1984; Palacio *et al*., 2021). En Paraguay se ha documentado la especie *Favolus brasiliensis* (citado como *F. tenuiculus*) para los Departamentos Central y Paraguarí (Campi *et al*., 2018; Campi *et al*., 2021; Palacio *et al*., 2021). Las diferencias morfológicas entre las especies de *Favolus* citadas como comestibles son sutiles y muchas veces resultan insuficientes para la determinación taxonómica. Por lo tanto, la integración de herramientas como los análisis morfológicos, filogenéticos moleculares y ecológicos son indispensables para la correcta identificación de especies de este género.

Estudios sobre la domesticación de hongos del género *Favolus* han iniciado, esto es fundamental para adquirir conocimientos sobre el sistema de producción para estandarizar los procesos, dado a su potencial aplicación en la industria de alimentos. *Favolus rugulosus* está catalogado como comestible y recientemente se ha evaluado la factibilidad de domesticación y cultivo en distintos sustratos (Sanchez-Ocampo *et al*., 2022). Sin embargo, no se han realizado estudios sobre sus características químicas y nutricionales. El objetivo de este trabajo fue la domesticación y evaluación de la producción en dos sustratos disponibles en el mercado local, así como realizar el primer análisis proximal nutricional, químico y biológico de los basidiomas.

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Materiales y métodos

Colecta y aislado de cepa

Se colectaron basidiomas frescos de *Favolus rugulosus* en el Campus Universitario de la Universidad Nacional de Asunción, ubicado en la ciudad de San Lorenzo, Departamento Central (25°33'58.1"S y 57°51'93.8"W). La muestra analizada fue depositada en el Herbario de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción con código de entrada a herbario FACEN 005252. A partir del contexto del basidioma fresco se aisló un fragmento en agar malta para obtener la cepa, siguiendo los lineamientos de Mata y Salmones (2021). La cepa fue depositada en el cepario de la FACEN UNA (FC59).

Identificación

Análisis morfológicos

La identificación taxonómica se realizó siguiendo los lineamientos de Palacio *et al*. (2021). Se realizaron cortes a mano alzada utilizando un estereoscopio y se montaron en KOH 3 % más floxina 1 % y reactivo de Melzer. Las mediciones se realizaron en reactivo de Melzer según lineamientos de Palacio *et al*. (2021).

Análisis moleculares

La extracción de ADN se realizó a partir del basidioma seco según el protocolo de Doyle (1991), con modificaciones de Góes-Neto *et al*. (2005). La región ITS (ITS1, 5.8S y ITS2) fue amplificada con los cebadores ITS1F/ITS4B (White *et al*., 1990; Gardes y Bruns, 1993; Hopple y Vilgalys, 1999), con los parámetros propuestos por Robledo *et al*. (2020). Los productos de amplificación fueron purificados y secuenciados en Macrogen.

Para estimar la estrategia de partición y el modelo de evolución de nucleótidos de mejor ajuste, se utilizó la herramienta ModelFinder (Kalyaanamoorthy *et al*., 2017) implementado en el software IQ-Tree (Nguyen *et al*., 2015) para el conjunto de datos de tres bloques (nc28S rDNA; ITS1; 5.8S; ITS2). Los modelos fueron restringidos a aquellos implementados en MrBayes 3.2 (Ronquist *et al*., 2012). Se realizaron análisis filogenéticos de inferencia bayesiana (BI) y máxima verosimilitud (ML) al conjunto de datos concatenados utilizando el esquema de partición y los modelos evolutivos definidos por ModelFinder. La Inferencia Bayesiana se realizó de acuerdo con los planteamientos de Costa-Rezende *et al*. (2020). Los análisis de máxima verosimilitud se llevaron a cabo con IQ-TREE. El análisis MrBayes 3.1.2 se realizó en el portal científico CIPRES (Miller *et al*., 2012).

Características de cultivo en placa

Se describió las características macro y micromorfológicas del cultivo en placa. Se evaluó la velocidad de crecimiento mediante cultivo en placa. Se inoculó los discos de 5 mm de diámetro en tres medios de cultivo diferentes, APD (Agar Papa Dextrosa), AM (Agar Malta) y Sabouraud, cada uno por cuadruplicado. El crecimiento micelial se midió en milímetros por día (mm día^{-1}) con un escalímetro de Vernier. La densidad del micelio se determinó según las claves de identificación de la densidad del micelio en medios de cultivo de Mata y Salmones (2021).

Producción de basidiomas bajo condiciones controladas

Se evaluó la producción de basidiomas en dos sustratos: aserrín de *Eucaliptus* spp (E), paja de *Megathyrsus maximus*

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

(Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs (P) y la combinación de ambas (EP) en proporción 1:1. Se ajustó el pH del sustrato a seis con carbonato de calcio al 1 %, se hidrató con agua destilada al 50 % del peso total y se sometió a tratamiento térmico de 121 °C por 20 min. Las pruebas se realizaron por cuadruplicado.

Las condiciones de fructificación se mantuvieron dentro de los siguientes parámetros: humedad 80 %, temperatura entre de 30 a 38 °C y ciclos de luz de 12 horas para simular el día y la noche. Los cálculos de rendimiento y eficiencia biológica se determinaron de la siguiente manera, siguiendo a Ruegger *et al*. (2001): rendimiento: R= [(Peso fresco de basidiomas/Peso fresco de sustrato) x 100]; eficiencia biológica: EB % = [(Peso fresco de basidiomas/Peso de sustrato seco) x 100].

Preparación de extractos

Las extracciones con disolventes por gradiente de polaridad se realizaron con la técnica de Heleno *et al*. (2011) con modificaciones según Campi *et al*. (2023). Se pesaron diez gramos de basidioma cultivado, previamente liofilizado y molido. Se maceraron los diez gramos de muestra en (3x150 mL) metanol: agua 80:20, esta mezcla se sometió a sonicación (Digital Ultrasonic Cleaner) durante dos horas. Luego se filtró con un filtro de fibra de vidrio de 1 mm. La solución final filtrada se evaporó a 60 °C a presión reducida (RC Ingennery-RE 200A) para eliminar el metanol. La fase acuosa se sometió a una extracción líquido-líquido con éter de petróleo (3x100 mL), n-hexano (3x100 mL), cloroformo (3x100 mL) y acetato de etilo (3x100 mL). Las fases orgánicas y el resto acuoso se evaporaron a 40 °C hasta sequedad y, posteriormente, se redisolvieron en metanol para los análisis.

Cuantificación de fenoles totales

La concentración de compuestos fenólicos totales en los extractos se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, según los lineamientos de Campi *et al*. (2023), utilizando ácido gálico (Sigma-Aldrich®) como patrón. El contenido total de los compuestos fenólicos se calculó como mg g^{-1} equivalentes de ácido gálico (GAE). Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Determinación de la actividad antirradicalaria DPPH•

La actividad antirradicalaria DPPH• se determinó mediante el método de absorbancia de radicales DPPH•, según Campi *et al*. (2023) en un espectrofotómetro (GENESYS 140 Vis de Thermo Scientific). Las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como la media del análisis realizado por triplicado en miligramos de equivalentes de ácido ascórbico por g de extracto crudo ± desviación estándar (DE). El porcentaje de actividad (A) se calculó como:

A= 100 (AbsDPPH• – AbsSol)/AbsDPPH• Donde AbsDPPH• y AbsSol son las absorbancias de DPPH• en solución y DPPH• con extracto respectivamente, medidas a 517 nm.

Perfil nutricional

El contenido de humedad (Estufa para secado, San Jor Modelo SL30SDR), cenizas (Mufla, Haereaus M110) y grasas (extractor soxhlet y Randall, Boeco) se analizó siguiendo los estándares de la norma mexicana (NMX-F-089-S,1978; NMX-F-083, 1986; NMX-F-066-S, 1978) con modificaciones para determinación de grasas, utilizando hexano (Supelco) como solvente de

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

extracción. El contenido de proteína (N x 4.38) (Breene, 1990; Chang y Miles, 2004) (digestor y destilador de Kjeldhal Velp Modelo DK42) y fibra alimentaria (Baño María, Nexus; Mufla, Haereaus M110; Digestor, Velp Modelo DK42; Estufa, Thermo Serie Heratherm; Balanza analítica Radwag AS220; Enzimas, Sigma-Aldrich®) se analizó siguiendo estándares de la AOAC 2000 (Association of Official Analytical Chemists; N.° 960.52; N.° 985.29), respectivamente.

El contenido de carbohidratos se calculó de acuerdo con los lineamientos de Fernandes *et al*. (2012), con modificaciones usando ácido sulfúrico (Merck) 98 %, ácido perclórico (Cicarelli) 50 % v/v, reactivo antrona (9,10 dihidro, 9 oxoantraceno) (Fluka Analytical) y glucosa (Merck) como estándar de referencia; el contenido de carbohidratos totales se calculó como mg g^{-1} de equivalente de glucosa. El valor energético se estimó siguiendo los estándares del Reglamento Técnico Mercosur 46/03.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácido grasos y porcentaje de abundancia se determinó según estándares de la AOAC 1969, N.° 969.33 en un cromatógrafo de gases (Shimadzu Modelo 2010 Plus).

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como la media aritmética ± desviación estándar, cada muestra se realizó por triplicado en experimentos independientes. Se utilizó la prueba t-Student para todos los ensayos con una $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó con el programa PAST (Hammer, 2001).

Resultados y discusión

Identificación taxonómica

Análisis morfológicos

Las características morfológicas de las muestras analizadas coinciden con las descritas por Palacio *et al*. (2021) para la especie, *Favolus rugulosus* se distingue morfológicamente por la superficie del píleo pubescente con pelos cortos (hasta 100 µm) y finos; basidiosporas; pileipellis plagiotricodermal caracterizada por la disposición radial de las hifas basales e hifas terminales proyectadas en fascículos.

Análisis filogenético

La topología de los árboles obtenidos por inferencia bayesiana (IB) y máxima verosimilitud (ML) resultaron similares. Se presenta la topología del análisis de ML junto con los valores de soporte encontrados para ambos análisis ML/IB. El género *Favolus* fue recuperado como un clado monofilético (77/1). El nuevo espécimen secuenciado se agrupó con dos especímenes de *Favolus rugulosus,* incluido espécimen holotipo de *F. rugulosus* MP191 (Figura 1).

Características de cultivo

Micelio con crecimiento radial en medio sólido, denso, algodonoso y blanquecino cuando joven, tornándose coriáceo y castaño en el centro cuando maduro. Hifas aéreas de dos tipos: (i) generativas con septos simples, hialinas, pared delgada, congófilas, 1.7-3.2 µm diám.; (ii) fibuladas de 3.2-5.3 µm diám., ambas sin ramificaciones ni clamidiosporas. Hifas sumergidas de dos tipos, (i) septadas simples, 2.1-4.8 µm diám y (ii) fibuladas de 2-4 µm diám.

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

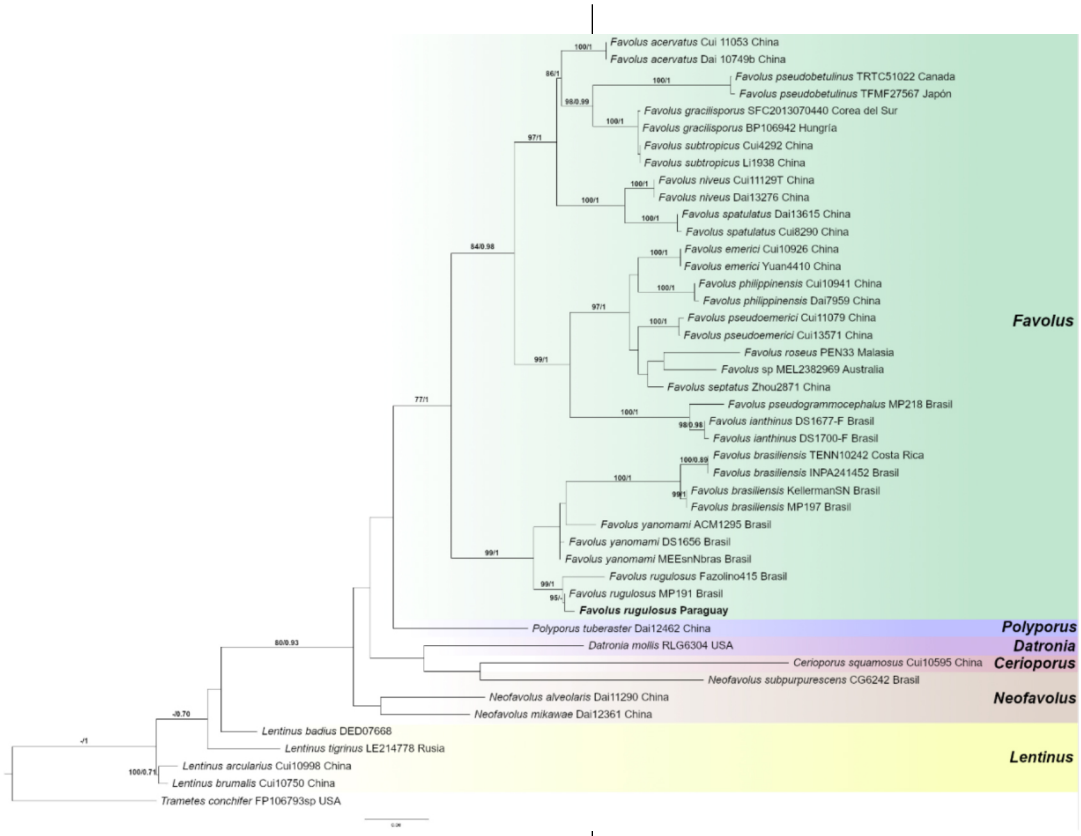

Figura 1. *Árbol consenso de máxima verosimilitud basado en secuencias de ITS. Los valores de soporte de IB y ML mayores a 70 y 0.7 respectivamente se muestran encima de las ramas*
Fuente: propia de la investigación

En cuanto a la velocidad del crecimiento micelial fue mayor en AM (25.1 mm día^{-1}), APD (24.5 mm día^{-1}) y Sabouraud (22.4 mm día^{-1}). La velocidad de crecimiento reportada por Sanchez-Ocampo *et al*. (2022) para APD incubados a 23 °C fue tres veces menor a las observadas para AM y APD en este estudio. Por otra parte, para la especie *Favolus brasiliensis* se reportó una velocidad mayor a 30°C (Omarini *et al*., 2009), lo cual sugiere que la temperatura de incubación es un factor importante para la velocidad de crecimiento.

Producción de basidiomas bajo condiciones controladas

El sustrato que presentó la mayor velocidad de colonización fue el de paja (P), seguido de eucalipto/paja (EP) y, finalmente, eucalipto (E) (Tabla 1). Las bolsas se perforaron a los 35 días de ser inoculadas, la aparición de los primeros primordios se dio entre los 15 y 20 días después de la perforación de las bolsas (Figura 2). El sustrato de mayor rendimiento (R) y eficiencia biológica (EB) fue EP (26.3 % y 52.5 %), respectivamente; seguido de E (1.6 % y 3.2 %) y, finalmente, P (1.0 % y 2.0 %). Con respecto al cultivo de *Favolus rugulosus*, Sanchez-Ocampo *et al*. (2022) reportaron 30.3 % de EB en un sustrato de madera mixta suplementada. Sin embargo, para el cálculo de la EB tomaron en cuenta solo la primera oleada. Por otra parte, Omarini *et al*. (2009) obtuvieron 82.3 % de EB para la especie *F.*

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Tabla 1. *Rendimiento (%), eficiencia biológica (%), oleadas y tiempo de colonización de Favolus rugulosus en las distintas proporciones de sustratos empleados*

Sustratos	Rendimiento (%)	Eficiencia biológica (%)	Cantidad de oleadas	Tiempo de colonización (días)
P	1.0 ± 1.3[a]	2.0 ± 2.6[a]	1	30
E	1.6 ± 0.6[a]	3.2 ± 1.2[a]	3	90
EP	26.3 ± 7.8[b]	52.5 ± 15.7[b]	7	45

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$).
Nota: elaboración propia.

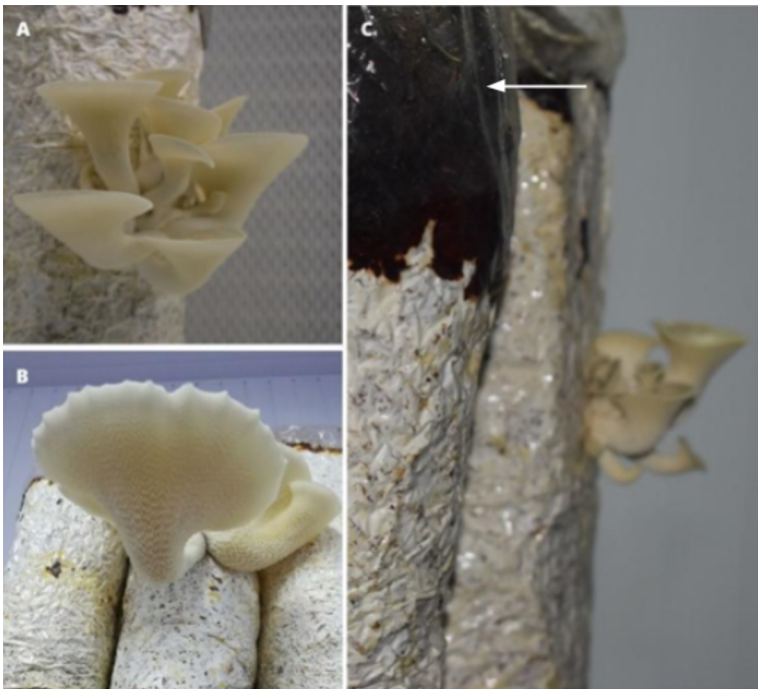

Figura 2: *A) y B) Basidiomas de Favolus rugulosus* en cultivo. *C) Textura coriácea en superficie de cultivo*

Fuente: elaboración propia.

brasiliensis, la cual fue mayor a la obtenida para *F. rugulosus* en este trabajo (52.5 %). Esta diferencia podría deberse a la suplementación del sustrato o las condiciones de fructificación implementadas.

En cuanto a la cantidad de oleadas de fructificación, la mayor fue de 7 para EP, seguido de 3 para E y 1 para P; el intervalo de fructificación a 28 °C entre oleadas fue de 7 días aproximadamente. Por su parte, Sanchez-Ocampo *et al*. (2022) observaron intervalos de tiempo de hasta 20 días entre oleadas en sustratos distintos a 23 °C. Esto sugiere que la temperatura influye en los intervalos de fructificación acortándolos a 28 °C.

Los sustratos ensayados mostraron un cambio en la textura y coloración antes de la fructificación. El sustrato recientemente colonizado evidenció una coloración por completo blanca y blanda que, con el transcurso del tiempo, se tornó marrón y coriácea en la parte superior, esta característica también fue observada previamente en *Favolus rugulosus* y en otras especies como *F. brasiliensis, Lentinula edodes* (Berk.) Pegler y *Ganoderma australe* Fr Pat., (1889), en donde Omarini *et al*. (2009) mencionan que quizás esta textura actúa como barrera protectora contra la pérdida de humedad y ataque contra insectos.

Perfil químico

Las concentraciones más altas de compuestos fenólicos totales y actividad antirradicalaria DPPH• se observaron en la fracción de Acetato de etilo (Tabla 2).

Se observó una relación directa entre el incremento de la polaridad de la fracción y el aumento de la concentración de fenoles y actividad antirradicalaria DPPH•. Este

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Tabla 2. *Valores de fenoles totales y actividad antirradicalaria DPPH• de las fracciones del basidioma de Favolus rugulosus*

Fracción	Fenoles totales (mg GAE g^{-1})	Actividad Antirradicalaria (mg AAE g^{-1})	Actividad Antirradicalaria DPPH• (%)
Éter de Petróleo	2.5 ± 0.4a	2.5 ± 0.0a	2.0 ± 0.0a
Hexano	9.0 ± 0.7b	0.8 ± 0.1a	1.0 ± 0.1a
Cloroformo	11.7 ± 1.9b	7.8 ± 0.5a	4.5 ± 0.5a
Acetato de Etilo	35.6 ± 2.6c	13.6 ± 1.3b	7.0 ± 1.3b

GAE: Equivalentes de Ácido Gálico. AAE: Equivalentes de Ácido Ascórbico. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$).
Nota: elaboración propia.

comportamiento ya ha sido documentado en estudios previos con extractos de basidiomicetos (Zheng *et al*., 2011). Además, es importante destacar que, la selección del solvente de extracción influye en la selectividad de compuestos de interés (Campi *et al*., 2023).

No se encontraron referencias sobre el contenido fenólico ni la actividad antirradicalaria DPPH• de especies del género *Favolus*. Sin embargo, Hussein *et al*. (2015) reportaron contenido fenólico total de 4.31 ± 0.03 mg GAE g^{-1}, para *Polyporus tenuiculus* (un sinónimo de *Favolus brasiliensis*). Por otra parte, se han reportado contenidos fenólicos de 2.5–47.3 mg GAE g^{-1} para especies de *Polyporus*, un género cercano (Orhan y Üstun, 2011), mientras que para el extracto etanólico de *Lentinus lindquistii* (Singer) B. E. Lechner & Albertó, una especie de otro género cercano (Figura 1), se han reportado 15 mg GAE g^{-1} de contenido fenólico y 9.5 mg AAE g^{-1} de la actividad antirradicalaria DPPH• (Campi *et al*., 2019). Respecto a la actividad antirradicalaria DPPH• no se ha encontrado registros bibliográficos para especies del género *Favolus*; sin embargo, Hussein *et al*. (2015) documentan actividad antioxidante de 90.71 % para *Polyporus tenuiculus*. Ahora bien, para especies del género *Polyporus* se reportó actividad antioxidante de hasta 76 % para polisacáridos de *P. umbellatus* (Pers.) Fr. y 91 % para extracto metanólico de *P. squamosus* (Huds.) Fr. (Elmastas *et al*., 2007; He *et al*., 2016); no obstante, para *L. lindquistii* 6.6 % de actividad en su extracto etanólico (Campi *et al*., 2019).

Composición proximal

El género *Favolus* está catalogado como comestible (Palacio *et al*., 2021); sin embargo, no se han encontrado evidencias bibliográficas referentes al valor nutricional de especies cultivadas de este género. Los resultados obtenidos en este estudio sobre el análisis proximal demuestran que *F. rugulosus* es un alimento con alto contenido de proteínas (20.0 %), fibra alimentaria (25.2 %) y bajo en grasas (5.7 %) (Tabla 3), valores consistentes con lo reportado para los hongos comestibles silvestres y cultivados (Rampinelli *et al*., 2010).

Tabla 3. *Composición proximal en base seca de basidiomas cultivados de Favolus rugulosus obtenidos del sustrato de mayor rendimiento y eficiencia biológica (EP)*

Hongo cultivado seco	Composición (%)
Humedad	91.1 ± 0.4
Proteína	20.0 ± 0.0
Grasas totales	5.7 ± 0.5
Fibra alimentaria	25.2 ± 0.0
Hidratos de carbono	14.5 ± 0.1
Cenizas	1.9 ± 0.7
Valor energético	189.3 kcal

Nota: elaboración propia.

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Los hongos cultivados son de importancia nutricional porque contienen entre 19 y 35 % de proteínas ricas en aminoácidos esenciales como la lisina y leucina (Chang y Buswell, 1996; Wani *et al*., 2010). *Favolus rugulosus* presente 20.0 % de proteínas, valor similar a los reportados por Silva Neto *et al*. (2021) para basidiomas silvestres de *F. brasiliensis* (27.0 %). En cuanto a la fibra alimentaria, el consumo habitual estimula el desarrollo de la flora intestinal, mejora el tránsito digestivo y reduce los niveles de glucosa y colesterol en sangre (Dhingra *et al*., 2012); por ende, los alimentos ricos en fibra alimentaria son recomendados en la dieta humana.

Favolus rugulosus contiene 25.2 % de fibra alimentaria coincidente con el valor diario de referencia (25 g) establecido por el reglamento del Mercosur (2003). Especies cultivadas de *Pleurotus* demuestran un rango entre 1.7 y 22.4 % de fibra cruda (Nieto y Chegwin, 2010; Rampinelli *et al*., 2010; Cano-Estrada y Romero, 2016). En la mayoría de los casos, las referencias bibliográficas sobre el valor proximal de los hongos informan sobre el contenido de fibra cruda. Sin embargo, este método analítico utilizado es inapropiado para el reporte del contenido de fibras para alimentos de consumo humano, pues subestima el contenido de fibra alimentaria (García *et al*., 2008; Campi *et al*., 2023). Con respecto al contenido lipídico en hongos, las concentraciones oscilan entre 0.1 y 16.3 % y están representadas por ácidos grasos esenciales, esteroles y triterpenos de valor nutraceútico (Nieto y Chegwin, 2008; Sande *et al*., 2019). *Favolus rugulosus* contiene 5.7 % de lípidos, valor superior (1.3 %) a los obtenidos por Silva Neto *et al*. (2021) para basidiomas silvestres de *F. brasiliensis.* En lo referente a los carbohidratos presentes en los hongos, uno de los tres nutrientes principales de los alimentos, *F. rugulosus* contiene 14.5 % de esta biomolécula. Finalmente, la calidad de un alimento está relacionada con la cantidad de nutrientes que componen el aporte energético y la fuente de donde provienen (Burgess y Glasauer, 2006). *Favolus rugulosus* es un alimento con 222.7 kcal/100g, energía que proviene principalmente de las proteínas y carbohidratos.

Perfil de ácidos grasos

Con respecto al perfil lipídico de *Favolus rugulosus,* el análisis revela la presencia de ácidos grasos saturados (SFA) de 14 a 19 unidades de carbono, ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). El 16.4 % de la composición lipídica de *F. rugulosus* corresponde a los ácidos grasos esenciales docosahexanoico (ω-3), linoleico (ω-6) y oleico (ω-9) (Tabla 4). El ácido graso oleico (ω-9) reduce los niveles de colesterol en sangre (Puiggros *et al*., 2002); el ácido linoleico (ω-6) es fundamental para el desarrollo del sistema visual y nervioso (Matencio *et al*., 2012; Sande *et al*., 2019) y el ácido docosahexanoico (ω-3) se considera indispensable para el desarrollo y mantenimiento del cerebro, por ello su consumo es recomendado en embarazadas (von Schacky, 2021). Los ácidos palmítico (16:0), oleico (18:1) y linoleico (18:2) se encuentran con frecuencia en las especies comestibles *Agaricus bisporus* (J. E. Lange) Imbach*, Pluteus atricapillus* (Batsch) Fayod*, Lentinula edodes* (Berk.) Pegler*, Flammulina velutipes* (Curtis) Singer y *Ramaria aurea* (Schaeff.) Quél. (Pedneault *et al*., 2006; Kalač, 2013; Pereira *et al*., 2012). Con respecto al ω-3, su presencia es poco frecuente en los hongos, en el 2013 Nakalembe y Kabasa reportan por primera vez la existencia de ácido docosahexanoico (DHA) en las especies

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Tabla 4. *Perfil de ácidos grasos y porcentaje de abundancia expresados como ésteres metílicos en extracto de hexano obtenidos de basidiomas cultivados de Favolus rugulosus identificados en GC-MS*

% Abundancia	Ester metílico		Contenido mg/100g
42	Ácido palmítico, éster metílico	(C16:0)	51.9
16.2	Ácido esteárico, éster metílico	(C18:0)	20.0
15.9	Ácido elaídico, éster metílico	(18:1 *trans*-9)	19.7
13.6	Ácido oleico, éster metílico (ω-9)	(18:1 -9)	16.9
2.7	Ácido linoleico, éster metílico (ω-6)	(18:2 -6)	3.4
2.6	Ácido láurico, éster metílico	(C12:0)	3.2
1.9	18-nonadecanoato de metilo	(C19:0)	2.3
1.6	Ácido trans-13-octadecenoico, éster metílico	(C18:1)	2.0
1.4	15-metoxyhexadecanoato de metilo	(C16:1)	1.7
0.7	Ácido pentadecanóico, éster metílico	(C15:0)	0.8
0.6	Ácido margárico, éster metílico	(C17:0)	0.8
0.5	Ácido mirístico, éster metílico	(C14:0)	0.6
0.2	7,12-octadecadienoato de metilo	(C18:2)	0.3
0.1	Ácido docosahexanoico, éster metílico (ω-3)	(C22:6 -3)	0.2

Nota: elaboración propia.

Termitomyces globulus R. Heim & Gooss.-Font. y *T. microcarpus* (Berk. & Broome) R. Heim; además también se encuentra la existencia de este ácido graso para *Fomes fomentarius* (L.) Fr. y *Tricholoma terreum* (Schaeff.) P. Kumm. (Yilmaz *et al*., 2013; Abugri *et al*., 2016). Los hongos son fuente de ácidos grasos esenciales y su presencia en conjunto con ácidos grasos no esenciales podría indicar que son apropiados para uso como nutracéuticos y farmacéuticos (Sande *et al*., 2019; Adedokun *et al*., 2022; Azeem *et al*., 2023).

Conclusión

Los resultados de este estudio indican el potencial nutricional de *Favolus rugulosus* de producción *indoor*. Con respecto al cultivo, la mezcla de aserrín de eucalipto y paja presentó los mayores rendimientos, eficiencia biológica y cantidad de oleadas. En relación con el análisis proximal, *F. rugulosus* cultivado demostró un alto contenido de proteínas, fibra alimentaria y bajo contenido de grasas, además de poseer ácidos grasos esenciales, entre ellos la presencia de ácido docosahexanoico (DHA), fundamentales en la fisiología y nutrición.

El neotrópico posee hongos comestibles no convencionales nativos con potencial de producción indoor e interés nutricional y nutracéutico que requieren de investigación para brindar nuevas alternativas a la industria de alimentos, por lo cual es importante continuar el estudio de la especie al introducir bioprocesos altamente controlados para optimizar el tiempo y rendimiento de la producción de hongos. Se sugiere ampliar el estudio de perfil de aminoácidos y toxicológicos para extender el conocimiento de las especies de hongos comestibles.

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción por brindarnos los recursos necesarios para la ejecución de los análisis requeridos para contribuir con los avances en conocimientos sobre la Funga autóctona del Paraguay. A Fungi Paraguay, un espacio en las redes sociales que busca incentivar el estudio del reino *Fungi* en Paraguay y sociabilizar la información científica con el público en general. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto PINV 01-218 "Caracterización del potencial nutricional y perfil químico de los hongos silvestres comestibles y medicinales del Paraguay y desarrollo de productos derivados para la industria alimenticia." financiado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT).

Conflicto de intereses

Las personas autoras declaran no tener algún conflicto de interés.

Declaración de la contribución de las personas autoras

Todas las personas autoras afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo. El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: B. V. P. 30 %, M. C. G. 25 %, Y. M. C. 15 %, E. C. C. 10 %, C. M. C. 10% , F. F. 10 %.

Declaración de disponibilidad de los datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio serán puestos a disposición por el autor correspondiente [B. V. P.], previa solicitud razonable.

Referencias

AOAC 960.52. (2000). *Elemental Anal*AOAC 960.52. (2000). *Elemental Analysis / Nitrogen, Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)*. Edition USA.

AOAC 969.33. (2000). *AOAC Official Method. Fatty acids in oils and fats. Preparation of methyl Esters Boron Trifluoride Method (AOAC)*. Edition USA.

AOAC 985.29. (2000). *Total Dietary Fiber in Foods. Enzymatic-Gravimetric Method. AOAC-AACC Method. Codex-Adapted-AOAC Method*. Edition USA.

Azeem, U. y Shri, R. (2023). Fatty Acids Composition of Basidiocarps of Some Wood Associated Medicinal Mushrooms (Agaricomycetes) from India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, *25*(3), 87-97. https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2022047269

Abugri, D., McElhenney, W. H. y Willian, K. R. (2016). Fatty acid profiling in selected cultivated edible and wild medicinal mushrooms in Southern United States. *Journal of Experimental Food Chemstry*, *2*(01), 1-7. http://dx.doi.org/10.4172/jefc.1000108

Adedokun, O. M., Odiketa, J. K., Afieroho, O. E. y Afieroho, M. C. (2022). Importance of Mushrooms for Food Security in Africa. En *Food Security for African Smallholder Farmers* (pp. 343-360). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6771-8_20

Bakratsas, G., Polydera, A., Katapodis, P. y Stamatis, H. (2021). Recent trends in submerged cultivation of mushrooms and their application as a source of nutraceuticals and food additives. *Future Foods*, *4*, 100086. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100086

Breene, W. M. (1990). Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms. *Journal of food protection*, *53*(10), 883-895. https://doi.org/10.4315/0362-028x-53.10.883

Burgess, A. y Glasauer, P. (2006). *Guía de nutrición de la familia*. https://www.fao.org/3/y5740s/y5740s.pdf

Campi, M., Flecha, A. y De Madrinac, B. (2018). *Hongos del Campus Universitario U.N.A.* Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción.

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Campi, M., Mancuello, C., Ferreira, F., Maubet, Y., Cristaldo, E. y Benítez, D. (2019). Preliminary evaluation of phenolic compounds, antioxidant activity and bioactive compounds in some species of basidiomycetes fungi from Paraguay. *Steviana*, *11*(1), 26-41. https://revistascientificas.una.py/index.php/stevia/article/view/1033/1029

Campi, M., Maubet, Y., Cristaldo, E., Mancuello, C. y Robledo, G. (2021). Funga del Parque Nacional Ybycuí: listado preliminar de especies de macrohongos y nuevas citas para Paraguay. *Steviana*, *13*(2), 75-96. https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV13N2A5_2021

Campi, M., Mancuello, C., Maubet, Y., Cristaldo, E., Veloso, B., Ferreira, F., Thornton, L., y Robledo, G. (2023). Biochemical, nutritional, and toxicological properties of the edible species *Phlebopus beniensis* with ethnomycological notes from Paraguay. *Brazilian Journal of Food Technology*, *26*, e2022126. https://doi.org/10.1590/1981-6723.12622

Cano-Estrada, A. y Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista chilena de nutrición*, *43*(1), 75-80. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000100011

Chang, S. T. y Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRC press. https://sayedmaulana.files.wordpress.com/2011/02/mushrooms.pdf

Chang, S. T. y Buswell, J. A. (1996). Mushroom nutriceuticals. *World Journal of Microbiology and biotechnology*, *12*, 473-476. https://doi.org/10.1007/BF00419460

Costa-Rezende, D. H., Robledo, G. L., Drechsler-Santos, E. R., Glen, M., Gates, G., de Madrignac Bonzi, B. R., Popoff O. F., Crespo, E. y Góes-Neto, A. (2020). Taxonomy and phylogeny of polypores with ganodermatoid basidiospores (Ganodermataceae). *Mycological Progress*, *19*, 725-741. https://doi.org/10.1007/s11557-020-01589-1

Das, A. K., Nanda, P. K., Dandapat, P., Bandyopadhyay, S., Gullón, P., Sivaraman, G. K., McClements, D. J., Gullón, B. y Lorenzo, J. M. (2021). Edible mushrooms as functional ingredients for development of healthier and more sustainable muscle foods: A flexitarian approach. *Molecules*, *26*(9), 2463. https://doi.org/10.3390/molecules26092463

del Moral Cervantes, P. (2015). *Productividad y estrategias de aprovechamiento de hongos comestibles en cafetales del centro de Veracruz* (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana: Instituto de Investigaciones Forestales. https://www.uv.mx/mcef/files/2018/04/Productividad-y-estrategias-de-aprovechamiento-de-hongos-comestibles-en-cafetales-de-Veracruz.pdf

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H. y Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *49*, 255-266. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5

Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O. y Gortzi, O. (2022). Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species. *Applied Sciences*, *12*(16), 8074. https://doi.org/10.3390/app12168074

Doyle, J. (1991). DNA protocols for plants. *Molecular Techniques in Taxonomy*, 283-293. https://doi.org/10.1007/978-3-642-83962-7_18

Elmastas, M., Isildak, O., Turkekul, I. y Temur, N. (2007). Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*(3-4), 337-345. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.07.003

Fernandes, B., Dragone, G., Abreu, A. P., Geada, P., Teixeira, J. y Vicente, A. (2012). Starch determination in Chlorella vulgaris—a comparison between acid and enzymatic methods. *Journal of applied phycology*, *24*, 1203-1208. https://doi.org/10.1007/s10811-011-9761-5

Gao, Y. y Zhou, S. (2002). The immunomodulating effects of Ganoderma lucidum (Curt.: Fr.) P. Karst. (Ling Zhi, reishi mushroom)(Aphyllophoromycetideae). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, *4*(1). https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v4.i1.10

García Ochoa, O. E., Infante, R. B. y Rivera, C. J. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. En *Anales Venezolanos de Nutrición* *21*(1), 25-30. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522008000100005

Gardes, M. y Bruns, T. D. (1993). ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology*, *2*(2), 113-118. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Góes-Neto, A., Loguercio-Leite, C. y Guerrero, R. T. (2005). DNA extraction from frozen fieldcollected and dehydrated herbarium fungal basidiomata: performance of SDS and CTAB-based methods. *Biotemas*, *18*(2), 19-32. https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/21410/19377

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). Paleontological statistics software package for education and data analysis.–Paleontologia Electronica 4/1: 1-9.

He, P. F., Zhang, A. Q., Wang, X. L., Qu, L., Li, G. L., Li, Y. P. y Sun, P. L. (2016). Structure elucidation and antioxidant activity of a novel polysaccharide from *Polyporus umbellatus* sclerotia. *International Journal of Biological Macromolecules*, *82*, 411-417. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.032

Heleno, S. A., Barros, L., Sousa, M. J., Martins, A., Santos-Buelga, C. y Ferreira, I. C. (2011). Targeted metabolites analysis in wild *Boletus* species. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(6), 1343-1348. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.017

Hopple Jr, J. S. y Vilgalys, R. (1999). Phylogenetic relationships in the mushroom genus *Coprinus* and dark-spored allies based on sequence data from the nuclear gene coding for the large ribosomal subunit RNA: divergent domains, outgroups, and monophyly. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *13*(1), 1-19. https://doi.org/10.1006/mpev.1999.0634

Hussein, J. M., Tibuhwa, D. D., Mshandete, A. M. y Kivaisi, A. K. (2015). Antioxidant properties of seven wild edible mushrooms from Tanzania. *African Journal of Food Science*, *9*(9), 471-479. https://doi.org/10.5897/ajfs2015.1328

Jiménez-González, M., Romero-Bautista, L., Villavicencio-Nieto, M. A. y Pérez-Escandón, B. E. (2013). *Los hongos comestibles de la región de Molango de Escamilla*. https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=hidalgo

Kalač, P. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(2), 209-218. https://doi.org/10.1002/jsfa.5960

Kalyaanamoorthy, S., Minh, B. Q., Wong, T. K., Von Haeseler, A. y Jermiin, L. S. (2017). ModelFinder: fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nature methods*, *14*(6), 587-589. https://doi.org/10.1038/nmeth.4285

Karim, A., Gerliani, N. y Aïder, M. (2020). *Kluyveromyces marxianus*: An emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology. *International Journal of Food Microbiology*, *333*, 108818. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108818

Kim, H. W. y Kim, B. K. (1999). Biomedicinal triterpenoids of *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst.(Aphyllophoromycetideae). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, *1*(2). https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v1.i2.20

Martínez-Carrera, D. (2000). Mushroom biotechnology in tropical America. *International Journal of Mushroom Sciences*, *3*(1), 9-20.

Mata, G. y Salmones, D. (Eds.). (2021). *Técnicas de aislamiento, cultivo y conservación de cepas de hongos en el laboratorio*. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa. México. https://www.inecol.mx/inecol/images/pdf/libro_cepas.pdf

Matencio Hilla, E., Abellán Ballesta, P. y Romero Braquehais, F. (2012). Funcionalidad y recomendaciones nutricionales de ácidos grasos esenciales y sus derivados en la alimentación del lactante a partir de los 6 meses de edad. *Enfermería Global*, *11*(25), 367-380. https://doi.org/10.4321/s1695-61412012000100022

Mercosur. (2003). *Reglamento Técnico sobre el rotulado nutricional de alimentos envasados*. MERCOSUR/GMC/RES. N.º 46/03. https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/34543/177146/file/gmc

Miller, M. A., Pfeiffer, W. y Schwartz, T. (2012). The CIPRES science gateway: enabling high-impact science for phylogenetics researchers with limited resources. En *Proceedings of the 1st Conference of the Extreme Science and Engineering Discovery Environment: Bridging from the extreme to the campus and beyond* (pp. 1-8). https://doi.org/10.1145/2335755.2335836

Mushroom Market Size & Share | Global Industry Trends Report, 2025. (n. d.). Www.grandviewresearch.com. SF. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/mushroom-market

Nakalembe, I. y Kabasa, J. D. (2013). Fatty and amino acids composition of selected wild edible mushrooms of Bunyoro sub-region, Uganda. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, *13*(1), 7225-7241. 10.18697/ajfand.56.11945

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Nguyen, L. T., Schmidt, H. A., Von Haeseler, A. y Minh, B. Q. (2015). IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular biology and evolution*, *32*(1), 268-274. https://doi.org/10.1093/molbev/msu300

Nieto, I. J. y Chegwin, C. (2010). Influencia del sustrato utilizado para el crecimiento de hongos comestibles sobre sus características nutraceúticas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *12*(1), 169-178. https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/15631/16392

Nieto, I. J. y Chegwin, C. A. (2008). Triterpenoids and fatty acids identified in the edible mushroom *Pleurotus sajor-caju*. *Journal of the Chilean Chemical Society*, *53*(2), 1515-1517. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072008000200015

NMX-F-083. (1986). *Determinación de humedad en productos alimenticios. Foods. Moisture in food products determination*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. https://studylib.es/doc/5465578/nmx-f-083-1986.-alimentos.-determinaci%C3%B3n-de-humedad-en

NMX-F-066-S. (1978). *Determinación de cenizas en alimentos. Foodstuff determination of ashes*. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. https://xdoc.mx/documents/nmx-f-066-s-1978-determinacion-de-cenizas-en-alimentos-5f9b9221d6381#

NMX-F-089-S. (1978). *Determinación del extracto etéreo (método de Soxhlet) en alimentos. Foodstuff-determination of ether extract (Soxhlet)*. Normas Mexicanas Dirección General de Normas. https://dokumen.tips/download/link/nmx-f-089-s-1978.html

Omarini, A., Lechner, B. E. y Albertó, E. (2009). *Polyporus tenuiculus*: a new naturally occurring mushroom that can be industrially cultivated on agricultural waste. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, *36*(5), 635-642. https://doi.org/10.1007/s10295-009-0530-2

Orhan, I. y Üstün, O. (2011). Determination of total phenol content, antioxidant activity and acetylcholinesterase inhibition in selected mushrooms from Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(3), 386-390. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.005

Palacio, M., Drechsler Dos Santos, E. R., Menolli Jr, N. y da Silveira, R. M. B. (2021). An overview of *Favolus* from the Neotropics, including four new species. *Mycologia*, *113*(4), 759-775. https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1878797

Pedneault, K., Angers, P., Gosselin, A. y Tweddell, R. J. (2006). Fatty acid composition of lipids from mushrooms belonging to the family Boletaceae. *Mycological Research*, *110*(10), 1179-1183. https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.05.006

Pereira, E., Barros, L., Martins, A. y Ferreira, I. C. (2012). Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. *Food Chemistry*, *130*(2), 394-403. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.057

Prance, G. T. (1984). The use of edible fungi by Amazonian Indians. *Advances in Economic Botany*, *1*, 127-139. http://www.jstor.org/stable/43931372

Puiggros, C., Chacón, P., Armadans, L. I., Clapes, J. y Planas, M. (2002). Effects of oleic-rich and omega-3-rich diets on serum lipid pattern and lipid oxidation in mildly hypercholesterolemic patients. *Clinical Nutrition*, *21*(1), 79-87. https://doi.org/10.1054/clnu.2001.0511

Rampinelli, J. R., Silveira, M. L. L., Gern, R. M. M., Furlan, A. S., Ninow, J. L. y Wisbeck, E. (2010). Valor nutricional de *Pleurotus djamor* cultivado em palha de bananeira. *Alimentos e Nutrição*, *21*(2), 197-202.

Robledo, G. L. (2018). Cambiando el paradigma de las especies fúngicas ampliamente distribuidas: Con especificidad, distribución antrópica o especiación críptica? *Steviana, 10*(1), 4.

Robledo, G. L., Palacio, M., Urcelay, C., Vasco-Palacios, A. M., Crespo, E., Popoff, O., Põldmaa, K., Ryvarden, L. y Costa-Rezende, D. H. (2020). Mystery unveiled: *Diacanthodes* Singer–a lineage within the core polyporoid clade. *Systematics and Biodiversity, 18*(6), 538-556. https://doi.org/10.1080/14772000.2020.1776784

Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M. y Huelsenbeck, J. P. (2012). MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic Biology*, *61*(3), 539-542. https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

DOI: https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.4
E-ISSN: 2215-3470
CC: BY-NC-ND

Ruán-Soto, F., Garibay-Orijel, R. y Cifuentes, J. (2006). Process and dynamics of traditional selling wild edible mushrooms in tropical Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, *2*(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-3

Ruegger, M. J. S., Tornisielo, S. M. T., Bononi, V. L. R. y Capelari, M. (2001). Cultivo do cogumelo comestível Oudemansiella canarii (Jungh.) Höhn. em substratos lignocelulósicos. *Brazilian Journal of Microbiology*, *32*, 211-214. https://doi.org/10.1590/S1517-83822001000300009

Sanchez-Ocampo, S., Palacio, M., Rios-Sarmiento, C. y Gómez-Montoya, N. (2022). *Favolus rugulosus* en Colombia: producción de micelio y basidiomas en diferentes condiciones nutricionales. *Lilloa*, 427-444. https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.S/2022.10.01

Sande, D., de Oliveira, G. P., e Moura, M. A. F., de Almeida Martins, B., Lima, M. T. N. S. y Takahashi, J. A. (2019). Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. *Food Research International*, *125*, 108524. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108524

Silva-Neto, C. de M. e., Pinto, D. de S., Santos, L. A. C., Calaça, F. J. S. y Almeida, S. D. S. (2021). Food production potential of *Favolus brasiliensis* (Basidiomycota: Polyporaceae), an indigenous food. *Food Science and Technology*, *41*, 183-188. https://doi.org/10.1590/fst.12620

Sun, L., Zhang, Z., Xin, G., Sun, B., Bao, X., Wei, Y., Zhao, X. y Xu, H. (2020). Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, *96*, 176-187. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.018

Tianara, A., Susan, D. y Sjamsuridzal, W. (2020). New recorded species of polypore for Indonesia found in Universitas Indonesia Depok Campus. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science. 457*, 1-19. https://doi.org/10.1088/1755-1315/457/1/012010

von Schacky, C. (2021). Importance of EPA and DHA blood levels in brain structure and function. *Nutrients*, *13*(4), 1074. https://doi.org/10.3390/nu13041074

Wani, B. A., Bodha, R. H. y Wani, A. H. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of Medicinal plants research*, *4*(24), 2598-2604. https://doi.org/10.5897/jmpr09.565

White, T. J., Bruns, T., Lee, S. J. W. T. y Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, *18*(1), 315-322. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1

Yilmaz, N., Türkekul, I., Bulut, S. y Sahin, F. (2013). Fatty acid composition in ten mushroom species collected from Middle Black Sea Region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, *25*(3), 1216.

Zheng, W., Zhang, M., Zhao, Y., Miao, K., Pan, S., Cao, F. y Dai, Y. (2011). Analysis of antioxidant metabolites by solvent extraction from sclerotia of *Inonotus obliquus* (Chaga). *Phytochemical Analysis*, *22*(2), 95-102. https://doi.org/10.1002/pca.1225

UNICIENCIA Vol. 39, N°. 1, pp. 1-16. January-December, 2025 • www.revistas.una.ac.cr/uniciencia • revistauniciencia@una.cr

Primera bioprospección de la especie neotropical Favolus rugulosus, para su potencial uso en la industria alimenticia (Brenda Veloso-Paredes • Michelle Campi-Gaona • Yanine Maubet-Cano • Claudia Mancuello-Chaparro • Enzo Cristaldo-Centurión • Francisco Ferreira-Benitez) Uniciencia is protected by Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0)