

Evaluación sensorial de café de Nariño (Colombia) enriquecido con biomasa micelial de *Ganoderma lucidum**

Sensory evaluation of coffee from Nariño (Colombia) enriched mycelial biomass of *Ganoderma lucidum*

MUESES-MAFLA, ROBINSON-BYRON¹; BENAVIDES-CALVACHE, OLGA-LUCIA²

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 4 de noviembre 2022

Aprobado para publicación: 3 de noviembre 2023

* Título del proyecto de origen: "Evaluación sensorial y análisis químico de café de origen nariñense, enriquecido con biomasa micelial de *Ganoderma lucidum* producido por fermentación líquida". Financiación: Biota, Fundación Ceiba y Gobernación de Nariño. Culminación: 2021.

1 Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (Biota). M.Sc. Ciencias Agrarias. Pasto, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3036-7191>

2 Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (Biota). M.Sc. Químicas, M.Sc. Agrarias. Pasto, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-6327-5832>

Correspondencia: byronmueses14@udenar.edu.co, olgalucia@udenar.edu.co

Cómo citar este artículo

MUESES-MAFLA, ROBINSON-BYRON; BENAVIDES-CALVACHE, OLGA-LUCIA. Evaluación sensorial de café de Nariño (Colombia) enriquecido con biomasa micelial de *Ganoderma lucidum*. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 22, n. 1, 2024, p. 53-69. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaav22.n1.2024.2248>

RESUMEN

Colombia es el tercer productor mundial de café y es reconocido como un producto de calidad superior. En Nariño es la actividad agropecuaria más representativa, pero con baja sofisticación en los procesos de transformación. El objetivo de este estudio fue desarrollar un café de origen nariñense que posea la aceptabilidad y funcionalidad de *Ganoderma lucidum*. Se determinó el contenido de polifenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu, actividad antioxidante por el método DPPH y evaluación de grupos funcionales estructurales mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para el cuerpo fructífero y biomasa micelial de *G. lucidum*. El contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante fue mayor en la biomasa micelial ($41,67 \pm 4,35$ mg EAG/g y $6,49 \pm 0,99$ μ mol Eq Trolox/g extracto) en comparación con el cuerpo fructífero ($14,31 \pm 1,85$ mg EAG/g y $4,80 \pm 0,25$ μ mol Eq Trolox/g extracto). Los espectros IR del cuerpo fructífero y biomasa micelial mostraron similitud en ambos espectros, entre los picos, las bandas anchas y fuertes, lo que indica que su composición química es similar pero más no en concentración. En el desarrollo del café se adicionó biomasa micelial de *G. lucidum* en tres concentraciones (6, 8 y 10 %) y se evaluó el perfil sensorial de taza atendiendo parte de los protocolos de catación de la SCAA. Los resultados del análisis sensorial las muestras con 8 y 10 % de biomasa micelial en café resultaron en el incremento de sus puntajes alcanzando casi los puntajes de la muestra control, y estos se mantuvieron relativamente constantes en los 8 y 9 puntos, manteniendo al café enriquecido dentro del rango de la SCAA como un café excelente y extraordinario respectivamente, lo que demuestra un método prometedor de aplicación directa de biomasa micelial en los alimentos para el desarrollo de alimentos funcionales.

ABSTRACT

Colombia is the third largest coffee producer in the world and is recognized for its superior quality product. Nariño, it is the most representative agricultural activity but with low sophistication in the transformation processes. The objective of this study was to develop a coffee of Nariño origin that possesses the acceptability and functionality of *Ganoderma lucidum*. The total polyphenol content was determined using the Folin-Ciocalteu method, antioxidant activity using the DPPH method, and evaluation of structural functional groups using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) for the fruiting body and mycelial biomass of *G. lucidum*. The total polyphenol content and antioxidant activity were higher in the mycelial biomass ($41,67 \pm 4,35$ mg EAG/g and $6,49 \pm 0,99$ μ mol Eq Trolox/g extract) compared to the fruiting body ($14,31 \pm 1,85$ mg EAG/g and $4,80 \pm 0,25$ μ mol Eq Trolox/g extract). The IR spectra of the fruiting body and mycelial biomass showed similarity in both spectra, among the peaks, broad and strong bands, indicating that their chemical composition is similar, but not in concentration. In the development of coffee, mycelial biomass of *G. lucidum* was added in three concentrations (6, 8 and 10 %), and the sensory profile of the cup was evaluated following some of the cupping protocols of the SCAA (Specialty Coffee Association of America). The results

PALABRAS CLAVE:

Hongos medicinales; *Ganoderma lucidum*; Biomasa micelial; Antioxidante; Polifenoles; FTIR; Alimentos macrofúngicos; Valor agregado; Perfil de taza; Cafés especiales.

KEYWORDS:

Medicinal mushrooms; *Ganoderma lucidum*; Mycelial biomass; Antioxidants; Polyphenols; FTIR; Macrofungi foods; Added value; Cupping profile; Specialty coffee.

of the sensory analysis for the samples with 8 and 10 % mycelial biomass in coffee showed an increase in their scores, reaching nearly the scores of the control sample, and these scores remained relatively constant at 8 and 9 points, placing the enriched coffee within the SCAA range as an excellent and extraordinary coffee, respectively. This demonstrates a promising method for the direct application of mycelial biomass in food for the development of functional foods.

INTRODUCCIÓN

Colombia es el tercer productor mundial de café (Escobar *et al.*, 2019) y en Nariño el cultivo de café es la actividad agropecuaria más representativa, la cual aporta el 3,4 % del PIB sectorial y el 4,16 % de la producción nacional, además de ser producto muy apreciado en el comercio internacional por su denominación de origen (Escobar *et al.*, 2016), ya que en Nariño se ha hecho énfasis en los cafés especiales, los cuales se benefician por el tipo de suelos que tiene el territorio, que se encuentra un cinturón volcánico que lo ha hecho altamente fértil y de estos broten uno de los mejores cafés especiales del país (Calpa & Moncayo, 2016). No obstante, Nariño presenta una baja sofisticación en los procesos de transformación del café, por lo que es necesario trabajar en el mejoramiento de los eslabones de la cadena productiva, dada la importancia que ha cobrado en el territorio (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, 2019).

La bebida de café es la forma más común de preparar los granos de café tostados y, si bien existen numerosas formas de preparar café, casi todas requieren de una infusión lenta de los granos molidos en agua y depende de las preferencias del consumidor con leche y/o la adición de azúcar, canela, cacao o diferentes aromas (Bastian *et al.*, 2021), sin embargo, existe una tendencia hacia las bebidas funcionales como el café de hierbas que se encuentran disponibles en el mercado están enfocados en ingredientes adicionales como canela, jengibre e incluso hongos, que brindan propiedades antioxidantes adicionales y beneficios saludables para los consumidores (Erksine *et al.*, 2022).

En cuanto los productos alimenticios formulados con hongos, denominados alimentos macrofúngicos, son aplicaciones innovadoras que en la actualidad se están explorando y se basan en la adición de cuerpos fructíferos o micelios de hongos medicinales para mejorar el sabor y la nutrición de los alimentos (Lu *et al.*, 2020). Dentro de los hongos medicinales *G. lucidum* es el más reconocido por la industria alimentaria (Marek *et al.*, 2017) por poseer buenas propiedades antioxidantes que se han relacionado por la presencia de sus compuestos bioactivos (Santillán *et al.* 2017), pues esta especie es abundante en numerosos polisacáridos, triterpenos, compuestos fenólicos y otras biomoléculas, por lo que es superior y más atractivo entre otras especies de hongos medicinales (Obodai *et al.*, 2017).

Actualmente, *G. lucidum* es utilizado como materia prima para la producción de alimentos funcionales (Uddin *et al.*, 2019) y suplementos dietéticos, (Wu *et al.*, 2017). Dentro de los productos a base de *Ganoderma* que existen en el mercado aproximadamente el 80 al 85 % se derivan de los cuerpos fructíferos (Chang, 2008), mientras que el 15 al 20 % se basan en extractos miceliales (Zhou *et al.*, 2012), no obstante, se han realizado investigaciones para obtener suplementos nutritivos a partir de la aplicación directa de la biomasa micelial de *G. lucidum* y se ha encontrado que el valor nutritivo de la biomasa es enorme dado a su contenido de proteínas, carbohidratos y sales minerales (Petre *et al.*, 2013), además, se ha reportado que la bioactividad de *G. lucidum* es mucho más alta en micelios que en cuerpos fructíferos y esporas (Cui *et al.*, 2015), y se ha encontrado que la biomasa micelial tiene propiedades antioxidantes, siendo los compuestos fenólicos los que contribuyen en mayor proporción a las propiedades antioxidantes (Sudheer *et al.*, 2019) que mantienen el equilibrio fisiológico en las personas, lo que da una alta valoración a la biomasa micelial como fuente de alimentos funcionales (Rašeta *et al.*, 2016), por consiguiente, la biomasa micelial ha ganado interés como productos alternativos o sustitutos de cuerpos fructíferos, para uso en la formulación de nutraceuticos y alimentos funcionales (Heleno *et al.*, 2012), pero para emplear la biomasa micelial de los hongos, es necesario demostrar que esta posee valores nutricionales y medicinales com-

parables a los de los cuerpos fructíferos (Carvajal *et al.* 2012). Por lo anterior, en la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un café de origen nariñense con aceptabilidad por la inclusión de biomasa micelial de *G. lucidum* en un café de origen nariñense para su evaluación del perfil sensorial de taza y funcionalidad de *Ganoderma lucidum*, mediante la determinación del contenido de polifenoles totales, la actividad antioxidante y evaluación de grupos funcionales estructurales por espectroscopia FTIR del cuerpo fructífero y biomasa micelial de *G. lucidum*.

MÉTODO

Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en la empresa Café de Altura S.A.S de la ciudad de Pasto y en el laboratorio del Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (BIOTA) de la Universidad de Nariño en la ciudad de San Juan de Pasto, Colombia, ubicada a una altura de 2.527 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 12 °C, y precipitación anual de 1.059 m.m.

Muestras

Los cuerpos fructíferos empleados en la investigación fueron la cepa de *G. lucidum* WC806 de la Universidad de Pensilvania, la cual se adquirió de la Universidad de Caldas. Los cuerpos fructíferos del hongo se trasladaron al Laboratorio del Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (Biota) de la Universidad de Nariño (Colombia), se desinfectaron y conservaron en refrigeración hasta los posteriores ensayos. A partir de la cepa WC806 se realizó un cultivo líquido adecuado con residuos de café (cascarilla de café), para la obtención de biomasa micelial de *G. lucidum* (Mueses *et al.*, 2021b).

Se usó café variedad Colombia originario del municipio de Yacuanquer (Nariño) con tostión media y proporcionado por la empresa Café de Altura S.A.S. que se evaluó previamente bajo el protocolo de catación de la Specialty Coffee Association of America (SCAA) y presentó un puntaje de 85,75 calificándose como un café excelente y de origen especial.

Adecuación del material fúngico

El cuerpo fructífero de *G. lucidum* se deshidrató a temperatura ambiente, una vez seco, se cortó en pequeños trozos con el empleo de un bisturí; se realizaron cortes en diagonal con el fin de obtener cortes muy finos y se trocearon hasta reducir a un tamaño menor a 0,2 cm. Biomasa micelial de *G. lucidum* deshidratada y en polvo proveniente del cultivo líquido con una fuente de carbono no convencional (cascarilla de café) se empleó en la presente investigación (Mueses *et al.*, 2021^a).

Preparación de extractos acuosos de *G. lucidum*

Las muestras secas y en polvo de la biomasa micelial como del cuerpo fructífero de *G. lucidum*, se maceraron en agua (Mueses y Benavides, 2022b), en donde 2 g de cuerpo fructífero y 2 g de biomasa micelial en polvo se adicionaron por separado en 100 mL de agua destilada, se llevaron a ebullición por 3 minutos, una vez transcurrido el tiempo de ebullición se dejaron en reposo los extractos hasta la temperatura ambiente, se filtraron con papel filtro Whatman No. 1 y se aforaron a 100 mL con agua destilada. Los extractos acuosos obtenidos fueron empleados para comparar la funcionalidad del cuerpo fructífero y biomasa micelial de *G. lucidum* en términos de polifenoles totales y actividad antioxidante.

Determinación del contenido de polifenoles totales

La cuantificación de polifenoles totales se realizó por el método de Folin Ciocalteu (F-C), utilizando Na_2CO_3 al 20 % p/v como buffer, la curva de calibración se hizo utilizando una solución de ácido gálico a 1000 ppm, a partir de esta solución se prepararon soluciones de (50, 100, 300, 500 y 700) ppm de ácido gálico (GA) en agua destilada. En un matraz se agregó 1 mL de muestra, 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu 4 mL de solución de Na_2CO_3 y se aforó a 10 mL con agua destilada, se calentó a 50°C en baño María por 10 min y se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro marca Thermo scientific genesys 10 UV (Santillán *et al.*, 2017). Las muestras se analizaron de igual forma sustituyendo el patrón GA por 1 mL del extracto a evaluar y el resultado promedio de las lecturas se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE/g).

Análisis de actividad antioxidante

Se determinó la actividad antioxidante por el método DPPH. Se preparó una solución de DPPH a 0,1 mM en etanol absoluto, para ello se pesaron 0,01 g de DPPH en un matraz aforado, previamente tarado y protegido contra la luz y se disolvió en 50 mL de etanol absoluto. La solución se ubicó en un lugar oscuro durante 20 min con la finalidad de lograr una adecuada disolución. La solución de DPPH (3,9 mL) en etanol se mezcló con la solución de cada extracto acuoso (0,1 mL) en concentraciones en intervalos de 0,25-2 % p/v. La reacción para eliminar radicales DPPH• se realizó a temperatura ambiente y la disminución de la absorbancia se midió a 515 nm luego de transcurridos 30 minutos de reacción. Los resultados se expresaron en valores μmol equivalentes de Trolox por g de extracto crudo (μmol Eq Trolox/g extracto), mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante TROLOX en etanol en concentraciones de 2 a 70 μM .

Espectros FTIR

Las muestras secas y en polvo de la biomasa micelial y del cuerpo fructífero de *G. lucidum* se mezclaron uniformemente con polvo de bromuro de potasio (KBr), respectivamente. La mezcla se presionó manualmente hasta formar la tableta y la medición se realizó en un espectrofotómetro IR Affinity 1S en el rango de frecuencia 4000-400 cm^{-1} (Sangeetha *et al.*, 2020).

Preparación de las muestras para perfilación de taza

Para la dosificación de *G. lucidum* al café se tomó como referencia la metodología empleada previamente en el grupo de investigación Biota de la Universidad de Nariño, en la que se establecen 3 niveles de concentración para el polvo del cuerpo fructífero del hongo *G. lucidum* en la bebida de café (Cuadro 1), valores que están en el rango de concentración recomendada para obtener beneficios en una dieta normal de consumo (Benavides *et al.*, 2017), sin embargo, en esta investigación se realizó la inclusión al café con biomasa micelial de *G. lucidum* obtenida del proceso del cultivo en fase líquido (Mueses *et al.*, 2021b).

Cuadro 1. Descripción del porcentaje de biomasa micelial de *G. lucidum* adicionado al café.

Muestras	% Biomasa micelial	% Café
Control	0	100
Muestra 1	6	94
Muestra 2	8	92
Muestra 3	10	90

La muestra control correspondió al café originario del municipio de Yacuanquer (Nariño) con tostión media proporcionado por la empresa Café de Altura S.A.S. De este café se obtuvo una muestra de 9,4 g y se mezcló con 0,6 g de biomasa micelial para preparar la muestra 1; 9,2 g de café se mezclaron con 0,8 g de biomasa para preparar la Muestra 2 y 9 g de café se mezclaron con 1 g de biomasa micelial para preparar la Muestra 3. Se prepararon

muestras de total de 10 g para preparar las tazas, pues la proporción en la preparación de taza es 10 g de café en 110 mL de agua. En la preparación de taza se empleó agua caliente con una temperatura aproximada de 92 °C que se vertió en el café y se dejó reposar 4 minutos en la taza y, posteriormente, el catador Q-grader procedió a realizar la evaluación sensorial. En total se prepararon 9 muestras (tazas), 3 correspondieron al control y dos muestras para cada una de las diferentes concentraciones de biomasa micelial en café (6, 8 y 10%).

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó bajo la metodología de la Specialty Coffee Association of America (SCAA) utilizada para perfilar y calificar cuantitativamente muestras de cafés especiales (Gutiérrez & Barrera, 2015). El procedimiento para la catación consistió en probar de tres a diez tazas del mismo café y valorarlo con base en un formato de puntaje de cata que va de 0 a 10 puntos para calificar los atributos importantes de sabor: en la hoja de puntaje de cata los atributos se incluyeron: Fragancia/Aroma, Sabor, Sabor residual, Acidez, Cuerpo, Equilibrio, Uniformidad, Taza Limpia, Dulzura, Defectos y General (Giacalone *et al.*, 2019). El análisis sensorial de la presente investigación las muestras de café adicionado con biomasa micelial de *G. lucidum* se realizó con el apoyo de un experto de catación en café con certificación en "Q. grader" del Coffe Quality Institute (CQI). Las muestras de café preparadas en esta investigación el panel experto evaluó el perfil descriptivo de los 11 atributos del sabor de café con el empleo de la hoja de puntaje de cata y atendiendo parte de los protocolos SCAA.

Análisis estadísticos

Los resultados de la cuantificación de polifenoles totales y actividad antioxidante de los extractos acuosos del cuerpo fructífero y biomasa micelial de *G. lucidum* se realizaron por triplicado y se expresaron como media \pm Desviación estándar; las diferencias estadísticas entre los extractos se analizaron mediante la prueba t de Student con un $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó con el programa STATGRAPHICS® Centurion XVI.

El análisis sensorial de los perfiles descriptivos de las muestras de café con biomasa micelial de *G. lucidum* se evaluaron mediante la utilización de gráficos de tipo radar araña haciendo uso del software STATGRAPHICS® CENTURION XVI.

RESULTADOS

Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante

Para emplear la biomasa micelial de los hongos es necesario demostrar que poseen valores nutricionales y medicinales comparables a los de los cuerpos fructíferos, por lo anterior, la evaluación de la actividad antioxidante de *G. lucidum* se realizó en extractos acuosos del cuerpo fructífero y su biomasa micelial. En el cuadro 2 se indican los resultados de polifenoles totales y actividad antioxidante para el cuerpo fructífero y biomasa micelial de la cepa de *G. lucidum* WC806.

Cuadro 2. Valores de EAG/g y actividad antioxidante de *G. lucidum* WC806.

Muestra	Polifenoles mg EAG/g	$\mu\text{mol Eq Trolox/g extracto}$
Cuerpo fructífero	14,31 \pm 1,85a	4,80 \pm 0,25a
Biomasa micelial	41,67 \pm 4,35b	6,49 \pm 0,99a

Datos expresados como media \pm desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Se observa que los extractos acuosos del cuerpo fructífero y biomasa micelial poseen propiedades antioxidantes, con diferencias significativas para los polifenoles totales ($p=0,0005$), y sin diferencias significativas ($p=0,1105$) para la actividad antioxidante expresada como $\mu\text{mol Eq Trolox/g}$ extracto, sin embargo, el extracto acuoso de la biomasa micelial de *G. lucidum* presentó un mayor contenido de polifenoles totales y una mayor actividad antioxidante que del cuerpo fructífero. El micelio de *Ganoderma* parece contener muchos de los compuestos bioactivos como del cuerpo fructífero (Sudheer *et al.*, 2019), demostrado en esta investigación en términos de polifenoles totales y la actividad antioxidante evaluada por el método DPPH, los resultados no solo indican ser comparables con el cuerpo fructífero de *G. lucidum* sino que también se demostró que la biomasa micelial es más apropiada para aumentar el potencial antioxidante de *G. lucidum*. Es común que los cuerpos fructíferos y el micelio de diferentes especies de hongos muestren diferente capacidad antioxidante (Brazkova *et al.*, 2022), pero, estas diferencias también varían según la cepa, el origen, el tipo de extracción y las condiciones de cultivo (Gharib *et al.*, 2022).

En esta investigación se determinó el contenido de polifenoles totales del cuerpo fructífero y la biomasa micelial de *G. lucidum* encontrando un valor mayor para la biomasa; una explicación de esto es la posible implicación de los compuestos fenólicos en el mecanismo de defensa de las setas cuando se están desarrollando en la naturaleza o en un cultivo en fase sólida, por lo que su concentración se verá reducida en la maduración de los cuerpos fructíferos (Delgado *et al.*, 2021). Lo anterior, demuestra el potencial de la biomasa micelial, ya que los resultados sugieren que la biomasa micelial es rica en polifenoles en comparación con el cuerpo fructífero de *G. lucidum*. El elevado contenido de los polifenoles en la biomasa micelial reportado en este estudio fue mayor en comparación a otras investigaciones donde se reportan valores para el cuerpo fructífero de *G. lucidum*. Mueses y Benavides (2022b), reportan $32,44 \pm 0,70$; $30,96 \pm 3,38$ y $29,71 \pm 2,12$ mg GAE/g de tres muestras de extracto acuoso de *G. lucidum*, en tanto que Lee y Lim (2019), reportan contenido de polifenoles totales en extractos acuosos de cuerpo fructífero de *G. lucidum* de $33,1 \pm 1,9$ mg GAE/g. No obstante, Rašeta *et al.*, (2017) reportaron un valor mayor de polifenoles de $60,74 \pm 0,57$ mg GAE/g dry wt (siglas en inglés "dry wt, peso seco") de extracto acuoso del cuerpo fructífero de *G. lucidum* originario de Serbia, opuesto a los menores contenidos para la biomasa micelial de *G. lucidum*. Mohsin *et al.* (2011) reportan menor contenido en extractos acuosos de micelio de *G. lucidum* silvestre de la India en cultivo *in vitro* con extracto de malta con valor de $9,081 \pm 0,073$ mg GAE/g peso seco. Jiamworanunkul (2019) evaluó el contenido de polifenoles a extractos metanólicos de micelios de *G. lucidum* provenientes del cultivo líquido en tres medios, caldo de extracto de malta (MEB "siglas en inglés"), caldo de papa dextrosa (PDB) y caldo de sacarosa de extracto de levadura (YES), obteniendo contenidos de polifenoles de $16,92 \pm 0,87$ en MEB, $11,27 \pm 1,36$ en PDB y $6,46 \pm 0,27$ mg GAE/g extracto en YES, respectivamente. En términos generales, se ha demostrado que el contenido polifenoles en 50 especies de hongos polacos oscila entre 1,64 y 53,13 mg EAG/g de extracto seco (Jechalke *et al.*, 2018): si bien los compuestos fenólicos representan uno de los grupos más importantes con efecto bioactivo de *G. lucidum*, solo se han realizado pocos estudios en determinar el contenido y composición de los polifenoles (Veljović *et al.*, 2017).

En cuanto la actividad antioxidante de *G. lucidum*, los resultados obtenidos de esta investigación demuestran que el extracto acuoso tanto de biomasa micelial como del cuerpo fructífero de *G. lucidum* tienen la capacidad de eliminar los radicales DPPH, pero se observó que la actividad antioxidante es levemente más alta en la biomasa micelial que en el cuerpo fructífero de *G. lucidum* (Cuadro 2). Los estudios donde se reporten la capacidad antioxidante en macromicetes evaluada por el método DPPH expresados en $\mu\text{mol Eq Trolox/g}$ extracto, son escasos: Suruga *et al.*, (2020) evaluó la actividad antioxidante del extracto etanólico de soja fermentada por micelio de *G. lucidum* y reportaron un valor de $4,246 \pm 0,010$ $\mu\text{mol Trolox/g}$ de polvo seco, aunque se tienen reportes más elevados para extracto etanólico de cuerpo fructífero de *Ganoderma* sp. con un valor de 229,656 μmol de Trolox/g (Pérez *et al.*, 2016) y extracto etanólico de micelio de *G. frondosa* con un valor de 28,69 $\mu\text{mol Trolox/g}$ (Suruga *et al.*, 2015).

Las diferencias reportadas sobre la actividad antioxidante como de los polifenoles totales en los hongos, varía con los géneros, las especies, las cepas e incluso las diferentes fases fisiológicas de crecimiento (Delgado *et al.*, 2021), al igual que el tipo de nutrientes, sustrato donde se desarrollan y de las condiciones climáticas que los ro-

dean que hacen que se altere su metabolismo, generando una amplia diversidad de compuestos químicos (Hyde *et al.*, 2019), de hecho, se ha demostrado que el cultivo *in vitro* en PDA es el medio más indicado para aumentar el potencial antioxidante del micelio de *G. lucidum* (Heleno *et al.*, 2012), pero también se ha encontrado que el método de extracción afecta la actividad antioxidante de los extractos de hongos (Sharpe *et al.*, 2021), pues las propiedades químicas de los solvente son importantes no solo para incrementar la selectividad de los componentes extraídos a partir de las setas, sino también mejoran el rendimiento de extracción (Delgado *et al.*, 2013). En esta investigación se obtuvieron extractos acuosos de micelio y cuerpo fructífero de *G. lucidum* y se evidenció la actividad antioxidante en estos extractos.

Los extractos de agua de hongos contienen varios polisacáridos, compuestos fenólicos y pequeñas proteínas como las lectinas, cada una de las cuales puede tener sus propios efectos biológicos (Kozarski *et al.*, 2012), por ejemplo, los polisacáridos tienen capacidad antioxidante (Cör *et al.*, 2018) y su mecanismo antioxidante podría ser similar al de los compuestos fenólicos por transferencia de electrones (Quintero *et al.*, 2021), también se ha reportado que los polisacáridos de los micelios tienen una eficacia similar a la del cuerpo fructífero (Sudheer *et al.*, 2019), lo que explica la actividad antioxidante encontrada en los extractos acuosos de esta investigación, ya que ellos se obtuvieron por la ebullición de la biomasa y cuerpo fructífero *G. lucidum*. Los extractos acuosos en caliente de *G. lucidum* concentran mejor los polisacáridos y diversos estudios han concluido que estos compuestos son potentes antioxidantes (Wu & Wang, 2009), lo que demuestra que la técnica de extracción acuosa puede ser preferible que los métodos tradicionales de extracción que se basan en extracciones en alcohol que requieren mayor tiempo de maceración y en algunos casos purifican algún compuesto individual lo que aumenta los costos de proceso (Sharpe *et al.*, 2021). Esto es ventajoso en la preparación de infusiones y tés de carácter alimentario, pues asegura el consumo de compuestos bioactivos con actividad antioxidante que hacen parte de *G. lucidum* y que son beneficiosos para la salud humana (Santa Rosa, 2016), destacando así el potencial de aplicación de la biomasa micelial en alimentos como el café, que en su preparación generalmente se realiza de una infusión lenta en agua caliente (aproximadamente en 90 a 95 °C), lo cual asegurará que, en dicha infusión, se concentren y/o extraen compuestos bioactivos con actividad antioxidante propios de la biomasa micelial que enriquecerán la bebida de café.

Espectros FTIR

En las Figuras 1 y 2 se muestra el espectro infrarrojo de la biomasa micelial de *G. lucidum* y cuerpo fructífero de *G. lucidum* de la cepa WC806 empleada en esta investigación.

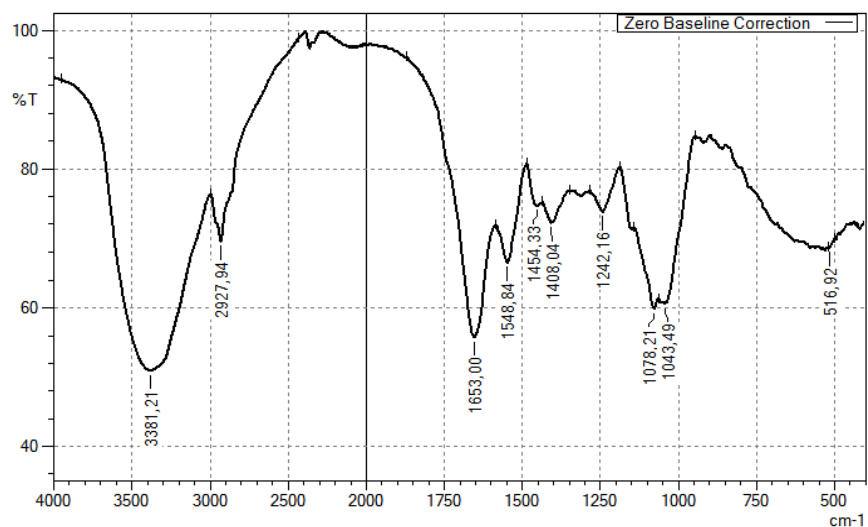


Figura 1. Espectro FTIR de biomasa micelial de *G. lucidum*

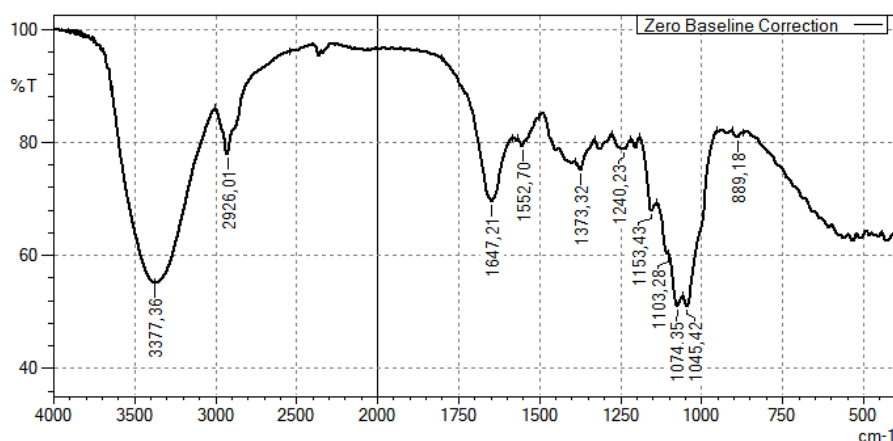


Figura 2. Espectro FTIR de cuerpo fructífero de *G. lucidum* cepa WC806

Los espectros infrarrojos de las Figuras 1 y 2 indican que hay una similitud entre los picos, las bandas anchas y fuertes se encuentran en las mismas regiones para las dos muestras evaluadas. Las Figuras 1 y 2 se puede observar una similitud de los picos en las mismas regiones entre los espectros, lo que indica que su composición química es similar más no en concentración.

En los análisis FTIR, los espectros tanto de la biomasa micelial como el cuerpo fructífero de *G. lucidum* es similar, pues las bandas encontradas en ambos espectros se reportan como bandas anchas en la región de 3400 y 3200 cm^{-1} , un pico en la región de 2900 a 3000 cm^{-1} y varios picos en la región de 1000 a 1700 cm^{-1} . Igualmente, los espectros obtenidos son similares a los reportados por Choong *et al.* (2013) de un producto comercial con Lingzhi 100 % natural y por Mueses y Benavides (2022b) del cuerpo fructífero de *G. lucidum*. Las bandas anchas y fuertes en la región de 3400–3200 cm^{-1} se asignan al modo de estiramiento O–H, el pico en la región de 2900–3000 cm^{-1} corresponde al estiramiento C–H y en el espectro desde 1750 cm^{-1} hasta 1500 cm^{-1} los picos que corresponden a amida de proteína (Choong *et al.*, 2013). Las bandas entre 1000 y 1100 cm^{-1} indican la presencia de polisacáridos, más exactamente la banda 1080 cm^{-1} se asigna al estiramiento de CO en β -glucanos y carbohidratos (Kozarski *et al.*, 2012), así mismo en el intervalo de 750 a 950 cm^{-1} corresponde β y β - glucanos (Sangeetha *et al.*, 2019). En cuanto en la región 1600–1700 cm^{-1} se puede observar una banda fuerte de 1653,00 (Figura 1) y 1647,21 cm^{-1} (Figura 2) respectivamente que podrían corresponder a la absorción de compuestos aromáticos, probablemente de los polifenoles. Kozarski *et al.*, (2012) encontraron una banda fuerte en 1635 cm^{-1} en compuestos aislados de *G. lucidum*, la cual indicó la presencia de compuestos fenólicos.

Dentro de los hongos se distinguen dos fases de crecimiento, la fase reproductiva (cuerpos fructíferos) y la fase vegetativa (crecimiento micelial) (Delgado *et al.*, 2021), por consiguiente, la similitud de los espectros encontrados de la biomasa micelial y cuerpo fructífero de *G. lucidum* indica que en las etapas de crecimiento de *Ganoderma*, su composición química inicial se mantiene en su desarrollo de crecimiento hasta llegar a su fructificación, no obstante, las concentraciones de su composición química serán diferentes y dependerán de su fisiología de las fases de crecimiento, de hecho, se ha reportado que los polisacáridos del micelio de *G. lucidum* es más alto que en su cuerpo fructífero (Yang *et al.*, 2019).

Los resultados de esta investigación destacan la importancia de la identificación y cuantificación de moléculas en las dos fases de crecimiento de *G. lucidum*, dado a que en los espectros FTIR su similitud indica que su composición química se mantiene, pero en cuanto a la cuantificación de los polifenoles y actividad antioxidante en esta investigación se encontró es más alta en la biomasa micelial, lo que indica que la bioactividad es mucho más alta en el micelio.

Análisis sensorial

El sistema de análisis sensorial para el café es denominado cata o catación y se realiza de acuerdo con las pautas y protocolos de cata de la Specialty Coffee Association of America (SCAA) que es una prueba sensorial donde el café debe pasar pruebas de aspecto o clasificación preliminar y de cata realizado por un catador experto (Q-grader) (Bolka & Emire, 2020). En esta investigación se buscó calificar en qué proporción es más agradable el sabor de la bebida cuando se adiciona biomasa micelial de *G. lucidum* al café, por lo tanto, el análisis sensorial se realizó con un catador experto Q-grader y de acuerdo con algunas pautas y protocolos de cata de la SCAA. El café empleado en esta investigación corresponde al café con tostión media originario de Yacuanquer, el cual se adicionó biomasa micelial de *G. lucidum* en tres concentraciones diferentes (6, 8 y 10%).

El uso de la biomasa micelial de *G. lucidum* se esperaba no afecte en gran parte el sabor del café, dado a que la biomasa micelial aún no sintetiza los compuestos responsables del sabor amargo presentes en el cuerpo fructífero. Lo anterior es de importancia dado que en la industria del café los consumidores constantemente demandan más calidad de los atributos sensoriales (Barahona *et al.*, 2020) y la mayoría consumen el producto por sus propiedades sensoriales únicas (Šeremet *et al.*, 2022). En la figura 3 se muestran los resultados del perfil de taza con tres concentraciones de biomasa micelial en café, puntualizando que en el análisis sensorial el catador experto evaluó las muestras en una escala de 6 a 10 puntos atendiendo la escala de la SCAA que indica que las muestras con puntuaciones por debajo seis puntos no son consideradas cafés especiales (SCAA, 2015).

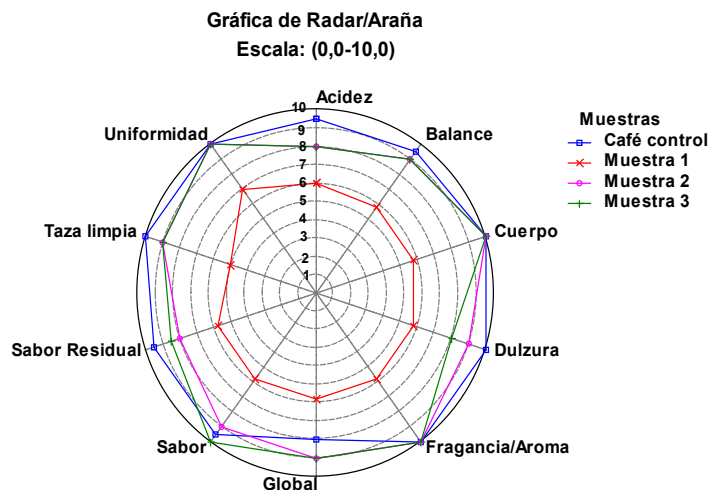


Figura 3. Gráfico radar araña de muestras de café con biomasa micelial de *G. lucidum*.

En la Figura 3 se muestra el perfil descriptivo de las cuatro muestras evaluadas, donde se puede observar que la muestra 1 que corresponde al café con 6 % de biomasa micelial disminuyó su puntaje, sus atributos se mantienen relativamente constante casi alrededor de los 6,0 puntos, posiblemente a causa de la adición de biomasa micelial catalogándolo como un café no especial (Borém *et al.*, 2013). En cuanto las muestras 2 y 3 se observa en la Figura 3 que sus atributos aumentan de puntaje manteniéndose entre 8 y 9 puntos en rango entre excelente y extraordinario, similares a los de la muestra control. Los resultados encontrados son opuestos a los reportados por Benavides *et al.* (2017) quienes evaluaron el perfil sensorial de un café de Nariño enriquecido con cuerpo fructífero de *G. lucidum*, y encontraron que, a medida que aumenta la concentración de *Ganoderma*, menor es la calificación del perfil de taza debido al sabor amargo característico del hongo, no obstante, al emplear la biomasa micelial de *G. lucidum* en esta investigación, el sabor amargo característico del hongo no se percibió, y en

los análisis sensoriales las concentraciones más altas de biomasa micelial correspondientes a las muestras 2 y 3 resultaron en una mayor puntuación del perfil de taza.

El café empleado en esta investigación reportó notas de fruto rojo, manzana, caramelo, coco, limón, especias y yogurt, de cuerpo sedoso, acidez alta y residual prolongado, sin embargo, al adicionar 6 % de biomasa micelial de *G. lucidum* se resaltaron algunas notas cítricas del limón, pero las notas del café disminuyeron detectando pocas notas dulces al café, con acidez alta y sabor residual amargo. Caso contrario ocurrió con la muestra 2 con 8 % de biomasa micelial en café, el sabor se aplanó y se empezaron a percibir notas afrutadas y dulces de panela con una mejor sensación de fragancia y aroma, acidez media alta, sabor residual poco amargo, pero se comienza a percibir más las características del café. En la muestra 3 con 10 % de biomasa micelial en café, además de la nota dulce de panela, se percibieron notas de albaricoque y fresa con un sabor residual aromático agradable y prolongado, acidez media alta y las notas del café se aplanan, posiblemente, debido a los polisacáridos propios del hongo. Los polisacáridos fúngicos son bien conocidos por sus funciones como moléculas de almacenamiento de energía en las células y elementos estructurales de las paredes celulares (Zhu *et al.*, 2015), y en el micelio, éstos están a su alrededor en forma de una envoltura para proporcionar soporte para la adhesión de las enzimas (Camelini *et al.*, 2014), por tanto, al emplear la biomasa micelial de *G. lucidum*, los polisacáridos presentes a su alrededor, dentro de estos los β -glucanos posiblemente influyeron en los atributos del sabor de café. Se ha reportado que los β -glucanos fúngicos tienen la capacidad para neutralizar el sabor agrio (Mykhalevych *et al.*, 2022), por lo que al aumentar la concentración de biomasa micelial de *G. lucidum* al café, los polisacáridos propios del hongo como los β -glucanos aumentaron en la bebida, lo que pudo resultar en la neutralización de los sabores agrios y/o ácidos del café, dando como resultado una bebida con un perfil sensorial de notas más dulces y agradables y con un equilibrio en la acidez.

No obstante, en la muestra 1 disminuyó considerablemente la puntuación del perfil de taza, posiblemente por una reacción de las melanoidinas del café con los tioles que posiblemente contenía la biomasa micelial de *G. lucidum*. Las melanoidinas son la parte predominante de los compuestos no volátiles de la infusión de café e interactúan con compuestos volátiles del sabor (Andriot *et al.*, 2004) y, de acuerdo con las investigaciones, se ha encontrado que las melanoidinas del café pueden unirse a los tioles y tener capacidad de retención de los compuestos aromáticos, lo que afectara el perfil final del sabor en la bebida de café, principalmente aromas tostados y/o sulfurosos (Zheng *et al.*, 2021), responsables de la disminución en la calidad del café (Hofmann & Schieberle, 2002): en caso contrario, al emplear mayor concentración de biomasa micelial del 8 y 10 % en el café, se mejoran considerablemente los atributos del perfil de taza, por lo que la biomasa micelial de *G. lucidum* puede contener trazas bajas de lacasas, enzimas capaces de oxidar tioles y compuestos que producen mal olor (Xu, 2005), además, se ha reportado que ellas operan a mayor temperatura lo que favorece altas velocidades de reacción en varios procesos, por ejemplo, a altas temperaturas (>60°C) producen altas tasas iniciales de oxidación de fenol por lacasa, pero la inactivación térmica de la enzima supera rápidamente este beneficio y detiene la oxidación (Delorme *et al.*, 2020), lo que explica que, dada que la preparación del café a temperatura del agua de 93°C, y al incrementar el contenido de biomasa micelial, también incrementó el contenido de lacasas y ocurrió una reacción rápida donde posiblemente se oxidaron los tioles u otros compuestos responsables de ocasionar disminución de la calidad sensorial del café y, por ende, mejoraron los atributos sensoriales, incluso hasta casi obtener la misma puntuación que la muestra control, no obstante, es necesario realizar un análisis químico más analítico en la bebida de café cuando se adiciona biomasa micelial de *G. lucidum* para corroborar estas hipótesis.

Igualmente, al emplear la biomasa micelial del hongo, ésta no sintetiza por completo los compuestos responsables de darle el sabor amargo a los cuerpos fructíferos de los hongos, pues Veljović *et al.* (2019) señala que *Ganoderma*, al tener su estructura similar a la madera, presenta compuestos similares a la misma como los taninos que confieren el sabor amargo, además de que el cuerpo fructífero de *G. lucidum* es altamente lignificado proporcionando el sabor amargo fuerte (Hu *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

La concentración de polifenoles totales y la actividad antioxidante de los extractos acuosos de la biomasa micelial de *G. lucidum* fue más alta en comparación con el cuerpo fructífero, confirmando lo que se reporta en la literatura sobre la bioactividad es más alta en micelios que en cuerpos fructíferos y esporas de *G. lucidum*.

Los espectros FTIR las bandas de absorción para la biomasa micelial y el cuerpo fructífero de *G. lucidum* resultaron comparables con los resultados de otras investigaciones, por lo tanto, se verifica la presencia de compuestos polifenólicos y de otros compuestos bioactivos.

La adición del 8 y 10% de biomasa micelial de *G. lucidum* en café no afecta negativamente los atributos del perfil de taza en la bebida, lo que demuestra una aplicación prometedora del uso directo de la biomasa micelial en café.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a la Fundación Ceiba y la Gobernación de Nariño que mediante el proyecto "Fortalecimiento de Capacidades Regionales en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Departamento de Nariño", se desarrolló este trabajo investigativo apoyado como beca de maestría.

REFERENCIAS

- ANDRIOT, ISABELLA; LE QUÉRÉ; GUICHARD, ELISABETH. Interactions between coffee melanoidins and flavour compounds: impact of freeze-drying (method and time) and roasting degree of coffee on melanoidins retention capacity. *Food Chemistry*, v. 85, n. 2, 2004, p. 289–294.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.007>
- BARAHONA, IGOR; SANMIGUEL, MAURICIO; YANG, JIAN. Sensory attributes of coffee beverages and their relation to price and package information: A case study of Colombian customers' preferences. *Food Science Nutrition*, v. 8, 2020, p. 1173–1186.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1404>
- BASTIAN, FEBRERO; HUTABARAT, OLLY; DIRPAN, ANDI; NAINU, FIRZAN; HARAPAN, HARAPAN; EMRAN, TALHA; GANDARA, JESÚS. From Plantation to Cup: Changes in Bioactive Compounds during Coffee Processing. *Foods*, v. 10, 2021, p. 2827.
<https://doi.org/10.3390/foods10112827>
- BENAVIDES, OLGA; JARRÍN, VERONICA; PORTILLA, JAIME; BENAVIDES, MARIO. Perfil sensorial de café de Nariño (Colombia) enriquecido con *Ganoderma lucidum* proveniente del cultivo en aserrín y granza de avena. V Simposio Internacional Agroalimentario (Barranquilla, Colombia, 2017). *Memorias, Barranquilla (Colombia): 2017*, p. 71.
- BOLKA, M.; EMIRE, S. Effects of coffee roasting technologies on cup quality and bioactive compounds of specialty coffee beans. *Food science & nutrition*, v. 8, n. 11, 2020, p. 6120-6130.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1904>
- BORÉM, FLÁVIO; RIBEIRO, CARMANINI; FIGUEIREDO, LUISA; FORTUNATO, GIOMOC; ISQUIERDO, EDER. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, v. 52, 2013, p. 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>

- BRAZKOVA, M.; ANGELOVA, G.; MIHAYLOVA, D.; STEFANOVA, P.; PENICHEVA, M.; GLEDACHEVA, V.; STEFANOVA, I.; KRASTANOV, A. Bioactive Metabolites from the Fruiting Body and Mycelia of Newly-Isolated Oyster Mushroom and Their Effect on Smooth Muscle Contractile Activity. *Foods*, v. 11, n. 24, 2022, p. 3983.
<https://doi.org/10.3390/foods11243983>
- CALPA, CRISTINA; TREJOS, CARLOS. Prospectiva del café en Nariño: Sabor y aroma de una tradición. *Revista Estrategia Organizacional*, v. 5, n. 1, 2016, p. 11–28.
- CAMELINI, C.; ROSSI, M.; CARDOZO, F.; GOMES, A.; GIACHINI, J.; CATARINA, S. Fungal Cultivation and Production of Polysaccharides. En RAMAWAT, K; MÉRILLON, J. *Polysaccharides*. Springer International Publishing Switzerland, 2014, p. 2-33.
<http://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6>
- CARVAJAL, A.; KOEHNLEIN, E.A.; SOARES, A.A.; ELER, G.J.; NAKASHIMA, A.A.; BRACHT, A.; PERALTA, R.M. Bioactives of fruiting bodies and submerged culture mycelia of *Agaricus brasiliensis* (A.blazei) and their antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, v. 46, n. 2, 2012, p. 493–499.
<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.018>
- CÖR, D.; KNEZ, Ž.; KNEZ-HRNČIČ, M. Antitumour, Antimicrobial, Antioxidant and Antiacetylcholinesterase Effect of *Ganoderma lucidum* Terpenoids and Polysaccharides: A Review. *Molecules* (Basel, Switzerland), v. 23, n. 3, 2018, p. 649.
<https://doi.org/10.3390/molecules23030649>
- CUI, M.; YANG, H.; HE, G. Submerged fermentation production and characterization of intracellular triterpenoids from *Ganoderma lucidum* using HPLC-ESI-MS. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, v. 16, n. 12, 2015, p. 998–1010.
<http://doi.org/10.1631/jzus.b1500147>
- CHANG, S.T. Overview of Mushroom Cultivation and Utilization as Functional Foods. In Cheung, P.C; *Mushrooms as functional foods*, 2008, p. 1-31.
<https://doi.org/10.1002/9780470367285.ch1>
- CHENG, P.G.; PHAN, C.W.; SABARATNAM, V.; ABDULLAH, N.; ABDULLA, M.A.; KUPPUSAMY, U. R. Polysaccharides-rich extract of *Ganoderma lucidum* (M.A. Curtis:Fr.) P. Karst accelerates wound healing in streptozotocin-induced diabetic rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, v, 2013, 2013, p. 1-9.
<http://doi.org/10.1155/2013/671252>
- CHOONG, Y.K.; SUN, S.Q.; ZHOU, Q.; LAN, J.; LEE, H.L.; CHEN, X.D. Verification of *Ganoderma* (lingzhi) commercial products by Fourier Transform infrared spectroscopy and two-dimensional IR correlation spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, v. 1069, n. 1, 2013, p. 60–72.
<http://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.11.049>
- DELGADO, Y.B., QUEVEDO, H.J.; ENRIQUE, L.; DE LA Cruz, R.; MORALES, Q.; SAVÓN, C.B. Contenido de fenoles totales en extractos de *Pleurotus* obtenidos con solventes de diferente polaridad. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, v. 32, n. 2, 2013, p. 121–129.
- DELGADO, Y.B.; QUEVEDO, H.J.; DOMÍNGUEZ, O.D.; CORBAL, P.; MAURY, G. Composición micoquímica y actividad antioxidante de la seta *Pleurotus ostreatus* en diferentes estados de crecimiento. *Acta Biologica Colombiana*, v. 26, n. 1, 2021, p. 89–98.
<http://doi.org/10.15446/abc.v26n1.84519>
- DELORME, ASTRID; ANDANSON, JEAN; VERNEY, VICENTE. Improving laccase thermostability with aqueous natural deep eutectic solvents. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 163, n. 15, 2020, p. 919-926.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.022>
- ERSKINE, EZGI; SUBAŞL, BÜŞRA; VAHAPOGLU, BEYZA; CAPANOGLU, ESRA. Coffee Phenolics and Their Interaction with Other Food Phenolics: Antagonistic and Synergistic Effects. *ACS Omega*, v. 7, n. 2, 2022, p. 1595–1601.
<http://doi.org/10.1021/acsomega.1c06085>

- ESCOBAR, HERANANDO; BURBANO, CESAR; IBARRA, TITO; MUÑOZ, ALIXA. Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, v. 19, n. 1, 2016, p. 105–113.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.260>
- ESCOBAR, HERNANDO; ARTEAGA, DEYSY; BELALCÁZAR, JOHANA; BURBANO, TULIO. Caracterización socioeconómica de fincas cafeteras del departamento de Nariño, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, v. 22, n. 2, 2019, p. 1-8.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1397>
- GHARIB, M.A.; ELHASSANEEN, Y.E.; RADWAN, H. Nutrients and Nutraceuticals Content and In Vitro Biological Activities of Reishi Mushroom (*Ganoderma lucidum*) Fruiting Bodies. *Alexandria Science Exchange Journal*, v. 43, n. 2, 2022, p. 301-316.
10.21608/ASEJAIQJSAE.2022.245271
- HAPUARACHCHI, K.; ELKHATEEB, W.; KARUNARATHNA, S.; CHENG, C.; BANDARA, A.; KAKUMYAN, P.; WEN, T. Current status of global *Ganoderma* cultivation, products, industry and market. *Mycosphere*, v. 9, n. 5, 2018, p. 1025–1052.
<http://doi.org/10.5943/mycosphere/9/5/6>
- HELENO, SANDRINA; BARROS, LILIAN; MARTINS, ANABELA; QUEIROZ, BUELGA; FERREIRA, CF. Fruiting body, spores and in vitro produced mycelium of *Ganoderma lucidum* from Northeast Portugal: A comparative study of the antioxidant potential of phenolic and polysaccharidic extracts. *Food Research International*, v. 46, n. 1, 2012, p. 135–140.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.009>
- HOFMANN, THOMAS; SCHIEBERLE, PETER. Chemical Interactions between Odor-Active Thiols and Melanoidins Involved in the Aroma Staling of Coffee Beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 2, 2002, p. 319–326.
<https://doi.org/10.1021/jf010823n>
- HU, GAOSHENG; ZHAI, MANHUAYUN; NIU, RONG; XU, XIAOJIANG; LIU, QIAN; JIA, JINGMING. Optimization of Culture Condition for Ganoderic Acid Production in *Ganoderma lucidum* Liquid Static Culture and Design of a Suitable Bioreactor. *Molecules*, v. 23, n. 10, 2018, p. 2563.
<http://doi.org/10.3390/molecules23102563>
- HYDE, K.D.; XU, J.; RAPIOR, S.; JEEWON, R.; LUMYONG, S. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97, 2019, p. 1–136.
<http://doi.org/10.1007/s13225-019-00430-9>
- JECHALKE, N.; OLECH, M.; NOWAK, R. Mushroom polyphenols as chemopreventive agents. In *Polyphenols: Prevention and treatment of human disease*, 2018, p. 137-150.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813008-7.00011-4>
- JIAMWORANUNKUL, S. Effective antioxidant production through submerged fermentation of edible mushrooms. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 43, n. 4, 2019, p. 213–218.
- KOZARSKI, M.; KLAUS, A.; NIKŠIĆ, M.; VRVIĆ, M.M.; TODORVIĆ, N.; JAKOVLJEVIĆ, D.; VAN GRIENSVEN, L.J.L.D. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharide extracts from the widely used mushrooms *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes* and *Trametes versicolor*. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 26 n. 1–2, 2012, p. 144–153.
<http://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.02.004>
- LEE, H.R.; LIM, H.B. Antimutagenic and antioxidative effects of polysaccharides isolated from the water extract of *Ganoderma lucidum*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, v. 9, n. 4, 2019, p. 1–7.
<http://doi.org/10.7324/JAPS.2019.90401>
- LU, HONGYUN; LOU, HANGHANG; HU, JING; LIU, ZHENGGJIE; CHEN, QIHE. Macrofungi: A review of cultivation strategies, bioactivity, and application of mushrooms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 19, 2020, p. 2333–2356.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12602>

- MAREK, SIWULSKI; PIOTR, RZYMSKI; PRZEMYSŁAW, NIEDZIELSKI; MIROŚLAW, MLECZEK. Comparison of multielemental composition of Polish and Chinese mushrooms (*Ganoderma* spp.). *European Food Research and Technology*, v. 243, 2017, p. 1555–1566.
<https://doi.org/10.1007/s00217-017-2864-8>
- MOHSIN, M.; NEGI, P.S.; AHMED, Z. Determination of the Antioxidant Activity and Polyphenol Contents of Wild Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom, *Ganoderma lucidum* (W.Curt. Fr.) P. Karst. (Higher Basidiomycetes) from Central Himalayan Hills of India. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, v. 13, n. 6, 2011, p. 535–544.
10.1615/intjmedmushr.v13.i6.50
- MUESES, ROBINSON; BENAVIDES, OLGA; ALBARRACÍN, WILLIAM. Optimización de la producción de biomasa micelial y polisacáridos totales de *Ganoderma lucidum* en fermentación líquida. V Congreso Internacional en Investigación e Innovación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de los Alimentos - IICTA 2020 (Manizales, Colombia, 2021a). *Memorias, Manizales (Colombia): 2021*, p. 157.
- MUESES, ROBINSON; BENAVIDES, OLGA. Polifenoles totales de *Ganoderma lucidum* cultivado en residuos de *Pandala talaumanariñensis* y *Avena sativa*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, v. 20, n. 1, 2022b, p. 18–26.
<https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1491>
- MYKHALEVYCH, ARTUR; POLISHCHUK, GALYNA; NASSAR, KHALED; OSMAK, TETIANA; OLEJNIK, MAGDALENA. β -glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products—A review. *Molecules*, v. 27, n. 19, 2022, p. 6313.
10.3390/molecules27196313
- OBODAI, MARY; MENSAH, DEBORAH; FERNANDES, ÂNGELA; KORTEI, NII; DZOMEKU, MATILDA; TEEGARDEN, MATTHEW; FERREIRA, ISABEL. Chemical Characterization and Antioxidant Potential of Wild *Ganoderma* Species from Ghana. *Molecules (Basel, Switzerland)*, v. 22, n. 2, 2017, p. 196.
<https://doi.org/10.3390/molecules22020196>
- ITALIA. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial Tomo II. Nariño (Colombia): 2019, 155 p.
- PÉREZ, C.A.; SANTAFÉ, G.G.; TORRES, M.G.; TORRES, O.L.; MONTAÑO, M.C.; ROBLEDO, S.M. Composición lipídica y evaluación de las actividades antioxidante y leishmanicida del basidiomiceto *Ganoderma* sp. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, v. 21, n. 3, 2016, p. 1–11.
- PETRE, M.; PETRE, V.; TEODORESCU, A.; PATRULESCU, F. Nutritive Mushroom Biomass Producing Through Submerged Fermentation of Agricultural Organic Waste. *Studia UBB Ambientum*, LVIII, 2013, p. 79–86.
- QUINTERO, K.P.; LUGO, M.A.; RIVERA, P.; SILVA, B.A.; GONZÁLEZ, G.A.; ESQUEDA, M.; AYALA, F.J. Antioxidant properties and industrial uses of edible polyporales. *Journal of Fungi*, v. 7, n. 3, 2021, p. 196.
<http://doi.org/10.3390/jof7030196>
- RAŠETA, MILENA; KARAMAN, MAJA; JAKŠIĆ, MILENA; ŠIBUL, FILIP; KEBERT, MARKO; NOVAKOVIĆ, ALEKSANDRA; POPOVIĆ, MIRA. Mineral composition, antioxidant and cytotoxic biopotentials of wild-growing *Ganoderma* species (Serbia): *G. lucidum* (Curtis) P. Karst vs. *G. applanatum* (Pers.) *International Journal of Food Science & Technology*, v. 51, n. 12, 2016, p. 2583–2590.
<http://doi.org/10.1111/ijfs.13243>
- RAŠETA, MILENA.; VRBASKI, S.; BOSKOVIC, E.; POPOVIC, M.; MIMICA-DUKIC, N.; KARAMAN, M. Comparison of antioxidant capacities of two *Ganoderma lucidum* strains of different geographical origins. *Matica Srpska Journal for Natural Sciences*, v. 133, 2017, p. 209–219.
<http://doi.org/10.2298/zmspn1733209r>
- SANGEETHA, B.; KRISHNAMOORTHY, A.S.; AMIRTHAM, D.; SUNDARA SHARMILA, D.J.; RENUKADEVI, P.; MALATHI, V. FT-IR Spectroscopic Characteristics of *Ganoderma lucidum* Secondary Metabolites. *Current Journal of Applied Science and Technology*, v. 38, n. 6, 2020, p. 1–8.
<http://doi.org/10.9734/cjast/2019/v38i630453>
- SANTA-ROSA, CLAUDIA. Toxicidade oral aguda do extrato aquoso de *Ganoderma lucidum*: avaliação pré-clínica dos efeitos neurocomportamentais, hematológicos e estresse oxidativo [Tesis Mestre em Ciências

- Farmacêuticas]. Estado do Pará (Brasil): Universidade Federal Do Pará, Programa de pós-graduação em ciências farmacêuticas, 2016, 63 p.
- SANTILLÁN, M.Á.; CASTAÑEDA OVANDO, A.; ÁLVAREZ DELGADILLO, A.; VALENZUELA GARZA, R.; ROMERO BAUTISTA, L.; TORRES VALENCIA, J. M. Estudio preliminar de la actividad antioxidante de tres especies del género *Ganoderma* (Polyporaceae) nativas del estado de Hidalgo, México. *Scientia Fungorum*, v. 46, 2017, p. 37–45.
<http://doi.org/10.33885/sf.2017.46.1175>
- SUDHEER, SURYA; ALZORQI, IBRAHIM; MANICKAM, SIVAKUMAR; ALI, ASGAR. Bioactive Compounds of the Wonder Medicinal Mushroom “*Ganoderma lucidum*.” In, MÉRILLON, J; RAMAWAT K. (Eds.), *Bioactive Molecules in Food*, Reference Series in Phytochemistry, 2019, p. 1863-1893.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_45
- SURUGA, K.; KADOKURA, K.; SEKINO, Y.; NAKANO, T.; MATSUO, K.; IRIE, K., ... KOMATSU, Y. Effects of Comb Tooth Cap Medicinal Mushroom, *Herichium ramosum* (Higher Basidiomycetes) Mycelia on DPPH Radical Scavenging Activity and Nerve Growth Factor Synthesis. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, v. 17, n. 4, 2015, p. 331–338. [10.1615/intjmedmushrooms.v17.i4.20](https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.v17.i4.20)
- SURUGA, K.; TOMITA, T.; KADOKURA, K. Soybean fermentation with basidiomycetes (medicinal mushroom mycelia). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 7 n. 23, 2020, p. 1-10.
<https://doi.org/10.1186/s40538-020-00189-1>
- SHARPE, E.; FARRAGHER-GNADT, A.P.; IGBANUGO, M.; HUBER, T.; MICHELOTTI, J.C.; MILENKOWIC, A.; BOU-ABDALLAH, F. Comparison of antioxidant activity and extraction techniques for commercially and laboratory prepared extracts from six mushroom species. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4, 2021, p. 100130.
<http://doi.org/10.1016/J.JAFR.2021.100130>
- ŠEREMET, DANIJELA; FABECIC, PATRICIA; VOJVODIC, CEBIN; MANDURA, ANA; PUDIC, ROBERT; KOMES, DRAZENKA. Antioxidant and Sensory Assessment of Innovative Coffee Blends of Reduced Caffeine Content. *Molecules*, v. 27, 2022, p. 448.
<https://doi.org/10.3390/molecules27020448>
- UDDIN, MOYEN; TALUKDER, RABIUL; SARKAR, MOHAMMAD; RAHMAN, TASNIA; PERVIN, RUMANA; RAHMAN, MATIAR; AKTHER, LIMA. Effect of Solvents on Phytochemicals Content and Antioxidant Activity of *Ganoderma lucidum*. *The Open Microbiology Journal*, v. 13, n. 1, 2019, p. 10–15.
<http://doi.org/10.2174/1874285801913010010>
- UNITED STATES OF AMERICA. SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA (SCAA). SCAA Protocols – Cupping for specialty coffee. California (USA): 2015, 10 p.
- VELJOVIĆ, SONJA; VELJOVIĆ, MILE; NIKIĆEVIĆ, N.; DESPOTOVIĆ, S.; RADULOVIC, S.; NIKŠIĆ, M.; FILIPOVIĆ, L. Chemical composition, antiproliferative and antioxidant activity of differently processed *Ganoderma lucidum* ethanol extracts. *Journal of Food Science and Technology*, v. 54, n. 5, 2017, p. 1312–1320.
<http://doi.org/10.1007/s13197-017-2559-y>
- VELJOVIĆ, SONJA; NIKIĆEVIĆ, NINOSLAV; NIKŠIĆ, MIOMIR. Medicinal Fungus *Ganoderma lucidum* as Raw Material for Alcohol Beverage Production. In André GERHARD WOLFF (Eds.), *Alcoholic Beverages*, 2019, p. 161–197.
<http://doi.org/10.1016/b978-0-12-815269-0.00006-4>
- WU, Y.; WANG D. A New Class of Natural Glycopeptides with Sugar Moiety Dependent Antioxidant Activities Derived from *Ganoderma lucidum* Fruiting Bodies. *Journal of Proteome Research*, v. 71, 2009, p. 241-245. [10.1021/pr800554w](https://doi.org/10.1021/pr800554w)
- WU, DING; DENG, YONG; CHEN, LING; ZHAO, JING; BZHELYANSKY, ANTON; LI, SHAO. Evaluation on quality consistency of *Ganoderma lucidum* dietary supplements collected in the United States. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017, p. 7792.
<http://doi.org/10.1038/s41598-017-06336-3>
- XU, FENG. Applications of oxidoreductases: Recent progress. *Industrial Biotechnology*, v. 1, n. 1, 2005, p. 38-50.
<https://doi.org/10.1089/ind.2005.1.38>

- YANG, Y.; ZHANG, H.; ZUO, J.; GONG, X.; YI, F.; ZHU, W.; LI, L. Advances in research on the active constituents and physiological effects of *Ganoderma lucidum*. *Biomed Dermatol*, v. 3, n. 6, 2019, p. 1-17.
<https://doi.org/10.1186/s41702-019-0044-0>
- ZHENG, LI; CHUNTANG, ZHANG; YUAN, ZHANG; WEI, ZENG; IGOR, CESARINO. Coffee cell walls-composition, influence on cup quality and opportunities for coffee improvements. *Food Quality and Safety*, v. 5, 2021, p. 1-21.
<https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyab012>
- ZHOU, XUAN; SU, KAI; ZHANG, YONG. Applied modern biotechnology for cultivation of *Ganoderma* and development of their products. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 93, n. 3, 2012, p. 941-963.
<https://doi.org/10.1007/s00253-011-3780-7>
- ZHU, ZHEN; LIU, XIAO; DONG, FENG; GUO, MING; WANG, XIAO; WANG, ZHENG; ZHANG, YONG. Influence of fermentation conditions on polysaccharide production and the activities of enzymes involved in the polysaccharide synthesis of *Cordyceps militaris*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 100, n. 9, 2016, p. 3909-3921.
<https://doi.org/10.1007/s00253-015-7235-4>