

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA DOMESTICACIÓN DE *AURICULARIA* spp. PRESENTES EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA.

Valentina Grajales Hernández

Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

Correo electrónico: valentina.grajales.hernandez@correounivalle.edu.co

Ana Cristina Bolaños Rojas

Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

Correo electrónico: bolanos.ana@correounivalle.edu.co

RESUMEN

En el Valle del Cauca, los residuos lignocelulósicos generados por la agroindustria representan un problema ambiental, pero también una oportunidad para su aprovechamiento sostenible, siendo adecuados para el cultivo de hongos comestibles del género *Auricularia*, que se destacan por su valor nutricional, medicinal y capacidad degradadora. Este estudio evaluó el crecimiento de tres especies silvestres; *Auricularia* sp. (ACB1474), *Auricularia cornea* (ACB1591) y *Auricularia nigricans* (ACB1642), aisladas en un relicto de bosque seco tropical y un manglar del Valle del Cauca, y cultivadas en residuos agroindustriales. Inicialmente, se realizó la secuenciación de ADN y análisis filogenético de *A. cornea*. Posteriormente, se evaluó el crecimiento del micelio en medios de cultivo sólidos y en fermentación líquida a 25 °C, 28 °C y 31 °C. Asimismo, se determinó el porcentaje de colonización y fructificación en nueve tratamientos formulados con residuos agroindustriales. Los resultados indicaron que la especie aislada se ubicó dentro del complejo *A. cornea* (BP= 0.969; BPP > 0.90). Las temperaturas entre 28 °C y 31 °C favorecieron el crecimiento en los medios sólidos MEA y PDA, mientras que en fermentación líquida, las temperaturas entre 25 °C y 28 °C fueron las más adecuadas. Finalmente, el tratamiento T1 (bagazo de caña, salvado y trigo molido), registró las mayores eficiencias biológicas, alcanzando valores de 28,02 % en *A. nigricans*, 23,12 % en *Auricularia* sp. y 13,38%. Este estudio permitió establecer parámetros iniciales para la domesticación de *Auricularia* spp., respondiendo al objetivo de evaluar su crecimiento en condiciones de laboratorio y en residuos agroindustriales del Valle del Cauca. La caracterización fisicoquímica de estos materiales confirmó su potencial como sustratos, y el análisis de la relación C/N, el pH y la humedad evidenció su papel decisivo en el crecimiento del micelial y la formación de basidiomas. Las especies evaluadas se destacaron por su crecimiento en distintas condiciones, mostrando potencial para su domesticación. Finalmente, el tratamiento T1 resalta su valor como base para futuras investigaciones, contribuyendo a la revalorización de subproductos agroindustriales, a la conservación de la biodiversidad y al impulso de iniciativas de economía circular con potencial productivo y biotecnológico.

Palabras Clave: *Parámetros de crecimiento, Economía circular, Eficiencia Biológica, Hongos Comestibles, Producción de biomasa, Sustratos Lignocelulósicos.*

ABSTRACT

In Valle del Cauca, the lignocellulosic residues generated by agroindustry represent an environmental problem, but also an opportunity for sustainable use, as they are suitable for the cultivation of edible mushrooms of the genus *Auricularia*, which stand out for their nutritional, medicinal, and degradative properties. This study evaluated the growth of three wild species: *Auricularia* sp. (ACB1474), *Auricularia cornea* (ACB1591), and *Auricularia nigricans* (ACB1642), isolated from a tropical dry forest remnant and a

mangrove in Valle del Cauca, and cultivated on agroindustrial residues. Initially, DNA sequencing and phylogenetic analysis of *A. cornea* were carried out. Subsequently, mycelial growth was assessed in solid culture media and in liquid fermentation at 25 °C, 28 °C, and 31 °C. In addition, colonization and fructification percentages were determined in nine treatments formulated with agroindustrial residues. Results indicated that the isolated strain was placed within the *A. cornea* complex (BP = 0.969; BPP > 0.90). Temperatures between 28 °C and 31 °C favored growth in solid media (MEA and PDA), while in liquid fermentation, temperatures between 25 °C and 28 °C were the most suitable. Finally, treatment T1 (sugarcane bagasse, bran, and ground wheat) recorded the highest biological efficiencies, reaching values of 28.02% in *A. nigricans*, 23.12% in *Auricularia* sp., and 13.38% in *A. cornea*. This study established initial parameters for the domestication of *Auricularia* spp., fulfilling the objective of evaluating their growth under laboratory conditions and in agroindustrial residues from Valle del Cauca. The physicochemical characterization of these materials confirmed their potential as substrates, and the analysis of the C/N ratio, pH, and moisture highlighted their decisive role in mycelial growth and basidioma formation. The evaluated species showed notable performance under different conditions, demonstrating potential for domestication. Finally, treatment T1 stands out as a valuable basis for future research, contributing to the revalorization of agroindustrial by-products, biodiversity conservation, and the promotion of circular economy initiatives with productive and biotechnological potential.

Key words: *Growth parameters, Circular economy, Biological efficiency, Edible mushrooms, Biomass production, Lignocellulosic substrates*

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la agroindustria representa una actividad económica relevante que combina procesos agrícolas e industriales para la obtención de alimentos y materias primas que provienen principalmente de cultivos de caña de azúcar, café, palma de aceite, cacao y frutas tropicales, como el coco, el aguacate y banano, que son transformados en productos de mayor valor agregado (Peña *et al.*, 2014; Abbott *et al.*, 2018; MINCIT, 2025). No obstante, esta actividad genera grandes volúmenes de residuos que no cuentan con un plan de manejo adecuado para su tratamiento (Alzate *et al.*, 2021; Salcedo-puerto *et al.*, 2025), ya que suelen quemarse, amontonarse o arrojar a fuentes de agua, convirtiéndose en factores que impactan negativamente el ambiente y la salud pública (Juárez-Ruiz & López, 2021). En unos pocos casos, los residuos se aprovecha en procesos industriales que, si bien generan beneficios económicos, el impacto social y ambiental no es equivalente, por lo que se consideran no sostenible (Becerra *et al.*, 2016).

En el Valle del Cauca, la generación de residuos lignocelulósicos tienen un alto impacto, especialmente en sectores como el azucarero y forestal. El primero se ha consolidado como uno de los principales clusters agroindustriales del país gracias a las condiciones biofísicas del departamento y produce anualmente cerca de 6,5 millones de toneladas de bagazo de caña (TNC, 2022). Paralelamente, la industria maderera genera grandes volúmenes de aserrín, viruta y recortes, con una producción estimada entre 100 y 200 kg por cada m³ de madera procesada, especialmente a partir de especies como la guadua y otras maderas tropicales (Barcia-Calle, 2016; Cadena-Chamorro, 2023). En Colombia, los aserraderos presentan un rendimiento del 20 al 30 %, lo que implica que empresas medianas o grandes pueden generar hasta 12.000 m³ de residuos madereros al año (López *et al.*, 2019). Solo en 2023, el Valle del Cauca representó el 12,7 % del total de madera movilizada en el país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Adicionalmente, la estopa de coco constituye otro residuo lignocelulósico de interés. En Colombia, el coco se cultiva en 75 municipios de 14 departamentos. Para el año 2020, se sembraron 22.900 hectáreas, con una producción total de 153.832 toneladas, siendo los principales productores los departamentos de Nariño y Cauca, cuya producción llega al Valle del Cauca y a otros departamentos, destinada principalmente a la industria y al comercio en plazas de abastos (Gutiérrez *et al.*, 2020; Grass *et al.*, 2023). No obstante, la acumulación de residuos ha generado impactos ambientales significativos en ecosistemas marino-costeros del Pacífico. Aunque no existen cifras consolidadas sobre su volumen anual, se reconoce como un problema creciente en zonas donde el coco constituye una fuente importante de sustento económico (Grass *et al.*, 2023).

La acumulación de estos residuos representa un desafío ambiental por su lenta descomposición y potencial contaminación; sin embargo, estos materiales constituyen un recurso desaprovechado, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevos procesos que permitan aprovecharlos antes de ser desechados. En este caso, su alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina (Casas-Godoy & Coral-Sandoval, 2014; Romo *et al.*, 2019) los hace aptos para ser transformados mediante procesos de economía circular, como el cultivo de hongos comestibles, la producción de biocombustibles, compostaje o la elaboración de materiales biodegradables. El aprovechamiento de estos residuos permite reducir las tasas de contaminación, disminuir la presión sobre los ecosistemas y generar nuevas fuentes de alimento e ingreso para las comunidades locales (Galvis-Méndez & Perea-Espinosa, 2006; Estrada-Botello *et al.*, 2024; Salcedo-Puerto *et al.*, 2025).

La resistencia a la degradación de estos residuos, debido a la composición estructural de su biomasa vegetal, representa uno de los principales obstáculos para su aprovechamiento eficiente. Por un lado, la celulosa es un polisacárido lineal altamente cristalino; la hemicelulosa presenta una estructura más amorfa y ramificada; y la lignina, por su parte, es un polímero aromático macromolecular formado por la unión de monómeros de fenilpropano, que genera una estructura extremadamente compleja y proporciona resistencia estructural, actuando como barrera protectora frente a la acción de microorganismos y enzimas. Estas características hacen que la lignina sea considerada un compuesto recalcitrante (Romo *et al.*, 2019; Muñoz-Núñez *et al.*, 2022). Actualmente, los estudios se enfocan en convertir los residuos agroindustriales en recursos de biomasa mediante procesos químicos, biológicos y bioquímicos, como la separación de componentes, el refinado, el craqueo catalítico y el compostaje; este último, a partir de

procesos bioquímicos complejos en los que se emplean microorganismos para su degradación, se considera un método sostenible y limpio para la recuperación de nutrientes (Gao *et al.*, 2025).

Los hongos, concretamente algunas especies pertenecientes al phylum Basidiomycota, se consideran los únicos organismos capaces de degradar lignina de forma eficiente (Bentil, 2021). Además de su papel ecológico, estos organismos producen estructuras visibles denominadas esporomas, que han sido utilizadas por el ser humano como recurso alimenticio desde el Paleolítico superior, según restos de hongos del orden *Boletales* y otros *Agaricales* hallados en el cálculo dental de una mujer del Magdaleniense en la cueva del Mirón (Cantabria) (Power *et al.*, 2014). Este hallazgo demuestra una relación milenaria entre los humanos y los hongos. Esta larga historia de uso sugiere la necesidad de considerar sus cualidades en la alimentación actual, destacándose por su alto valor nutricional: aportan 23,80 g de proteína por cada 100 g de peso seco, un perfil completo de aminoácidos esenciales, buena digestibilidad (60–70 %) y estabilidad frente a temperatura y pH (González *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2023). Además, son ricos en fibra, bajos en calorías y grasas, con un 70 % de lípidos insaturados, y contienen vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico y vitamina D en sus formas dietéticas D2, D3 y D4 (Pusa, 2012; Phillips *et al.*, 2012; Keegan *et al.*, 2013; Kalač, 2013; Taofiq *et al.*, 2017).

En la medicina asiática tradicional, los hongos comestibles se han considerado una fuente de medicina natural debido a su efecto positivo en la salud, con propiedades antitumorales, inmunomoduladoras, antioxidantes, hipocolesterolémicas, antidiabéticas, antivirales, antibacterianas, antifúngicas, antiparasitarias, anticancerígenas, antipalúdicas y neuroprotectoras (Arango & Nieto, 2012; Bandara *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2020).

Asimismo, se ha demostrado la presencia de metabolitos secundarios de bajo peso molecular, polisacáridos y enzimas que respaldan estos efectos benéficos (Guillamón *et al.*, 2010). Este potencial, unido al aumento simultáneo (1,7 veces) de la población humana mundial y de la demanda por alimento, ha generado un crecimiento en la producción de setas comestibles de 30 veces desde 1978 (Royse *et al.*, 2017).

A nivel global, se han identificado 2.189 especies de hongos comestibles con evidencia de uso, de las cuales al menos 10 se cultivan y consumen comercialmente, de acuerdo con la cultura, documentación e investigación (Li *et al.*, 2021). Se ha demostrado que los hongos pueden cultivarse en residuos agrícolas como paja, bagazo de caña o estopa de coco, convirtiéndolos en una alternativa sostenible para el aprovechamiento de biomasa y la seguridad alimentaria (Miles & Chang, 2004; Regis & Geösel, 2024). No obstante, se requiere la optimización de las técnicas y protocolos de cultivo, donde procesos como la selección de especies, la preparación del inóculo y la elaboración de un sustrato con las características químicas, físicas y ambientales adecuadas resultan determinantes para la síntesis de moléculas complejas y el desarrollo fúngico. Estos deben ser esterilizados e inoculados con el micelio y posteriormente incubados, propiciando condiciones ambientales apropiadas que desencadenen el cambio de la fase vegetativa a la fase reproductiva. Estos métodos han mejorado significativamente a lo largo de los años (Martínez-Carrera *et al.*, 2000; Miles & Chang, 2004; Li *et al.*, 2023).

Dentro de las especies cultivadas, el género *Auricularia* Bull. ha cobrado relevancia debido a la forma distintiva de sus cuerpos fructíferos, ya que presentan una morfología gelatinosa, elástica y carnosa, valiosa en la industria alimentaria. Su superficie suele ser lisa o aterciopelada, de color marrón rojizo a oscuro; carecen de un pie definido y crecen

adheridos directamente a la madera en descomposición. El cultivo de estas especies puede realizarse en un amplio rango de condiciones ambientales y mediante diversos métodos de producción (Bandara *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2020; Kileshe *et al.*, 2023; Regis & Geösel, 2024). Asimismo, poseen un alto nivel nutricional y gran importancia medicinal, dada su abundancia de aminoácidos, polisacáridos, vitaminas, minerales y funciones antioxidantes, además de su capacidad para reducir la grasa en la sangre y sus propiedades antitumorales y afrodisíacas.

Este género ha sido consumido como alimento funcional desde hace aproximadamente 2.600 años y cultivado de forma empírica hace cerca de 1.000 años en China, principal país productor. En la actualidad, *Auricularia cornea*, junto con *A. heimuer* y *A. polytricha*, ocupa el segundo lugar en producción mundial con un 21 %, después de *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler (shiitake) (26 %), seguida por *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. (16 %) y *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach (11 %) (Khan *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2021). Por lo tanto, su producción a gran escala constituye una excelente alternativa para la generación de proteína unicelular y el reciclaje de residuos agroindustriales. Uno de los métodos más empleados para la producción industrial es la fermentación en estado sólido (FES), en la que se utiliza una amplia gama de sustratos lignocelulósicos, como aserrín de madera, cascarilla de arroz, tusa, bagazo de caña, paja de trigo, paja de sorgo, fibra de coco y cáscaras de cacao, entre otros, que proporcionan una buena fuente de nutrientes y un medio favorable para su desarrollo (Ortiz *et al.*, 2016).

Este tipo de prácticas no solo contribuye al avance del conocimiento científico y productivo, sino que también abre alternativas para comunidades rurales y promueve la comercialización de alimentos más saludables y nutritivos, al aprovechar residuos

agroindustriales de forma sostenible (Alvarado & Benítez, 2009; Becerra *et al.*, 2016). Además, el uso de especies silvestres de hongos permite producir alimentos diversificados e impulsar modelos productivos que aprovechen la riqueza de biodiversidad local (Niño, Peña & Henao, 2017).

En Colombia, el empleo de hongos comestibles se reduce principalmente al uso de *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* y *Lentinula edodes* (Rojas *et al.*, 2020; Vargas *et al.*, 2022), cultivados a partir de cepas comerciales introducidas. Sin embargo, existe evidencia documentada de que *Auricularia* es una de las 36 especies utilizadas por comunidades rurales e indígenas en los departamentos de Amazonas (Vasco *et al.*, 2005), Putumayo (Vasco-Palacios *et al.*, 2008) y Boyacá (Niño, Peña & Henao, 2017; Vargas *et al.*, 2022; Peña-Cañón *et al.*, 2023). En el Valle del Cauca, se ha registrado su crecimiento de forma ubicua sobre troncos en descomposición o en ramas vivas y muertas de árboles durante las temporadas de lluvia (Soto & Bolaños, 2013). En Boyacá se ha documentado su aislamiento y producción de semilla, fortaleciendo su viabilidad (Niño, Peña & Henao, 2017).

En este sentido, la domesticación de estas especies silvestres constituye una apuesta interesante para lograr un escalamiento comercial. No obstante, desarrollar técnicas de cultivo es un proceso que requiere amplia investigación orientada a la selección y mejoramiento genético, con el fin de obtener cepas de alto rendimiento, resistentes a enfermedades o productos químicos, con precocidad, tolerancia a temperaturas extremas y características diferenciadas en forma, sabor y color de los cuerpos fructíferos. Asimismo, resulta necesaria la generación de información de base que permita la estandarización de métodos de cultivo y domesticación (Martínez-Carrera *et al.*, 2000).

En Colombia aún persiste un vacío en el desarrollo de protocolos de cultivo para especies nativas de *Auricularia*, lo que limita su potencial productivo y biotecnológico. En respuesta a esta necesidad, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento de tres especies silvestres de *Auricularia* spp., aisladas de relictos de bosque seco tropical y manglar del Valle del Cauca, empleando residuos agroindustriales de la región como sustratos. Para alcanzar este propósito, se planteó la determinación y estandarización del crecimiento en condiciones de laboratorio, la caracterización fisicoquímica de los residuos agroindustriales utilizados y el análisis del comportamiento de las especies en dichos sustratos, con el fin de establecer parámetros que favorezcan su domesticación y promuevan su aprovechamiento en aplicaciones productivas y biotecnológicas.

MÉTODOS

Aislamientos y propagación de micelio en medio de cultivo

Se tomaron diez aislamientos del género *Auricularia* conservados en la colección de cultivo de hongos Basidiomycetes del Departamento de Biología, previamente colectados en un relikto de bosque seco tropical del Jardín Botánico de Cali (ACB1591 y ACB1642) y en un bosque de manglar de la Isla Quitacalzón, en Buenaventura (ACB1474), Departamento del Valle del Cauca. Los aislamientos fueron repicados en cajas de Petri con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) para verificar su pureza y viabilidad, con el fin de obtener el inóculo necesario (Hao *et al.*, 2022). De los diez aislamientos, se seleccionaron los tres de mejor crecimiento: *Auricularia nigricans* (ACB1642), *Auricularia* sp. (ACB1474) y *Auricularia cornea* (ACB1591).

Extracción, Amplificación y secuenciación de ADN de Auricularia spp.

Inicialmente, se tomó inóculo y se cultivó de forma líquida, posteriormente se filtró el micelio puro obtenido en Caldo extracto de malta (MEA) para la especie *Auricularia cornea* (ACB1591), empleando una bomba de vacío; se extrajo y maceró aproximadamente 10 gr de micelio en nitrógeno líquido y se realizó la extracción de ADN utilizando el E.Z.N.A. Fungal DNA Mini Kit (Omega Bio-Tek) siguiendo las instrucciones del fabricante. Para generar los amplicones de PCR para el espaciador transcrito interno (ITS), se utilizaron los cebadores: ITS5 (5' GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG 3') e ITS4 (5' TCCTCCGCTTATTGATATGC 3'). En el caso de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se empleó la ADN polimerasa DreamTaq Green PCR (Thermo Scientific) (Oghenekaro *et al.*, 2014). Los productos de PCR se visualizaron en gel de agarosa 1.5% por electroforesis y se purificaron utilizando el kit E.Z.N.A. Cycle Pure Kit (Omega Bio-Tek) según las instrucciones del fabricante. Los productos se enviaron a secuenciación en ambas direcciones (forward y reverse) en un Applied Biosystem 3730x1 DNA analyzer (MacroGen Ltd., South Korea) (Wu *et al.*, 2021). Cabe resaltar que, en este caso, las especies *Auricularia nigricans* (ACB1642) y *Auricularia* sp. (ACB1474) ya habían sido identificadas con anterioridad, lo que permitió enfocar el análisis molecular en la especie *A. cornea* (ACB1591).

Alineamiento de secuencias y análisis filogenéticos

La secuencia obtenida, en ambos sentidos, se visualizó y editó empleando el programa Geneious Prime versión 2025.2.1. Para el análisis se empleó el complejo *Auricularia cornea* y los grupos externos propuestos por Wu *et al.* (2021) (Tabla 1.). Las secuencias consenso fueron verificadas en el banco de datos de GenBank utilizando la herramienta BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>). Posteriormente, las secuencias de la región ITS

fueron alineadas en RStudio, bajo el algoritmo ClustalW/Muscle, lo que permitió obtener una alineación final de 38 especímenes, considerando a *Heteroradulum deglubens* (Berk. & Broome) Spirin & Malysheva como grupo externo. El análisis filogenético se realizó bajo dos enfoques complementarios. En primer lugar, se construyó un árbol de Máxima Verosimilitud (ML) en raxmlGUI v.1.2 bajo el modelo GTRGAMMA, previamente determinado como el más adecuado mediante el criterio de Akaike corregido (AICc) en MrModeltest v.2.3. Posteriormente, se ejecutó un análisis de Inferencia Bayesiana (IB) en BEAST v.2.0, empleando el modelo GTR+G (4)+I. El soporte de los clados se evaluó mediante valores de bootstrap (BS) para el análisis de Máxima Verosimilitud y mediante probabilidades posteriores bayesianas (BPP) para el análisis bayesiano, considerándose como significativamente respaldadas las ramas con valores $\geq 50\%$ (BS) y $\geq 0,90$ (BPP). Finalmente, los árboles resultantes fueron visualizados y editados en FigTree v.1.4, lo que permitió su representación gráfica y la identificación de los clados principales (Fig 1) (Wu *et al.*, 2021).

Análisis de crecimiento en medio de cultivo

La evaluación del crecimiento de micelio en las especies seleccionadas se realizó en tres medios de cultivo; Papa Dextrosa Agar (PDA), Extracto de Malta Agar (MEA) y Sabouraud Dextrosa Agar (SAB). Con un sacabocado estéril, se realizaron discos de 0,7 cm de micelio retirado del borde de una colonia crecida durante siete días y se inocularon en el centro de una caja de Petri. Para estimar el crecimiento del micelio, se trazó dos ejes cartesianos sobre la base de cada caja, y se midió diariamente el diámetro de la colonia. Las cajas se incubaron a 25°C, 28°C y 31°C hasta alcanzar la colonización completa del medio

de cultivo. Seguidamente, se determinó la tasa de crecimiento (Ecuación 1) y se construyó la curva de crecimiento en función del tiempo (Vargas-Isla & Ishikawa NK, 2008).

$$TC = \frac{(C_f - C_i)}{(T_f - T_i)} \quad \text{Ecuación 1.}$$

C_f : Crecimiento Diametral Final (cm).

C_i : Crecimiento Diametral Inicial (cm).

T_f : Tiempo final.

T_i : Tiempo inicial.

Producción de biomasa en fermentación líquida

La producción de biomasa de las tres especies en estudio se realizó en el medio de cultivo extracto de malta; para esto, se adicionó 100 mL de medio líquido de extracto de malta (EM) a Erlenmeyer de 250 mL de capacidad. Seguidamente, con un sacabocados estéril, se inocularon discos de micelio 0,7 cm de diámetro y crecido durante siete días en Agar extracto de malta (MEA). Los cultivos líquidos se montaron en triplicado, se llevaron a incubación a tres temperaturas: 25°C, 28°C y 31°C y cada dos días se registró el aumento de su biomasa. Para ello se realizó una filtración al vacío del micelio, se lavó con agua destilada y se registró el peso fresco. Posteriormente, las muestras se colocaron en el horno a 80°C hasta alcanzar peso constante y se registró el peso seco (Walker *et al.*, 2023)

Preparación de semilla

Se tomó 250 g de trigo hervido, suplementado con 0.001% de carbonato de calcio (CaCO_3) y 0.002% de yeso (CaSO_4), se distribuyó en frascos de vidrio y se esterilizó durante una hora a 121 °C y 1.5 at de presión. Transcurrido el tiempo de esterilización, dichos frascos se retiraron de la autoclave, se enfriaron y se llevaron a la cabina de flujo laminar para inoculación del micelio crecido y fragmentado de las tres especies seleccionadas en el medio MEA durante siete días (Drewinsk *et al.*, 2024).

Análisis de porcentaje de colonización de sustratos lignocelulósicos

Con el fin de evaluar la capacidad de colonización del micelio se elaboraron nueve tratamientos compuestos por mezclas de bagazo de caña, aserrín o estopa de coco, suplementados con salvado de trigo, trigo molido, hojas de maíz y azúcar, en diferentes proporciones. Se tomó el peso seco de estos sustratos, se reguló el pH, la humedad y la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Tabla 2).

En este análisis se diseñaron dos fases experimentales, la primera fase consistió en el cultivo de las tres especies de *Auricularia* spp. en tubo de ensayo de vidrio (18×180 mm); para esto, cada formulación se humedeció previamente durante 12 horas, se tomó 20 g de cada tratamiento, se introdujo en el tubo y se esterilizó a 121 °C y 15 atmósferas de presión por 1,5 horas. Una vez enfriados, se inocularon con un 5 % de semilla de micelio previamente preparada, se dispusieron a temperatura ambiente (28-30°C) en la microestación de la Universidad del Valle y se monitoreó su crecimiento hasta la colonización del primer tubo, que ocurrió a los 12 días.

En la segunda fase, se realizó el cultivo en bolsa de propileno para la producción de basidiomas: para esto se empleó el mismo procedimiento de preparación e inoculación descrito en la fase anterior, pero en este caso se colocó 200g de cada uno de los tratamientos y se evaluó por triplicado para cada una de las especies. Seguidamente, la inoculación se realizó con 5 % de semilla y se incubó a temperatura ambiente hasta alcanzar la colonización completa del sustrato. Posteriormente, las bolsas se abrieron y se trasladaron a una cámara de crecimiento con condiciones controladas de temperatura (20–25 °C) y humedad relativa (80–90 %), para estimular la formación de basidiomas. Una vez obtenidos los basidiomas se dejaron crecer hasta alcanzar un tamaño óptimo, se

cosechó y se estimó la eficiencia biológica (EB) (Ecuación 2). A cada basidioma se le registró datos de sus características morfológicas y valores cuantitativos (Drewinsk *et al.*, 2024).

$$BE (\%) = \left(\frac{\text{Peso de hongos frescos por bolsa}}{\text{Peso del sustrato seco}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial empleando Rstudio (versión 4.5.0) A partir de estos datos se realizaron pruebas de rangos múltiples de Tukey con un nivel de confianza del 95% ($P < 0,05$).

RESULTADOS

Secuenciación de ADN de Auricularia cornea (ACB1591), alineamiento de secuencias y análisis filogenéticos

La amplificación por PCR de las regiones ITS y LSU fue evaluada mediante electroforesis en gel de agarosa (Apendice A). Los pozos correspondientes a la amplificación de la región ITS (izquierda) se mostraron definidas, con alta intensidad y un tamaño de 700 bp, consistente con el tamaño esperado para esta región, estas bandas fueron consistentes entre réplicas. Por otro lado, los pozos correspondientes a la amplificación de la región LSU (derecha) presentaron variabilidad en los perfiles de banda.

La especie evaluada se agrupó dentro del complejo *A. cornea* en el análisis filogenético de la región ITS. En el árbol obtenido (Fig 1.), esta secuencia forma parte de un clado bien soportado junto a otras secuencias previamente reportadas como *A. cornea*, con un valor de bootstrap de 0.969 y una probabilidad posterior superior a 0.90 BPP. Esta relación sugiere una alta afinidad genética entre la muestra analizada y *A. cornea* (Fig 1.).

En el análisis microscópico de *Auricularia* sp. (ACB1474), *A. cornea* (ACB1591) y *A. nigricans* (ACB1642), teñidos con azul de lactofenol y observados a 100X, se evidenció en los cortes transversales del basidioma la presencia de médula y ausencia de cristales. En *Auricularia* sp., la médula estuvo presente y los pelos abhiménicos presentaron una base ligeramente hinchada, hialinos, de paredes gruesas, con lumen ancho o estrecho y puntas apicales agudas u obtusas, dispuestos de manera emergente sobre el himenio, con un promedio de $2,1 \times 0,4 \mu\text{m}$; las basidiosporas fueron reniformes, hialinas, de paredes delgadas, con dimensiones promedio de $1,4 \times 0,4 \mu\text{m}$. En *A. cornea*, también se evidenció médula presente y ausencia de cristales; los pelos abhiménicos fueron hialinos, con base ligeramente hinchada, paredes gruesas, lumen variable y puntas apicales agudas u obtusas, alcanzando un promedio de $2,1 \times 0,4 \mu\text{m}$, dispuestos de manera emergente sobre el himenio; las basidiosporas resultaron reniformes, hialinas, de paredes delgadas, con dimensiones promedio de $0,7 \times 0,3 \mu\text{m}$. Finalmente, en *A. nigricans*, la médula se presentó cerca del himenio, con cristales ausentes; los pelos abhimeniales mostraron base ligeramente hinchada, hialinos, de paredes gruesas, con lumen estrecho y puntas apicales agudas u obtusas, agrupados en penacho, con dimensiones promedio de $2,0 \times 0,5 \mu\text{m}$; las basidiosporas fueron alantoides, hialinas, de paredes delgadas, lisas, generalmente con una o dos guttulas grandes, con dimensiones promedio de $1,4 \times 0,5 \mu\text{m}$ (Apéndice B).

Análisis de crecimiento en medio de cultivo sólido

A partir de los datos obtenidos, se observó que la especie *Auricularia* sp. (ACB1474), tuvo el mayor crecimiento al octavo día a 31 °C en MEA seguido por PDA (8,7 cm y 7,47 cm respectivamente); SAB presentó el menor valor (3,6 cm). A 28 °C, alcanzo un mayor crecimiento en MEA y PDA (7,17 cm y 7,0 cm), en contraste con SAB (3,67 cm). A 25 °C,

PDA favoreció el crecimiento (5,73 cm), seguido de MEA (4,9 cm) y SAB (3,73 cm) (Tabla 3.). En el caso de *A. cornea* (ACB1591), se registró su mayor crecimiento a 28 °C al octavo día en MEA (7,77 cm) y PDA (7,53 cm), y a 31 °C en PDA (8,20 cm). En todas las temperaturas, SAB fue el medio menos eficiente (3,30-3,67 cm). A 25 °C, PDA registró un mayor crecimiento con 6,03 cm, seguido por MEA (5,53 cm) y SAB (2,77 cm). Para *A. nigricans* (ACB1642) presentó un menor crecimiento de micelio comparado con las otras especies. A 31 °C, MEA (6,27 cm) y PDA (5,93 cm) fueron los más favorables, mientras que SAB alcanzó solo 3,47 cm. A 28 °C, PDA superó a MEA (5,03 cm vs. 4,50 cm), y SAB fue nuevamente el medio menos efectivo (3,43 cm). A 25 °C, PDA registró 4,83 cm, MEA 4,33 cm y SAB 3,40 cm (Fig 2. Apéndice C).

El análisis estadístico (ANOVA) confirmó diferencias significativas de todos los factores sobre el crecimiento del micelio ($P < 0,05$), siendo el medio de cultivo el factor más influyente ($F = 41,83$), seguido de la temperatura ($F = 10,57$) y la especie ($F = 5,44$). SAB fue el medio que registro el menor crecimiento, mientras que MEA y PDA no mostraron diferencias significativas entre sí ($p = 0,994$). Las temperaturas de 28 °C y 31 °C favorecieron el desarrollo del micelio frente a 25 °C, sin diferencias significativas entre ellas ($p = 0,136$). *A. nigricans* tuvo menor tasa de crecimiento que *A. cornea* ($p = 0,003$), mientras que *Auricularia* sp. no presentó diferencias significativas respecto a las otras especies.

Adicionalmente, se evaluaron características macroscópicas del micelio (Tabla 4). En este caso, MEA favoreció la formación de micelios densos y algodonosos, especialmente a 28 °C, SAB generó estructuras con textura similar, pero con menor crecimiento y PDA

mostró menor densidad, con micelio ralo, salvo en *A. cornea* a 31 °C, donde se observó un micelio algodonoso y bien definido (Apéndice E).

Producción de biomasa en fermentación líquida estática

En fermentación líquida estática, la producción de biomasa varió según la especie y la temperatura inducida (Tabla 5). *Auricularia* sp. presentó la mayor producción de biomasa al finalizar el décimo día, con un crecimiento óptimo a 28 °C, donde alcanzó la mayor tasa de crecimiento promedio (TC) de 5,54 mg/ml y un peso seco de 0,97 mg/ml. A 25 °C, los valores fueron moderados (2,66 y 0,90 mg/ml), mientras que a 31 °C se observó una fuerte disminución (0,63 y 0,09 mg/ml). Por su parte, *A. cornea* mostró un comportamiento más estable entre temperaturas. Su mayor TC (1,14 mg/ml) y producción de biomasa seca (0,69 mg/ml) se registraron a 25 °C. Aunque a 28 °C alcanzó un mayor crecimiento en peso húmedo con 1,02 mg/ml, el valor del peso seco fue de 0,18 mg/ml, y a 31 °C presentó un menor crecimiento (0,95 y 0,10 mg/ml, respectivamente). Por otro lado, *A. nigricans* evidenció el menor crecimiento en comparación con *Auricularia* sp. y *A. cornea*. Su mayor TC y biomasa se obtuvieron a 28 °C (1,52 mg/ml y 0,49 mg/ml, respectivamente), indicando una temperatura óptima en este caso. A 25 °C hubo una disminución (0,82 y 0,33 mg/ml) y los valores mínimos se obtuvieron a 31 °C (0,34 y 0,06 mg/ml) (Tabla 5. Fig 3.).

En el análisis estadístico (ANOVA) se identificó un efecto significativo de la especie sobre la biomasa producida ($F = 3,60$; $P < 0,05$), destacándose *Auricularia* sp. por su mayor crecimiento. La temperatura también tuvo un efecto altamente significativo ($F = 10,78$; $P < 0,05$), siendo 28 °C la condición que favoreció la mayor acumulación de biomasa en la mayoría de los aislamientos, mientras que a 31 °C el desarrollo fue menor (Apéndice D).

En relación con la morfología del micelio (Tabla 4), se observó que *Auricularia* sp. formó agregados densos en condiciones óptimas, en contraste con las estructuras menos densas observadas a 31 °C en todas las especies. Esto sugiere que dicha temperatura generó condiciones desfavorables para el desarrollo morfológico del micelio (Apéndice D).

Análisis de colonización de sustratos lignocelulósicos

En la primera fase, se evaluó el efecto de nueve tratamientos (T1- T9) en tubos de ensayo, durante 12 días, para esto se empleó sustratos lignocelulósicos suplementados en diferentes proporciones y se estimó el porcentaje de colonización de los tratamientos formulados a partir de mediciones diarias (Tabla 2). Se obtuvieron mejores resultados en los tratamientos con un mayor contenido de bagazo de caña correspondieron a T1 (75%) y a T4 y T7 (60%). En este caso, la especie que mejor se adaptó fue *A. cornea* en el sustrato T1 (C/N= 25,8; pH= 6,36) (Tabla 2) alcanzando una tasa de crecimiento de 0,67 cm/día y 88,6% de colonización (Tabla 6), en T4 (C/N=31,8; pH 6,92) registró 0,50 cm/día con 75,8 % de colonización; y en T7 (C/N=30,8; pH=7,13) logró su pico de 0,73 cm/día y 87,9 % de cobertura del micelio (Apéndice E).

Por otro lado, los sustratos basados en aserrín, T2 (75%), T5 y T8 (60%), tuvieron la mejor respuesta en el tratamiento 2 (C/N=48,8; pH=5,77), donde *Auricularia* sp. registro su mayor crecimiento con 0,63 cm/día y 78,8 % de colonización, mientras que *A. cornea* presento su mejor crecimiento en el sustrato T5 (C/N=70,4; pH=6,02) con 0,51 cm/día y 77,7 %, y en T8 (C/N=83,3; pH=6,34) con 0,54 cm/día y 72,9 %. Finalmente, en los tratamientos formulados con estopa de coco, T3 (75%), T6 y T9 (60%), *A. cornea* tuvo el mejor crecimiento, alcanzando en T3 (C/N=38,4; pH=6,16) 0,67cm/día y 90,1% de colonización; en T6 (C/N 43,7; pH 6,30) 0,62 cm/día y 84,6 %; y en T9 (C/N 38,6; pH

6,72) 0,55 cm/día con 72,5 % de crecimiento lineal, es importante mencionar que estos datos se obtuvieron a los 12 días en todos los casos.

El análisis estadístico reafirmó que las especies presentaron diferencias significativas entre sí ($P < 0,05$) y entre tratamientos ($F = 20,43$), en este caso el efecto entre tratamientos fue menos pronunciado, por lo que las especies responden de manera similar a estos con una interacción significativa ($F = ,98$), siendo *A. cornea* la que registró el mayor crecimiento en contraste con *Auricularia* sp. y *A. nigricans* al doceavo día, lo que concuerda con lo registrado (Tabla 6). Se destaca que *A. nigricans* presentó las tasas y porcentajes de crecimiento más bajos, evidenciando su menor adaptabilidad a los distintos sustratos evaluados. Entre los tratamientos, los mejores resultados se obtuvieron en T1 (bagazo de caña con salvado y trigo), T2 (aserrín con salvado y trigo), seguido de T7 (bagazo con salvado y azúcar) y T3, (estopa de coco, salvado y trigo molido). Por el contrario, T8 (aserrín, salvado, trigo molido, hojas de maíz y azúcar) y T9 (estopa de coco, salvado, trigo molido, hojas de maíz y azúcar) presentaron los valores más bajos de crecimiento.

En la segunda fase, las bolsas fueron inducidas a fructificación entre los días 8-15 posteriores a su inoculación. Solo los tratamientos T1, T2 y T4 produjeron estructuras reproductivas. En *Auricularia* sp., T1 generó 9,14 g de basidiomas (EB = 23,12%) y T2 solo 0,10 g (EB = 0,19%). En T4 aparecieron primordios que no alcanzaron tamaño de cosecha; sin embargo, en T1 los basidiomas presentaron lóbulos bien definidos, color marrón oscuro y diámetro de hasta 8,5 cm (Apendice F, A). *A. cornea* formó cuerpos fructíferos parcialmente desplegados en T1 (5,29 g; EB = 13,38%) y T2 (3,23g; EB = 6,19%), con diámetros de 3,8-5,6 cm y 3,2-4,3 cm, respectivamente (Apendice F. B-C). En T4 se observaron primordios de 0,5-1,8 cm (0,17 g; EB = 0,51%) (Apendice F. D), y en T7

primordios que no se desarrollaron completamente (0,5-1,2 cm) (Apendice F.E). Aunque *A. nigricans* tuvo un menor crecimiento en tubos de ensayo, fructifico en los tratamientos T1 y T2 con 11,07 g (EB = 28,02%) y 5,37 g (EB = 10,3%) respectivamente. Sus estructuras fueron de textura gelatinosa y contornos rugosos y midieron entre 2,9 y 4,5 cm de diámetro (Apendice F. F) (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Secuenciación de ADN de A. cornea, alineamiento de secuencias y análisis filogenéticos.

Los resultados de la caracterización microscópica de *Auricularia* sp. (ACB1474), *A. cornea* (ACB1591) y *A. nigricans* (ACB1642) se ajustan a lo reportado por Wu et al. (2021), quienes destacan que la presencia de médula, la ausencia de cristales, las variaciones en la base y lumen de los pelos abhimeniales, así como la forma y tamaño de las basidiosporas, constituyen caracteres diagnósticos fundamentales para la delimitación de especies dentro del género. En este estudio, las basidiosporas reniformes de *Auricularia* sp., las de menor tamaño en *A. cornea* y las alantoides, lisas y con guttulas en *A. nigricans* reflejan la plasticidad morfológica previamente descrita y confirman su valor taxonómico. La especie *A. cornea* fue descrita originalmente en las Islas Marianas y se ha reportado ampliamente en regiones de Asia y el Pacífico; las especies pertenecientes a este complejo se caracterizan por presentar un himenóforo liso, una superficie superior densamente pilosa o tomentosa, pelos abhimeniales largos (>150 µm) y la presencia de una médula bien definida en el basidioma, rasgos que han sido fundamentales para su delimitación taxonómica dentro del género

Por su parte, *A. nigricans* tiene un origen histórico ligado a la descripción de *A. polytricha* en Jamaica, posteriormente redefinida como sinónimo de esta especie, y actualmente se

reconoce como un taxón de amplia distribución en regiones tropicales y subtropicales de América, África y Asia. Estas diferencias morfológicas y su confirmación filogenética son coherentes con la diversidad global documentada para el género, en el cual se han identificado complejos morfológicos y linajes estrechamente relacionados, como el de *A. cornea* y *A. nigricans*, que durante décadas fueron objeto de confusiones taxonómicas. Sin embargo, en el caso de *Auricularia* sp. (ACB1474), es necesario realizar estudios adicionales, incluyendo análisis moleculares, para lograr una identificación taxonómica más precisa y confirmar su estatus dentro del género.

Análisis de crecimiento en medio de cultivo sólido

Los resultados obtenidos evidenciaron que tanto la temperatura como el medio de cultivo influyeron significativamente en el crecimiento micelial. *Auricularia* sp. presentó un crecimiento óptimo en MEA a 28 °C y 31 °C al octavo día, mientras que *A. cornea* alcanzó sus mayores valores en PDA a 31 °C y en MEA a 28 °C. Por su parte, *A. nigricans* registró un crecimiento más limitado, aunque mostró una mejor respuesta en MEA a 31 °C (Apéndice C). En términos generales, SAB fue el medio menos favorable (Apéndice E).

En cuanto al medio de cultivo, según Lahaye & Rochas (1991) el medio de cultivo MEA ofrece una fuente rica en azúcares como maltosa y glucosa, además de aminoácidos, vitaminas del complejo B y minerales esenciales, lo que proporciona nutrientes complejos y favorables para el desarrollo de hongos saprófitos. En el caso del medio PDA, este aporta glucosa como fuente principal de carbono, junto con almidón, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales, generando un medio igualmente nutritivo (Adesemoye & Adedire, 2005). En contraste, SAB, aunque contiene glucosa y peptonas como fuentes de energía y nitrógeno,

presenta una elevada concentración de glucosa (40 g/L de glucosa y 10 g/L de peptona, pH 5,6), lo que pudo generar represión catabólica y reducir la síntesis de enzimas necesarias para el crecimiento micelial (Arango & Nieto, 2012; Gutiérrez-Rojas *et al.*, 2014; Peña-Castillo *et al.*, 2021). Además, este medio fue diseñado inicialmente para inhibir bacterias, lo que pudo limitar el desarrollo de hongos no dermatofíticos (Hare, 2012). En este caso, SAB no resultó adecuado para el crecimiento de *Auricularia* spp., mientras que MEA y PDA ofrecieron condiciones más favorables, posiblemente debido a su matriz rica en nutrientes.

Respecto a la temperatura, se observó que las condiciones de 28 °C y 31 °C estimularon significativamente el crecimiento del micelio en *Auricularia* spp., mientras que a 25 °C el desarrollo fue más limitado. Esta respuesta pudo asociarse a una reducción en la actividad metabólica, dado que la temperatura constituye un factor determinante en la velocidad de crecimiento, al condicionar la actividad enzimática, la fluidez de los lípidos de la membrana celular y el metabolismo general. Bajo condiciones de estrés térmico, el incremento en la fluidez de la membrana deteriora su integridad y ocasiona alteraciones metabólicas que reducen la eficiencia del crecimiento (Luo *et al.*, 2021). Las temperaturas óptimas registradas en condiciones de laboratorio se encontraron dentro del rango natural de los ecosistemas de origen de las especies. En el caso de *Auricularia* sp., esta fue colectada en un manglar de la Isla Quitacalzón (Buenaventura, Valle del Cauca), un ecosistema cálido y húmedo con temperaturas medias anuales entre 26–28 °C, máximas de 30 °C y humedad relativa entre 86 % y 90 % (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2021). Por su parte, *A. cornea* y *A. nigricans* fueron colectadas en un remanente de bosque seco tropical en el Jardín Botánico de Cali, caracterizado por temperaturas de 24–31 °C y precipitaciones

de 700–2000 mm/año (García *et al.*, 2014). Estas condiciones podrían estar asociadas a la preferencia térmica observada, lo que sugiere una adaptación ecológica a ambientes cálidos y húmedos. En este sentido, la temperatura actuaría como un factor selectivo natural, favoreciendo la fisiología de estas especies en condiciones que simulan su entorno original, dado que la actividad enzimática, la fluidez de membranas celulares y el metabolismo fúngico en general están estrechamente ligados a la temperatura ambiental (Carreño-Ruiz *et al.*, 2014).

Finalmente, los resultados fueron coherentes con lo reportado por Walker *et al.* (2023), quien evaluó el crecimiento de *A. cornea* en diferentes medios de cultivo y encontró un mayor desarrollo en los medios RSA y MEA. De forma similar, Drewinski *et al.* (2024) reportaron que una cepa silvestre de *A. cornea* del Bosque Atlántico brasileiro presentó un mejor crecimiento en PDA a los 12 días, tanto a 30 °C como a 28 °C, lo que coincidió con los datos obtenidos en este estudio (Tabla 3). Complementariamente, Devi *et al.* (2015) señalaron que medios naturales como PDA y MEA favorecieron el desarrollo del micelio en tres especies de *Auricularia* nativas de la India, con temperaturas óptimas para la producción de biomasa que oscilaron entre 28 °C y 30 °C. Asimismo, Bandara *et al.* (2019) confirmaron que dichas condiciones térmicas promueven el crecimiento del micelio en especies del género.

Producción de biomasa en fermentación líquida estática

Respecto a la producción de biomasa, se observaron variaciones entre las tres especies evaluadas. Por un lado, *Auricularia* sp. alcanzó su mayor producción de biomasa a 28 °C, seguida de *A. nigricans*, mientras que *A. cornea* presentó una mayor biomasa y peso seco a 25 °C (Tabla 5). Estos resultados sugieren la existencia de adaptaciones específicas entre

especies que influyen en su eficiencia metabólica bajo distintas condiciones térmicas (Arana-Gabriel *et al.*, 2020). En este sentido, la disminución en la producción de biomasa y en la tasa de crecimiento registrado a 31 °C en todas las especies, podría relacionarse con un estrés metabólico inducido por altas temperaturas, posiblemente asociado a fenómenos como la desnaturalización de enzimas o alteraciones en la permeabilidad de las membranas celulares, lo que afecta el transporte y la retención de nutrientes (Arango y Nieto, 2012).

En cuanto al tipo de medio de cultivo, Devi *et al.* (2015) evaluaron la producción de biomasa en fermentación líquida de tres especies silvestres de *Auricularia* recolectadas en bosques de Manipur, India. Los aislamientos fueron inoculados en once medios líquidos, tanto naturales como sintéticos, entre ellos caldo de papa dextrosa (PDB), caldo levadura-papa-dextrosa (YPD) y caldo extracto de malta (MEB), e incubados en un rango de temperaturas entre 10 °C y 35 °C. En ese estudio, PDB fue el medio que promovió la mayor producción de biomasa, seguido por YPD en *A. delicata* y *A. polytricha*, mientras que para *A. auricula-judae* el mejor desempeño se obtuvo en MEB. Estos resultados indicaron que los medios naturales favorecieron más el crecimiento que los sintéticos, probablemente debido a su mayor contenido de nutrientes orgánicos complejos y a la disponibilidad de azúcares simples, aminoácidos y vitaminas esenciales (Bandara *et al.*, 2019).

Por otro lado, en estudios relacionados con el crecimiento del micelio en medios de cultivo líquido Arana-Gabriel *et al.* (2020) reportó que en el caso de la especie *Floccularia luteovirens* inoculada en caldo extracto de malta (MEB), este promovió la mayor velocidad de crecimiento, alcanzando 0,406 mm/día. No obstante, la biomasa producida, no fue equivalente, lo que indica que una expansión rápida del micelio, promovida por azúcares

fácilmente metabolizables como la maltosa, no siempre se traduce en mayor acumulación de biomasa. En este sentido, la biomasa seca final dependería también del tipo de nutrientes disponibles y de su capacidad para sostener una síntesis estructural continua (Gutiérrez-Rojas *et al.*, 2014). En este caso, se evaluó el medio MEB obteniendo resultados de crecimiento del micelio en las tres especies, no obstante, se propone evaluar otros medios líquidos, que puedan optimizar la producción de biomasa y metabolitos de interés en función del perfil metabólico de cada especie.

En lo que respecta a las características morfológicas del micelio suspendido (Tabla 5, Apéndice F). A 25 °C se observó un micelio disperso, lo que podría estar asociado a un metabolismo lento, pero eficiente, posiblemente influenciado por las condiciones térmicas y nutricionales del cultivo. A 28 °C, las estructuras fueron mas densas, lo que indicó un crecimiento más activo bajo condiciones térmicas favorables. En contraste, a 31 °C se registraron agregados pequeños y poco densos interpretadas como una respuesta adaptativa frente al estrés térmico (Gutiérrez-Rojas *et al.*, 2014). Estos hallazgos resaltaron la importancia de considerar tanto el tipo de medio como la temperatura en la producción de biomasa a partir de fermentación líquida en *Auricularia* spp. (Bandara *et al.*, 2019).

Se ha señalado que existe una estrecha relación entre la morfología de los agregados miceliales y la productividad en procesos de fermentación líquida. En particular, la formación de pellets está influenciada por la interacción de múltiples factores, tales como el pH del medio, los niveles de oxígeno disuelto, la intensidad de la agitación, la composición de nutrientes y la temperatura (Romero *et al.*, 2025). En este sentido, las diferencias morfológicas observadas en este estudio podrían reflejar ajustes fisiológicos asociados a la

optimización del metabolismo fúngico frente a variaciones en las condiciones de cultivo, lo que impacta directamente en la producción de biomasa.

Análisis de colonización de sustratos lignocelulósicos

En la primera fase experimental, realizada en tubos de ensayo, se evidenció que las características fisicoquímicas de los sustratos, en particular la relación C/N, el pH, la retención de humedad y la porosidad, desempeñaron un papel clave en el crecimiento micelial durante la colonización (Priya *et al.*, 2016). En el caso de la relación C/N, Liang *et al.* (2019) establecieron que rangos entre 20:1 y 40:1 favorecen el crecimiento de *A. cornea* en sustratos lignocelulósicos, mientras que valores superiores a 60:1 tienden a limitarlo por deficiencia de nitrógeno. En este estudio, los tratamientos con bagazo de caña T1 (C/N=25,8), T7 (C/N=30,8) y T4 (C/N=31,8) (Tabla 2) se ubicaron dentro de dicho rango, lo que favoreció el crecimiento de las tres especies, en concordancia con lo reportado por Bandara *et al.* (2019), quienes demostraron que el uso de 60 % de bagazo de caña incrementó la disponibilidad de nutrientes en *A. polytricha*. En contraste, los tratamientos T5 (C/N=70,4) y T8 (C/N=83,3), elaborados principalmente con aserrín, mostraron limitaciones, probablemente por la baja disponibilidad de nitrógeno y la presencia de compuestos fenólicos como taninos que inhiben el desarrollo micelial (Zhao *et al.*, 2020). Sin embargo, en T2 (C/N=48,8), *Auricularia* sp. logró un crecimiento relativamente favorable, lo que sugiere que el aserrín puede emplearse siempre que se complemente con fuentes ricas en nitrógeno (Irawati *et al.*, 2012).

El pH del sustrato también resultó determinante, dado que regula la actividad enzimática y la solubilidad de nutrientes. Los sustratos con valores cercanos a la neutralidad presentaron

un mejor crecimiento del micelio, en concordancia con lo reportado por Bandara *et al.* (2019) y Walker *et al.* (2023), quienes destacaron rangos óptimos de pH entre 5 y 9 para *A. auricula-judae* y *A. cornea*, mientras que Devi *et al.* (2015) señaló intervalos ideales entre 6 y 7 en *A. delicata*, *A. polytricha* y *A. auricula*. En el presente estudio, los valores oscilaron entre 5,77 y 7,13 (Tabla 2), lo que se ajusta a dichos rangos. De forma complementaria, la humedad jugó un papel fundamental en la colonización, ya que, según Chang & Miles (2004), niveles entre 80 y 90 % propician un crecimiento óptimo. En este caso, contenidos excesivos favorecieron la compactación y redujeron la aireación, mientras que niveles bajos limitaron la disponibilidad de agua para el metabolismo, disminuyendo la velocidad de colonización (Hoa y Wang, 2015).

Respecto a los sustratos elaborados con mezclas de aserrín, las relaciones C/N más elevadas limitaron en general el desarrollo del micelio, aunque el tratamiento T2 mostró un mejor comportamiento comparado con T5 y T8, lo que se asocia a una mayor disponibilidad relativa de nutrientes y a condiciones físicas más favorables. Estos hallazgos concuerdan con Irawati *et al.* (2012), quienes indicaron que el aserrín puede emplearse en el cultivo de *Auricularia* spp. si se suplementa adecuadamente. No obstante, el aserrín por sí solo presenta limitaciones, razón por la cual Thongklang *et al.* (2020) observaron mayor eficiencia biológica en *A. polytricha* cuando se cultivó en mezclas con hojas de palma, bagazo de caña y racimos vacíos de fruta, en comparación con formulaciones a base únicamente de madera o aserrín, más pobres en nitrógeno. Esto sugiere que la combinación de residuos lignocelulósicos permite optimizar la disponibilidad de carbono y nitrógeno (Rühl & Kües, 2007).

En los tratamientos con estopa de coco se registraron crecimientos moderados frente a los formulados con bagazo de caña. Por ejemplo, en T6 (C/N=43,7) se obtuvieron tasas de colonización de 55,68 % en *Auricularia* sp. y de 49,82 % en *A. nigricans* (Tabla 5). Este comportamiento podría estar relacionado con el alto contenido de lignina y celulosa de la estopa, que en ausencia de suplementación limita la disponibilidad de nitrógeno, retrasa la colonización y produce micelios más delgados, con periodos de latencia prolongados (Tripetchkul *et al.*, 2012; Rühl & Kües, 2007). Además, la textura fibrosa del material puede inducir compactación y favorecer zonas anóxicas si no se garantiza una aireación adecuada, lo que también afecta el desarrollo micelial (Miles & Chang, 2004).

En este contexto, la disponibilidad y calidad de las fuentes de carbono y nitrógeno desempeñan un papel decisivo en el crecimiento de los hongos comestibles. El carbono satisface tanto las necesidades energéticas como estructurales de la célula fúngica, mientras que el nitrógeno resulta esencial para la síntesis de proteínas y otras moléculas estructurales (Miles & Chang, 2004). La carencia de este último puede limitar el desarrollo del micelio (Nuralykyzy *et al.*, 2025), mientras que una relación C/N excesiva reduce la eficiencia biológica (Liang *et al.*, 2019), como se reflejó en los tratamientos T5 y T8.

En conjunto, los resultados evidenciaron que el crecimiento del micelio a partir de residuos lignocelulósicos no dependió exclusivamente de la composición de los sustratos, sino de la interacción entre sus características fisicoquímicas y la eficiencia biológica propia de cada especie. En este sentido, la expresión del crecimiento estuvo condicionada tanto por factores genéticos, que determinan un desarrollo lento o rápido, como por la capacidad de los sustratos para favorecer o limitar dicho potencial (Regis & Geösel, 2023; Rühl & Kües,

2007). En este caso, *A. cornea* mostró un mayor crecimiento en todos los tratamientos, mientras que *A. nigricans* presentó la menor tasa en todos los casos (Tabla 6).

Durante la segunda fase, correspondiente a las bolsas de producción, se observaron diferencias en la capacidad de fructificación entre tratamientos y especies. Aunque todas fueron inducidas, únicamente T1, T2 y T4 produjeron basidiomas, lo que sugiere que limitaciones en la regulación de temperatura y humedad en esta fase pudieron haber afectado la transición hacia la etapa reproductiva. Este comportamiento coincide con lo señalado por Regis & Geösel (2023), quienes destacan que el paso de estado vegetativo a reproductivo en basidiomicetos depende tanto de factores ambientales como nutricionales. Así, variables como la relación C/N, la temperatura, la humedad, la aireación y la iluminación resultan determinantes en la inducción de la fructificación (Priya *et al.*, 2016).

En este marco, *Auricularia* sp. desarrolló basidiomas en T1, alcanzando una eficiencia biológica (EB) de 23,12 %, atribuible a la composición equilibrada del sustrato (bagazo, salvado y trigo molido), su adecuada relación C/N y su buena retención de humedad (80 %) (Tabla 2). *A. cornea*, aunque mostró altas tasas de colonización, presentó estructuras reproductivas incompletas (Fig. 6B-D), lo que sugiere requerimientos más específicos para fructificar. En contraste, *A. nigricans* logró desarrollarse en T1, alcanzando 11,07 g de biomasa con una EB de 28,02 %, seguido por T2, lo que coincide con los tratamientos que previamente mostraron mayores porcentajes de crecimiento (Tabla 6).

De manera general, en ambas fases experimentales los sustratos elaborados con bagazo de caña destacaron por su mayor eficiencia, lo que resalta su valor como sustrato base para el cultivo de *Auricularia* spp. Este desempeño no solo favoreció la producción y la formación

de basidiomas, sino que también representa una alternativa para la valorización de residuos agroindustriales, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes en la domesticación de especies silvestres (Thongklang *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Este estudio permitió establecer condiciones de laboratorio que favorecen el crecimiento de *Auricularia* spp., lo que constituye un primer paso hacia la estandarización de protocolos para su domesticación. La selección de medios con fuentes de carbono y nitrógeno fácilmente asimilables, junto con rangos de temperatura definidos, evidenció la importancia de ajustar las variables ambientales para garantizar un crecimiento del micelio eficiente.

La caracterización fisicoquímica de los residuos agroindustriales demostró que estos materiales no solo son abundantes en la región, sino que presentan propiedades favorables para su aprovechamiento como sustratos. En particular, parámetros como la relación C/N, el pH y la humedad se identificaron como factores decisivos en el establecimiento de un entorno adecuado para el crecimiento y la fructificación de las especies evaluadas.

Al analizar el crecimiento de *Auricularia* spp. en sustratos lignocelulósicos, se confirmó que la formulación T1 (bagazo de caña, salvado y trigo molido) ofrece las mejores condiciones para inducir la formación de basidiomas. En este contexto, la eficiencia biológica alcanzada por *A. cornea* (13,38%), *Auricularia* sp. (23,12 %) y *A. nigricans* (28,02 %) resalta el valor del bagazo como sustrato base para el cultivo de estas especies, al tiempo que muestra el potencial de los residuos agroindustriales como recurso productivo.

En conjunto, los resultados alcanzados responden al objetivo general de esta investigación, al aportar parámetros iniciales para el cultivo de *Auricularia* spp. con base en residuos

agroindustriales de la región. Por lo que, este estudio contribuye a la revalorización de subproductos locales bajo un enfoque de economía circular, fomenta el uso sostenible de la biodiversidad y sienta bases para el aprovechamiento productivo y biotecnológico de estas especies en Colombia.

PERSPECTIVAS

A partir de lo obtenido en esta investigación se tiene como perspectiva a futuro seguir optimizando el crecimiento de *Auricularia* spp. a nivel de laboratorio como un aspecto clave para incrementar sus condiciones óptimas, permitiendo avanzar hacia un escalamiento productivo. Adicionalmente, resulta pertinente explorar en mayor profundidad el valor nutricional y medicinal de especies, especialmente en relación con sus metabolitos bioactivos y su potencial como alimento funcional.

En un escenario más amplio, el uso de residuos agroindustriales para la domesticación de hongos se proyecta como una estrategia que no solo reduce el impacto ambiental, sino que también ofrece nuevas oportunidades de desarrollo regional enmarcadas en la economía circular. Así, el cultivo de *Auricularia* spp. puede convertirse en un modelo de aprovechamiento sostenible, con aplicaciones que van desde la seguridad alimentaria hasta la biotecnología.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Valle por la formación brindada, al proyecto Micro Manglar, al jardín botánico de Cali, a la profesora Ana Cristina Bolaños por su valiosa orientación, y a mi familia por su apoyo incondicional. También extendo mi gratitud a quienes me acompañaron en este proceso.

LITERATURA CITADA

- Abbott, P.C., Benjamin, T.J., Burniske, G.R., Croft, M.M., Fenton, M., Kelly, C.R., Lundy, M., Rodríguez Camayo, F. y Wilcox, M.D. (2018). Análisis de la cadena productiva de cacao en Colombia. Cali: United States Agency for International Development (USAID). Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/99089>.
- Adesemoye, A.O. & Adedire, C.O. (2005). Use of cereals as basal medium for the formulation of alternative culture media for fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(3), pp.329–336. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-3907-4>
- Alvarado, G. & Benítez, G. (2009). El enfoque de agroecosistemas como una forma de intervención científica en la recolección de hongos silvestres comestibles. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10(3), 531-539.
- Alzate, S. Cuartas, J. Herrera, G. Grisales, V. & Alvarez, A. (2021). Residuos agroindustriales como sustratos para la producción. *MENTEjoven*, 10(1), pp. 198-214. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/mente_joven/issue/view/657.
- Arana-Gabriel, Y., Burrola-Aguilar, C., Alcalá-Adán, A., Zepeda-Gómez, C. and Estrada-Zúñiga, M.E., (2020). Mycelial growth of the edible wild mushrooms *Floccularia luteovirens* in different culture mediums and pH. *Agroproductividad*, 13(10), pp.33–38. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i10.1745>
- Arango, C.S. y Nieto, I.J. (2012). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutraceuticos, *Revista Iberoamericana de Micología*, 30(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.03.011> .
- Bandara, A.R. et al. (2019). A review of the polysaccharide, protein and selected nutrient content of *Auricularia*, and their potential pharmacological value, *Mycosphere*, 10(1), pp. 579-607. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/10/1/10>.
- Barcia-Calle, C.E. (2016). Determinación de las potencialidades de aserrín en la ciudad de Guayaquil como materia prima para la producción de diversos surtidos en la industria forestal. *Revista Holos*. Disponible en: <https://www.academia.edu/32324569>.
- Becerra Quiróz, P., Buitrago Coca, A.L. & Pinto Baquero, P., (2016). Sustainability of sugar cane bagasse utilization in Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), pp. 133-149. <https://doi.org/10.16925/in.v12i20.1548>.
- Bentil, J.A. (2021). Biocatalytic potential of basidiomycetes: Relevance, challenges and research interventions in industrial processes, *Scientific African*, 11, p. e00717. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00717>.

- Cadena-Chamorro, E.M. (2023). Aserrín de guadua: un residuo potencial para la industria. Agencia de Noticias UNAL. Disponible en: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/aserrin-de-guadua-un-residuo-potencial-para-la-industria>
- Carreño-Ruiz, Santa Dolores, Cappello-García, Silvia, Gaitán-Hernández, Rigoberto, Cifuentes-Blanco, Joaquín, & Rosique-Gil, Edmundo. (2014). Crecimiento de tres hongos comestibles tropicales en medios de cultivo y residuos agrícolas. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(8), 1447-1458. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000800009&lng=es&tlng=es.
- Casas-Godoy, L. y Coral-Sandoval, G. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales, Revista Digital Universitaria, 15(12). <https://www.ru.tic.unam.mx/handle/123456789/2278>.
- Dang Lelamurni B.A.R. (2013). Cultivation of *Auricularia polytricha* using oil palm wastes. Master's Thesis, University of Malaya.
- Devi, M.B., Singh, S.M. & Singh, N.I. (2015). Biomass Production in *Auricularia* spp. (Jew's ear) collected from Manipur, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 4(6), 985-989. ISSN: 2319-7706. Disponible en: <http://www.ijcmas.com>
- Drewinski, M.P., Zied, D.C., Gomes, E.P.C. et al. (2024). Cultivo de una cepa silvestre de *Auricularia cornea* de la especie Wood Ear de Brasil. Current Microbiology, 81, 390. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03920-5>
- Estrada-Botello, M.A. et al. (2024). Caracterización física y química de residuos orgánicos locales con uso potencial como componentes de sustratos hortícolas, Bioagro, 36(2), pp. 211-222. <https://doi.org/10.51372/bioagro362.9>.
- Irawati, D., Hayashi, C., Takashima, Y. et al. (2012). Cultivation of the edible mushroom *Auricularia polytricha* using sawdust-based substrates. Micología Aplicada Internacional, 24(2), 33-41.
- Gao, Q. et al. (2025). Biodegradation mechanism of cellulose, hemicellulose, and lignin in bacteria-dominant aerobic composting from agricultural biomass waste: A Review, Carbohydrate Polymer Technologies And Applications, 11, p. 100879. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100879>.
- Galvis Méndez, N., & Perea Espinosa, I. (2006). Beneficios de la comercialización del hongo comestible *Pleurotus Ostreatus* producido sobre desechos agroindustriales como alternativa de biocomercio, en Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente.

- García, H., Corzo, G., Isaacs, P. & Etter, A., (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de Bosque Seco Tropical en Colombia: insumos para su gestión. In: C. Pizano & H. García, eds. El Bosque Seco Tropical en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), pp. 228–251.
- González-Morales, Azucena, Ribas-Aparicio, Rosa María, & Burrola-Aguilar, Cristina. (2021). Actividad antioxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia fungorum*, 52, e1410. Epub 09 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410>
- Gutiérrez-Hurtado, M, Correa-García, D, Zárate Ospina, M, Noriega Gómez, M y Acosta, M. (2020). Informe Región Pacífica. Observatorio Regional ODS. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/47941>.
- Guillamón, E., García-Lafuente, A., Lozano, M., D'Arrigo, M., Rostagno, M. A., Villares, A., & Martínez, J. A. (2010). Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81(7), 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.06.005>
- Gutiérrez-Rojas, I., Moreno-Sarmiento, N. y Montoya, D. (2014). Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos, *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2013.10.009>.
- Grass, J., Palacios, L. y Potosí, J. (2023). Análisis de redes en productores de coco de la costa Pacífica del Cauca, *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33(62). <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1360>.
- Hao, Z. *et al.* (2022). Enhancing the Nutritional and Functional Properties of *Auricularia auricula* through the Exploitation of Walnut Branch Waste, *Foods*, 11(20), p. 3242. <https://doi.org/10.3390/foods11203242>.
- Hare, J.M. (2012). Sabouraud Agar for Fungal Growth. In: *Laboratory Protocols in Fungal Biology*. Springer, pp.211–216. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2356-0_15
- Juárez, J. Ruiz, A. & López, W. (2021). Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en borra de café. *Tecnia*, 31(2), pp. 27-32. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1026>.
- Kalač, P., (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 113(1), pp.9–16. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-42319-3_17

- Keegan, R.J.H., Lu, Z., Bogusz, J.M., Williams, J.E. & Holick, M.F., 2013. Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans. *Dermato-Endocrinology*, 5(1), pp.165–176. <https://doi.org/10.4161/derm.23306>
- Kileshe, D.K., Liyongo, C.I., Batubenga, R., Mpulusu, S.D. & Ngbolua, K.-T.-N. (2023). Ecological, nutritional and medicinal aspects of *Auricularia cornea* (Ehrenb) (*Auriculariaceae* family): a mini-review', *Journal Of Applied Biosciences*, 186, pp. 19666-19677. <https://doi.org/10.35759/JABs.186.11>.
- Khan, A. Yao, F. Idrees, M. Lu, L. Fang, M. Wang, P. Jiang, W. Zhang, Y. (2020). A comparative study of growth, biological efficiency, antioxidant activity and molecular structure in wild and commercially cultivated *Auricularia cornea* strains. *Folia Hort*, 32(2), pp. 255-264. <https://doi.org/10.2478/fhort-2020-0023>.
- Lahaye, M. & Rochas, C. (1991). Chemical structure and physico-chemical properties of agar. In: *Developments in Hydrobiology*, vol. 68. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3610-5_13
- Li, H., Tian, Y., Menolli, N., Jr, Ye, L., Karunarathna, S. C., Perez-Moreno, J., Rahman, M. M., Rashid, M. H., Phengsintham, P., Rizal, L., Kasuya, T., Lim, Y. W., Dutta, A. K., Khalid, A. N., Huyen, L. T., Balolong, M. P., Baruah, G., Madawala, S., Thongklang, N., Hyde, K. D., ... Mortimer, P. E. (2021). Reviewing the world's edible mushroom species: A new evidence-based classification system. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(2), 1982–2014. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12708>
- Li, L., Zhong, C.-H. y Bian, Y.-B. (2014). The molecular diversity analysis of *Auricularia auricula-judae* in China by nuclear ribosomal DNA intergenic spacer, *Electronic Journal Of Biotechnology*, 17(1), pp. 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2013.12.005>.
- Li, Y., Feng, Y., Shang, Y., Xu, H., Xia, R., Houa, Z., Pan, S., Li, L., Bian, Y., Zhu, J., Wang, Z., Xin, G. (2023). Sexual spores in edible mushroom: bioactive components, discharge mechanisms and effects on fruiting bodies quality, *Food Science And Human Wellness*, 12(6), pp. 2111-2123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2023.03.014>.
- Liang, C. H., Wu, C. Y., Lu, P. L., Kuo, Y. C., & Liang, Z. C. (2019). Biological efficiency and nutritional value of the culinary-medicinal mushroom *Auricularia* cultivated on a sawdust basal substrate supplement with different proportions of grass plants. *Saudi journal of biological sciences*, 26(2), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.017>
- López Chalarca, L.T., Vega Rodríguez, L.Y., Rendón Colorado, C.D. & Tobón Rojas, S. (2019). Aprovechamiento de residuos madereros: cuantificación, caracterización y

- valorización. 1.^a ed. Medellín: Corporación Universitaria Remington y Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). ISBN 978-958-52376-3-6.
- Luo, L., Zhang, S., Wu, J. et al. (2021). Heat stress in macrofungi: effects and response mechanisms. *Appl Microbiol Biotechnol* 105, pp. 7567–7576. <https://doi-org.bd.univalle.edu.co/10.1007/s00253-021-11574-7>
- Martínez-Carrera, D., A. Aguilar, W. Martínez, M. Bonilla, P. Morales & M. Sobal, (2000). Commercial production and marketing of edible mushrooms cultivated on coffee pulp in Mexico. In: Sera, T., C. Soccol, A. Pandey & S. Roussos (Eds.). *Coffee biotechnology and quality*. Kluwer Academic Publishers, pp. 471–488. ISBN 0-7923-6582-8.
- Miles, P.G. y Chang, S.-T. (2004). *Mushrooms cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. 2.a edn, CRC Press eBooks. 2.a edn. CRC PRESS. pp 17-18. <https://doi.org/10.1201/9780203492086>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Boletín Forestal 2024, Federación Nacional de Industriales de la Madera. FEDEMADERAS, 9(1). <https://fedemaderas.org.co/boletin-estadistico-forestal-marzo-de-2024/>.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT). (2025). En los cinco primeros meses, Colombia exportó en productos no mineros US\$10.745 millones, crecieron 22%. Disponible en: <https://www.mincit.gov.co>.
- Muñoz-Núñez, C., Fernández-García, M. y Muñoz-Bonilla, A. (2022) Chitin Nanocrystals: Environmentally Friendly Materials for the Development of Bioactive Films, *Coatings*, 12(2), p. 144. <https://doi.org/10.3390/coatings12020144>.
- Niño, Y. Peña, E. & Henao, L. (2017). Aislamiento y producción de semilla de *Auricularia Fuscusuccinea* (Mont.) Henn. y *Crepidotus palmarum* sing. usados tradicionalmente en Pauna (Boyacá, Colombia), *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), pp. 151-158. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5616>.
- Nuralykyzy, B. et al. (2025). Synergies between Carbon Sequestration, Nitrogen Utilization, a Mushroom Quality: A Comprehensive Review of Substrate, Fungi, and Soil Interactions, *Journal Of Agricultural And Food Chemistry* [Preprint]. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c02295>.
- Oghenekaro, A.O., Miettinen, O., Omorusi, V.I., Evueh, G.A., Farid, M.A., Gazis, R. & Asiegbu, F. O. (2014). Molecular phylogeny of *Rigidoporus microporus* isolates associated with res rot disease of rubber res (*Hevea brasiliensis*), *Fungal Biology*, 118(5), pp. 495–506. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2014.04.001>
- Ortiz, E., Saransi, C., Ayala, K., Faz, L., Benavides, N., Vela, P., ... Pineda, C. A. (2016). Banco de recursos genéticos de *Auricularia* spp. con fines industriales: Una

- revisión. Revista Bionatura, 3(1), 139– 145. Retrieved from <http://revistabionatura.com/2016.01.03.8.html>
- Padilla-Martínez, D, Comba-Malaver, G y Moya-López, J. (2025). Análisis del aprovechamiento de residuos de coco en Tumaco para la generación de Biogas y su contribución al manejo ambiental sostenible. <https://hdl.handle.net/10882/14920>
- Peña-Castillo, Z. M., Pulido-Villamarín, A., Castañeda-Salazar, R., Barbosa-Buitrago, A., Ortiz, B., Oliver-Espinosa, O., & Vacca-Sánchez, M. L. (2021). Fungal pathogens in dermatological lesions of large and small animal species in veterinary clinics and animal shelters in Bogotá DC.
- Peña Cañón, Ehidy Rocio, Niño Fernández, Yeina Milena, & Enao Mejía, Luis. (2023). Importancia cultural de hongos silvestres comestibles en cuatro municipios de Boyacá (Colombia). Ciencia en Desarrollo, 14(2), 31-43. Epub July 19, 2023. <https://doi.org/10.19053/01217488.v14.n2.2023.15082>
- Peña, Y., Miller, V., Parra-Peña, R.I. y Lundy, M. (2014) Los Comités Regionales de Cadena: Actores de la Transformación Productiva del Agro en Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org>.
- Priya, R.U., & Darshan, S. (2016). Biology and Cultivation of Black Ear Mushroom – *Auricularia* spp. Kerala Agricultural University.
- Power, R.C. Salazar-García, L.G. Straus, M.R. González Morales, A.G. Henry (2014) 'Microremains from El Mirón Cave human dental calculus suggest a mixed plant–animal subsistence economy during the Magdalenian in northern Iberia', Journal Of Archaeological Science, 60, pp. 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.003>.
- Pusa, T., 2012. Nutritional value of wild mushrooms. In: S. Andres & N. Baumann, eds. Mushrooms: Types, Properties and Nutrition. Nova Science Publishers. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02622-6_2
- Phillips, K.M., Ruggio, D.M. & Horst, R.L., (2012). Vitamin D2 formation from UV exposure of edible mushrooms and estimated intake from mushrooms in the U.S. diet. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(33), pp.7998–8004. <https://doi.org/10.1021/jf204061y>
- Regis, M. & Geösel, A. (2024). Cultivation of *Auricularia* Species: A review of the history, health benefits, principles, practices, environmental conditions, research methods, and recent trends', Sydowia, 76, pp. 21-33. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia76-2024-0021>

- Romero, J.C.F. et al. (2025). Edible Mushroom Cultivation in Liquid Medium: Impact of Microparticles and Advances in Control Systems, Processes, 13(8), p. 2452. <https://doi.org/10.3390/pr13082452>.
- Romo-Buchelly, J., Rodríguez-Torres, M. y Orozco-Sánchez, F. (2019). Biotechnological valorization of agro industrial and household wastes for lactic acid production. Revista Colombiana de Biotecnología, 21(1), pp. 113-127. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.69284>.
- Royse, D. Baars, J. & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In: Zied D C, Giménez A P (eds) Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK, pp 5–13.
- Rojas, A. Flórez, C. & López, D. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. Revista Cubana de Química, 31(1), pp. 31-52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100031&lng=es&tlng=es
- Rodríguez-Rodríguez, J.A., Mancera-Pineda, J.E., Tavera, H., 2021. Mangroverestoration in Colombia: trends and lessons learned. For. Ecol. Manag. 496, 119414. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119414>.
- Rühl, M. y Kües, U. (2007) 'Mushroom production', ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/262179448_Mushroom_Production.
- Salcedo-Puerto, O., Mendoza-Martinez, C. y Vakkilainen, E. (2025) Colombian agroindustrial crop residues: Thermochemical characterization and evaluation of their energy potential. Energy Reports, 13, pp. 1802-1816. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.01.041>.
- Singh, M., Kamal, S. & Sharma, V.P., (2021). Status and trends in world mushroom production – III: World Production of Different Mushroom Species in 21st Century. Mushroom Research, 29(2), pp.75–111. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/367854919> .
- Soto, E. & Bolaños, A.C. (2013). Hongos macroscópicos en un bosque de niebla intervenido, vereda Chicoral, Valle del Cauca, Colombia. <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/281>.
- Taofiq, O., Fernandes, Â., Barros, L., Barreiro, M.F., Ferreira, I.C.F.R., 2017. UV-irradiated mushrooms as a source of vitamin D2: A review. Trends in Food Science & Technology, 70, pp.82–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.018>
- The Nature Conservancy (TNC). (2022). Producción sostenible de caña de azúcar en Colombia. Disponible en: <https://www.tnc.org>

- Thongklang, N. et al. (2020). Cultivation of a wild strain of *Auricularia cornea* from Thailand. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 10(1): 120–130. <https://doi.org/10.5943/cream/10/1/13>
- Tripetchkul, S. et al. (2012) 'Co-composting of coir pith and cow manure: initial C/N ratio vs physico-chemical changes', *International Journal Of Recycling Of Organic Waste In Agriculture*, 1(1), p. 15. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-1-15>.
- Vargas, N., Gómez-Montoya, N., Peña-Cañón, R. y Torres-Morales, G. (2022). Useful Fungi of Colombia. En: de Almeida, R.F., Lücking, R., Vasco-Palacios, A.M., Gaya, E. & Diazgranados, M. (Eds.). *Catalogue of Fungi of Colombia* (151-163). Royal Botanic Gardens, Kew, Kew Publishing, UK.
- Vargas-Isla R, Ishikawa NK (2008) Optimal conditions of in vitro mycelial growth of *Lentinus strigosus*, an edible mushroom isolated in the Brazilian Amazon. *Mycoscience* 49:215–219. <https://doi.org/10.1007/S10267-007-0404-2>
- Vasco-Palacios, A. M., Franco-Molano, A. E., López-Quintero, C. A., & Boekhout, T. (2005). Macromycetes (Ascomycota, Basidiomycota) de la región del medio Caquetá, departamentos de Caquetá y Amazonas (Colombia). *Biota Colombiana*, 6(1), 127-140.
- Vasco-Palacios, A.M., Suaza, S.C., Castaño-Betancur, M. & Franco-Molano, A.E. (2008) 'Conocimiento etnoecológico de los hongos entre los indígenas Uitoto, Muinane y Andoke de la Amazonía Colombiana', *Acta Amazonica*, 38(1), pp. 17–30. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0044-59672008000100004>.
- Walker A, Wannasawang N, Taliam W, Keokanngun L, Luangharn T, et al. (2023). Condiciones óptimas para el crecimiento del micelio y valores nutricionales de *Auricularia cornea*. *Estudios en hongos* 8:19. Available at: <https://doi.org/10.48130/SIF-2023-0019>.
- Wu, F. et al. (2021). Global Diversity and Updated Phylogeny of *Auricularia* (Auriculariales, Basidiomycota), *Journal Of Fungi*, 7(11), p. 933. <https://doi.org/10.3390/jof7110933>.
- Yu, T., Wu, Q., Liang, B., Wang, J., Wu, D., & Shang, X. (2023). The Current State and Future Prospects of *Auricularia auricula*'s Polysaccharide Processing Technology Portfolio. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(2), 582. <https://doi.org/10.3390/molecules28020582>.
- Zhao, Z. et al. (2020). Effect of tannin concentration on mycelial growth and development of *Auricularia cornea*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-64350/v1>.

TABLAS

TABLA 1. Secuencias empleadas en el análisis filogenético.

Especie	País	Voucher	Nº Acceso en GenBank
<i>A. camposii</i>	Brazil	URM 76905	MH213351
<i>A. camposii</i>	Brazil	URM 83464	MH213352
<i>A. cornea</i>	South Africa	Dai 12587	KX022012
<i>A. cornea</i>	China	Dai 15336	KX022014
<i>A. cornea</i>	China	Wu 07	MH213354
<i>A. cornea</i>	Ghana	Dai 17352	MH213355
<i>A. cornea</i>	China	Cui 7517	MH213356
<i>A. cornea</i>	China	Dai 14876	MH213357
<i>A. cornea</i>	Brazil	Lira 663	MH213359
<i>A. cornea</i>	Benin	Dai 15447	MH213360
<i>A. cornea</i>	China	Dai 13754	MH213361
<i>A. cornea</i>	Singapore	Dai 17865	MH213362
<i>A. cornea</i>	Vietnam	Dai 18315	MH213363
<i>A. cornea</i>	China	Cui 11346	MZ618933
<i>A. cornea</i>	China	Cui 11162	MZ618934
<i>A. cornea</i>	China	Dai 13621	MZ618936
<i>A. cornea</i>	Sri Lanka	Dai 19650	MZ618937
<i>A. nigricans</i>	Costa Rica	Ahti 36234	KM396802
<i>A. nigricans</i>	Mexico	Ahti 55718	MH213372
<i>A. novozealandica</i>	New Zealand	PDD 81195	KX022033
<i>A. novozealandica</i>	New Zealand	PDD 88998	KX022035
<i>A. novozealandica</i>	New Zealand	PDD 75110	KX022032
<i>A. novozealandica</i>	New Zealand	PDD 83897	KX022034

<i>A. thailandica</i>	China	Dai 15335	KX022026
<i>A. thailandica</i>	China	Dai 13759	KP765621
<i>A. thailandica</i>	China	Dai 15080	KP765622
<i>A. villosula</i>	China	Dai 13450	KM396812
<i>A. villosula</i>	China	Dai 13453	KM396813
<i>A. villosula</i>	China	hei 01973	MZ618944
<i>Auricularia cornea</i>	Colombia	ACB1591	—
<i>Elmerina dimidiata</i>	Belize	O 18261	JQ764664
<i>E. efibulata</i>	China	Yuan 4525	MZ618945
<i>Exidia candida</i>	Canada	LE 38198	KY801871
<i>E. glandulosa</i>	Germany	MW 355	AF291273
<i>Heterochaete shearii</i>	Costa Rica	USJ 54609	AF291284
<i>Heteroradulum deglubens</i>	Sweden	LE 38182	KX262112

TABLA 2. Composición y parámetros fisicoquímicos de los tratamientos lignocelulósicos empleados en el cultivo de *Auricularia* spp.

T	Formulación	Carbono organico total (%)	Nitrogeno total (%)	C/N	pH	Humedad (%)
T1	Bagazo de caña (75%) + Salvado (15%) + Trigo molido (10%)	49,8	1,9	25,8	6,36	80,24
T2	Aserrín (75%) + Salvado (15%) + Trigo molido (10%)	57,4	1,2	48,8	5,77	73,92
T3	Estopa de coco (75%) + Salvado (15%) + Trigo molido (10%)	38,9	1,0	38,4	6,16	85,50
T4	Bagazo de caña (60%) + Hojas de maíz (35%) + Trigo molido (5%)	39,8	1,3	31,8	6,92	83,57
T5	Aserrín (60%) + Hojas de maíz (35%) + Trigo molido (5%)	52,7	0,7	70,4	6,02	86,88
T6	Estopa de coco (60%) + Hojas de maíz (35%) + Trigo molido (5%)	41,9	1,0	43,7	6,30	88,22
T7	Bagazo de caña (60%) + Hojas (20%) + Salvado (9,5%) + Trigo molido (9,5%) + Azúcar (1%)	46,4	1,5	30,8	7,13	83,64
T8	Aserrín (60%) + Hojas (20%) + Salvado (9,5%) + Trigo molido (9,5%) + Azúcar (1%)	39,5	0,5	83,3	6,34	85,28
T9	Estopa (60%) + Hojas (20%) + Salvado (9,5%) + Trigo molido (9,5%) + Azúcar (1%)	52,7	1,4	38,6	6,72	84,95

**T: Tratamiento; C/N: Relación carbonó nitrógeno.*T: Tratamiento; C/N: Relación carbonó nitrógeno.*

TABLA 3. Tasa de crecimiento del micelio promedio (TC (mm/d)) de *Auricularia* spp. en cada temperatura y medio de cultivo evaluado.

Temperatura (C°)	Medio de cultivo	<i>Auricularia</i> sp.	<i>A. cornea</i>	<i>A. nigricans</i>
25	MEA	0,60 ^{bc}	0,69 ^{bc}	0,52 ^c
	PDA	0,72 ^{bc}	0,76 ^{bc}	0,59 ^c
	SAB	0,43 ^c	0,30 ^c	0,39 ^c
28	MEA	0,88 ^{ab}	1,01 ^{ab}	0,54 ^c
	PDA	0,70 ^{bc}	0,98 ^{ab}	0,62 ^c
	SAB	0,42 ^c	0,37 ^c	0,39 ^c
31	MEA	1,14 ^a	0,98 ^{ab}	0,80 ^b
	PDA	0,94 ^{ab}	1,07 ^a	0,79 ^b
	SAB	0,41 ^c	0,42 ^c	0,40 ^c

*Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas entre temperaturas y medio de cultivo para cada cepa. Letras diferentes en cada fila representan diferencias significativas entre cepas para cada medio de cultivo y temperatura. Tukey ($P < 0,05$).

TABLA 4. Características macroscópicas del micelio desarrollado por *Auricularia* spp. en las diferentes temperaturas y medios evaluados a los 8 días de incubación. CM (color del micelio), ANV (anverso).

Cepa	T (C°)	Medio de cultivo	Color		Textura	Densidad
			CM	ANV		
<i>Auricularia</i> sp.	25	MEA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Lanoso	Media
		PDA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Algodonoso	Alta
	28	MEA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Algodonoso	Alta
		PDA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Lanoso	Media
		SAB	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Algodonoso	Alta
	31	MEA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Lanoso	Media
		PDA	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Amarillo claro (#ffffc5)	Algodonoso	Alta

<i>A. cornea</i>	25	MEA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
		PDA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
	28	MEA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
		PDA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
		SAB	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
	31	MEA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Lanoso	Media
		PDA	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Naranja vivo (#ffc400)	Algodonoso	Alta
<i>A. nigricans</i>	25	MEA	Blanco	Blanco	Lanoso	Media
		PDA	Blanco	Blanco	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Blanco	Algodonoso	Alta
	28	MEA	Blanco	Blanco	Algodonoso	Alta
		PDA	Blanco	Blanco	Lanoso	Media
		SAB	Blanco	Blanco	Algodonoso	Alta
	31	MEA	Blanco	Blanco	Lanoso	Media
		PDA	Blanco	Blanco	Ralo	Baja
		SAB	Blanco	Blanco	Algodonoso	Alta

TABLA 5. Tasa de crecimiento del micelio promedio (TC, mg/ml) en fermentación líquida estática y registro del peso húmedo y seco de *Auricularia* spp.

Temperatura (C°)	<i>Auricularia</i> sp.		<i>A. cornea</i>		<i>A. nigricans</i>	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
25	2,66 ^{aA}	0,90 ^{aA}	1,14 ^{bA}	0,69 ^{bA}	0,82 ^{cA}	0,33 ^{cA}
28	5,54 ^{aB}	0,97 ^{aA}	1,02 ^{cA}	0,18 ^{cB}	1,52 ^{bB}	0,49 ^{bB}
31	0,63 ^{cC}	0,09 ^{cB}	0,95 ^{bA}	0,10 ^{cB}	0,34 ^{dC}	0,06 ^{cC}

*Letras minúsculas diferentes (a, b, c, d) en cada fila indican diferencias significativas entre cepas para un mismo tipo de dato (húmedo o seco). Letras mayúsculas diferentes (A, B, C)

en cada columna indican diferencias significativas entre temperaturas para cada especie y tipo de dato. Tukey ($P < 0,05$).

TABLA 6. Crecimiento lineal (cm/día) en tubos de ensayo, porcentaje de colonización (%), crecimiento en peso fresco (Pf) y eficiencia biológica (EB) de *Auricularia* spp. en nueve sustratos lignocelulósicos (T1–T9*) bajo condiciones inducidas de fructificación.

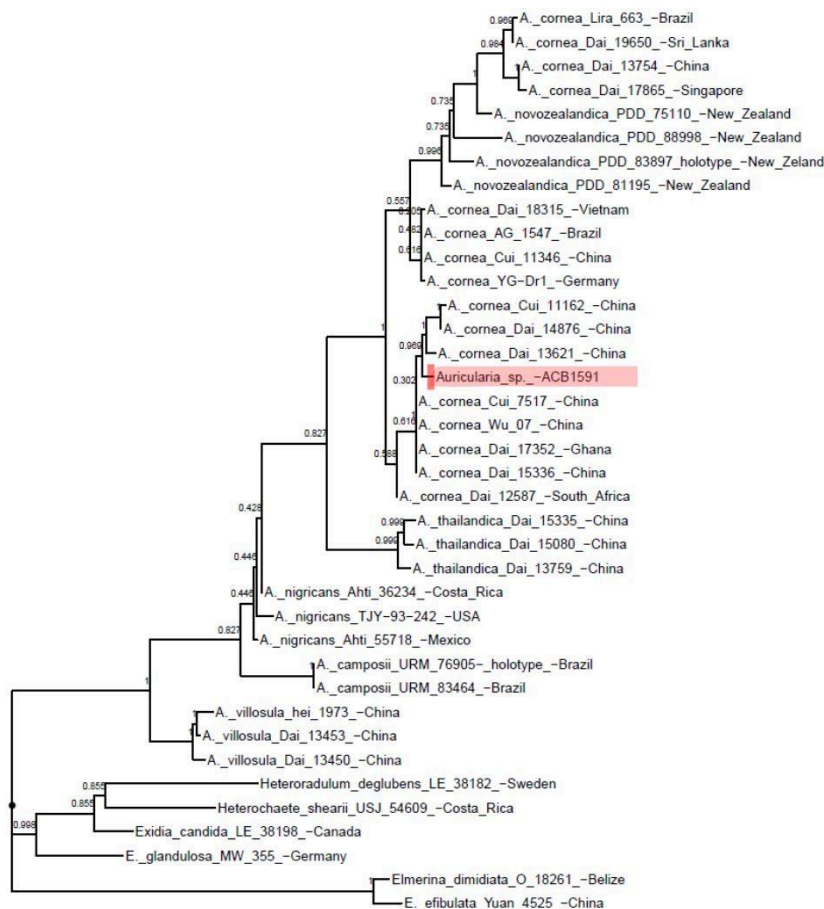
T	<i>Auricularia</i> sp.				<i>A. cornea</i>				<i>A. nigricans</i>			
	TC (cm/día)	%	Pf (g)	EB (%)	TC (cm/día)	%	Pf (g)	EB (%)	TC (cm/día)	%	Pf (g)	EB (%)
T1	0,55	72,53	9,14	23,12	0,67	88,64	5,29	13,38	0,54	74,73	11,07	28,02
T2	0,63	78,75	0,10	0,19	0,58	77,14	3,23	6,19	0,35	47,25	5,37	10,31
T3	0,56	78,55	–	–	0,67	90,11	–	–	0,46	67,40	–	–
T4	0,42	55,68	–	–	0,50	75,82	0,17	0,51	0,36	57,69	–	–
T5	0,39	55,68	–	–	0,51	77,66	–	–	0,31	52,75	–	–
T6	0,39	55,68	–	–	0,62	84,62	–	–	0,32	49,82	–	–
T7	0,49	60,44	–	–	0,73	87,91	–	–	0,43	61,54	–	–
T8	0,46	58,61	–	–	0,54	72,89	–	–	0,41	52,01	–	–
T9	0,47	64,65	–	–	0,55	72,53	–	–	0,54	64,47	–	–

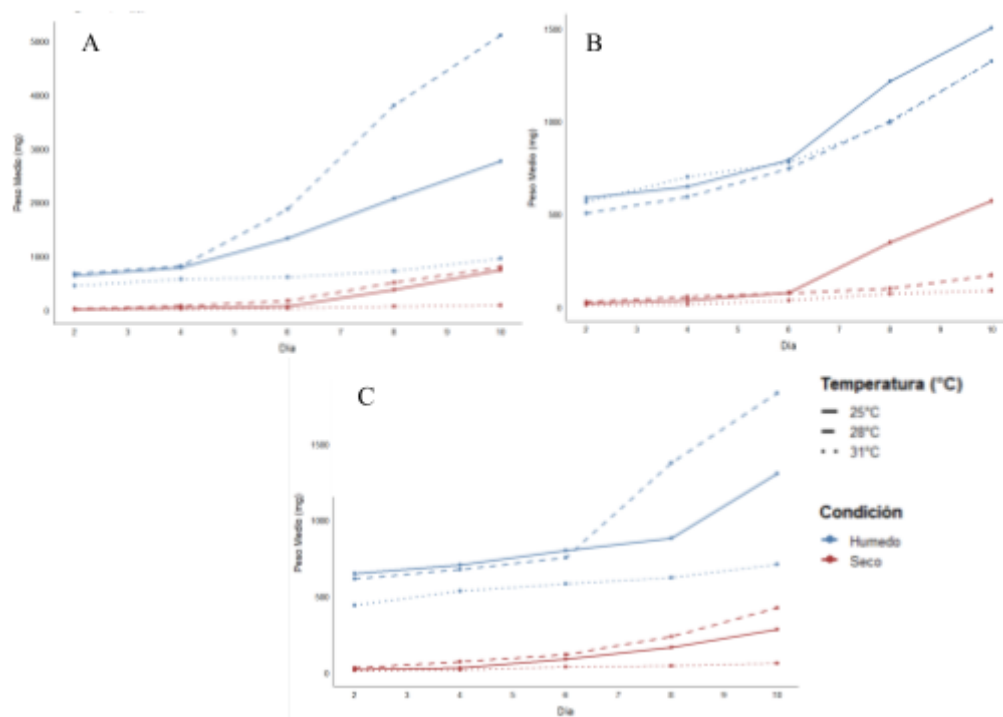
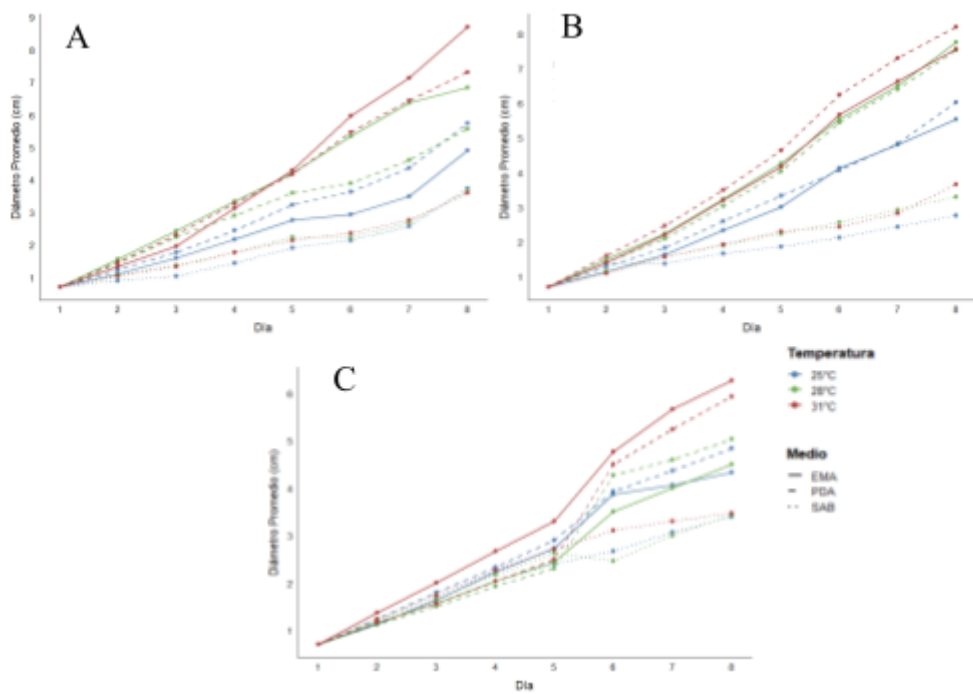
*T1 = Bagazo de caña + Salvado de trigo + Trigo molido; T2 = Aserrín + Salvado + Trigo molido; T3 = Estopa de coco + Salvado + Trigo molido; T4 = Bagazo de caña + Trigo molido + Hojas de maíz; T5 = Aserrín + Trigo molido + Hojas de maíz; T6 = Estopa de coco + Trigo molido + Hojas de maíz; T7 = Bagazo de caña + Salvado + Trigo molido + Hojas de maíz + Azúcar; T8 = Aserrín + Salvado + Trigo molido + Hojas de maíz + Azúcar; T9 = Estopa de coco + Salvado + Trigo molido + Hojas de maíz + Azúcar. T: Tratamientos; TC: Tasas de Crecimiento; %: porcentaje de colonización; Pf: peso fresco de los basidiomas; EB: eficiencia biológica.

FIGURA 1. Árbol filogenético de la región ITS de ADNm de *A. cornea*. La secuencia generada en este estudio se encuentran resaltadas en rojo.

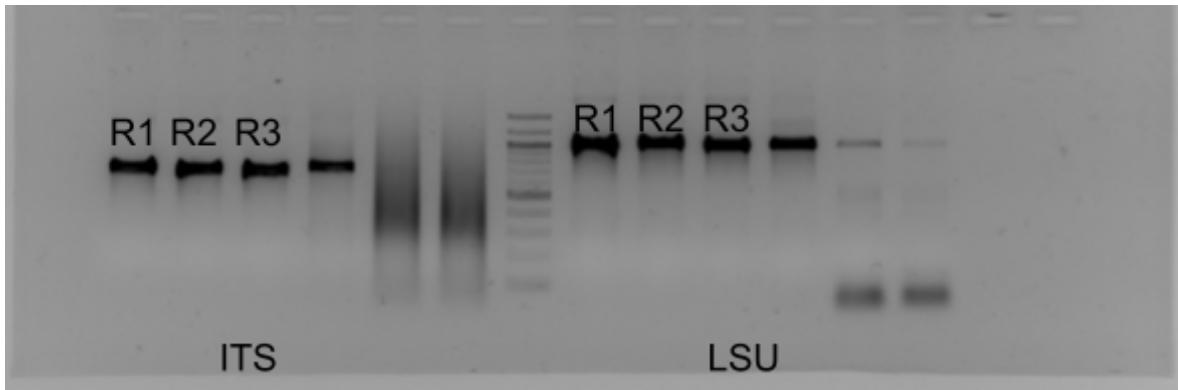
FIGURA 2 Crecimiento de *Auricularia* spp. a 25°C, 28°C y 31°C en Medios Sólidos (MEA, PDA y SAB). A. Crecimiento del micelio de *Auricularia* sp. (ACB1474).B. Crecimiento de *Auricularia cornea* (ACB1591) C. Crecimiento de *Auricularia nigricans* (ACB1642).

FIGURA 3. Crecimiento de *Auricularia* spp. a 25°C, 28°C y 31°C en fermentación líquida estática. A. Crecimiento del micelio de *Auricularia* sp. (ACB1474).B. Crecimiento de *Auricularia cornea* (ACB1591) C. Crecimiento de *A. nigricans* (ACB1642).

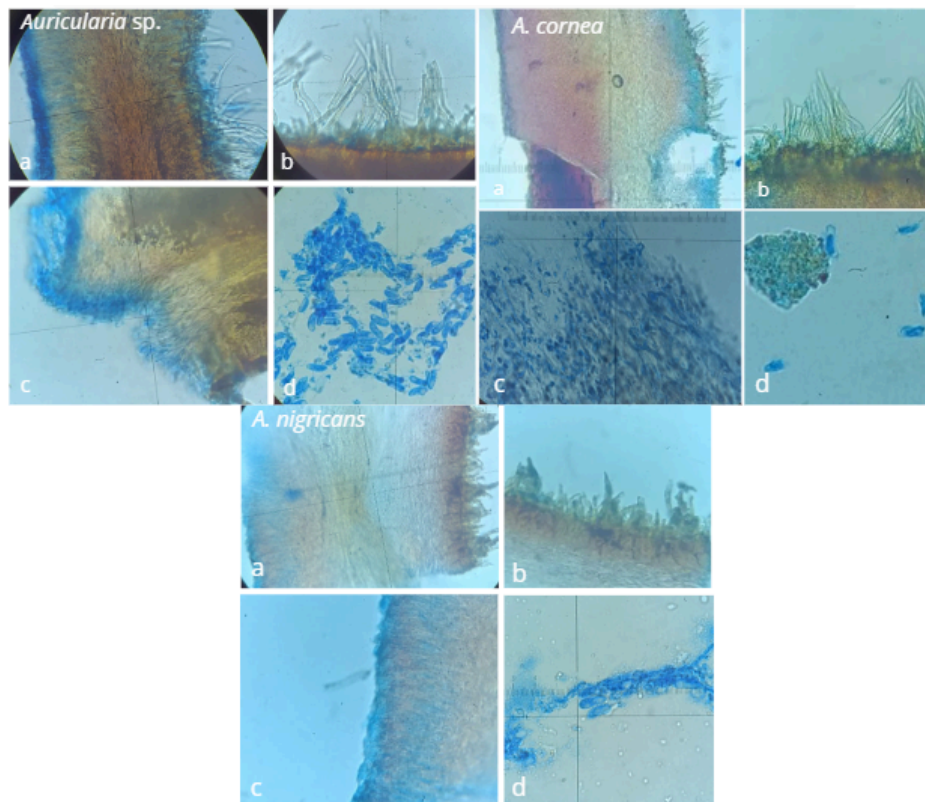




APÉNDICES

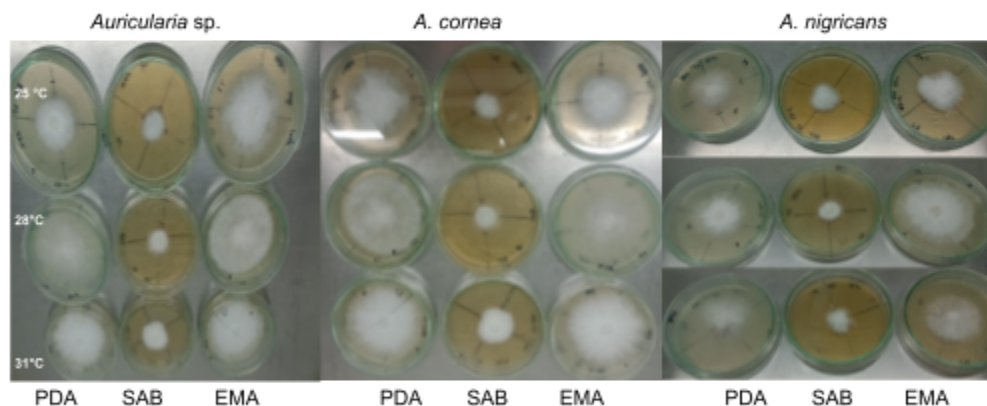


Apéndice A. Electroforesis en gel de agarosa al 1% de los productos de PCR correspondientes a las regiones ITS y LSU de la especie *Auricularia Cornea* (ACB1591). Los primeros posos (izquierda) corresponden a la amplificación de la región ITS, mientras que los posos del extremo derecho corresponden a la región LSU. En el centro se observa el marcador de peso molecular (ladder).

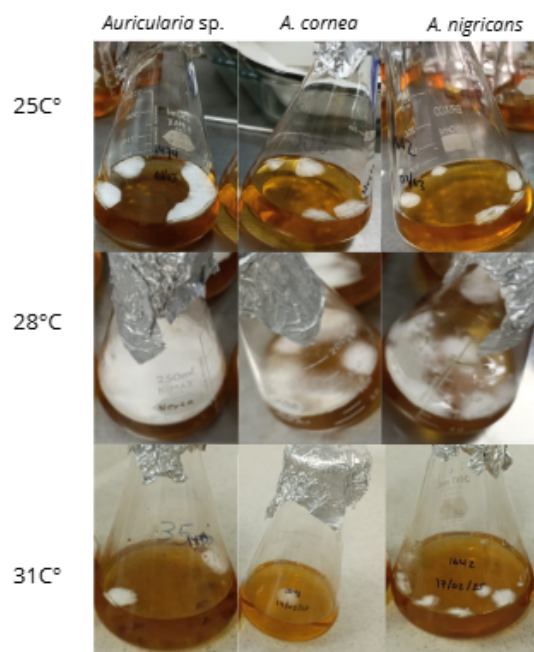


Apéndice B. Estructuras microscópicas de *Auricularia* sp. (ACB1474), *Auricularia cornea* (ACB1591) y *A. nigricans* (ACB1642) en azul de lactofenol, observadas al objetivo 100X.

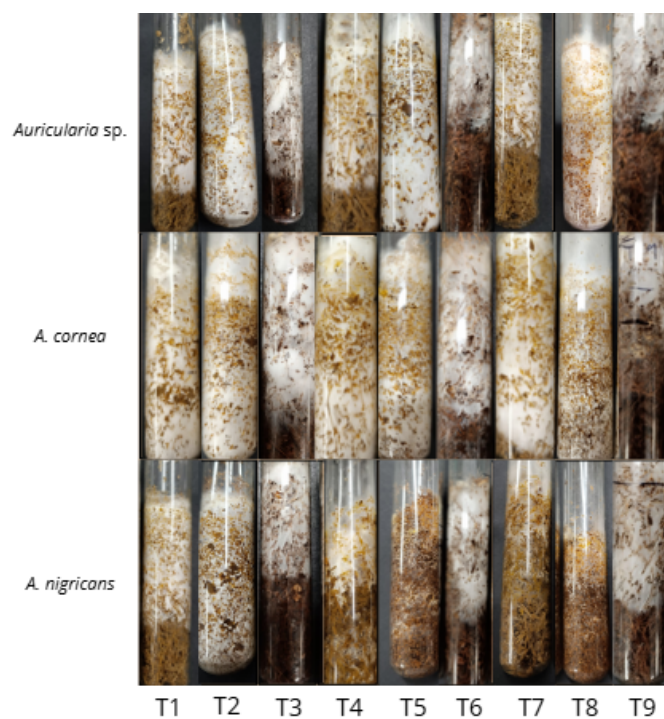
(a) Sección transversal de un basidioma; (b) Pelos abhiménicos; (c) Basidios; (d) Basidiosporas.



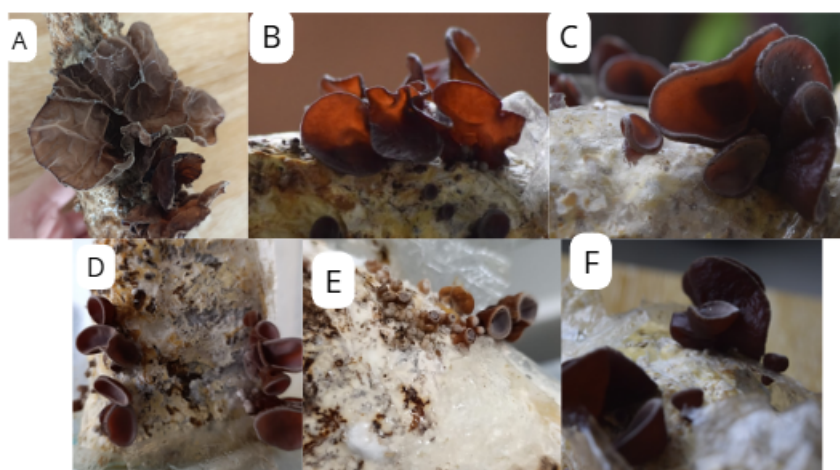
Apéndice C. Crecimiento del micelio de *Auricularia* spp. evaluadas en distintos medios y temperaturas. Se observan variaciones en textura y densidad según las condiciones de cultivo.



Apéndice D. Morfología del micelio de *Auricularia* spp. creciendo en la superficie en fermentación líquida estática.



Apéndice E. Tubos de ensayo correspondientes a los nueve tratamientos aplicados en el experimento, donde se cultivaron las especies de *Auricularia* spp. evaluadas.



Apéndice F. Formación de primordios en bolsas de cultivo durante la segunda fase experimental. A. *Auricularia* sp. en tratamiento T1; B. *A. cornea* en T1; C. *A. cornea* en T2; D. *A. cornea* en T4; E. *A. cornea* en T7. F. *A. nigricans* en T1.