



Artículo de investigación

Biomateriales basados en micelio: prototipo de biotabique en la región Bajío de México

Biomaterials based on mycelium: biotabique prototype from the Bajío region of Mexico

Marco Antonio Vargas Romero¹, Liliana Carolina Córdova Albores², Carlos Ríos-Llamas³

¹Universidad La Salle Bajío, Avenida Universidad 602, Lomas del Campestre, 37150, León de los Aldama, Guanajuato, México

²Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Av. Enrique Arreola Silva 883, Colonia Centro, 49000, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

³Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria, 21280 Mexicali, Baja California, México

Autor de Correspondencia: Carlos Ríos-Llamas, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria, 21280 Mexicali, Baja California, México. Correo electrónico: llamas@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0001-5274-6558.

Recibido: 18 de Abril del 2024

Aceptado: 8 de Julio del 2024

Publicado: 19 de Julio del 2024

Resumen. - Los biomateriales basados en micelio resultan del crecimiento de hongos en materiales orgánicos como maderas y desechos agrícolas. Estos ofrecen una alternativa prometedora para el desarrollo de nuevos materiales. En este trabajo se desarrollaron prototipos de biotabique basados en micelio utilizando residuos orgánicos agrícolas tales como paja de cultivos que se obtienen de la producción en León, Guanajuato. Las características macro y microscópicas de los hongos colectados, así como las condiciones de luz, humedad y temperatura pueden influenciar el desarrollo del biotabique. Otras condiciones para considerar son el proceso de secado del biomaterial obtenido.

Palabras clave: Biomateriales; Bioarquitectura; Bioconstrucción; Micelio.

Abstract. - Mycelium-based biomaterials are the result of cultivating fungi in organic materials, such as agricultural waste. This presents a promising alternative for developing new materials. Our study focuses on developing biobrick using mycelium prototypes and agricultural organic waste, specifically straw from crops in León, Guanajuato. We found that factors like light, humidity, and temperature conditions can influence the development of the biomaterial. Additionally, the drying process of the biomaterial, also be taken into consideration.

Keywords: Biomaterials; Bioarchitecture; Bioconstruction; Mycelium.

1. Introducción

La biodiversidad en la región del Bajío de México favorece un variado microecosistema debido a las diferencias climáticas y geográficas [1]. Esta diversidad se manifiesta en el crecimiento de microorganismos en una gran heterogeneidad de flora.

En el caso de los hongos, para que proliferen se requieren tres condiciones: sustrato, temperatura entre 25 y 30 °C y humedad superior al 60%. La utilización de hongos que pueden crecer en estas condiciones se convierte en una oportunidad para el desarrollo de alternativas que favorezcan al mismo tiempo la protección ambiental y la innovación en materiales para la construcción.

En el entorno de la ciudad de León se ha presentado últimamente un problema de crecimiento excesivo de hongos de diferentes especies.

El Instituto Politécnico Nacional identificó diversos agentes de daño en arbolado muerto en zonas del estado de Guanajuato, como *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium* sp., *Hypoxylon antropunctatum*, *Ganoderma* sp., *Armillaria* sp., *Apiognomonina quercina*, el muérdago enano (*Phoradendron villosum*), barrenadores, defoliadores además de factores abióticos como temperaturas bajas, falta de agua y fuego [2].

Estos daños se observaron principalmente en colonias de encinos, especialmente el Encino Roble o *Quercus rugosa*, endémico escaso en el municipio y abundante en el Parque Metropolitano de León.

Las especies de hongos del género *Ganoderma* se han identificado en encinos y alamillo (*Populus tremuloides*) según estudios del College of Agriculture, University of Arizona [3]. Además, la región mexicana del Bajío es un importante centro de agricultura protegida, con

1,482 hectáreas distribuidas en 29 municipios [4] y en este trabajo, se aprovechan los desechos agroindustriales de esta región, resultado de la cosecha de primavera-verano donde, además, se crean las condiciones ideales de temperatura y humedad para el crecimiento de diversas especies fúngicas.

La función del hongo en la conformación del material es la base de esta investigación. El hongo degrada la materia agroindustrial utilizada como sustrato y, durante este proceso, el micelio del hongo genera una red de filamentos que actúan como un aglutinante natural. Estos filamentos no solo consolidan el sustrato, creando una estructura cohesiva y resistente, sino que también confieren al material sus propiedades mecánicas esenciales.

El proceso implica la inoculación de residuos agroindustriales con micelio, que luego se incuban bajo condiciones controladas de temperatura y humedad.

A medida que el hongo coloniza el sustrato, sus filamentos se extienden y entrelazan, formando una matriz densa y sólida. Este biomaterial resultante es moldeado y secado para obtener bloques que pueden ser utilizados en aplicaciones constructivas.

El micelio del hongo actúa como una especie de pegamento natural, degradando el sustrato y generando una red de filamentos que consolidan el material y le dan sus propiedades mecánicas esenciales.

En este estudio se recolectaron muestras en cuatro puntos geográficos de la ciudad de León con microclimas y flora distintos, lo que afecta el crecimiento de los hongos.

Tanto la ciudad de León como la zona del Bajío mexicano ofrecen condiciones ambientales propicias para el crecimiento de diversos hongos en condiciones de temperatura ambiente.

En esta investigación se analizan estos hongos, junto con la disponibilidad de sustrato reciclado de los desechos agrícolas, para encontrar el momento óptimo para la colonización del hongo. La elección de estos recursos ecológicos y su validación con pruebas biológicas de laboratorio significa un avance importante para la investigación del micelio y sus alcances para la producción de biomateriales en México.

2. Antecedentes

La construcción de edificios es responsable de aproximadamente el 50% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero relacionadas con el uso de energía. La urbanización mundial ha tenido un efecto directo sobre el crecimiento económico, pero también sobre el consumo de energía y las emisiones de CO₂ en todas las regiones [5].

Ante este escenario, se debe fortalecer la investigación de biomateriales para identificar los aspectos positivos de la urbanización en lo económico y disminuir sus aspectos negativos en cuanto a su influencia en el consumo de energía y el deterioro ambiental [6].

Además, es necesario potenciar la búsqueda de soluciones alternativas a las reservas de materiales naturales, porque la industria de la construcción consume cerca del 40% de la piedra, arena y gravilla, el 25% de la madera y el 16% del agua utilizada en todo el mundo [7].

Los materiales de construcción tradicionales, como el ladrillo y el concreto, contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero debido a los altos niveles de energía necesarios para la producción y los materiales utilizados.

En América Latina se produce la mayor cantidad de ladrillos con diferentes niveles de tecnología y rentabilidad [8].

Los países de América Central y algunos otros como Ecuador, Argentina y México son los que mantienen la tecnología menos desarrollada para la producción de tabiques y block de construcción, de manera que las ladrilleras emiten contaminantes que posicionan a la industria de la construcción como la más contaminante de todas.

En el caso de la ciudad de León en Guanajuato, alrededor del 60% del material para construir muros proviene de la actividad ladrillera que utiliza hornos rudimentarios donde se cuecen los materiales a partir de combustibles y basura como aceites usados, llantas, textiles y plásticos.

En León, se producen mensualmente 5,771,250 ladrillos, pesando en promedio 3.92 kg cada uno, lo que equivale a 16,056.63 toneladas de arcilla cocida. Esto requiere un consumo mensual de energía de 37,696,973.00 MJ con un alto factor de consumo energético de 2,347.25 [9].

Según el inventario de Emisiones 2008, Guanajuato tenía 2,362 hornos en operación en 37 municipios del estado [10]. Además, solo el 0.8% de los 2,362 hornos ladrilleros en el estado de Guanajuato cumple con las regulaciones [9].

Algunos otros materiales utilizados en construcción, como el poliestireno expandido (EPS), plantean problemas debido a su alto volumen de contaminantes y su bajo volumen de reciclaje [11]. En México se consumen 125,000 toneladas de EPS al año, pero solo se recicla el 1%.

En la ciudad de León se ha desarrollado un plan de manejo para reciclar EPS, aunque para 2024 sólo existe una empresa recicladora que maneja este material, llamada Recuperadora de Plásticos LAS ÁGUILAS, ubicada en la Colonia Las Águilas.

La ciudad de León, por su ubicación geográfica y la industria de la región, proporciona las condiciones ideales para el desarrollo de biomateriales de micelio.

Por un lado, existe una gran cantidad de residuos agrícolas que sirven como sustrato para el crecimiento de hongos y por otro, las condiciones bioclimáticas de la región como la temperatura y la humedad son favorables para el crecimiento de hongos de especies vegetales endémicas.

Este entorno permite el uso de materias primas 100 % locales, combinando residuos agroindustriales con hongos, de manera que se pueda generar un proceso sostenible como alternativa para la industria de la construcción.

Aunque los biomateriales no pretenden sustituir al mercado masivo de la industria porque la ideología económica no está preparada, la investigación y el desarrollo de sistemas alternativos permite el avance en experimentación y ensayos con materiales que poco a poco se van incorporando en la construcción desde su necesidad por la sostenibilidad y el uso eficaz de los recursos naturales disponibles en la región.

La principal novedad de este estudio radica en varios factores clave. En primer lugar, se ratifica la posible utilización de compuestos de micelio

para la industria de la construcción con respaldo en la viabilidad del desarrollo del material en el Bajío Mexicano.

En segundo lugar, se trata de un proceso de experimentación que no incluye ningún tipo de acelerante o aditivo; de manera que, a diferencia de otras investigaciones en las que añaden sustitutos de azúcares para acelerar el crecimiento del micelio, en este estudio se optó por utilizar únicamente el hongo y el sustrato de desechos agroindustriales.

3. Material y métodos

La metodología consiste en 4 procedimientos: la colecta de material fúngico; el aislamiento y caracterización de las cepas fúngicas; la determinación de condiciones óptimas para la fabricación del material; y la fabricación de una bioespuma con micelio.

3.1 Colecta de material fúngico

Se colectaron hongos con características macroscópicas pertenecientes al género *Ganoderma* en cuatro puntos de la ciudad de León, Guanajuato, donde el desarrollo de los mismos es abundante y las características de humedad y temperatura fueron variables (Figura 1).

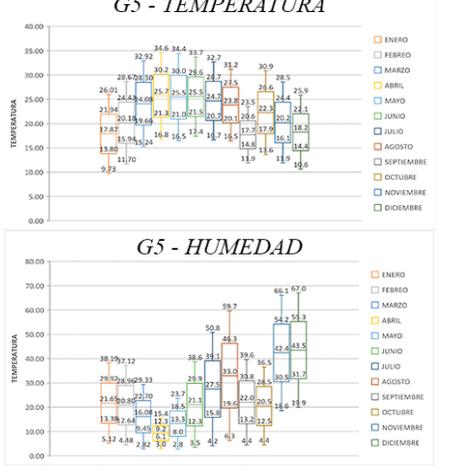
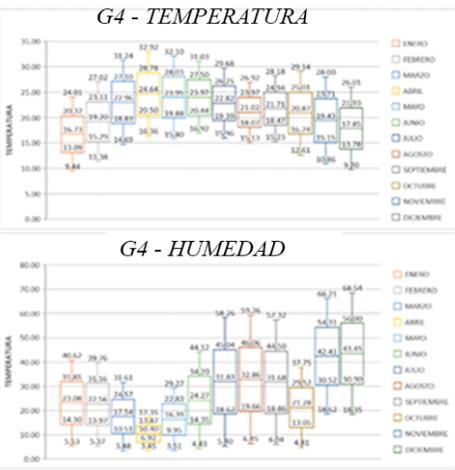
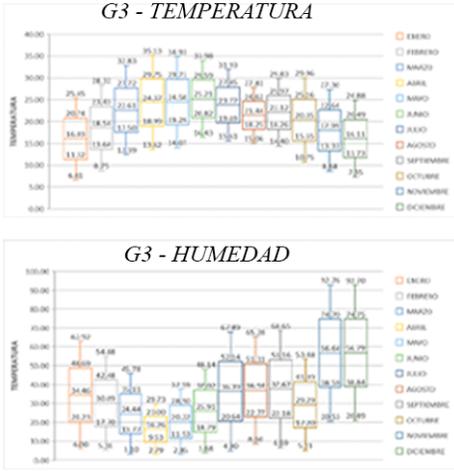
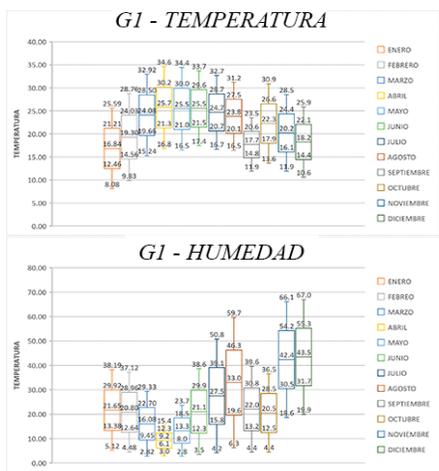
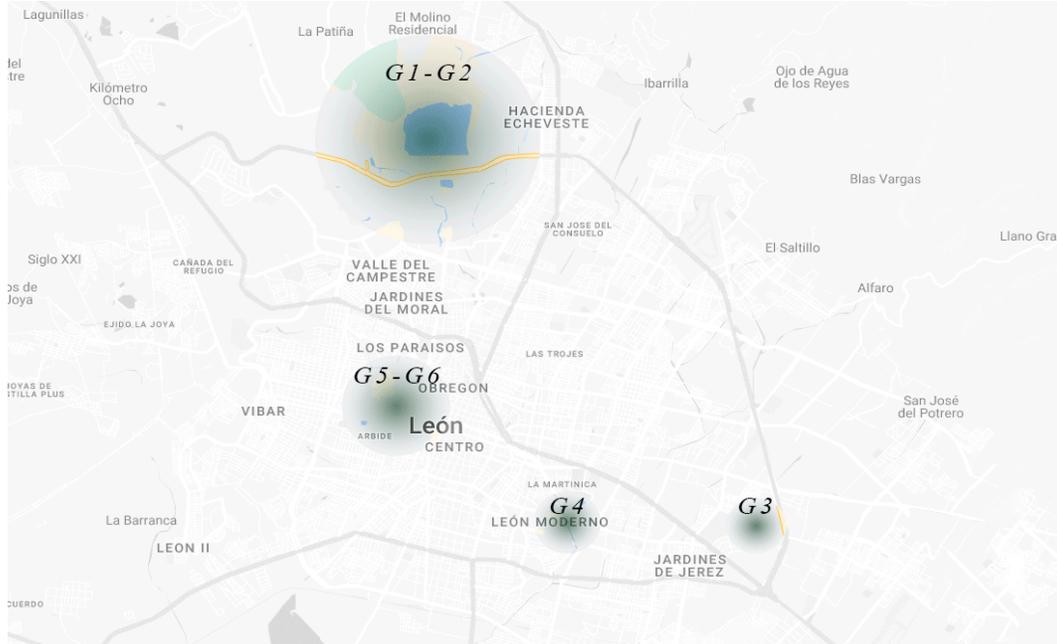


Figura 1. Colecta de material fúngico en León, México, 2022.

3.2 Aislamiento y caracterización de las cepas fúngicas

El material colectado se colocó en agar papa y dextrosa (PDA). Posteriormente fueron incubadas a 25°C durante 5 días y, posteriormente, se tomaron asadas de los cultivos con apariencia fúngica, las cuales se sembraron nuevamente en placas Petri con PDA y se incubaron a 25°C durante 5 días adicionales. Esta siembra se repitió hasta obtener los cultivos fúngicos axénicos, con el propósito de obtener

una identificación taxonómica aproximada basada en sus características morfológicas macroscópicas (Figura 2).

Todos los materiales que tuvieron contacto con los hongos, incluyendo los medios de cultivo, fueron esterilizados a 121 °C, 15 psi durante 15 minutos para eliminar cualquier contaminación en los cultivos fúngicos. Una vez purificados los micelios, se tomaron muestras para observar sus características microscópicas.

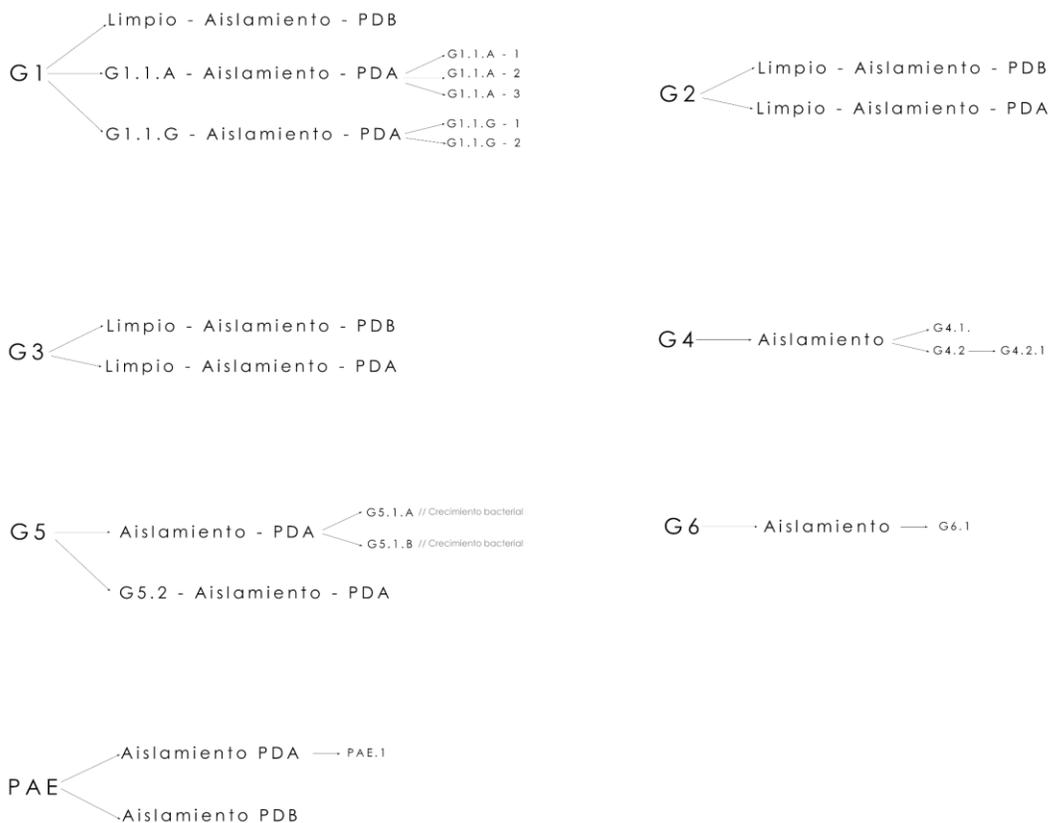


Figura 2. Diagrama de proceso de purificación.

3.3 Determinación de condiciones óptimas para la fabricación del material

La fabricación consistió en utilizar como sustrato base, residuos agroindustriales, los cuáles se inocularon con los cultivos fúngicos previamente

preparados. Se sometieron a distintas temperaturas, humedades y sustratos para determinar el mejor conjunto de condiciones con la finalidad de obtener la mayor producción de biomasa, y así obtener un biomaterial con propiedades de interés para la industria de la

construcción en León Guanajuato. Para ello se prepararon los inóculos de las dos cepas fúngicas que mostraron mejor desarrollo en frascos de vidrio con medio PDB, y se dejaron crecer durante 5 días a temperatura ambiente con agitación constante. Adicionalmente se prepararon bloques de paja mezclados con aserrín en proporciones paja: aserrín de 1:0, 2:1, y 0:1.

Estos bloques se sometieron a esterilización a una temperatura de 121°C a 15 psi durante 15 minutos para eliminar los microorganismos que pudieran contaminar el cultivo.

En condiciones asépticas, los bloques se inocularon con los micelios obtenidos en PDB. Se sellaron con plástico y se incubaron durante 20 días a temperatura ambiente. Al mismo tiempo se prepararon concentraciones de inóculo en sustrato de paja: cebada con proporciones de 50-50, 75-25 y 85-15 y paja de maíz granulada con un tamaño de 1-2 mm. Todas las pruebas se sometieron a condiciones de luz (12-12 h), oscuridad (24 h), humedad (20, 30 y 50%) y temperatura (22 y 28 °C).

3.4 Fabricación de biotabique

Una vez establecidas las condiciones para el desarrollo fúngico y el sustrato base donde se obtuvo el mayor porcentaje de biomasa, se continuó con la etapa de producción de prototipos, reduciendo las medidas de asepsia, y trabajando únicamente con mecheros de gas, abriendo ligeramente los frascos con muestras y humedeciéndolos de manera manual cada 2 días con agua, generando un intercambio gaseoso e induciendo nuevas condiciones de crecimiento en las cepas adultas.

Posteriormente, se incluyó el material en pruebas sobre molde, con capas compactadas de la paja con el inóculo de *Ganoderma*. Adicionalmente se evaluaron condiciones de secado de los biomateriales obtenidos a 76, 105 y 110 °C.

4. Resultados

4.1 Colecta de material fúngico

Para la proliferación de organismos fúngicos son necesarios tres factores, un sustrato, del cual el hongo pueda alimentarse, una temperatura media entre 25 y 30 °C, y una humedad relativa superior al 60 %. Dentro de la fase de colecta, en los puntos seleccionados se hicieron los registros de temperatura y humedad relativa, los cuales proveen variables físicas-naturales que afectan directamente el crecimiento de organismos fúngicos.

El primer punto (Figura 1), el Parque Metropolitano de León (G1-G2), mostró temperaturas máximas entre 28 y 34 °C y humedad relativa superior al 60%, además de una diversidad florística mayor, lo que implica que los organismos fúngicos puedan proliferar de formas simples, durante un periodo de tiempo amplio (alrededor de 5 meses).

En el segundo punto, Parque Panorama (G5-G6), ubicado en la colonia Panorama de León, se identificó hongo del género *Ganoderma*, en el mes de agosto, cuya temperatura máxima fluctuó entre los 27.5 y 31.2 °C y la humedad relativa llegó a 59.7%. Para la ubicación tres, en la colonia León moderno (G4), se registró mayor humedad en los meses de noviembre y diciembre, pero la temperatura se mostró relativamente baja, a pesar de esto, se recolectaron distintos hongos con características macroscópicas similares al género *Ganoderma*.

Para el último punto, en la zona sur de la ciudad de León (G3), zona conocida como planicie con poca diversidad florística, se detectaron temperaturas altas a lo largo del año, con humedad baja exceptuando los meses de mayo a julio y noviembre a diciembre, fechas en las cuales se pueden encontrar hongos con

características macroscópicas similares al género *Ganoderma*.

Fue evidente la variación tanto en temperatura como en humedad en los distintos puntos de la ciudad, respecto al parque metropolitano, sin embargo, no afectó el crecimiento y la recolección de colonias fúngicas con características macroscópicas similares, sólo en los meses más húmedos del año.

Esto se vuelve fundamental debido a que la reproducción de la colonia fúngica puede replicarse en condiciones ambientales normales, al menos durante 5 meses del año. Las especies *Ganoderma lobatum*, *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, fueron las principales especies de hongos que se identificaron en crecimiento en las especies de Encinos y/o Alamillo (*Populus tremuloides*), ambos catalogados en el documento, Plantas Silvestres en el Paisaje Urbano del Municipio de León, Gto. Publicación Técnica del Instituto Municipal de Planeación [12], y cuya relación de especie vegetal – especie fúngica, fue comprobada por [3].

4.2 Aislamiento, purificación y caracterización de las cepas fúngicas

En los primeros aislamientos, se detectó múltiple contaminación por distintos hongos no identificados, además de contaminación bacteriana. Para lo cual se pasó a una segunda fase de purificación del hongo, haciendo

purificación a partir de punta de hifas (Figura 2). Una vez purificados, se integraron discos de 5 mm de diámetro en caldo dextrosa y papa, y de las cajas con crecimiento purificado, se tomaron muestras para observar al microscopio, con la finalidad de corroborar las especies.

Para el caso de *Ganoderma lucidum* (Figura 3, G1), se identificaron desde el punto de colecta, micelio circular o reniforme con coloraciones que van desde el amarillo anaranjado, pardo rojizo y en la vejez casi negro, marcado por zonas concéntricas, con rugosidades radiales, En caja Petri se desarrolló un micelio blanco uniforme y abundante.

En la observación microscópica se pudieron identificar hifas hialinas finas e hifas amarillentas, tabicadas y ramificadas. Para *Ganoderma applanatum* (Figura 3, G2), se identificó desde el punto de colecta una masa grande con cutícula irregular con una costra dura ondulada con consistencia resinosa de color pardo gris.

En la observación microscópica se observaron hifas hialinas esqueléticas ramificadas con esporas ovoides truncadas. Para *Ganoderma lobatum* (Figura 3, G3), se identificó desde el punto de colecta micelio aplanado no leñoso color rojo grisáceo con márgenes irregulares. En la observación microscópica se observaron hifas hialinas no septadas de pared gruesa y orientadas aleatorias con exospora gruesa color marrón.



Figura 3. Caracterización de las cepas fúngicas en León, México, 2022.

4.3 Determinación de condiciones óptimas para la fabricación del material.

De todos los materiales colectados y purificados, se eligieron las dos cepas fúngicas que mostraron

mejor desarrollo con respecto al tiempo de crecimiento, estas fueron las denominadas G6.1.2.1 y G6.1.2.2 (Figura 4).

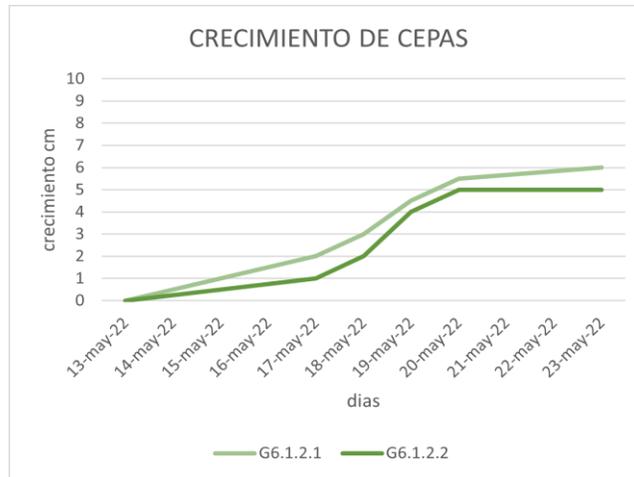


Figura 4. Crecimiento de cepas, México, 2022.

Las preparaciones de los bloques de paja estériles mezclados con aserrín y/o maíz a diferentes proporciones (1:0, 2:1, y 0:1) en condiciones de oscuridad (24 h) y humedad (20, 30 y 50 %) a temperatura de 22 °C, fueron colocados en moldes de madera con medidas 7 x 14 x 28 cm. Fabricado a mano con madera reciclada. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado, sin embargo, aunque hubo crecimiento micelial, los resultados no fueron los

esperados ya que las condiciones de oscuridad y falta de oxigenación provocaron contaminación bacteriana interna (mal olor) y fúngica externa con otro hongo no inoculado, siendo más evidente en las pruebas con 30 % de humedad (Figura 5). Aunque se obtuvieron bloques con crecimiento micelial visiblemente estable, no fue posible hacer pruebas con estos bloques, por lo que se modificó el proceso de inoculación y de condiciones.

Prueba No. 1- por triplicado.



Cepa: G2
 Inoculo: 20 ml de hongo
 Sustrato: Paja de maíz

Humedad		
Bloque 1: 50% humedad – 1352 ml	bloque 2: 30% humedad – 823.2 ml	Bloque 3: 20% humedad – 543 ml

T. incubación: 4 semanas
 Temp prom: 22 °C
 Humedad relativa: 40%

El bloque mostro un crecimiento micelial por la parte externa, presenta mal olor y contaminación visible, por otros hongos. Asu vez, el exceso de humedad provoco contaminación con bacterias, lo cual provoca el mal olor, siendo más evidente en el bloque 2, con un 30% de humedad.

Figura 5. Prueba de condiciones de crecimiento sobre sustrato de paja y aserrín, México, 2022.

En la segunda evaluación, se observó que el micelio producido por el hongo *Ganoderma* G2, mostró un crecimiento acelerado de micelio blanco y “esponjoso”, con una densidad considerable utilizando condiciones de luz natural, por lo que con este hongo se realizaron preinoculaciones en paja de maíz granulada (1-2 mm) previamente esterilizada con discos del hongo crecido en PDA en condiciones de luz (12-12 h), humedad (20%) y temperatura de 28 ° C, en donde se obtuvo un preinóculo abundante para pasarlo a molde, estableciendo de esta manera el

material para iniciar el prototipado de la biofoam (Figura 6). A tres semanas de haber comenzado con la experimentación directo el sustrato, el hongo muestra un crecimiento favorable, únicamente alimentándose del sustrato, el cual muestra una mejora en el método de producción, comparado con resultados de casos análogos, los cuales utilizan diferentes suplementos tales como adición de melaza y yeso para incentivar el crecimiento fúngico, generando un mayor costo en el proceso de producción [13].



Figura 6. Pre-inóculo con paja de maíz granulada.

4.3 Proceso de fabricación de biotabique

Una vez seleccionado el hongo, se iniciaron las pruebas sobre el sustrato sobre molde, con capas compactadas de la paja con el inóculo de

Ganoderma. Tras 4 meses de crecimiento, obtuvimos el primer biofoam (prototipo 1) en el cual observamos 5 superficies lisas y una superficie rugosa debido al crecimiento aéreo del hongo, el cual no fue contenido (Figura 7).



Figura 7. Prototipo de biotabique 1.

Para el segundo biofoam (prototipo 2) se aumentó el sustrato y se colocó una tapa para comprimir la cara superior del bloque y obtener una textura homogénea en todas las caras (Figura 8). Es necesario recalcar que, a diferencia de los principales productores de biomateriales

actuales, estos prototipos se realizaron únicamente de un sustrato de paja y micelio, sin ningún tipo de suplementos o formulaciones con más de un sustrato, lo cual nos reduce considerablemente los costos de producción.



Figura 8. Prototipo de biotabique 2.

De acuerdo con [14], la temperatura y la humedad son factores importantes que pueden afectar el crecimiento del micelio. Estos autores mencionan que la mejor temperatura para el crecimiento del micelio es la temperatura ambiente la cual oscila en temperaturas de 24–

25°C. Una vez obtenidos los prototipos estos se procesaron a secado a tres temperaturas 76, 105 y 110 °C. Tras el proceso del primer secado a 76°C obtuvimos una contaminación a los 3 días de haber terminado, por lo que se sugiere que esta temperatura no es la óptima. El proceso óptimo

de secado fue el de 110 ° C durante 24 h (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de condiciones de secado

PROTOTIPO 1			
SECADO 1:	76°C	SECADO 2:	105°C
TIEMPO:	3 Hrs.	TIEMPO:	24 Hrs.
		SECADO 1	SECADO 2
LARGO:		8.5 cm	8.5 cm
ALTO:		2.0 cm	2.0 cm
ANCHO:		6.0 cm	6.0 cm
DENSIDAD:		0.30 g/cm ³	0.16 g/cm ³
MASA:		31.00 g	17.12 g
CONTAMINACION:		SI	NO

PROTOTIPO 2			
SECADO 1:	110°C	SECADO 2:	
TIEMPO:	25 Hrs	TIEMPO:	
		SECADO 1	SECADO 2
LARGO:		8.7 cm	
ALTO:		3.6 cm	
ANCHO:		6.4 cm	
DENSIDAD:		0.30 g/cm ³	
MASA:		38.46 g	
CONTAMINACION:		NO	

Según los reportes de [15], el micelio, después de su crecimiento contiene aproximadamente 60% de agua, por lo que debe eliminarse para inactivar su crecimiento y proporcionar un rendimiento mecánico alto y confiable. Generalmente se considera que la humedad final antes de la desactivación del micelio varía desde el 59% hasta el 70% [6]. Por lo tanto, el contenido de agua de los biocompuestos finales a base de micelio es la principal consideración para la mecánica de las muestras.

En cuanto a las propiedades físico-mecánicas para el desarrollo de nuevos biomateriales, pueden enfocarse en las tres principales: la resistencia a la flexo-compresión, para asegurar el soporte de cargas y tensiones; el aislamiento térmico y acústico, cruciales para la eficiencia energética y el confort acústico; así como la ductilidad, que consiste en la capacidad que tiene el material para deformarse sin romperse.

Estudios recientes han demostrado que los biocompuestos de micelio pueden alcanzar una resistencia a la compresión de hasta 11.86 MPa y una resistencia a la flexión significativa [16]. Esto los hace comparables a algunos materiales convencionales como el concreto ligero y los ladrillos de tierra comprimida. Para determinar la susceptibilidad a la humedad se necesitaría más tiempo de observación y estudio. Sin embargo, hasta el momento, el material ha estado en

condiciones de intemperie y el incremento en la humedad se ha mantenido al mínimo. Es importante recordar que un tabique convencional rojo recocido también es susceptible a la humedad y se le aplican procesos adicionales para minimizar este efecto. Los compuestos de micelio tienen tendencia a absorber grandes cantidades de agua rápidamente, pues su carácter higroscópico hace que pueda aumentar su peso entre un 40 y 580 %, cuando está en contacto con el agua de 48 a 192 h. Aunque la absorción de agua puede parecer un problema importante, algunas aplicaciones para compuestos de micelio, como el aislamiento acústico o térmico, son para ubicaciones internas o secas que no están expuestas a la intemperie, lo que mitiga este problema. Por otro lado, los compuestos de micelio prensados en caliente o en frío también experimentan menos de la mitad de la absorción de agua que los compuestos secados al aire, de manera que la utilización de prensas puede solucionar las problemáticas si se requiere utilizarlo en exteriores.

En cuanto a los riesgos que pudiera presentar para la salud la utilización de un material fúngico en espacios habitacionales, la variedad que se utiliza en esta investigación no solamente es un hongo local y presente en la vida diaria de la ciudad, sino que posee propiedades relacionadas con la salud (Figura 9).

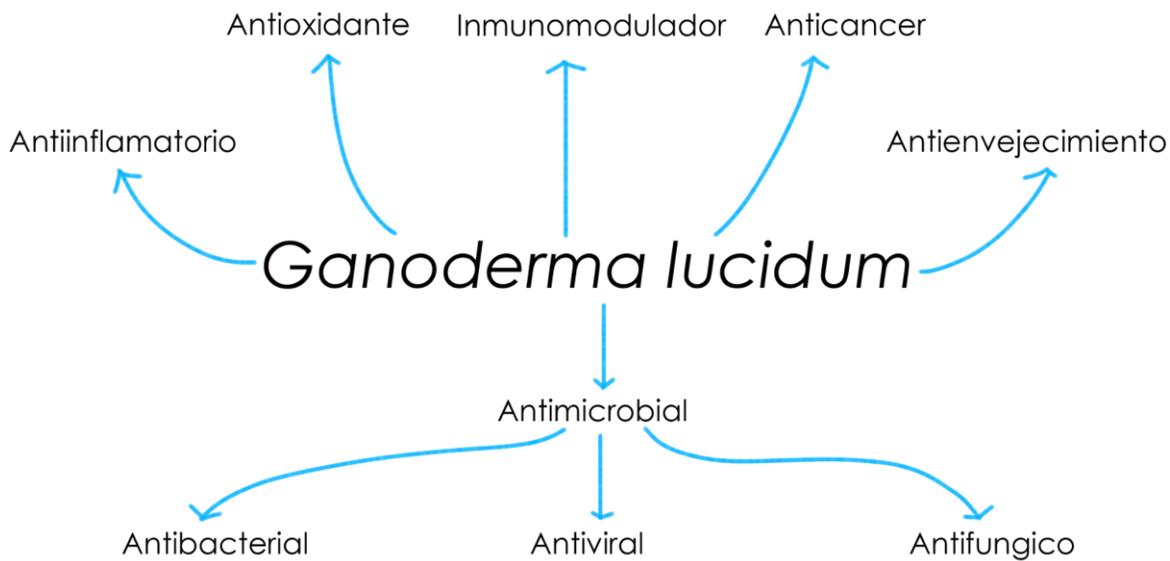


Figura 9. *Ganoderma lucidum* como agente promotor de la salud. Fuente: [17-18]

Los 4 meses de producción observados en el estudio fueron consecuencia de las variaciones climáticas en los sitios de prueba. Sin embargo, en ambientes controlados estos tiempos pueden reducirse significativamente hasta alcanzar la rapidez aproximada de 3 semanas. La viabilidad económica de este proceso va más allá del tiempo de producción y se relaciona con la diversidad de cepas que pueden coexistir y multiplicarse en términos de las alternativas para la producción de biomateriales con base en el micelio (Figura 10).

Al considerar el proceso constructivo de manera integral, el uso de materiales de micelio, ya sea para tabique, cimbra ahogada o recubrimiento, el material aligera la superestructura y contribuye para una cimentación más eficiente y, por tanto, más económica. Además, la recuperación de los desechos agroindustriales y hongos locales reduce costos y asegura la viabilidad económica para el empleo del material de manera progresiva en el mercado.

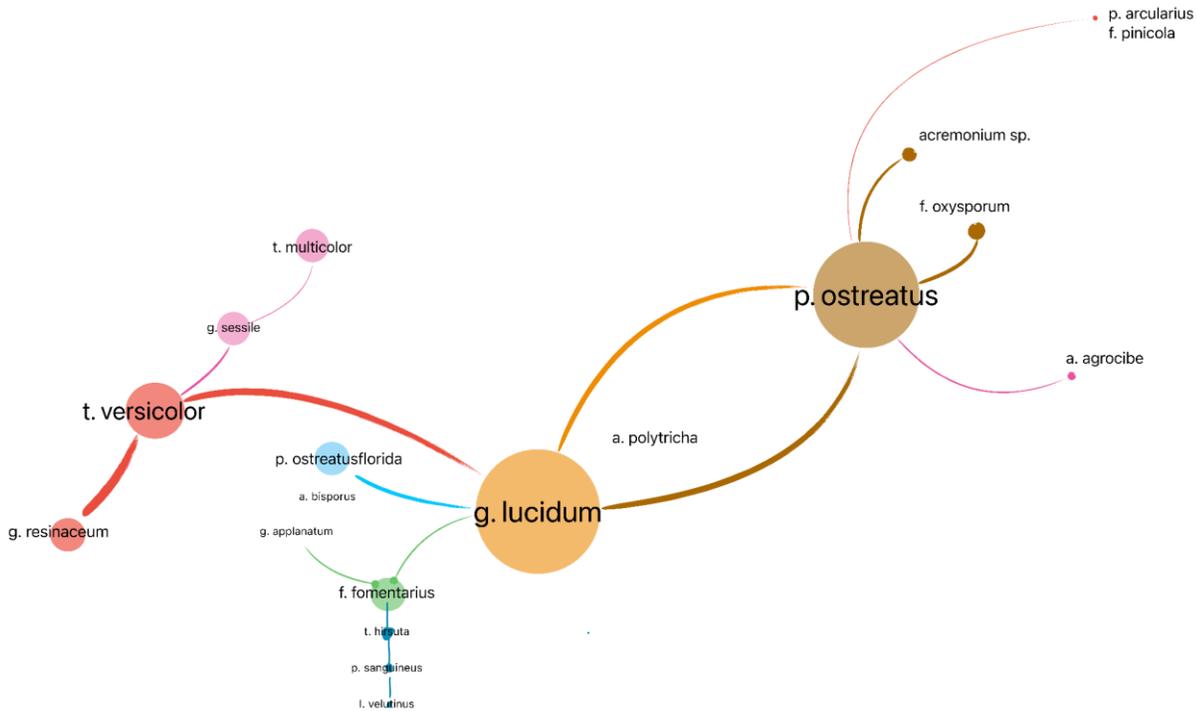


Figura 10. *Ganoderma lucidum* y cepas relacionadas. Fuente: [19]

En cuanto a la utilización de este material como recubrimiento o panel aislante/acústico, dadas las características inherentes del prototipo que se realizó en este estudio, su ductilidad y densidad aparente facilitan su utilización como panel. Los estudios enfocados en las características físico-mecánicas han indicado que el micelio dota de buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico; además, debido a su ligereza y propiedades estructurales, estos paneles pueden contribuir a una construcción más eficiente y sostenible. La capacidad del micelio para crecer y formar una estructura cohesiva con materiales de desecho agroindustrial también añade un valor ecológico significativo, promoviendo la economía circular y reduciendo el impacto ambiental.

5. Conclusiones

La investigación inicial de hongos endémicos del Bajío Mexicano para la exploración de

materiales con micelio muestra su viabilidad en términos de aislamiento y reproducción del hongo, además de su adherencia a los residuos agroindustriales más comunes de León, México. El enfoque principal de esta investigación ha sido el desarrollo y la optimización de los biomateriales desde el ámbito biológico y ecológico, estableciendo una base sólida para futuras investigaciones sobre el funcionamiento técnico de los materiales en la industria de la construcción.

Durante el desarrollo de la investigación se realizó un ajuste crucial: la incorporación de la luz solar como un factor determinante en el crecimiento del micelio, lo que representa un avance importante en la producción de biomateriales basados en micelio. Se hicieron pruebas para discriminar entre las especies y se seleccionó la cepa más productiva para la región del bajío mexicano: *Ganoderma Lucidum*. Se realizaron pruebas de inoculación en estado

sólido y líquido, con resultado más positivo en este último.

Los resultados obtenidos proporcionaron información valiosa sobre el proceso de crecimiento del micelio en las condiciones naturales de la ciudad de León. Debido al enfoque biológico y ecológico, esta investigación se centró en la viabilidad de crecimiento y desarrollo del biomaterial a base de micelio. En esta primera fase experimental no se realizan pruebas mecánicas con los prototipos obtenidos, porque estas pruebas, aunque esenciales para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, son destructivas y requieren de un número considerable de piezas del prototipo. Las limitaciones identificadas se convierten en una orientación para futuros prototipos y estudios en el área de biomateriales basados en micelio.

Dadas las limitaciones inherentes en la producción de biomateriales, que pueden variar en tiempo y calidad debido a diversos factores, es necesario hacer las pruebas destructivas con futuros prototipados. La producción de biomaterial a base de micelio, se propone, en general, como una alternativa a los procesos más usados en la actualidad, por lo que se deberán comparar, tanto en su funcionalidad, como en la producción, del material en cuestión, incluyendo, en la evaluación, el uso de materia prima y el flujo de trabajo para la elaboración del mismo, esto con el fin de tener un panorama basados en micelio, detallando la complejidad o facilidad de producción, el gasto de recursos, económico, físicos y energéticos para su fabricación y su impacto en la huella de carbono.

En cuanto al escalamiento de este prototipo para su aplicación a gran escala, es necesario determinar la producción de hongo necesaria para una producción de bloques de micelio a escala industrial, lo que requeriría un análisis más minucioso del prototipo y del mercado, que incluya la evaluación de la capacidad de crecimiento del micelio bajo diferentes

condiciones y sustratos, el cálculo de la biomasa requerida para producir una cantidad específica de bloques y el análisis de costos y modelos económicos necesarios para escalar el proceso desde un entorno de laboratorio a una producción industrial.

6. Reconocimiento de autoría

Marco Antonio Vargas Romero: Conceptualización; Metodología; Investigación; Recursos; Análisis de datos; Borrador original. Liliana Carolina Córdova Albores: Metodología; Investigación; Análisis de datos; Escritura. Carlos Ríos-Llamas: Conceptualización; Análisis de datos; Gestión del proyecto.

Referencias

- [1] CONABIO, "La biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado," Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE), México, 2012.
- [2] D. Alvarado-Rosales, L. L. Saavedra-Romero, and A. Almaraz-Sánchez, "Agentes Asociados y su Papel en la Declinación y Muerte de Encinos (*Quercus fagaceae*) en el Centro-Oeste de México" pp. 1-21, 2007.
- [3] R. L. Gilbertson, K. J. Martin, and J. P. Lindsey, "Annotated Check List and Host Index for Arizona Wood-Rotting Fungi," CALS Publications Archive. The University of Arizona, 1974.
<https://repository.arizona.edu/handle/10150/602154>.
- [4] SDAyR, "Diagnóstico Agrologístico del Estado de Guanajuato," 2021.
https://sdayr.guanajuato.gob.mx/contenido/adjuntos/evaluaciones/2020/DIAGNOSTICO_AGR_OLOGISTICO_DEL_ESTADO_DE_GUANAJUATO.pdf.
- [5] M. Ahmad, Z. Y. Zhou, and H. Li, "Revealing stylized empirical interactions among

construction sector urbanization energy consumption economic growth and CO₂ emission in China," *Science of The Total Environment*, vol. 657, pp. 1085-1098, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.112>.

[6] L. Yang, D. Park, and Z. Qin, "Material function of mycelium-based bio-composite: A review," *Frontiers in Materials*, vol. 8, p. 737377, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>.

[7] P. Arena y C. De Rosa, "Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina," *Building and Environment*, vol. 38, no. 2, pp. 359–368, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00056-2).

[8] F. N. Bahena-Martínez, A. Y. Corral-Avitia, A. L. Juárez-López, J. L. Rosas-Acevedo, M. Reyes-Umaña, and R. Bedolla-Solano, "Estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de Coyuca de Benítez Guerrero," *Ciencia en la Frontera*, vol. 16, pp. 7-19, 2019.

[9] M. M. González Muñoz, E. Kato Miranda, N. L. Ortega Gutiérrez, and A. H. Serafín Muñoz, "Evaluación del potencial de la biomasa residual como fuentes de energía en los hornos ladrilleros en el municipio de León, Guanajuato," *Jóvenes En La Ciencia*, 2020. <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3230>.

[10] INECC, "Análisis de Mercado del Sector de la Construcción y Proyecto Piloto a Nivel Región Basado en un Portafolio de Políticas Públicas con el Objetivo de Reducir los CCVC de Ladrilleras Artesanales en México," Informe final, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México, 2018.

[11] P. N. S. Schmidt, M. O. H. Cioffi, H. J. C. Voorwald, and J. L. Silveira, "Flexural test on recycled polystyrene," *Procedia Engineering*, vol. 10, pp. 930–935, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.153>.

[12] T. del R. Terrones Rincón, V. E. P. Pizzini Flores, C. González Sánchez, and M. Tovar

Hurtado, "Plantas silvestres en el paisaje urbano," 2014.

[13] M. J. Montesdeoca-González, "Determinación de las Condiciones Óptimas de Tiempo de Maduración y Humedad," Licenciatura thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2023.

[14] H. T. Hoa and C. L. Wang, "The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*)," *Mycobiology*, vol. 43, pp. 14–23, 2015. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.1.14>.

[15] E. Elsacker, S. Vandelook, J. Brancart, E. Peeters, and L. De Laet, "Mechanical, Physical and Chemical Characterisation of Mycelium-Based Composites with Different Types of Lignocellulosic Substrates," *PLoS One*, vol. 14, p. e0213954, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>.

[16] T. Houette, C. Maurer, R. Niewiarowski, and P. Gruber, "Growth and Mechanical Characterization of Mycelium-Based Composites," *Biomimetics*, vol. 7, no. 3, p. 103, 2022. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030103>.

[17] D. Cör Andrejč, Ž. Knez, and M. K. Marevci, "Antioxidant antibacterial antitumor antifungal antiviral anti-inflammatory and neuroprotective activity of *Ganoderma lucidum*: An overview," *Frontiers in Pharmacology*, vol. 13, p. 934982, 2022. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.934982>.

[18] M. F. A. Ahmad, A. Alsayegh, F. A. Ahmad, M. S. Akhtar, S. S. Alavudeen, F. Bantun, S. Wahab, A. Ahmed, M. Ali, E. Y. Elbendary, A. Raposo, N. H. Kambal, and M. Abdelrahman, "*Ganoderma lucidum*: Insight into antimicrobial and antioxidant properties with development of secondary metabolites," *Heliyon*, vol. 10, no. 3, p. e25607, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25607>.

[19] M. Sydor, G. Cofta, B. Doczekalska, y A. Bonenberg, "Fungi in Mycelium-Based Composites: Usage and Recommendations,"

Materials, vol. 15, no. 18, p. 6283, 2022.
<https://doi.org/10.3390/ma15186283>.

Derechos de Autor (c) 2024 Marco Antonio Vargas Romero, Liliana Carolina Córdova Albores, Carlos Ríos-Llamas



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)