


Artesón aligerante para losa: constituido de micelio Lightening coffered for slab: made of mycelium

O. Pérez-Jiménez ^{a,*}

^a *Campo de Conocimiento de Tecnologías, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México.*

Resumen

La reciente convergencia de herramientas biotecnológicas, ha estimulado la aparición de nuevas prácticas de diseño que utilizan mecanismos naturales para programar la materia bajo un enfoque biomimético, para la utilización de materiales naturales en la construcción: con la finalidad de mejorar el rendimiento energético de los edificios, dado que la dependencia de materiales (como espumas plásticas a base de combustibles fósiles, vidrio mineral y lanas de roca etc.), pueden generar problemas potenciales como el agotamiento de los materiales y recursos finitos.

Ante esto, una solución sostenible sugerida es el uso de materiales biodegradables de base biológica. De manera que se examina un nuevo tipo de material para ser empleado como elemento aligerante en la construcción: el micelio. Como resultado se requerirá que el material de base biológica tenga propiedades similares con las alternativas existentes, como el poliestireno expandido, en términos de características físicas y mecánicas, pero con un mayor nivel de biodegradabilidad.

Palabras Clave: Biocompuesto, Micelio, Cartón, *Pleurotus Ostreatus*, Poliestireno expandido (EPS).

Abstract

The recent convergence of biotechnological tools has stimulated the emergence of new design practices that use natural mechanisms to program matter under a biomimetic approach to the use of natural materials in construction: with the aim of improving the energy performance of buildings, since the dependence on materials (such as fossil fuel-based plastic foams, mineral glass and rock wool etc.), can generate potential problems such as the depletion of finite materials and resources.

In view of this, a suggested sustainable solution is the use of biodegradable bio-based materials. So, a new type of material is examined to be used as a lightening element in construction: mycelium. As a result, the bio-based material will be required to have similar properties to existing alternatives, such as expanded polystyrene, in terms of physical and mechanical characteristics, but with a higher level of biodegradability.

Keywords: Biocomposite, Mycelium, Cardboard, *Pleurotus Ostreatus*, Expanded Polystyrene (EPS).

Introducción

Uno de los principales problemas en la actualidad, es la contaminación del medio ambiente, que como consecuencia afecta tanto la calidad de vida del ser humano, como de todos los seres vivos del planeta, se encuentra estrechamente vinculado con ello un proceso lineal de consumo como el que se refleja en la producción de residuos sólidos urbanos.

Tal proceso deriva de extraer recursos a partir de los que se elaboran productos que, al finalizar su vida útil, se desechan y

eliminan, sin considerar su tiempo de degradación, además, por mucho tiempo no existió, una cultura del reciclaje o siquiera de información que permitiera para dar un uso alternativo a los desechos.

La capacidad de lidiar con residuos plásticos ya ha sido colmada. Sólo el 9% de los residuos plásticos que se han producido hasta ahora en el mundo han sido recicladas. (United Nations Environment Programme 2018).

Esta investigación busca proponer los objetivos del biomimetismo con la imitación de los modelos, sistemas,

*Autor para la correspondencia: 5oscar37@gmail.com
Correo electrónico: 5oscar37@gmail.com (Oscar Pérez-Jiménez)

procesos y elementos existentes en la naturaleza para resolver problemas humanos eficientemente, siguiendo un proceso circular de la cuna a la cuna, en la cual el concepto desperdicio no exista, así mismo sentar las bases para aportar el uso de los materiales naturales en la construcción y seguir un proceso circular con el uso del micelio: para fabricar un biocompuesto como elemento aligerante en losa.

Los materiales renovables a base de micelio tienen el potencial de contribuir a la nueva economía al reemplazar los productos a base de petróleo como los plásticos. Estos bioproductos podrían utilizarse, por ejemplo, como aislamiento térmico y acústico y embalaje. (V.W. Appels *et al.*, s. f.).

1.1. Economía lineal

El proceso lineal de consumo y producción en la cual se está inmerso, trae como consecuencia la expulsión de millones de materiales tóxicos al medio ambiente cada año.

El plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos y advierten que, para 2040, los volúmenes de este material que fluirán hacia el mar casi se triplicarán, con una cantidad anual de entre 23 y 37 millones de toneladas. Esto significa alrededor de 50 kg de plástico por metro de costa en todo el mundo. («Informe de La ONU Sobre Contaminación Por Plásticos Advierte Sobre Falsas Soluciones y Confirma La Necesidad de Una Acción Mundial Urgente» 2021).

Sus notas características, por tanto, son: extraer, fabricar, consumir y tirar. Este modelo de economía supone llevar al límite la capacidad del planeta para mantener el suministro de materias primas y para absorber los residuos y contaminantes. (García Carretero 2019).

La infraestructura industrial está diseñada para la generación de crecimiento económico. Esto se consigue, pero a expensas de otras necesidades vitales, como la salud humana, el ecosistema, la riqueza natural y cultural, e incluso la diversión y el disfrute. La mayoría de los métodos y materiales industriales son involuntariamente empobrecedores. (McDonough y Braungart 2005).

Por consiguiente, el actual modelo económico es incapaz de responder a las necesidades de la población mundial porque simplemente no aplica su propia teoría. (Pauli 1999).

1.2. Economía circular

Por otra parte, la Ellen MacArthur Foundation y Material Economics define a la economía circular como un enfoque del desarrollo económico para el beneficio de los negocios, la sociedad y el medioambiente en conjunto. En busca de desacoplar la dependencia del crecimiento económico a base del consumo de recursos finitos.

La transición hacia fuentes de energía renovable y el uso de materiales renovables, resalta la importancia de que la economía funcione de manera efectiva a todas las escalas, siendo clave la participación y colaboración entre pequeñas y grandes empresas, de comunidades locales, ciudades y países, así como de las personas que las integran. («New to circular economy overview» s. f.).

En la economía circular se busca comprender el ciclo de vida de los productos, desde su producción, utilización y terminando por su reutilización, reciclaje o bien su reintegración a la naturaleza con la finalidad de imitar a la

naturaleza con un ciclo cerrado en la cual el concepto desperdicio no existe.

1.3. Poliestireno expandido

La industria de la construcción representa hoy en día, uno de los mayores consumidores de energía y materias primas, y representa aproximadamente el 32% del consumo energético mundial, el 25% de las emisiones de CO₂, el 12% del uso de agua, el 40% de los residuos generados (en masa), y el 40% de los materiales utilizados. (Heisel y Hebel 2019).

Actualmente se utiliza el poliestireno expandido como elemento aligerante en la construcción, pero sus propiedades y características no son amigables con el medio ambiente, menos en términos de salud (toxicidad), aunado, durante el proceso de colocación (en obra) desprende muchos residuos (perlas), los cuales resultan difícil de retirar y recolectar, dado por su ligereza son transportados fácilmente por el aire, como consecuencia, terminan por expandir o contaminar el área (incalculable) alrededor de la construcción.

Los efectos producidos por el BPA (Bisfenol A: químico utilizado para fabricar todo tipo de plásticos) se relacionan con cáncer, alteraciones en el desarrollo y a nivel neuronal, daño en el material genético por la producción de especies reactivas de oxígeno, enfermedades metabólicas y cardiovasculares, así como con alteraciones en el sistema reproductor, relacionadas la mayoría, con la afectación de la fertilidad. (García A. y C., Font G. s. f.).

La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno (bolsas plásticas) pueden tardar hasta 500 años en descomponerse. (Valero-Valdivieso, Ortegón, y Uscategui 2013).

1.4. El micelio

El reino fungi pasa desapercibido sobre todo la red de micelio que se expande bajo la tierra, pero están presentes por todas partes, los hongos son los grandes recicladores de la naturaleza, a través de una red de millones y millones de hifas. El micelio es una red ramificada hidrofóbica desarrollada por el hongo para colonizar el sustrato, degradarlo y digerir sus nutrientes. (Soh et al. 2020).

El micelio tiene una estructura en forma de árbol a niveles microscópicos. Son filamentos blancos extremadamente delgados, que se desarrollan en todas direcciones, formando una red compleja que crece muy rápidamente. Cuando el hongo se implanta en un lugar adecuado, el micelio se comporta como un pegamento, cementando el sustrato y transformándolo en un bloque sólido.

El conjunto de hifas que produce un hongo se conoce como micelio. (Cepero, Restrepo, y Franco 2012).

1.5. Elementos de construcción ligados al micelio (proyectos de diseño experimental)

Dentro de la investigación documental que se ha llevado hasta el momento, se presentan a continuación los ejemplos más relevantes, donde se ha utilizado el micelio en materiales de construcción.

Philip Ross es pionero en experimentar con el micelio, para generar bloques de tabique en el cual se descubrió la buena

capacidad de aislamiento térmico y sonoro, rigidez y absorción de impacto que posee este material.

Una empresa ubicada en Nueva York llamada Ecovative Design, comercializa este material empezando en el 2006, dentro de los materiales que fabrican se encuentra la carne de origen vegetal, envases biodegradables y paneles rígidos para el aislamiento acústico en edificios, todos los materiales están hechos de residuos agrícolas y micelio.

El estudio The Living en Nueva York trabajó en cooperación con Ecovative Design en el Proyecto Hy-Fi, un pabellón que fue construido en el patio del MoMA, desarrollaron ladrillos de micelio, que crecieron en menos de una semana en moldes prismáticos a partir de residuos de tallos de maíz picados. Al sumarse, los ladrillos se pueden estructurar en una torre de unos 12 metros de altura. Al final de la exposición de dos meses, se desmontó la torre y los ladrillos fueron llevados a compostadores, siguiendo su curso orgánico.

También se encuentra el diseñador industrial de Dinamarca Jonas Edvard Nielsen quien utiliza desechos para el desarrollo del micelio, material con el que desarrolla una pantalla de lámpara y un textil, el producto de desecho con "forma de lámpara" se puede secar y utilizar como un material ligero, orgánico, compostable y sostenible.

Carlo Ratti Associati, en colaboración con la empresa energética Eni, desarrolló una estructura arquitectónica de hongos, presentada en la Semana del Diseño de Milán. El "Jardín Circular" la cual es una estructura compuesta por una serie de arcos que se suman a un micelio de 1 km de longitud.

De manera similar Shell Mycelium Pavillion, es una empresa que nace como una crítica a los eventos temporales que dejan construcciones abandonadas: esta empresa trabaja un pabellón formado por una estructura de madera con la que se fusiona el micelio y de la que se alimenta, y crecerá hasta morir una vez que haya cumplido su propósito, ofrece una alternativa al diseño consciente a través de estructuras temporales, pero sobre todo se observa que el micelio tiene buen potencial para ser utilizado en la construcción.

(Román-Ramos, Luna-Molina, y Bailón-Pérez 2014) presentan en su artículo el desarrollo de un material constituido de micelio sobre sustrato a base de paja de trigo, el cual se piensa utilizar como encofrado para la construcción, el material obtenido se sometió a pruebas de resistencia a compresión.

El material obtenido de la inoculación del hongo *Pleurotus Ostreatus*, de la familia 1 y 2, podría sustituir al EPS en las diversas aplicaciones estudiadas en cuanto a la resistencia mecánica y al comportamiento ante el fuego se refiere. Las familias 3 y 4 cumplen los requisitos mecánicos para ser utilizadas como encofrado perdido, pero no ocurre igual para el resto de aplicaciones estudiadas, aunque quizás haya podido deberse a que el tiempo que ha tenido el micelio para crecer ha sido insuficiente. (Román-Ramos, Luna-Molina, y Bailón-Pérez 2014).

El artículo de Petra Gruber y Barbara Imhof analizan el enfoque del diseño biomimético en arquitectura aplicado al tema del crecimiento en biología. El proyecto se trabajó con el micelio de *Reishi* y *Oyster*, en materiales reciclados triturados de paja, madera y papel, uno de los principales temas que se abordó en el artículo fue sobre el tipo de molde y cómo afecta para el crecimiento.

Los primeros prototipos a partir de plantillas duras fueron problemáticos por una variedad de razones: la cubierta dura no

permitía suficiente intercambio de gases, por lo que se pudrió en muchos experimentos. Las plantillas elaboradas con espuma de poliestireno también resultaron ser demasiado herméticas y tal vez demasiado bien aisladas térmicamente, por lo que el material comenzó a pudrirse. Otro desafío es la contracción del material de micelio en el proceso de secado, que es considerable y evita el uso de formas complejas. Los experimentos con tipos de plantillas más abiertos tuvieron más éxito. (Gruber y Imhof 2017).

Rodríguez en su investigación, se centró en la exploración y experimentación de un nuevo material biobasado, compuesto a partir de la utilización del micelio y subproductos de la industria agrícola, pero sin destinar una aplicación directa del producto final. La etapa de experimentación permitió entender cómo se comporta el material en condiciones ambientales diferentes.

En un ambiente controlado (temperatura, humedad), el material no se degrada, pero sí presenta algunos cambios en la inspección visual (color, textura, porosidad) que no afectan su comportamiento físico mecánico. En un ambiente no controlado (temperatura, humedad, radiación, luz, entre otros) el material presenta cambios en su comportamiento físico mecánico ya que este comienza a degradarse y descomponerse. (Rodríguez 2018).

El artículo de Yangang Xing explorar la capacidad y conducción térmica del micelio y dentro de las conclusiones respecto al cultivo menciona lo siguiente: a partir de este estudio, se puede ver que diferentes especies tienen patrones de crecimiento dramáticamente diferentes dentro del sustrato y la unión. Por lo tanto, es importante seleccionar especies de hongos apropiadas para formar materiales aislantes para edificios. Al elegir hongos adecuados, se deben considerar varios factores: es deseable un crecimiento micelial rápido para unir el sustrato, pero las tasas rápidas de descomposición del sustrato son menos deseables (debilitando potencialmente los bloques). También es deseable un crecimiento uniforme en los bordes y en el medio de los bloques de sustrato. (Xing *et al.* 2018).

Felix Heisel y Dirk E. Hebel, exploran el micelio como elemento estructural. El objetivo de activar estructuralmente el material dio como resultado la reinención de la receta de crecimiento, la ampliación de dicho proceso del laboratorio a una escala semiindustrial y el desarrollo de todas las herramientas necesarias, así como la ingeniería de un concepto estructural que reacciona a las especificaciones del material del micelio. (Heisel y Hebel 2019).

(Soh *et al.* 2020) habla sobre el desarrollo de una pasta extruible para construir compuestos ligados a micelio, en este estudio se combinaron materiales de desecho agrícola, microfibras de bambú, quitosano y micelio de *Ganoderma Lucidum*. La composición, probada bajo compresión después de 20 días de crecimiento de micelio, produjo un módulo de compresión de 40 kPa, en comparación con 240 kPa sin quitosano. (Soh *et al.* 2020).

En el artículo de Adamatzky aborda el diseño y fabricación biológica de un edificio totalmente de micelio. Las ideas propuestas en este artículo conllevan al menos tres riesgos importantes. En primer lugar, hay muy pocos ejemplos de estructuras monolíticas cultivadas con hongos vivos en la literatura, y los riesgos de colapso, contaminación, crecimiento inhibido, incapacidad de controlar la forma, todos ellos siguen sin investigarse, especialmente en el contexto de estructuras de

mayor escala de longitud que las que se han demostrado hasta ahora. En segundo lugar, podemos tener un problema de limitación de la capacidad de unión a la superficie exterior o de toxicidad de los polímeros y/o las nanopartículas metálicas. En tercer lugar, la conservación del monolito cultivado a gran escala podría ser difícil debido a las condiciones ambientales. (Adamatzky *et al.* 2019).

Continuando con la exploración documental Elsacker examina la posibilidad de cultivar grandes bloques compuestos de micelio, producción robótica, usar materiales de micelio como un encofrado multifuncional y por último implementar la autocuración de organismos fúngicos. El cual, para los fines de esta investigación, son elementales los resultados de las pruebas mecánicas que se realizaron.

Se llevaron a cabo pruebas de compresión con probetas cilíndricas (h:38 mm, d:100 mm) cultivadas durante 10, 20, 30 y 40 días, para comprender si el período de crecimiento prolongado afectaba las propiedades del material final después del secado. Los datos de los cuatro períodos de crecimiento varían significativamente (ANOVA unidireccional ordinario $p < 0,05$) y muestran una disminución de la fuerza del 25,3 % para los especímenes cultivados durante 40 días, en comparación con los especímenes cultivados durante 10 días. La disminución es menos pronunciada para los especímenes cultivados durante 20 días (3,4 %) y 30 días (6 %). (Elsacker *et al.* 2021).

La gama de técnicas de fabricación actuales para materiales de micelio es limitada y existen lagunas en el conocimiento sobre métodos de fabricaciones adicionales. La aplicación de métodos de modificación de procesamiento bioquímicos podría facilitar, expandir y mejorar significativamente las propiedades de los materiales actuales. Dichos estudios también pueden contribuir a la escalabilidad, mejorando así la viabilidad material y el potencial comercial. (Attias *et al.* 2020).

2. Metodología y plan de trabajo

2.1. Selección de micelio

Previo a la selección de hongos se determinaron todas las subdivisiones del reino fungí, las características del micelio, fisiología (condiciones de crecimiento) etc. para la obtención exitosa del material compuesto.

Se seleccionaron las que tuvieran una estructura filamentosa, de pudrición blanca (que degrada celulosa, hemicelulosa y lignina), que crezcan en zonas templadas (clima CDMX), humedad entre 30% y 40% y muy importante que no fueran venenosos.

Los hongos seleccionados son de la clase *Agaricomycetes* del reino fungí, se escogieron dos tipos: *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma*, cultivados como hongo comestible.

2.2. Selección de sustrato

Las mezclas de sustrato descritas en la literatura generalmente consisten en residuos de cultivos agrícolas molidos como algodón, maíz, trigo, cáñamo, kenaf y residuos de lino.

Según (Attias *et al.* 2020) las mezclas de sustrato a menudo se enriquecen con carbohidratos y calcio para estimular el

desarrollo y la unión del micelio, pero no se especifican los tipos de carbohidratos y calcio.

La mayoría de los estudios utilizan plantas anuales o madera blanda. Con esta información se elige trabajar con aserrín de pino por la facilidad de adquirirlo puesto que en muchos centros madereros o de carpintería se desecha este material. Como segundo sustrato se elige el cartón con el mismo criterio de la fácil obtención; frecuentemente se desecha este material dentro de los hogares convirtiéndose en un residuo sólido urbano.

2.3. Proceso de fabricación

El estudio es de carácter experimental, ya que se manipularán intencionalmente variables independientes (micelio y sustrato), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre las variables dependientes (propiedades biológicas, físicas y químicas del material).

Como se ha mencionado anteriormente, los detalles de los protocolos de los procesos de fabricación a menudo faltan en las publicaciones, lo que dificulta la reproducción de compuestos y experimentos.

Los artículos que proporcionan estos detalles describen un proceso que generalmente comienza con la esterilización de la mezcla de sustrato, inoculación e incubación con hongos seleccionados, homogeneización y aplicación en un molde preformado.

Aproximadamente entre 15 y 25 días de incubación (puede variar acorde al tipo de micelio y sustrato) permiten que el micelio se una a las partículas del sustrato, lo que da como resultado una malla tridimensional de un compuesto vivo, que comprende fibras de madera y hongos interconectadas. El material fresco contiene aproximadamente un setenta por ciento de agua.

Seguidamente, el objeto se retira del molde y se seca en el horno para detener el desarrollo del micelio. Durante el proceso de secado, el agua dentro de las células fúngicas se evapora, creando cavidades de aire microscópicas, así como reduciendo el tamaño original del material aproximadamente en un 15%.

Definidos el micelio y sustrato se inició con la experimentación, con objeto de determinar la mezcla ideal, a fin de obtener el prototipo final.

Con el objetivo de establecer un método para la conformación del material biocompuesto, se utilizaron técnicas del cultivo de hongos comestibles, además de emular técnicas de la conformación de este material declaradas por diferentes investigadores obtenidos de libros, tesis y artículos.

Se realizaron varias experimentaciones, con la finalidad de obtener datos acerca de cómo mejorar el proceso para la fabricación del material biocompuesto, así mismo evitar que se contaminen las muestras que en consecuencia detuviera el proceso de invasión del micelio al sustrato. Simultáneamente se evaluó el tiempo de crecimiento; este último muy elemental para la investigación.

3. Materiales y etapas

3.1. Materiales

Horno de laboratorio.

Micelio: *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma*.

Sustratos: aserrín de pino y cartón reciclado.
 Frasco.
 Algodón.
 Hielera.
 Alcohol.
 Termómetro interior/externior.
 Cubrebocas.
 Guantes.
 Báscula.
 Molde: 15x15x15 cm.

3.2. Etapa I

Identificación del material ideal para fabricar el molde: primeramente, se utilizó MDF (fibra de madera de densidad media), enseguida con poliestireno expandido, finalmente con un molde diseñado con pestañas e impreso en 3d de petg (combinación de PET con glicol).

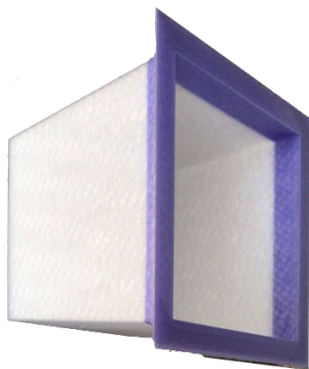


Figura 1: Molde impreso en 3d (15x15x15 cm.)

3.3. Etapa II

Consta de la preparación del sustrato, enseguida el tamizado del aserrín, simultáneamente en el caso del cartón se elaboró en dos presentaciones: primeramente, en cortes rectangulares luego en machacado. A continuación, la eliminación de agentes externos del sustrato, mediante la pasteurización; se utiliza una olla, se expone alrededor de 60 minutos a fuego alto. Posteriormente se filtra el sustrato para perder humedad, finalmente se pesa para mezclarlo y homogeneizar con el micelio.

3.4. Etapa III

En esta etapa se trabajó en el diseño de la mezcla con el objetivo de verificar cual dará los mejores resultados. En la tabla 1: muestra las proporciones y mezcla para cada elemento de los cuales se obtuvieron 12 muestras en total, de modo idéntico se evaluó el tiempo de inoculación.

Tabla 1: Diseño de mezcla

Elementos	Cantidad	Elementos	Cantidad
<i>Ganoderma</i>	50 g	<i>Ganoderma</i>	50 g
Aserrín	50 g	Cartón	50 g
Tiempo de inoculación			
Muestras	Días	Muestras	Días

GA1	24	GC1	19
GA2	23	GC2	18
GA3	25	GC3	17
Elementos	Cantidad	Elementos	Cantidad
<i>Pleurotus</i>	50 g	<i>Pleurotus</i>	50 g
<i>Ostreatus</i>		<i>Ostreatus</i>	
Cartón	50 g	Aserrín	50 g
Tiempo de inoculación			
Muestras	Días	Muestras	Días
PC1	15	GA11	25
PC2	14	GA12	25
PC3	15	GA13	26

Figura 2: Mezcla de aserrín y *Ganoderma*.



Figura 3: Mezcla de cartón y *Pleurotus Ostreatus*.



3.5. Etapa IV

Definido la mezcla ideal, se vierte en el molde previamente esterilizado, el micelio junto al sustrato con el propósito de obtener la geometría deseada, como consecuencia alrededor de 15 días de espera para la invasión exitosa del micelio. Como instancia final con el objetivo de detener el crecimiento del micelio, se procede a secarlo mediante un horno de laboratorio, con una temperatura promedio de 100°C. durante 60 minutos, por último, desmoldar el prototipo final.

Figura 4: Prototipo final (15x15x15 cm.) obtenido con molde impreso en 3d.



4. Resultados y discusión

4.1. Molde

En la búsqueda del material para molde, primeramente, se utilizó MDF, sin embargo, al contener elementos ricos en hemicelulosa, celulosa y lignina: fue invadida por el micelio.

Se optó por trabajar con un molde de poliestireno expandido, se tuvo cuidado en brindar suficiente oxígeno, para lograr una invasión exitosa. Este material presentaba problemas al momento de desmoldar, razón por la cual se descartó.

Finalmente, con el objetivo de obtener la geometría deseada, a través de un software: se diseñó un molde, el cual se imprimió en 3d.

4.2. Mezcla ideal

En la evaluación del tiempo de crecimiento: la mezcla entre *Ganoderma* y aserrín tardó en promedio 23 días, *Ganoderma* y cartón alrededor de 18 días. La mezcla de *Pleurotus Ostreatus* y cartón tardó en promedio 15 días, entre *Pleurotus Ostreatus* y aserrín aproximadamente 25 días; para lograr una invasión completa.

En el caso particular del micelio de *Ganoderma* pasados los 20 días de inoculación: desprendía un olor bastante desagradable.

Debido a los tiempos establecidos para la investigación, se seleccionó la mezcla del micelio de *Pleurotus Ostreatus* y cartón para continuar con la experimentación, debido al corto tiempo de invasión en comparación de los restantes.

4.3. Contaminación

El micelio de *Ganoderma*: como se ha mencionado anteriormente después de aproximadamente 20 días de inoculación, desprendía un olor desagradable, en consecuencia, de ser invadido por otro tipo de micelio, razón por la cual, también fue elemental para descartarlo.

4.4. Presentación de cartón

Como se ha expresado anteriormente, la preparación del cartón constó de dos presentaciones: primeramente, en trozos rectangulares, seguidamente en machacado. Se pudo observar en el primer caso; el micelio no lograba una invasión homogénea, por consiguiente, generaba oquedades mismas que debilitaban el prototipo al momento de secarse y desmoldar, caso contrario con el cartón machacado el cual logra una invasión homogénea, y fortalece el prototipo al secarse y desmoldar.

5. Conclusión

5.1. Molde

Al momento de secar el prototipo en horno, el petg tendía a deformarse debido que solamente tiene 3 mm. de espesor, caso contrario del poliestireno expandido. Posiblemente, alternar cada cierto tiempo de secado evitaría la deformación: pero a la vez afectaría el secado del micelio.

5.2. Crecimiento de micelio

Durante los meses de diciembre y enero, la temperatura en la Ciudad de México baja en promedio a 7°C en la madrugada, se pudo observar que esto afecta el crecimiento del micelio puesto que en este periodo en promedio tardó aproximadamente 25 días en invadir perfectamente al sustrato.

5.3. Espesor de prototipo

El espesor del prototipo juega un papel importante debido a que mientras mayor sea (1 cm) toma alrededor de 5 días más en invadirlo el micelio, al final se optó por un espesor de 5 mm, así mismo el tiempo de secado es menor (100°C durante 60 minutos en horno), aunado, para desmoldar, era menos propenso a sufrir alguna deformación o fisura.

5.4. El micelio en el ámbito académico

El uso del micelio en el ámbito académico, cada vez es de mayor interés, sin embargo, la mayoría de las publicaciones no proporcionan datos esenciales tales como las especies de hongos, composición del sustrato, condiciones de incubación, los pasos adicionales de modificación, aunado algunas son simples exploraciones, sin objeto de una aplicación o uso final.

Los resultados obtenidos, que presenta cada investigación, sólo se toman como referencia, debido a muchos factores tales como las condiciones de crecimiento (el micelio de cada región presenta diferentes características), el sustrato utilizado (varía la composición de hemicelulosa, celulosa y lignina en de cada uno de ellos).

Así mismo cabe mencionar que hasta el momento no existe ninguna norma nacional o internacional el cual aporte información para la exploración, fabricación, evaluación, entre otros, del micelio.

Referencias

- Adamatzky, Andrew, Phil Ayres, Gianluca Belotti, y Han Wosten. 2019. «Fungal architecture.pdf». *International Journal of Unconventional Computing*, diciembre de 2019.
- Attias, Noam, Ofer Danai, Tiffany Abitbol, Ezri Tarazi, Nirit Ezov, Idan Pereman, y Yasha J. Grobman. 2020. «Mycelium Bio-Composites in Industrial Design and Architecture: Comparative Review and Experimental Analysis». *Journal of Cleaner Production* 246 (febrero): 119037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>.
- Cepero, María Caridad, Silvia Restrepo, y Ana Esperanza Franco. 2012. *Biología de hongos*. Bogotá: Universidad de los Andes. <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3211681>.
- Elsacker, Elise, Asbjørn Søndergaard, Aurélie Van Wylick, Eveline Peeters, y Lars De Laet. 2021. «Growing Living and Multifunctional Mycelium Composites for Large-Scale Formwork Applications Using Robotic Abrasive Wire-Cutting». *Construction and Building Materials* 283 (mayo): 122732. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122732>.

- García A., Juan, y Gallego C., Font G. s. f. «Toxicidad del Bisfenol A: Revisión». Consultado 7 de febrero de 2021. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91942717014.pdf>.
- García Carretero, Belén. 2019. «LA FISCALIDAD AMBIENTAL EN MATERIA DE RESIDUOS EN EL NUEVO MARCO DE UNA ECO.pdf». Universidad Complutense de Madrid.
- Gruber, Petra, y Barbara Imhof. 2017. «Patterns of Growth—Biomimetics and Architectural Design». *Buildings* 7 (4): 32. <https://doi.org/10.3390/buildings7020032>.
- Heisel, Felix, y Dirk E. Hebel. 2019. «Pioneering Construction Materials through Prototypical Research». *Biomimetics* 4 (3): 56. <https://doi.org/10.3390/biomimetics4030056>. «Informe de La ONU Sobre Contaminación Por Plásticos Advierte Sobre Falsas Soluciones y Confirma La Necesidad de Una Acción Mundial Urgente». 2021. UN Environment. 21 de octubre de 2021. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>.
- McDonough, William, y Michael Braungart. 2005. *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna)*. España: Mc-Graw-Hill.
- «New to circular economy overview». s. f. Consultado 6 de febrero de 2022. <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>.
- Pauli, Gunter. 1999. «Volver a AdamSmith.pdf», diciembre de 1999.
- Rodríguez, Sebastián. 2018. «Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales». RChD: creación y pensamiento 3 (5). <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2018.50632>.
- Román-Ramos, J. D., F. J. Luna-Molina, y L. J. Bailón-Pérez. 2014. «Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido». *Informes de la Construcción* 66 (Extra-1): m006. <https://doi.org/10.3989/ic.13.097>.
- Soh, Eugene, Zhi Yong Chew, Nazanin Saeidi, Alireza Javadian, Dirk Hebel, y Hortense Le Ferrand. 2020. «Development of an Extrudable Paste to Build Mycelium-Bound Composites». *Materials & Design*, octubre de 2020.
- United Nations Environment Programme. 2018. *Single-use plastics, a roadmap for sustainability*. <https://www.unenvironment.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>.
- Valero-Valdivieso, Manuel Fernando, Yamileth Ortegón, y Yomaira Uscategui. 2013. «BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS», 10.
- V.W. Appels, Freek, Serena Camere, Maurizio Montalti, Elvin Karana, y Kaspar M.B. Jansen. s. f. «Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related.pdf».
- Xing, Yangang, Matthew Brewer, Hoda El-Gharabawy, Gareth Griffith, y Phil Jones. 2018. «Growing and Testing Mycelium Bricks as Building Insulation Materials». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, febrero de 2018.