

**ANÁLISIS DEL HONGO PORTOBELLO PARA LA GENERACIÓN DE
MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN.**

Dallan Gabriela Sanchez Montenegro

Cristian Andrey Buitrago Hernández

Jhon Jairo Porras

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Proyecto de Integración

Bogotá, 2023

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Objetivos	6
Objetivo General.....	6
Objetivos específicos	6
Definición del problema.....	7
Justificación	9
Análisis de requerimiento	10
Marco Teórico	11
Análisis de restricciones.....	20
Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....	24
Análisis de costos.....
Conclusiones	30
Referencias.....	31

I. Resumen

El presente proyecto de investigación se centra en la exploración y desarrollo de un innovador material de construcción sostenible denominado "ecoladrillo", que se produce utilizando micelio de la especie de hongo *Agaricus bisporus*, mejor conocido como Portobello. Está enfocado en desarrollar un método para generar materiales sostenibles buscando aprovechar las propiedades únicas de los hongos promoviendo la sostenibilidad y reduciendo la dependencia de recursos no renovables para la producción de ladrillos.

II. Introducción

En la búsqueda continua de soluciones sostenibles para abordar los desafíos ambientales y constructivos de nuestro tiempo, la innovación en la industria de la construcción ha cobrado una importancia sin precedentes. La creciente conciencia sobre los impactos negativos de los materiales de construcción convencionales, como el ladrillo de concreto y sus residuos, ha impulsado la exploración de alternativas más amigables con el medio ambiente. En este contexto, la generación de ecoladrillos utilizando el micelio del hongo Portobello, teniendo un enfoque prometedor que combina la sostenibilidad, la eficiencia y la seguridad.

El micelio, la red de filamentos delgados que constituye la parte vegetativa de los hongos es reconocida como la estructura más importante. Hoy en día con el auge de la tecnología y el aporte de varios micólogos se ha descubierto que el micelio puede cultivarse de varias formas; usando residuos agrícolas, siendo un material compostable y renovable. (Karro, S. and Leet, K, 2022). esto ha surgido como una base para la investigación y desarrollo de materiales de construcción novedosos. Este material ofrece propiedades únicas que pueden ser aprovechadas para crear materiales de construcción biodegradables y de bajo impacto ambiental ya que, por ejemplo, puede descomponer los materiales lignocelulósicos, como los residuos agrícolas, en azúcares simples que pueden fermentarse en biocombustibles. (Islam, M.R. *et al*, 2017).

El concepto de utilizar hongos para crear materiales de construcción no es nuevo, pero ha generado un nuevo interés debido a su potencial para mitigar problemas ambientales; estos ecoladrillos no solo reducen la necesidad de utilizar recursos no renovables, sino que también pueden contribuir a la gestión de residuos al reciclar materiales que de otro modo serían desechados. Por esto se explora la combinación de micelio del hongo Portobello con otros materiales como aserrín o residuos agrícolas, para crear un compuesto resistente y biodegradable que puede ser moldeado en forma de un rectángulo simulando forma de ladrillo desechados.

Para lograr un prototipo; en esta investigación, se abordarán varios aspectos fundamentales relacionados con la construcción de ecoladrillos con micelio. Esto incluirá el estudio de las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales, la optimización de las condiciones de crecimiento del micelio para obtener la resistencia deseada, y la evaluación de su viabilidad en términos de costo y rendimiento en comparación con los materiales tradicionales. Buscando una solución novedosa y sostenible para la industria de la construcción a través de la generación de ecoladrillos utilizando micelio. Al combinar la innovación biotecnológica con la necesidad urgente de reducir el impacto ambiental, esta investigación aspira a contribuir al avance hacia prácticas constructivas más responsables con el ambiente.

III. Objetivos

Objetivo General

Crear un modelo de ladrillo ecológico elaborado con micelio del hongo Portobello, aprovechando sus características para formar un material de construcción sólido y resistente, con el propósito de disminuir el impacto ambiental de la industria de la construcción.

Objetivos específicos

Investigar las variedades de hongos y tipos de micelio más adecuados para la construcción de eco-ladrillos.

Experimentar diversas mezclas que combinen micelio con materiales agrícolas y residuos orgánicos para obtener una mezcla resistente y estable para la forma de eco-ladrillos.

Realizar un análisis del ciclo de vida comparativo entre los eco-ladrillos de micelio y los ladrillos convencionales considerando factores como la disponibilidad de materias primas y la inversión requerida.

IV. Definición del problema

En la actualidad, se plantea un desafío para desarrollar un proceso eficiente y sostenible para la producción de materiales de construcción en Bogotá, con el objetivo de abordar la problemática de los residuos de construcción y demolición (RCD). Estos residuos son altamente duraderos y no biodegradables, lo que significa que tienen un ciclo de vida demasiado largo, causando daños a la fauna, flora y ecosistemas naturales. Además, se vincula una actividad que por muchos años ha generado estragos por su contaminación ambiental. Según la Procuraduría Ambiental, "las ladrilleras utilizan deficientes e inadecuados sistemas de explotación de arcillas, inducen cárcavas, emiten gases y material particulado a la atmósfera, eliminan capa vegetal del suelo, afectan la estética del paisaje, no procesan sus aguas residuales y degradan la calidad de las aguas superficiales". El Tiempo (20 de noviembre de 2008). Ladrilleras están causando daños al medio ambiente" dice informe de la Procuraduría del Tolima. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4677848>. En el presente proyecto de investigación se centrará la investigación en los impactos y aspectos ambientales de la producción de ladrillos a partir de micelio del hongo, que incluyen a los procesos de obtención de materias primas, manufactura y su posterior utilización en la construcción, como una solución a los contaminantes presentes en la elaboración de ladrillos artesanales.

Estas crisis ambientales representan amenazas para el medio ambiente en Colombia, planteando desafíos que requieren de soluciones innovadoras y sostenibles; es por ello que ha surgido como una posible solución para mitigar el problema de la acumulación de RCD y gases de efecto invernadero (GEI). Los ecoladrillos se crean a partir del micelio del hongo Portobello con otros desechos agrícolas, compactándolos en bastante calor para formar bloques sólidos, a pesar de su potencial. Para la ejecución de esta investigación que dé respuesta al potencial de los ecoladrillos se realizara un método orientado a la consecución cualitativa de análisis de información proveniente de artículos científicos y métodos de formación que permitan la viabilidad para entender el funcionamiento químico y físico, además de la obtención de materiales de construcción a partir del hongo Portobello.

En este contexto el uso de ecoladrillos enfrenta una serie de problemas que deben ser abordados mientras se fomentan los beneficios del hongo Portobello para la construcción. Sin embargo para aprovechar el potencial de este nuevo material (Micelio), es necesario resolver estos desafíos que desarrollen una solución completa y prometedora, planteando la siguiente pregunta:

¿Cómo desarrollar y promover una solución que disminuya los problemas ambientales y de salud pública que genera la industria de la construcción a partir de la materia prima, para que sea menos agresivo con el medio ambiente? Este proyecto busca responder a esta pregunta y proporcionar una hoja de ruta integral en el funcionamiento y beneficios de la implementación de ecoladrillos de Micelio del hongo Portobello, como parte de una estrategia más amplia de gestión de RCD, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental y promover prácticas de construcción más sostenibles en la sociedad.

V. Justificación

El crecimiento poblacional está generando una demanda creciente de materiales de construcción, lo que a su vez está ejerciendo una presión significativa sobre los recursos naturales y contribuyendo al aumento de residuos sólidos. La industria de la construcción es conocida por ser una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de energía. En este contexto, surge la necesidad de explorar soluciones innovadoras que reduzcan el impacto ambiental de la construcción y promuevan la sostenibilidad.

El uso de ecoladrillos, que son bloques de construcción fabricados a partir de materiales reciclados, ha ganado popularidad como una alternativa más sostenible a los ladrillos convencionales. Sin embargo, existe la oportunidad de llevar esta sostenibilidad un paso más allá mediante la integración de micelio en la fabricación de ecoladrillos con el hongo Portobello, es por esto que esta investigación se lleva a cabo buscando una alternativa más sostenible y ecológica al reemplazar los materiales convencionales con los que se fabrican los ladrillos, por un material renovable reduciendo el problema de la acumulación de RCD y desechos de la industria de construcción, también la investigación busca aprovechar las propiedades químicas y físicas del hongo para fomentar la adopción de materiales naturales como nuevas tecnologías más sostenibles con la industria; al mismo tiempo ofrece ventajas en términos de eficiencia, sostenibilidad y beneficios económicos y sociales.

Esta investigación se lleva a cabo para abordar desafíos ambientales y promover prácticas más sostenibles en la construcción, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, aprovechar materiales renovables y contribuir a un futuro más sostenible

VI. Análisis de requerimiento

La intención del producto es crear un material resistente, ecológico, sostenible y funcional para usarse en la industria de la construcción, para que a futuro sea la raíz de múltiples productos más perfeccionados y resistentes a los materiales convencionales actuales para reemplazarlos y crear una industria más verde. Se espera que la elaboración de este material sea consistente y biodegradable con bajo impacto ambiental y se pueda abordar los desafíos de la construcción sostenible.

Se empleará el micelio obtenido del hongo *Agaricus bisporus*, por su resistencia y capacidad de adaptación, con un presupuesto estimado para la muestra de aproximadamente 200.000 pesos que incluye la compra de materiales, transporte, y otros requerimientos según sea necesario, el proyecto se llevará cabo en un tiempo aproximado de 3 meses en los que se evalúan riesgos y su posible mitigación.

Beneficios esperados del producto:

- Ahorro de recursos para su elaboración
- Ofrecer una solución a la producción de biomateriales sostenibles
- Consistencia igual a los materiales convencionales
- Promover la innovación y la conservación de los recursos
- Proporcionar bases para la perfección a largo plazo

Alcance y características claves

- Bloques y materiales de construcción de micelio,
- Resistencia y consistencia estructural
- Ecología en el producto

El público objetivo son arquitectos, constructores, inmobiliarias y las personas interesadas en la construcción sostenible que se encuentren en búsqueda de alternativas ecológicas e innovadoras para la introducción al mercado

VII. Marco Teórico

La adquisición de conocimientos y el descubrimiento de los beneficios y las propiedades del micelio para múltiples usos son factores que respaldan el desarrollo sostenible, la elaboración de materiales ecológicos, la implementación de nuevas prácticas de construcción y el aprovechamiento de este recurso son algunos ejemplos de cómo la evolución humana ha llevado a descubrir nuevas formas de adaptación para suplir necesidades de manera más sostenible. Y, es que el desarrollo sostenible se ha convertido en la piedra angular en la industria de la construcción, sobre todo hoy en día donde el mundo se enfrenta a desafíos ambientales cada vez más complejos, como el cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales hacen que la innovación en materiales biológicos sea esencial para el desarrollo de la humanidad.

Los hongos fueron los primeros organismos en aparecer en la tierra, incluso hoy en día se desconoce la estructura que podrían tener, aunque datan de tamaños gigantescos, llegando a medir 8 metros de altura. “En base a descubrimientos fósiles, los hongos terrestres más antiguos datan de aproximadamente 1080-890 millones de años” (Feijóo-Vivas et al., 2021). El ser humano se ha adaptado a diversos ambientes, tanto terrestres, acuáticos como aéreos y la estructura de los hongos ha evolucionado permitiendo mayor eficiencia en nutrientes y reproducción de las especies. Los hongos son organismos que se han posicionado como materia prima en muchos ámbitos, esto se debe a su velocidad de crecimiento, ya que son capaces de utilizar en su alimentación cualquier fuente de nutrientes (Illana, 2014). Aunque en muchos casos los hongos pasan desapercibidos, su importancia abarca una cantidad de áreas indispensables para la vida, desde la alimentación hasta la medicina y la biotecnología, además de tener componentes útiles e invaluable en nuestra relación con la naturaleza y que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y la sostenibilidad de la vida humana.

El micelio de los hongos, la red de filamentos delgados que forman la parte vegetativa de estos organismos conocidos como biomaterial ha ganado poco a poco reconocimiento en la industria de la construcción sostenible, tiene propiedades únicas e indispensables que lo hacen viable para ser una alternativa a la construcción tradicional. Por un lado, el hormigón común se consideraba en el pasado como único material para el crecimiento y desarrollo de las grandes urbes en el mundo, incluso hoy en día sigue siendo

relevante, para el desarrollo de obras individuales, comerciales, estatales. Este material de construcción se elabora a partir de agua, cemento y componentes áridos, por lo tanto, se entiende que estos componentes áridos se encuentran con una mayor demanda, como el caso del ladrillo ya que la industria de la urbanización en las ciudades se encuentra en constante crecimiento. Sin embargo, la expansión en la elaboración del ladrillo está afectando significativamente el medio ambiente (Huamán, Rodríguez, Díaz. 2022). Esta industria, tiene como fuentes de obtención de energía los combustibles fósiles, el uso de estos combustibles produce emisiones de NO_x, SO_x CO₂, y material particulado lo que afecta zonas urbanas en las ciudades por sus altas emisiones. La industria ladrillera cuyo proceso productivo va desde la extracción de materia prima, moldeado, secado, quemado y comercialización genera material particulado principalmente, afectando la calidad del aire y la salud de los habitantes. En las afecciones a la salud, se encuentra que la materia particulada es el contaminante de mayor presencia y aumento en los niveles atmosféricos, se asocia con un aumento del 0,2 al 1%. En cuanto a su extracción de materias primas para su elaboración, se ven afectadas las capas del suelo ya que la remoción de esta causa taludes, lo que enmarca un desnivel en el suelo con respecto a las zonas circundantes, desfertiliza el suelo, deteriora la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea deteriorando la capacidad de drenaje del suelo e incrementando la erosión. (Pozo, 2018).

Y es que actualmente no es una novedad que las emisiones atmosféricas, el aumento de los desechos y las prácticas insostenibles tradicionales han generado un impacto negativo en las condiciones ambientales del planeta, alejando el cumplimiento de cualquier objetivo de desarrollo sostenible. Las Naciones Unidas aseguran que el sector de la construcción fue responsable de más del 34% de demanda energética y 37% de las emisiones de CO₂ en el mundo. El uso de combustibles fósiles es una herramienta que en este sector ha sido imposible soltar, pues, la producción de estos materiales depende de su bajo costo y fácil acceso. La implementación de buenas prácticas y la descarbonización deben estar establecidas en esta industria para reducir los impactos sobre la atmósfera, los suelos y demás recursos importantes como el agua, entre esto debe ser importante tratar factores como la eficiencia energética, disminuir la huella de carbono de los materiales de construcción, aumentar la inversión en eficiencia energética y compromisos políticos más acertados.

La generación de residuos de construcción y demolición han sido uno de los desafíos más grandes que múltiples ciudades en el mundo han tenido que tratar, la participación de RCDs en el total de los residuos representan un 30% debido al rápido crecimiento de la urbanización, que es más visible y frecuente en ciudades en desarrollo que a diferencia de los países desarrollados no han encontrado técnicas sostenibles de tratamiento como la reducción, el reciclaje y la reutilización sino que se ven implicados en darle tratamiento de otras maneras como enterramiento o almacenamiento en vertederos cerca de las ciudades y puntos de servicios críticos, contribuyendo a problemáticas como la contaminación del suelo, las aguas superficiales, subterráneas y la calidad del aire. (Hosseim, A; Gholami, S; Javanmardi, M; Valipour, A And Yunusa, A, 2022)

Una de las mayores preocupaciones frente a la generación de este tipo de residuos de industria y construcción ha sido por la presencia de componentes peligrosos para la salud y el medio ambiente, los denominados metales pesados, que son aquellos que poseen pesos atómicos entre 63 y 200, una gravedad específica a 5,0 y una densidad relativamente alta en comparación con la del agua. Los metales pesados en comparación con los residuos orgánicos no son degradables y pueden permanecer en el ambiente y en los vertederos por más de 150 años, estos metales pesados generan riesgos ecológicos al medio circundante, a su vez, pueden ingresar al cuerpo humano a través de la digestión, el consumo de agua, la inhalación e incluso la absorción por la piel, el cadmio (Cd) como componente de los RCDs puede provocar disfunción renal, cáncer de pulmón e hipertensión, el plomo presente puede causar nefropatía, cólico gastrointestinal y plumbismo, por esta razón es importante que se evalúen los sitios de disposición de residuos (Hosseim, A; Gholami, S; Javanmardi, M; Valipour, A And Yunusa, A, 2022)

Hoy en día, los avances tecnológicos y los descubrimientos de la ciencia han permitido encontrar distintas soluciones a problemas causados por los residuos, en este caso los residuos de construcción y demolición son fuente de investigación por la carga de metales pesados que depositan a las características del suelo y de muchas formas afecta su composición y estabilidad. De esta manera, es importante destacar que el estudio del suelo por cargas contaminantes debido a los RCDs ha venido creciendo por la preocupación que genera no solo para las personas sino también para la estabilidad de los ecosistemas.

Por su parte, el micelio se puede cultivar utilizando residuos agrícolas, y es biodegradable, compostable y renovable. (Karro, S. and Leet, K, 2022) puede ser obtenido en moldes, para crear bloques o paneles resistentes ligeros, lo que la hace ser versátil para

su producción y posterior fabricación de estructuras ecológicas, además, es biodegradable, lo que contribuye a la disminución de los residuos de la construcción tradicional, el uso del micelio en la arquitectura abre puertas a diseños innovadores destacando la búsqueda de un futuro verde en este tipo de industria. Su importancia reside en su amplia capacidad de transformar desechos agrícolas y forestales en estructuras consistentes, resistentes y versátiles brindando soluciones sostenibles a los desafíos que enfrenta a construcción y la producción de materiales tradicionales. En otros términos, la producción de materiales biogénicos a partir del micelio contribuye a mitigar la contaminación ambiental, además, el cultivo del micelio requiere menos consumo de agua y energía en comparación con la producción de materiales convencionales como el cemento y el acero, lo que implica menor huella de carbono y la disminución en la dependencia de los recursos no renovables.

Además, el micelio tiene la capacidad de descomponer materiales orgánicos e inorgánicos, lo que lo convierte en una herramienta prometedora para la biorremediación. Se puede utilizar para limpiar el suelo, el agua y el aire contaminados mediante la absorción y digestión de contaminantes, como petróleo, metales pesados y pesticidas, también se implementa para la restauración ecológica, como el control de la erosión del suelo, la restauración del hábitat y la reforestación. Asimismo, el micelio puede formar relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, conocidas como micorrizas, que pueden mejorar el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y la resistencia a las enfermedades. Incluso se puede utilizar en la producción de biocombustibles, como bioetanol o biodiésel, a través de un proceso llamado micofuel. El micelio puede descomponer los materiales lignocelulósicos, como los residuos agrícolas, en azúcares simples que pueden fermentarse en biocombustibles. (Islam, M.R. *et al*, 2017)

El micelio tiene una estructura porosa compuesta de filamentos tubulares llamados hifa. Normalmente, las hifas tienen diámetros del orden de 1 a 30, dependiendo de la especie y el entorno de crecimiento, y longitudes que van desde unas pocas micras hasta varios metros. El micelio es uno de los organismos vivos más grandes de la Tierra. Crece mediante la expansión de la punta apical de la hifa a partir de una espora o un inóculo. Después de una fase de crecimiento isotrópico, la hifa inicia una ramificación aleatoria, formando colonias fractales en forma de árbol. Las colonias se interconectan aleatoriamente a través de la fusión de hifas (anastomosis) para formar una estructura de red de fibras aleatoria. La densidad de ramificación y la topología de la red están

controladas en gran medida por las condiciones ambientales y nutricionales. (Islam, S, Tudryn, G, Bucinell, R, Schadler, L & RC Picu. 2017)

En el ámbito de alimentos y bebidas se utiliza en la producción de ciertos tipos de setas gourmet, como shiitake y setas de ostras, que son ingredientes populares en muchas cocinas. Además, el micelio se puede utilizar para producir fuentes alternativas de proteínas, como sustitutos de carne a base de micelio o bebidas a base de micelio fermentado. El micelio ha mostrado potencial en la producción de compuestos medicinales, incluyendo antibióticos, inmunosupresores y medicamentos contra el cáncer. Los procesos de fermentación basados en micelio se pueden utilizar para producir estos compuestos de una manera más sostenible y rentable en comparación con los métodos tradicionales. Igualmente, el micelio se puede utilizar para crear textiles sostenibles, como alternativas de cuero o tejidos biodegradables. El micelio se puede cultivar en una forma, textura y espesor deseados, por lo que es un material versátil para la moda y los textiles, logrando al igual aplicaciones artísticas y de diseño, como esculturas, instalaciones y muebles. Su textura, apariencia y sostenibilidad únicas lo convierten en un material interesante para la expresión creativa. (Manan, S., Wajid Ullah, M., Ul-Islam, M., Mohammad Atta, O., & Yang, G, 2021).

Por esta razón, es importante conocer sobre las especies de hongos y la composición de sus hifas, ya que la manipulación de estos organismos no se debe dar de una manera normal sino especial, esto porque existen múltiples especies que pueden ser tóxicos e incluso mortales y dado que su determinación es compleja los micólogos son los más idóneos para determinar la viabilidad de la manipulación de ciertos tipos de hongos. (Kuhar, Castiglia & Papinutti, 2013).

De esta manera, se adopta la investigación por hongos que son comestibles y aptos para el manejo de los seres humanos, de los que se puede sacar provecho para alimentación y para elaboración de biomateriales a partir de sus hifas. Surge entonces el *Agaricus bisporus* del cual, el término empezó a utilizarse hacia los años 1600-1700, principalmente para hongos terrícolas con láminas y pie. El reconocimiento de los hongos del género *Agaricus* es fácil por sus características únicas que se pueden distinguir durante su desarrollo, teniendo en cuenta el esporóforo como herramienta distintiva y protagónica, sin embargo, distinguir las especies de este mismo género es más complejo por sus

características morfológicas, organolépticas, bioquímicas y ecológicas ya que son poco numerosas y susceptibles a variar en función del ambiente. La producción de estos hongos se da en cortes y se recogen cada 7 días en dos cortes o cosechas, dependiendo la temperatura, la humedad, la manera de cultivarlos y el estado en el que son cosechados. (Callac, 2007).

Este importante biomaterial es capaz de sustituir productos como el poliestireno expandido, considerado como uno de los productos químicos cuya fabricación genera más desechos peligrosos al medio ambiente, en el que se utiliza para su producción 1,5 Litros de petróleo para producir 1 metro cúbico incluso siendo igual o aún más contaminante al final de su vida útil ya que su descomposición es tardía y ocupa gran volumen en los mismos, por esta razón optan por la incineración. (Román, J; Luna F; Bailon L. 2014)

Han surgido numerosos productos de alto valor biotecnológico mediante la exploración del metabolismo de los hongos, tales como aditivos alimentarios, compuestos bioactivos con interés farmacológico, pigmentos, biocombustibles, enzimas, vitaminas, aminoácidos y otros elementos. En la última década, además del desarrollo de cuerpos fructíferos o la producción de moléculas bioactivas para propósitos medicinales, la tendencia se ha inclinado hacia el estudio del micelio de los hongos. Esto se debe a que el micelio ofrece un tejido que posibilita nuevos enfoques de producción con alternativas sostenibles que minimizan el impacto negativo en el ambiente. Con base en los actuales paradigmas de fabricación alternativa, que promueven "el crecimiento de materiales en lugar de extraerlos", el micelio fúngico representa una nueva generación de biomateriales sostenibles obtenidos a partir de biomasa fúngica o de materiales compuestos por desechos orgánicos y micelio. (Feijóo, K; Bermúdez, S; Rebolledo, H; Figueroa, J; Zamora, P & Naranjo, L. 2021)

Los hongos del género *Agaricus* son saprófitos, generalmente humícolas, es decir que se desarrollan sobre el humus, algunos crecen sobre las dunas, los bosques, el pasto y los desechos vegetales, siendo estas las condiciones favorables para obtener y expandir su producción, lo que hace viable su obtención para el aprovechamiento del micelio con el fin de utilizarlo en ámbitos de la micotectura. El micelio posee una gran resistencia mecánica y una hidrofobicidad atribuida a una estructura celular circundante a la membrana plástica, su pared celular. (Feijóo, K; Bermúdez, S; Rebolledo, H; Figueroa, J; Zamora, P &

Naranjo, L. 2021)

La pared fúngica del de los hongos cumplen un rol importante en la morfogénesis y en la protección del micelio. Allí, la célula contiene una mayor concentración de sales y azúcares, impulsando la entrada neta del agua a través de la membrana provocando su expansión celular. Desde el punto de vista estructural la pared de la célula fúngica es un compuesto macromolecular entrelazado y poroso ensamblado en la superficie de la membrana plasmática. La composición y el comportamiento entrelazado al crecimiento celular de los hongos son variables para determinar e identificar los beneficios del micelio y sus cualidades para llevarlos a estudios que determinan sus funciones en la industria de producción de biomateriales.

La tecnología y las técnicas de producción de biomateriales son incipientes y en crecimiento que va acompañado con la preocupación que los materiales tradicionales generan por sus efectos negativos sobre el medio ambiente y las nuevas formas de consumo. Hasta la fecha, se han registrado 48 patentes o solicitudes de patente en relación al uso de materiales fúngicos en diversas áreas. La industria de la biofabricación de biomateriales de micelio de hongos está liderada por los siguientes actores: Ecovative Design LLC (USA) con el 45 % de todas las patentes seguido por Ford Global Tech (USA) con 19 %, Shenzhen Tech (China) con 17 %, MycoWorks Inc. (USA) con 6 % y Spora Biotech (Chile) con 0,48 %. Estas patentes se encuentran distribuidas principalmente en Estados Unidos (60 %) y China (30 %). La nueva cultura micelial no solo ocurre en países potencia, sino también está sucediendo en Latinoamérica (Figura 5), donde Start-Ups emergen y empresas empiezan a consolidarse. Tal es el caso de Le Qara, una empresa peruana que produce un biotextil fabricado de asociaciones simbióticas de microorganismos y Spora Biotech en Chile (www.sporabiotech.com) que se consolida rápidamente en el desarrollo de cuero de micelio de hongos bajo la marca comercial Sporatex. (Feijóo, K; Bermúdez, S; Rebolledo, H; Figueroa, J; Zamora, P & Naranjo, L. 2021)

Los avances hacia la sostenibilidad son visibles en muchos ámbitos que influyen la presencia de nuevos materiales capaces de reemplazar los tradicionales y son técnicas que con adquisición de nuevos conocimientos y descubrimientos de nuevas tecnologías están demostrando el paso agigantado hacia una nueva era de producción, además, de ser

implementado con nuevos métodos de desarrollo en cualquier parte del mundo, dejando entre ver que la ingeniería de materiales naturales se ha convertido en un concepto que abarca y retribuye sostenibilidad hacia las personas, empresas, países. Etc. Ya que estos materiales ofrecen combinaciones únicas de propiedades por su intrincada estructura jerárquica y arquitectura fibrosa.

Sin embargo, en muchos casos el acceso a estas nuevas tecnologías implica constante inversión, el aprovechamiento de los recursos naturales para producir biomateriales a veces no es suficiente cuando la jerarquía y manejo de nuevos sistemas tiene accesos poco factibles para transformar el biomaterial en productos de uso medio para la humanidad. Estas tecnologías de producción, aunque prometedoras para la creación de productos sostenibles y amigables con el medio ambiente, suelen estar asociadas con altos costos de implementación y operación. Esto dificulta que emprendedores y pequeñas empresas incursionen en este campo y aprovechen todo el potencial que ofrecen los biomateriales. La necesidad de inversión en equipos especializados, investigación y desarrollo, así como en capacitación técnica, se convierte en un desafío adicional para aquellos que desean contribuir a un futuro más sostenible y aprovechar los beneficios de estos recursos renovables. Es crucial que se fomente el acceso equitativo a estas tecnologías, a través de políticas y colaboraciones que impulsen la democratización de la innovación y permitan una adopción más amplia y efectiva de estos prometedores biomateriales.

Así mismo, es importante entender los determinantes esenciales para facilitar el acceso a tecnologías asequibles para transformar el micelio de los hongos en productos nuevos e innovadores, uno de ellos es fomentar la investigación y las colaboraciones interdisciplinarias. La inversión en proyectos de investigación que se centren en la optimización de los procesos de producción y en la simplificación de la tecnología es fundamental. Además, se deberían establecer alianzas entre universidades, empresas y organizaciones sin ánimo de lucro para compartir conocimientos, recursos y costos. Estos esfuerzos colaborativos podrían impulsar la creación de centros de investigación y desarrollo especializados, donde se puedan llevar a cabo investigaciones conjuntas para encontrar soluciones rentables y escalables. Asimismo, se deben incentivar políticas gubernamentales que ofrezcan subsidios, incentivos fiscales o préstamos a bajo interés para startups y pequeñas empresas que busquen implementar tecnologías innovadoras en este

campo. Este apoyo financiero podría allanar el camino hacia la adopción generalizada de tecnologías accesibles y sostenibles para transformar biomateriales como el micelio de los hongos en productos de vanguardia.

VIII. Análisis de restricciones

Costos de Materias Primas y Suministros: La obtención de micelio del hongo portobello y otros materiales necesarios para la producción de los materiales de construcción ecológicos puede representar un costo significativo. El precio y disponibilidad de estos insumos pueden variar, impactando directamente en la rentabilidad del proyecto. Teniendo en cuenta que los suministros para complementar la elaboración del producto pueden superar los 200.000 por cada bloque.

Adquisición del Material Micelio:

Identificación de proveedores y fuentes de micelio:

Se debe investigar y evaluar diversos proveedores de micelio para determinar la calidad, disponibilidad, confiabilidad y costos asociados a la adquisición de este material. Las fuentes de micelio, mientras se realiza la producción propia puede variar, el costo por kg supera los 90.000 pesos colombianos.

Costos de adquisición del micelio:

Analizar los costos de adquirir el micelio necesario para la producción del producto de construcción. Esto incluye evaluar los precios por cantidad, posibles descuentos por volumen y cualquier otro costo asociado a la adquisición.

Evaluación de la calidad y especificaciones del micelio:

Asegurarse de que el micelio adquirido cumple con las especificaciones necesarias para la producción del producto de construcción, garantizando así la calidad final del producto.

Búsqueda de estrategias para reducir costos:

Explorar formas de optimizar la adquisición de micelio, como acuerdos a largo plazo con proveedores, negociaciones de precios, o incluso la posibilidad de cultivar el micelio in-house para reducir costos a largo plazo. El acceso a la información, la preparación de un terreno y acceder a los recursos para optimizar el cultivo puede acarrear costos superiores a los 500.000 pesos.

Tecnología y Equipamiento Especializado:

La producción de materiales de construcción a partir de micelio requiere tecnología especializada y equipamiento específico, como sistemas de cultivo controlados y equipos de procesamiento. Estos elementos pueden ser costosos de adquirir, mantener y operar, lo que afecta la inversión inicial y los costos operativos a largo plazo. De esta manera, si no se realizan alianzas o no se cuenta con los accesos a laboratorios de investigación, la asequibilidad de tecnologías como la mufla (Indispensable para evaluar el producto) podría superar precios de 3.000.000 de pesos.

Investigación y Desarrollo:

El desarrollo de procesos eficientes y mejorados para la producción de materiales de construcción a partir de micelio implica una inversión significativa en investigación y desarrollo. Los costos asociados con la experimentación, pruebas y optimización de técnicas pueden ser altos y deben ser considerados en el presupuesto del proyecto.

Escala de Producción:

La escala de producción también influye en los costos. Si la producción es a pequeña escala, es probable que los costos unitarios sean más altos debido a la falta de economías de escala. Por lo tanto, es fundamental evaluar y optimizar la capacidad de producción para lograr eficiencias económicas.

Acceso a la Maquinaria Necesaria:

Identificación de maquinaria y equipamiento requerido:

Determinar las máquinas y equipos necesarios para la producción eficiente del producto de construcción a base de micelio. Esto puede incluir equipos de cultivo de micelio, mezcladores, moldes, equipos de secado, entre otros.

Costos de adquisición y mantenimiento de la maquinaria:

Calcular los costos de compra y mantenimiento de la maquinaria, así como los gastos asociados a la instalación y operación de esta.

Evaluación de alternativas y alquiler de maquinaria:

Considerar la posibilidad de alquilar maquinaria en lugar de comprarla, especialmente si el uso es temporal o si el desembolso inicial es alto. Evaluar los costos a largo plazo para determinar la opción más rentable.

Optimización del uso de la maquinaria:

Implementar estrategias para optimizar la eficiencia y la utilización de la maquinaria, como programas de mantenimiento preventivo y capacitación del personal.

Transporte y Logística:

El transporte de materias primas y productos terminados puede ser costoso, especialmente si las ubicaciones de producción y los mercados objetivo están distantes. La eficiencia en la logística es clave para minimizar estos costos y mantener la competitividad del proyecto.

Comercialización del Producto de Construcción:

Estrategia de precios:

Determinar la estrategia de precios del producto de construcción a base de micelio, considerando los costos de adquisición del material y de producción, así como los márgenes de beneficio deseados.

Canales de distribución y logística:

Analizar los costos asociados a la distribución del producto, incluyendo el transporte, almacenamiento y entrega. Identificar la estrategia logística más eficiente y económicamente viable.

Investigación de mercado y demanda:

Realizar estudios de mercado para comprender la demanda y preferencias de los consumidores, así como para evaluar la competencia y determinar la posición del producto en el mercado.

Promoción y marketing:

Calcular los costos asociados a la promoción y comercialización del producto, incluyendo estrategias publicitarias, participación en eventos, campañas de marketing digital y otras actividades promocionales. Esto quiere decir, las pautas publicitarias podrían superar costos de 200.000 pesos

IX. Metodología para la selección y desarrollo de la solución.

El uso de micelio del hongo Portobello en la construcción es una innovación que ha generado atención en los últimos años, debido a su sostenibilidad y versatilidad. Para seleccionar y desarrollar una solución utilizando micelio en la construcción, es importante seguir una metodología cuantitativa que incluya la viabilidad de utilizar micelio como material principal para la fabricación de ecoladrillos.

Teniendo en cuenta que los objetivos se centran en la producción eficiente y sostenible de ecoladrillos a base de micelio del hongo Portobello, donde se evalúan las propiedades físicas y químicas, incluyendo su resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento. Comparando el impacto ambiental de la producción de ladrillos artesanales con los ecoladrillos, proporcionando recomendaciones para la implementación y utilización de ecoladrillos de micelio del hongo Portobello en la construcción sostenible.

Para el desarrollo de la investigación se realizó una revisión de literatura científica relacionada con la utilización de micelio en la construcción y la fabricación de materiales sostenibles, identificando los beneficios y desafíos asociados con el uso de micelio en la construcción. Adquiriendo la materia prima necesaria como el micelio del hongo Portobello, residuos orgánicos (por ejemplo, virutas de madera), esporas de hongos y nutrientes necesarios para el crecimiento del micelio; cultivando el micelio en condiciones controladas, ajustando factores como la temperatura, la humedad y el pH del medio. Luego de estos cultivos se diseñan y se construyen moldes para dar forma a los ladrillos a partir de este material; este material se somete a un proceso de secado y consolidación para lograr obtener resistencia necesaria para lograr la durabilidad necesaria y requerida en la ley colombiana. Ya teniendo la producción de estos ecoladrillos de micelio, llegamos a la caracterización de los mismos, esto se va a realizar a través de pruebas físicas y químicas para evaluar su densidad resistencia mecánica, aislamiento térmico y propiedades químicas que ayuden a entender su funcionamiento, para la evaluación de viabilidad en los aspectos ambientales como las emisiones de carbono, el consumo de energía y los recursos naturales utilizados en la fabricación y transporte de ambos tipos de ladrillos. En este proceso documentado se presentan resultados de la investigación incluyendo conclusiones sobre la viabilidad y ventajas de los ecoladrillos de micelio en términos de sostenibilidad y aplicabilidad en la construcción, proporcionando

recomendaciones para la implementación de materiales naturales y sostenibles en la industria de la construcción; esta metodología contribuye a un desarrollo de investigación integral sobre ecoladrillos hechos con micelio, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles en la construcción.

Elaboración de ladrillos

La elaboración de los ecoladrillos se desarrollo en el laboratorio de química de la universidad EAN, este es un proceso que implica la compactación del micelio que puede utilizarse en la construcción. A continuación, se describe las pruebas llevadas a cabo para la elaboración de este material:

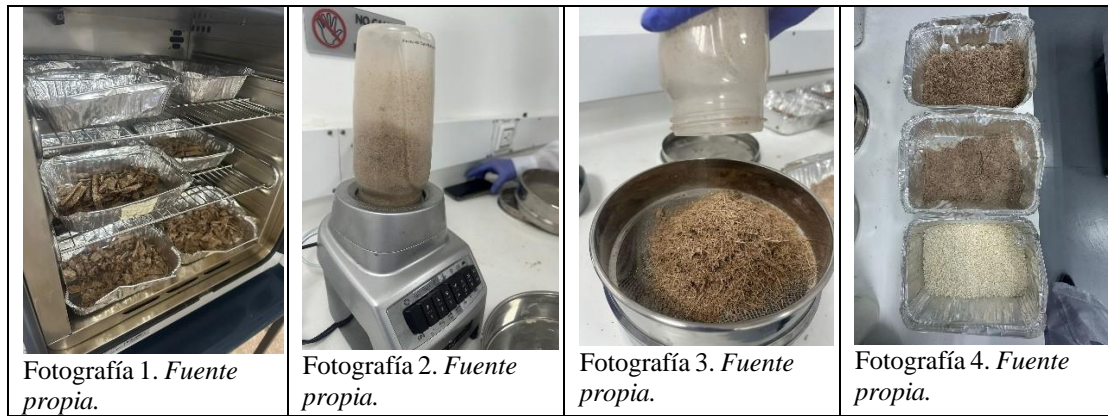
Materiales y componentes:

El componente principal de los ecoladrillos es el Micelio del hongo Portobello, es cultivado en sustratos hasta obtener las esporas germinadas, para mejorar las propiedades del ecoladrillo, se pueden añadir otros materiales como granadilla o fibras naturales. Algunas formulaciones de ecoladrillos pueden requerir un agente aglutinante, como resina y en este caso Almidón para identificar si tiene buena cohesión y durabilidad.

Proceso de laboratorio

1. Preparación de materiales:

El micelio se debe secar en el horno a 30°C en un intervalo de 10 horas, ya que este material se encuentra húmedo por el proceso de cultivo. Luego, de tener el micelio y la granadilla se debe triturar en la licuadora o trituradora (Fotografías anexas) y se tamizo para lograr separar el polvo de micelio y las fibras.



2. Mezcla de materiales:

Ya que se están utilizando agregados como la granadilla y el almidón, se deben mezclar adecuadamente con el micelio, para este laboratorio se hicieron 6 pruebas:

- Muestra 1:

Se mezcló Micelio en polvo en un peso de 3,67g y restos de granadilla 3,67g, en la mezcla se incorporaron 30ml de agua más 10ml de glicerina y 10ml de vinagre y se calentó a 150°C. (Fotografía 5. Anexa)

- Muestra 2:

En esta segunda prueba se mezclaron fibras de Micelio 5g y granadilla 5g, 10ml de glicerina, 10ml de vinagre y 30ml de agua y se calentó a 150°C. (Fotografía 6. Anexa)

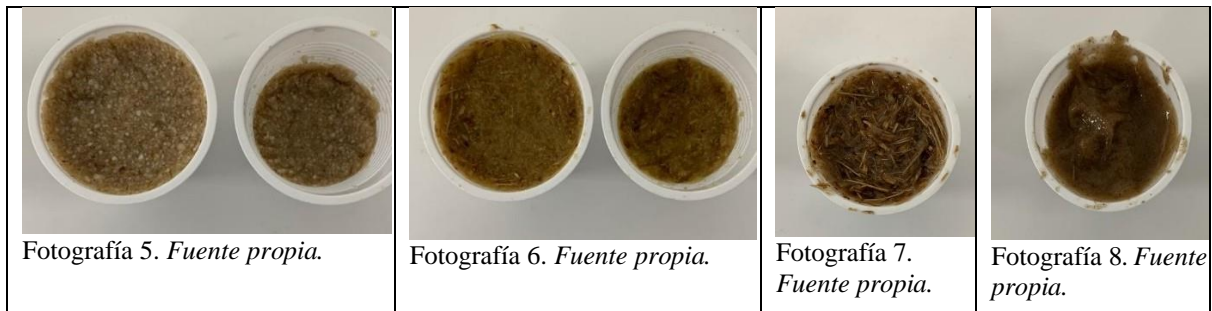
- Muestra 3:

Fibras de Micelio 5g y almidón, 30ml de agua, 10ml de vinagre y 10ml de glicerina y se calentó a 150°C. (Fotografía 7. Anexa)

- Muestra 4:

La cuarta prueba se realizó con Micelio triturado y almidón mezclado con 30ml de agua, 10ml de vinagre y 10ml de glicerina calentado a 150°C. (Fotografía 8. Anexa).

Después de realizar las 4 pruebas se colocó la primera y segunda prueba en moldes de cilindro comprimiendo todo el material necesario.



3. *Almacenamiento*

Una vez las 6 muestras quedaron completas en el molde requerido, se debe almacenar en un sitio que implique un secado al aire libre.



Fotografía 9. *Fuente propia*

Es importante tener en cuenta que los procedimientos y equipos específicos pueden variar según la escala de producción y los recursos disponibles en el laboratorio de eco ladrillos. Además, es esencial cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad durante todo el proceso de elaboración.

4. *Secado*

Luego de obtener las distintas muestras se procedió a dejar por 1 semana el secado a temperatura ambiente, para revisar el comportamiento de dichas muestras. En este caso se pudo evidenciar un secado más rápido en las muestras 2 y 3, se presume este resultado gracias a la facilidad de absorción de las fibras del micelio. Al seguir con el resto de las muestras en condiciones húmedas, se procede a colocarlas en

el horno a 70° celsius por dos días, al momento de retirarlas evidenciamos una mejora en el secado de dichas muestras.



Fotografía 10. Fuente propia



Fotografía 11. Fuente propia

Comprobando que la muestra 2 es la más resistente a pesos, la muestra 1 resiste pesos livianos, sigue conteniendo humedad en su molde, la 3 muestra alcanzo un secado más favorable, sin embargo, el material quedo elástico, dando por errónea la función para un ecoladrillo y por último la muestra 4 su resultado desde el inicio tuvo una contextura pegajosa, retirandola del objetivo principal de la construcción de ecoladrillos a partir de Micelio del hongo Portobello.



Fotografía 12. Muestra 1. Fuente propia



Fotografía 13. Muestra 1. Fuente propia



Fotografía 14. Muestra 2. *Fuente propia*



Fotografía 15. Muestra 2. *Fuente propia*



Fotografía 16. Muestra 3. *Fuente propia*



Fotografía 17. Muestra 3. *Fuente propia*



Fotografía 18. Muestra 4. *Fuente propia*



Fotografía 19. Muestra 4. *Fuente propia*

X. Análisis de costos

Costos directos:

Unidades de producción: 6

Para determinar los costos directos relacionados con la producción de 6 unidades de manera experimental de ecoladrillos se tiene en cuenta las variables implicadas en esta; Mano de obra, materia prima, envío por la compra del micelio, el transporte de despacho, equipos de producción e insumos.

Categoría	Descripción	Costos estimados
Inversión inicial	Investigación y desarrollo	0
	Equipos y maquinaria	0
	Instalaciones	0
Materias primas	Micelio	90.000
	Glicerina	0
	Vinagre	2.700
	Otros insumos	20.000
Mano de obra	Desarrollo propio – Salario Ingenieros	2.500.000
Producción	Costos de elaboración	0
Envíos asociados a la compra	Transporte	20.000
Gastos operativos	Alquiler	0
	Mantenimiento	0
Costos directos totales		2.132.700

Costos fijos :

Gastos que no cambian en función de la producción y las ventas. Se hace el análisis teniendo en cuenta que el producto es la base de un proyecto piloto.

Categoría	Descripción	Costos estimados
Alquiler del lugar de producción	Espacio de trabajo, en campo real – alquiler	2.000.000
Salarios y beneficios	Sueldo del personal	0
Marketing y publicidad	Gastos en promoción	0
Depresión	Amortización	0
Otros gastos fijos	Transporte	20.000
Costos fijos totales		2.020.000

Los costos asociados a la elaboración de un prototipo a nivel industrial y a la escalada de la producción pueden llevar a un incremento significativo en los costos directos, indirectos y generales. La muestra y el análisis de costos se basaron en un prototipo experimental desarrollado por los miembros del equipo. Sin embargo, al ampliar la producción a mayor escala, se prevé que los costos se incrementen sustancialmente. En un contexto más amplio, la producción implicará gastos considerables, como costos laborales que podrían superar el millón de pesos, inversiones en publicidad que podrían superar los 100.000 pesos, alquiler de espacios de producción con un costo que podría superar los dos millones de pesos, y desafíos logísticos, incluyendo transporte y equipos, que en conjunto podrían superar los 50 millones de pesos.

Este aumento en los costos es una consideración clave a medida que se avanza en la transición desde el prototipo experimental hacia una producción a mayor escala, y subraya la importancia de una gestión financiera sólida y una planificación adecuada para garantizar la viabilidad y el éxito del proyecto.

XII. Conclusiones

Se ha identificado que las variedades de hongos como el Portobello es promisorias para la producción de ecoladrillos debido a su capacidad de crecimiento rápido y su resistencia, demostrando ser eficaz para la formación de una matriz fúngica sólida lo que lo hace adecuado para la construcción de ecoladrillos.

Las mezclas que combinan micelio con materiales agrícolas y residuos orgánicos, como cáscaras de granadilla, han demostrado ser más efectivas para obtener una mezcla resistente y estable para la formación de ecoladrillos, ya que presentan buenas propiedades de compresión y flexión, lo que sugiere su utilidad en aplicaciones de construcción.

El análisis del ciclo de vida comparativo entre los ecoladrillos tiene ventajas significativas en términos de sostenibilidad ambiental ya que presentan una menor huella de carbono, se pueden utilizar elementos como plástico reciclado o materiales agrícolas que ayuden a la composición de este elemento, a pesar de una posible inversión inicial ligeramente mayor a los ladrillos tradicionales. El análisis a largo plazo se debe identificar con una producción más extensa.

La investigación ha identificado variedades de hongos y tipos de micelio adecuados para la construcción de ecoladrillos, así como mezclas eficaces que combinan micelio con residuos orgánicos y materiales agrícolas. Además, el análisis del ciclo de vida en comparativo subraya la viabilidad económica en comparación con ladrillos artesanales, confirmando una idea de que pueden desempeñar un papel importante en la construcción sostenible y ecológica.

Referencias

Kevin Feijóo-Vivas, Stalin A. Bermúdez-Puga Hernán-Rebolledo, José Miguel Figueroa, Pablo Zamora^{3,4} & Leopoldo Naranjo-Briceño. (2021) Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible 1,2,3 Available <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.29>

Illana, C. (2014). Hifas de hongos como material de empaquetado y de construcción. *REVISTA N 26 AÑO 2014.*

Pozo, L. et al. (2018) identificación de impactos ambientales significativos en la industria ladrillera utilizando un modelo de simulación dinámica. *Revista Uss. (uss.edu.pe)*

Karro, S. and Leet, K. (2022) *Mycelium materials: The future of growing our homes*, *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/985570/mycelium-materials-the-future-of-growing-our-homes>.

Kuhar, J. F., Castiglia, V. C., & Papinutti, V. L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos.

Callac, P. (2007). II. EL GENERO AGARICUS. *Agaricus bisporus*, 19. <https://news.un.org/es/story/2022/11/1516722#:~:text=carretera%20en%20Albania.-.Las%20emisiones%20hist%C3%B3ricas%20del%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n%20de%20los%20objetivos%20de%20descarbonizaci%C3%B3n&text=La%20demanda%20de%20energ%C3%ADa%20para,3%25%20en%20relaci%C3%B3n%20con%202019>.

(2022, abril 5). *Charla abierta con Nelson Dueñas, fundador de Mycomaker y experto en biomaterial de micelio*. <https://etopia.es/evento/charla-abierta-con-nelson-duenas-fundador-de-mycomaker-y-experto-en-biomaterial-de-micelio/>

Jaimovich, D. (2020, enero 20). *Así son las casas a base de hongos que diseña la NASA para vivir en cualquier planeta*. <https://www.infobae.com/america/tecno/2020/01/20/asi-son-las-casas-a-base-de-hongos-que-disena-la-nasa-para-vivir-en-cualquier-planeta/>

Jaramillo, A. C. (2022, julio 23). *Micelio, el nuevo material de construcción sostenible*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/larevista/disenio/micelio-el-nuevo-material-de-construccion-sostenible-nota/>

Fuentes-Cantillana Monereo, Ignacio (2020). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf.

Artículos, S. (2021, mayo 1). *Uso del micelio como biomaterial*. *Revista Mundo Diners*. <https://revistamundodiners.com/uso-del-micelio-como-biomaterial/>

ILLANA-ESTEBAN, C. A. R. L. O. S. Hifas de hongos como material de construcción II.

Román-Ramos, J. D., Luna-Molina, F. J., & Bailón-Pérez, L. J. (2014). Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido. *Informes de la Construcción*, 66(Extra-1), m006-m006.

Sepúlveda, L. C. (2021). *Desarrollo de componente para la construcción con biomateriales en base a micelio de hongo, mediante técnicas de prensado en calor* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)).

Sanchez- Ocampo, S., Palacio, M. ., Rios- Sarmiento, C. ., & Gómez- Montoya, N. (2022). *Favolus rugulosus* en Colombia: producción de micelio y basidiomas en diferentes condiciones nutricionales.

Islam, M.R. et al. (2017) Morphology and mechanics of fungal mycelium, *Nature News*. Nature Publishing Group. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13295-2> (Accessed: March 6, 2023).

Elsacker, E. et al. (2019) *Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates*, *PLOS ONE*. Public Library of Science. Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?>