



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Título del proyecto:

**Estado De La Investigación Del Uso De Elementos Biológicos En
Mampuestos Y Hormigón**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

**Villafuerte Haro, David Santiago
Villarreal Paguay, Dayana Belén**

Tutor:

MsC. Andrea Natali Zárate Villacrés

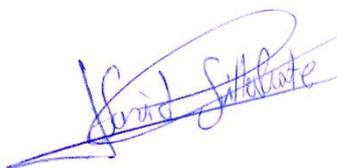
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, David Santiago Villafuerte Haro, con cédula de ciudadanía 060579546-7 y Dayana Belén Villarreal Paguay con cédula de ciudadanía 060432676-9, autores del trabajo de investigación titulado: Estado de la investigación del uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autores de la obra referida, será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 17 de abril de 2024



David Santiago Villafuerte Haro

C.I: 0605795467



Dayana Belén Villarreal Paguay

C.I: 0604326769

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Andrea Natali Zárate Villacrés catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Estado de la investigación del uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón, bajo la autoría de David Santiago Villafuerte Haro y Dayana Belén Villarreal Paguay; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 17 días del mes de abril de 2024



Andrea Natali Zárate Villacrés

C.I: 0604079772

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estado de la investigación del uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón, presentado por David Santiago Villafuerte Haro, con cédula de identidad número 0605795467, y Dayana Belén Villarreal Paguay, con cédula de identidad número 0604326769 bajo la tutoría de Mg. Andrea Natali Zárata Villacrés; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 17 de abril de 2024

Alexis Andrade, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Marcelo Guerra, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Andrés Marcillo, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

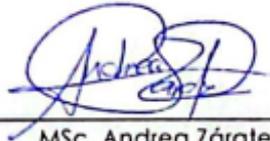


Firma

CERTIFICACIÓN

Que, **VILLAFUERTE HARO DAVID SANTIAGO** con CC: **060579546-7** y **VILLARREAL PAGUAY DAYANA BELÉN** con CC: **060432676-9**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN DEL USO DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS EN MAMPUESTOS Y HORMIGÓN**", cumplen con el **9 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 08 de abril de 2024



MSc. Andrea Zárate
TUTOR(A)

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre Lupe y a mi padre Víctor que han sido el pilar fundamental en mis éxitos académicos y personales a través de sus enseñanzas y apoyo.

Dedico a mis hermanos Víctor, Cristhian y Verónica por motivarme siempre a seguir adelante y a superar los obstáculos siempre unidos.

David Santiago Villafuerte Haro

DEDICATORIA

El presente trabajo y mi título profesional van dedicados a mi padre Javier y a mi compañero de vida Alejandro, quienes han sido mi mayor apoyo durante mis años de carrera y me han ayudado a salir adelante para lograr mis objetivos, sin dejarme caer gracias a su amor incondicional.

También dedico este trabajo a todos quienes han colaborado con su granito de arena para la elaboración del mismo, sobre todo a mis hermanos Kevin e Ivana.

Y, en especial, dedico este trabajo y cada logro obtenido a mi amada hija Isabela, quien llegó a mi vida en la recta final de mi carrera como una luz para ayudarme a cumplir mis sueños.

Dayana Belén Villarreal Paguay

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme con paciencia y valor para el logro de mis objetivos, a mi Madre Lupe y mi papa Víctor quienes me han contribuido en toda mi formación como persona, a cada uno de mis hermanos por su constante apoyo en mi vida.

A mi tutora de tesis Ing. Andrea Zárate por su paciencia y tiempo brindado en la ejecución de este proyecto, así como en su transmisión de conocimientos.

A mis compañeros y amigos de clase, que de distintas formas han ayudado a mi crecimiento académico y personal.

A los miembros del tribunal Ing. Marcelo Guerra, Ing. Alexis Andrade, e Ing. Andrés Marcillo por su colaboración en este trabajo.

A mi compañera de tesis y amiga Belén por su compromiso en este trabajo y por todas las cosas buenas y malas por la que hemos pasado a lo largo de la carrera, así como el consejo que ha sabido dar en épocas difíciles.

David Santiago Villafuerte Haro

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a la vida, por darme la oportunidad de seguir la carrera que amo, poder culminarla de manera exitosa, y poner en mi camino a la obtención de mi título profesional excelentes personas que han contribuido.

A mis padres y hermanos, quienes sin importar nada han apoyado mi formación académica y motivado a luchar por mis sueños para poder salir adelante, por tenerme paciencia ante las dificultades y siempre ofrecerme su ayuda.

A mi compañero de vida Alejandro, quien desde el inicio de mi carrera ha estado apoyándome sin importar las circunstancias, por alegrarse por cada uno de mis logros y ser mi mayor ayuda para salir adelante ante los momentos de dificultades. Por ser mi pilar para lograr culminar mi carrera después del nacimiento de nuestra hija y sacrificarse para poder terminar el presente trabajo.

A David Villafuerte quien ha sido un excelente amigo y compañero de tesis dentro de la universidad. Agradezco su ayuda, paciencia y apoyo para superarnos semestre tras semestre y lograr así obtener exitosamente nuestro título profesional, gracias a él este trabajo fue posible.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil por sus enseñanzas en cada una de sus áreas de especialización, y ayuda para mejorar cada día como profesional y como persona. A mis compañeros y amigos por acompañarme a lo largo de mi carrera y permitirme crecer dentro de ella y hacer mejores los días difíciles.

A mi tutora de tesis Ing. Andrea Zárate MsC. Por sus conocimientos, consejos, paciencia y ayuda durante la elaboración de la presente investigación y por haber sido una excelente docente desde el inicio de mi carrera. A los miembros de tribunal el Ing. Alexis Andrade, Ing. Andrés Marcillo e Ing. Marcelo Guerra por brindarme su guía y consejos para lograr mejorar la calidad de mi trabajo y ser quienes me acompañen en la culminación de mi carrera.

Agradezco al Ing. Alex Escalante por permitirme realizar mis prácticas pre profesionales y brindarme gran conocimiento en campo fuera de los libros. De igual manera al Ing. Víctor Velásquez, por permitirme ser su ayudante de cátedra y poder así, demostrar mi conocimiento ante los demás.

Finalmente, agradezco a mi hija, por darme la mejor razón de mi vida para ser Ingeniera Civil, y llegar en el momento apropiado para celebrar cada uno de mis logros obtenidos como profesional y darme nuevos propósitos de superación junto con ella.

Dayana Belén Villarreal Paguay

ÍNDICE GENERAL;

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.	17
Antecedentes	17
Planteamiento Del Problema	18
Justificación	18
Objetivos	19
Objetivo General.	19
Objetivos Específicos.	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	20
Estado Del Arte	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.	24
Tipo De Investigación	24
Descripción De La Metodología	24
Técnicas De Recolección De Datos	26
Población De Estudio Y Tamaño De Muestra	26
Criterios De Inclusión	26
Criterios De Exclusión	26
Selección De Muestra	26
Método De Análisis Y Procesamiento De Datos	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	28
Resultados	28
Elementos Biológicos En Materiales De Construcción	28
<i>Aplicaciones</i>	28
Sustratos	30
<i>Dosificaciones</i>	30
<i>Elaboración</i>	33

<i>Diseños Experimentales</i>	39
Morteros	43
<i>Dosificaciones</i>	43
<i>Elaboración</i>	44
<i>Diseños Experimentales</i>	46
Hormigones	48
<i>Dosificaciones</i>	48
<i>Elaboración</i>	49
<i>Diseños Experimentales</i>	52
Discusión	53
Valor Práctico De La Investigación	53
Aplicaciones	53
<i>Dosificaciones</i>	54
<i>Elaboración</i>	55
<i>Diseños Experimentales</i>	56
<i>Ventajas Y Desventajas Constructivas</i>	57
<i>Ventajas Y Desventajas Mecánicas</i>	58
<i>Ventajas Ambientales</i>	59
<i>Ventajas Económicas</i>	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
Conclusiones	61
Recomendaciones	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aplicaciones	28
Tabla 2 Dosificaciones Sustratos	30
Tabla 4 Elaboración Sustratos	34
Tabla 3 Diseños Experimentales Sustratos	39
Tabla 5 Dosificaciones Morteros	43
Tabla 6 Elaboración Morteros	44
Tabla 7 Diseños Experimentales Morteros	46
Tabla 8 Dosificaciones Hormigones	48
Tabla 10 Elaboración Hormigones	50
Tabla 10 Diseños Experimentales Hormigones	52
Tabla 11 Ventajas Y Desventajas Constructivas	57
Tabla 12 Ventajas Y Desventajas Mecánicas	58
Tabla 13 Ventajas Ambientales	59
Tabla 14 Ventajas Económicas	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del micelio.	21
Figura 2. Fases de elaboración de materiales a base de micelio.....	22
Figura 3. Construcción The Growing Pavillion.....	23
Figura 4. Relación entre variable independiente y variables dependientes.	24
Figura 5. Proceso de la revisión de la literatura.....	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Análisis De Aplicaciones Programa Atlas.TI.....	68
--	----

RESUMEN

Palabras claves: Biocompuesto, Hormigón, Mampuesto, Micelio, Propiedades Mecánicas, Sostenibilidad

El sistema de construcción actual no tiene en cuenta el papel finito de los recursos humanos, motivo por lo cual existe un amplio interés en los recientes años en desarrollar materiales de construcción más sostenibles, entre ellos el uso del micelio fúngico debido a que estos materiales a base de micelio tienen propiedades potenciales para una amplia gama de aplicaciones constructivas. En el presente trabajo se analizan los datos de las investigaciones existentes sobre la composición de materiales a base de micelio y las variables en su proceso de elaboración con el objetivo de plantear una propuesta para su incorporación en Ecuador. Los resultados mostraron que las cepas *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum* son las más comunes en la elaboración de estos biocompuestos, esto se explica por su rápida tasa de colonización de hifas sobre el sustrato, lo que refleja mejores propiedades mecánicas. Sin embargo, para la elaboración de mampuestos, morteros y reparación de hormigón no existe una vasta cantidad de investigaciones, por lo que está a gran medida inexplorada.

ABSTRACT

Keywords: Biocomposite, Concrete, Masonry, Mycelium, Mechanical Properties, Sustainability

The current construction system does not take into account the finite role of human resources, which is why there is widespread interest in recent years in developing more sustainable construction materials, including the use of fungal mycelium because these mycelium-based materials have potential properties for a wide range of construction applications. In the present work, existing research data on the composition of mycelium-based materials and the variables in their elaboration process are analyzed with the objective of making a proposal for their incorporation in Ecuador. The results showed that *Pleurotus Ostreatus* and *Ganoderma Lucidum* strains are the most common in the elaboration of these biocomposites, this is explained by their rapid rate of colonization of hyphae on the substrate, which reflects better mechanical properties. However, for the elaboration of mortars and concrete repair there is not a vast amount of research so it is largely unexplored.



SANDRA LILIANA
ABARCA GARCIA

Reviewed by:

Lic. Sandra Abarca Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0601921505

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

Antecedentes

El sistema de construcción actual no ha tenido en cuenta el papel finito de los recursos humanos, pues según Lam (1997) muy pocos contratistas hacen esfuerzos por desarrollar el concepto de reciclaje de los materiales de construcción, ya que la prioridad para ellos es generar la mayor utilidad posible al terminar la obra con el menor tiempo (Poon et al., 2001).

Autores como Mendes et al. (2014), sostienen que es importante incentivar cambios en la industria de la construcción para adaptarse a los objetivos mundiales de desarrollo y sustentabilidad mediante sistemas ambientales para las construcciones, donde una alternativa razonable es el desarrollo de materiales de construcción con base biológica.

En el Ecuador, pocos estudios han abordado en ensayo de nuevos materiales con compuestos vegetales, sin embargo, uno de los más destacados es el realizado por Dávila et al. (2011), donde se describen investigaciones previas del desarrollo de composites elaborados con fibras naturales ecuatorianas. Se le denomina composite a una composición artificial, resultantes de la combinación de dos o más componentes cuyas propiedades son superiores a las que tienen cada uno por separado (Olivares et al., 2003).

El estudio del uso de micelio fúngico en la construcción ha sido desarrollado en los últimos años, pues permanentemente se ha buscado nuevos materiales para la industria de la construcción que brinden nuevas o mejores propiedades que los materiales tradicionales. Sin embargo, estudios en Ecuador con respecto a especies fúngicas como nuevo material de construcción es escasa pues su uso está limitada a gastronomía, agricultura y medicina (Sosa, 2021).

El micelio, es la parte vegetativa del hongo que tiene una estructura porosa compuesta por llamas tubulares llamadas hifas y es lo que compone el cuerpo del hongo. En una revisión de Alemu et al. (2022), describe a los materiales a base de hongos como un material no tóxico, de bajo costo y reciclable, además, brinda una propiedad de aislamiento térmico y tiene el potencial de remplazar a los materiales de construcción convencionales.

Es por ello que se plantea la pregunta ¿El conocimiento de las propiedades mecánicas y elaboración de compuestos a partir de micelio fúngico a través de una revisión de la literatura contribuirá a su implementación en la industria de la construcción en el Ecuador?

El presente proyecto de investigación busca describir el estado del arte a fin de conocer todos los aspectos relacionados a la viabilidad del uso de micelio fúngico en mampostería y hormigón en Ecuador donde se espera que, mediante el crecimiento de información en base a resultados de estudios ya realizados, se logre plantear una metodología para el uso de micelio fúngico en mampuestos y hormigón en futuras construcciones dentro del país, por lo que es de gran importancia evaluar todos los parámetros correspondientes a

su elaboración, duración, y factibilidad para futuras investigaciones experimentales de estructuras sostenibles.

Planteamiento Del Problema

Si bien la industria de la construcción proporciona beneficios en la generación de empleos e insumos en el país, no es amigable con el medio ambiente, debido a su crecimiento constante que demanda altos consumos energéticos durante su proceso de ejecución y altas cargas de contaminación con material articulado (Vera, 2019).

Las altas tasas de contaminación en el país son producidas en su mayoría por los residuos obtenidos en los procesos de construcción tradicionales con materiales como el hormigón tradicional, en Ecuador si bien existe la Ley de Gestión Ambiental no hay un buen control en la construcción, esto hace necesario el desarrollo de nuevas técnicas de construcción con materiales con bases vegetales con el objetivo de tener una sostenibilidad ambiental.

Aunque en Ecuador se han realizado numerosas investigaciones con ensayos de nuevos materiales biológicos, actualmente no se han desarrollado todavía investigaciones experimentales con el uso de micelio fúngico en construcciones a pesar de saber que en el país existe una reconocida diversidad de flora, pues se estima que se puede hallar más del 10% de las especies de plantas del mundo (Galapagos Unbound, 2023). Además, no se ha planteado una metodología que permita incluir este material biológico en la elaboración de hormigón y mampuestos al existir un gran vacío de información respecto a su uso, elaboración y beneficios hacia el ecosistema.

Justificación

La investigación planteada describirá el estado de la investigación del uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón para incorporar materiales sostenibles a partir de un análisis descriptivo de las características de las especies de micelio fúngico y sustratos aditivos, provenientes de una base de datos de aplicaciones estructurales.

Además, mediante el estudio se logrará proporcionar información apta que permita establecer una metodología que contribuya de manera significativa al diseño y elaboración de mampuestos y hormigón con el uso de micelio fúngico en el Ecuador que posean mejores propiedades acústicas, aislamiento térmico y adecuadas resistencias en elementos estructurales, siendo un gran aporte en la construcción de edificios eficientes, y con una reducción en costos de mano de obra y operatividad para así, reducir la contaminación provocada por la generación de residuos empleando materiales convencionales, en función al análisis del proceso de cultivo, esterilización, incubación y secado de los elementos.

Objetivos

Objetivo General.

- Revisar el estado de la investigación del uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón.

Objetivos Específicos.

- Investigar sobre la inclusión de micelio fúngico en mampuestos.
- Investigar sobre la inclusión de micelio fúngico en hormigón.
- Definir una metodología para el uso de micelio fúngico en mampuestos y hormigón.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

Estado Del Arte

El hormigón es una mezcla homogénea formado por una pasta adhesiva (cemento Portland) y agua que mantiene ligadas a las partículas de materiales inertes, compuestos por agregados finos y gruesos, con una correcta dosificación de sus componentes se asegura la resistencia durabilidad, trabajabilidad y economía (Perles, 2005). Este material es el más versátil y utilizado en la industria de la construcción a nivel mundial, sin embargo, tiene un alto impacto en el medio ambiente, pues de acuerdo con Meyer (2004) la producción de una tonelada de cemento Portland provoca la liberación de una tonelada de CO₂ a la atmósfera.

Debido a esto, la búsqueda de una construcción sostenible ambientalmente ha venido tomando auge en los últimos años, con la finalidad de priorizar el reciclaje, re-uso y recuperación de materiales frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales (Ramirez, 2002). Una estrategia viable es el uso de materiales alternativos que no generen contaminación en el proceso de construcción. Según Alemu et al., (2022) estos materiales pueden ser usados en construcción y producen menos contaminación y residuos durante la fabricación, utilización, proceso de transporte y demolición, además son sostenibles económicamente (Alemu et al., 2022).

Uno de estos materiales son los compuestos a base de micelio (MBC), que son elaborados a partir de un hongo que crece sobre un sustrato rico en nutrientes. Según Sydor et al. (2022), estos compuestos a pesar de tener propiedades mecánicas inferiores a los materiales convencionales presentan ventajas relacionadas al aislamiento acústico y térmico, resistencia al fuego, entre otros. El proceso de elaboración del composite debe ser tecnológicamente factible y rentable, y a su vez, demandar baja energía y no producir residuos.

Los hongos son microorganismos eucariotas que poseen una gran diversidad en su morfología y estilo de vida, asimismo desempeñan un papel central dentro de los ecosistemas terrestres debido a su gran capacidad de degradar la lignocelulosa y reciclar el carbono, además de tener un potencial de colonizar áreas grandes (Elsacker et al., 2020). Estos poseen una red de filamentos microscópicos conocidos como hifas y tienen la capacidad de cohesionar materiales dispersos, creando así una estructura unificada denominada micelio (Girometta et al., 2019a). De igual manera, tienen la capacidad de adaptarse al entorno de nutrientes externos y, con la presencia de sustratos, pueden sintetizar nuevos compuestos biológicos en las células y generar energía metabólica mediante la oxidación de compuestos de carbono (Jiang et al., 2022).

Según Sydor et al. (2022) se desconoce el número total de especies de hongos pues aproximadamente hay un estimado de 1,5 millones hasta 5,1 millones de especies, sin embargo, clasifica a los hongos en tres grupos con diferentes efectos de degradación: hongos

de pudrición blanca, pudrición blanda y pudrición parda. De acuerdo con Alemu et al., (2022) y Kuribayashi et al. (2022a) varios estudios usan principalmente a los hongos de pudrición blanca en los que resaltan *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum*.

El micelio es la parte vegetativa de un hongo que consiste en una red de finos filamentos blancos compuesta por quitina, celulosa, proteínas, etc (Figura 1). El crecimiento del micelio forma enlaces que degradan al sustrato orgánico y colonizan gradualmente la materia orgánica y la unen en materiales de estructura fuerte y tridimensional. Soh et al. (2020a) y Elsacker et al. (2022) describen al micelio como un pegamento natural capaz de unir el sustrato para formar un compuesto con propiedades interesantes de bajo costo.



Figura 1. Estructura del micelio. Recuperado de: (Manana et al., 2021)

Idealmente el micelio crece en sustratos que contienen lignocelulosa, Elsacker et al. (2022) indica que la lignocelulosa es el componente estructural principal compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina, el micelio del hongo crece degradando la lignocelulosa para unir eficazmente el sustrato.

Los hongos requieren de sustratos como nutrientes para crecer y sintetizar los compuestos a base de micelios, estos cumplen un rol fundamental ya que son medios sólidos que brindan respaldo y protección al micelio durante el crecimiento. Según el estudio realizado por Jones et al. (2020a) los sustratos empleados en composites a base de micelio provienen principalmente de subproductos agrícolas lignocelulósicos de bajo costo como la paja o granos de trigo. Además, Sydor et al. (2022) define a un sustrato ideal como aquel que contiene suficiente nitrógeno y carbohidratos para facilitar el crecimiento del micelio. Adicionalmente Yang et al. (2021a) indica que diferentes sustratos dan al composite funciones específicas, cuando las propiedades mecánicas con una prioridad se utilizan sustratos de mayor calidad y más caros.

Se presenta el proceso de elaboración (Figura 2) el cual consta de 5 pasos principales en los que concurren varias investigaciones: Cultivo de micelio, esterilización del sustrato, inoculación del sustrato, incubación y secado.



Figura 2. Fases de elaboración de materiales a base de micelio. Adaptado de: (Manana et al., 2021) y (Jones et al., 2020a)

El cultivo inicia por la selección de la cepa, los criterios para la selección incluyen la densidad del micelio, tasa de crecimiento, facilidad de cultivo, disponibilidad en el medio local y estructura del micelio. En el estudio realizado por Alemu et al., (2022) se menciona que el cultivo de cepas se lo realiza en placas de agar, sustrato de grano, solución nutritiva o en sustrato homogeneizado previamente cultivado. Estos cultivos están aislados en temperatura y humedad óptimas para el desarrollo del micelio, un mal control de temperatura y humedad significan una tasa de crecimiento menor o incluso el daño de la cepa.

La etapa de inoculación es un paso clave en la producción de materiales a base de micelio, y consiste en introducir el hongo en el sustrato para que comience a crecer. El sustrato seleccionado se sumerge en agua para hidratarlos que es importante para el crecimiento de hongos, y después homogeneizada para aumentar la superficie de crecimiento (Jones et al., 2020a). Una inoculación exitosa requiere elegir adecuadamente la concentración de inóculo fúngico y la técnica de distribución en el sustrato para lograr la máxima dispersión (Elsacker et al., 2022).

Tras la inoculación viene la incubación, donde las condiciones deben optimizarse para que ocurra el crecimiento y esparcimiento del micelio entre las partículas del sustrato, esta etapa puede tener un periodo de días a meses (Jones et al., 2020a). Las condiciones ambientales para un rápido crecimiento dependen de cada cepa de hongo y del sustrato a usar, en general se obtienen grandes densidades cuando el material se encuentra en presencias bajas de CO₂, además, en todos los casos la incubación se realiza en un ambiente controlado de temperatura y humedad (Elsacker et al., 2022). Tiempos de crecimiento altos dan como resultado mayores resistencias a compresión, sin embargo, un periodo largo de crecimiento tiene un impacto negativo en los módulos elásticos y de corte.

Después de la etapa de crecimiento, el material se lo retira en un molde para el secado, para asegurar neutralizar el crecimiento del hongo mientras se endurece el material (Jones et

al., 2020a). Existen numerosos procesos de deshidratación, los más comunes son el secado en horno, secado por microondas y el secado por lámpara infrarrojo.

Autores contemplados como Van Wylick et al. (2021) y Konwarh et al. (2020) llevan el estudio del micelio a aplicaciones de reparaciones de hormigón a través de procesos de organomineralización. Este término designa a los procesos de síntesis de minerales mediados por materia orgánica, independientemente de los organismos vivos de los que deriva. Los compuestos orgánicos pueden originarse como excreciones o fragmentos de seres vivos, así como restos y subproductos de organismos muertos, los cuales son liberados en cuerpos de agua o integrados en suelos, sedimentos y rocas (Défarge, 2011). Según Luo et al. (2018) una estrategia de curación de hormigón es la precipitación de carbonato de calcio, donde se forman cristales de carbonato de calcio a partir de una solución acuosa, estos cristales pueden depositarse dentro de grietas de hormigón, rellenándolas y sellando las fisuras.

Existen diversos estudios de autores como (Elsacker et al., 2022) del micelio fúngico como remplazo a materiales tradicionales para la construcción, en donde se destacan sus propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y a flexión, así como otras propiedades como sus grandes capacidades de aislamiento térmico y acústico presentes en diferentes construcciones a nivel internacional como la Torre Hy-fi, The Growing Pavillion (Figura 3), Grow It Yourself, entre otros.



Figura 3. Construcción The Growing Pavillion. Adaptado de: (Elsacker et al., 2022)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

Tipo De Investigación

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo de manera estructurada que permite la recolección de datos y análisis de la información requerida. A su vez, posee un alcance de tipo descriptivo y correlacional que busca describir el estado del arte en función a los artículos relacionados con el uso de elementos biológicos en mampuestos y hormigón. (Figura 4).

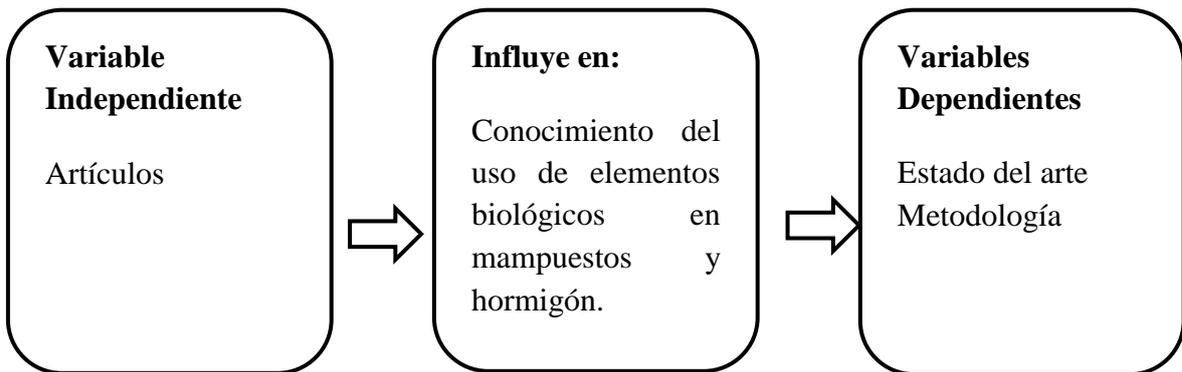


Figura 4. Relación entre variable independiente y variables dependientes.

Descripción De La Metodología

Para el proceso de desarrollo presente estudio se ha empleado la metodología descrita (Figura 5) para evaluar el estado del conocimiento del uso de micelios fúngicos en el desarrollo de mampuestos y hormigón y proponer una metodología para su uso en el Ecuador.

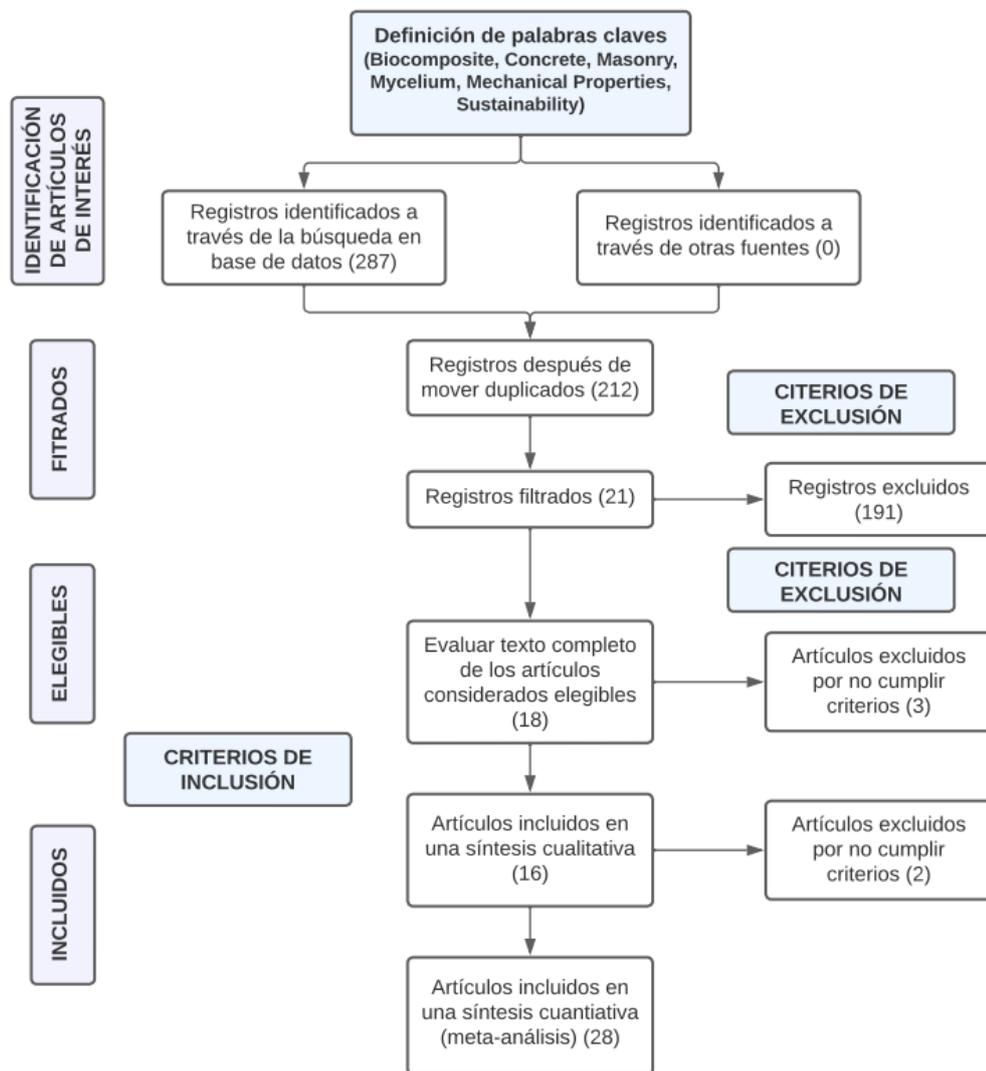


Figura 5. Proceso de la revisión de la literatura.

El desarrollo de la investigación comenzó con la definición de palabras claves que permitieron obtener información a partir de la revisión de la literatura con el uso de operadores booleanos como fue el caso del “AND”, así como se aplicaron estrategias de búsqueda para el filtrado de registros de fuentes empleadas. En el caso de operadores booleanos tales como “OR” o “NOT”, no se han empleado para la selección de artículos debido a que, las bases de datos arrojaban una gran cantidad de resultados que no se relacionaban explícitamente con el uso de micelio fúngico, sino más bien en otro tipo de elementos biológicos en mampuestos y hormigón que no aportaban valor a la presente investigación.

Una vez se removieron los duplicados se establecieron criterios de selección para evaluar los artículos elegibles en una síntesis cualitativa y cuantitativa y determinar aquellos que se emplearon en el estudio. Finalmente, se elaboró un informe de investigación que proporcione actualizaciones sobre los avances del uso de micelio fúngico y lograr establecer una metodología de uso en la elaboración de nuevos materiales.

Técnicas De Recolección De Datos

Se realizó la búsqueda en bases de datos como Scopus, Web Of Science, Google Académico y Science Direct de artículos publicados en revistas de alto impacto en inglés desde el año 2008 hasta 2023 empleando las palabras clave “Biocomposite”, “Concrete”, “Masonry”, “Mycelium”, “Mechanical Properties” y “Sustainability”. Además, se revisaron registros adicionales empleando herramientas visuales como Connected Papers en relación al tema de estudio.

Población De Estudio Y Tamaño De Muestra

Criterios De Inclusión

Los registros bibliográficos candidatos se centraron en artículos que contemplen las palabras claves seleccionadas con restricción de idioma inglés debido a que nos proporcionaban mayor cantidad de artículos de alto impacto en los últimos 15 años en vista de que es un tema de investigación novedoso con pocos diseños experimentales realizados que implica buscar una mayor cantidad de información a través de los años, considerando aquellas más recientes.

Se han incluido investigaciones que describan los diferentes tipos de micelio y sustratos más adecuados para elaboración de biocompuestos que contribuyan a construcciones sostenibles. Por otro lado, se integraron aquellos artículos que empleen al menos, una cepa de micelio fúngico que pueda encontrarse dentro del país.

Además, se han considerado aquellos que describan las propiedades mecánicas del uso del micelio fúngico como material de construcción y detallen su proceso constructivo. Finalmente, se realizó la búsqueda adelante y atrás mediante Connected Papers a través de las referencias para seleccionar trabajos relacionados con el estudio.

Criterios De Exclusión

Se tomaron en cuenta distintos criterios para excluir aquellos artículos que no sean relevantes dentro de la investigación. Dentro de los mismos, se analizaron y excluyeron aquellos artículos que empleen otro tipo de material sostenible distinto al micelio fúngico para la elaboración de biocompuestos y no pertenezcan a revistas de alto impacto.

Selección De Muestra

Se realizó el proceso de identificación de estudios seleccionados (Figura 4), donde se obtuvo 287 investigaciones iniciales (78 en Scopus, 114 en Web of Science, 4 en Science Direct, 91 en Google Académico), que se filtraron eliminando duplicados para poder realizarse el análisis completo del texto en función a los criterios de exclusión.

Una vez realizado el análisis, 16 artículos cumplieron con los criterios de exclusión, donde se agregaron 12 investigaciones con búsqueda manual a través de Connected Papers para complementar el estudio. Después de una evaluación detallada a través de una síntesis cualitativa y cuantitativa, se seleccionó un número final de 28 estudios de alto impacto y carácter internacional de los últimos 15 años para la revisión bibliográfica.

Método De Análisis Y Procesamiento De Datos

Para la síntesis cualitativa y análisis de información recolectada de cada una de las investigaciones seleccionadas se ha empleado la herramienta tecnológica conocida como Atlas T.I (Anexo 1), misma que nos va a permitir organizar la cantidad de artículos e información relevante en la presente investigación cualitativa a través de una síntesis que facilite tanto el trabajo en equipo como el análisis e interpretación de información y poder así, optimizar tiempos en el desarrollo del proyecto de investigación.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Elementos Biológicos En Materiales De Construcción

Aplicaciones

Como punto de partida para determinar la aplicabilidad y el posible uso de elementos biológicos en materiales de construcción como el hormigón y los mampuestos se puede observar en la Tabla 1 algunas aplicaciones comunes del micelio fúngico empleadas dentro del sector de la construcción que sirvieron de guía para comprender las fortalezas de este material en función a sus propiedades específicas.

Tabla 1

Aplicaciones De Elementos Biológicos En Materiales De Construcción

Aplicaciones	Autores
Materiales de embalaje	(Aiduang et al., 2022a; Elsacker et al., 2022; Kuribayashi et al., 2022a; Rigobello et al., 2021; Soh et al., 2020a; Sydor et al., 2022; Van Wylick et al., 2021; Ziegler et al., 2016)
Materiales de revestimiento	(Aiduang et al., 2022a; Elsacker et al., 2022)
Materiales aislamiento acústico	(Aiduang et al., 2022b; Bitting et al., 2022; Elsacker et al., 2022; Ghazvinian et al., 2022; Girometta et al., 2019b; Jones et al., 2020b; Kuribayashi et al., 2022b; Soh et al., 2020b; Sydor et al., 2022)
Materiales aislamiento térmico	(Bitting et al., 2022b; Elsacker et al., 2022; Ghazvinian et al., 2022b; Girometta et al., 2019a; Jones et al., 2020a; Soh et al., 2020a; Vašatko et al., 2022b; Yang et al., 2021a)
Construcción de edificios de poca altura	(Aiduang et al., 2022a; Özdemir et al., 2022; Rigobello et al., 2021; Shakir et al., 2020; Yang et al., 2021a)
Construcción de muebles	(Aiduang et al., 2022b)
Biocompuestos	(Alemu et al., 2022; Shakir et al., 2020; Tacer-Caba et al., 2020)
Paneles	(Alemu et al., 2022; Biala et al., 2022; Elsacker et al., 2022; Ghazvinian et al., 2022b; Gou et al., 2021; Jones et al., 2020a)
Cubiertas	(Shakir et al., 2020)
Pisos	(Gou et al., 2021; Jones et al., 2020a)
Placas	(Biala et al., 2022; Manana et al., 2021)
Encofrado	(Bitting et al., 2022b; Vašatko et al., 2022b)
Mampuestos	(Biala et al., 2022; Ghazvinian et al., 2022b; Van Wylick et al., 2022)
Mortero	(Jiang et al., 2022)
Losas de hormigón	(Bitting et al., 2022b)

Hormigón autocurable	(Menon et al., 2019)
Biomíneralización del hormigón	(Konwarh et al., 2020; Van Wylick et al., 2021)
Precipitación de carbonato de calcio (CaCO ₃)	(Konwarh et al., 2020; Menon et al., 2019)
Rellenos en carreteras	(Yang et al., 2021a)
Reparación de morteros	(Van Wylick et al., 2021)
Reparación de grietas en hormigón	(Jiang et al., 2022; Jin et al., 2018; Konwarh et al., 2020; Martuscelli et al., 2020; Rizwan et al., 2021; Van Wylick et al., 2022)

Nota. Se presentan las principales aplicaciones en el sector de la construcción de elementos biológicos en mampuestos y hormigón

Considerando lo presentado en la Tabla 1, se pudo determinar que el uso de micelio fúngico predomina en elementos no estructurales en construcciones por sus propiedades mecánicas, y que, debido a las mismas, ha sido un limitante en su aplicación dentro de estructuras a gran escala. La aplicación principal de micelio mencionada por 9 autores hace referencia al aislamiento acústico seguido por el aislamiento térmico nombrado por 8 de los autores. Se observa dentro de las aplicaciones que, además, se ha empleado este material biológico dentro de procesos que permiten la regeneración de grietas en hormigón dentro del sector vial (Yang et al., 2021a) y estructural mencionado por 5 autores.

Sustratos

Dosificaciones

Al realizar la revisión de la literatura de artículos donde se elaboraron compuestos y bloques a base de micelio fúngico se han obtenido las dosificaciones mostradas en la Tabla 2, las cuales contienen cantidades y porcentajes de sus componentes en función a las diferentes especies de micelio y una gran variedad de sustratos que, dentro de cada uno de los artículos, influyeron en los resultados experimentales.

Tabla 2

Dosificaciones Sustratos

Título/Autor	Nombre Científico Especie De Micelio Fúngico	Sustrato	Dosificación
<i>Mechanical, Physical, and Chemical Properties of Mycelium-Based Composites Produced from Various Lignocellulosic Residues and Fungal Species</i> (Aiduang et al., 2022a)	<ul style="list-style-type: none"> • Ganoderma Fornicatum • Ganoderma Williamsianum • Lentinus Sajorcaju • Schizophyllum Commune 	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrín de árbol de caucho* • Cáscara de maíz* • Paja de arroz* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 5% en peso de la masa seca • Sustratos: Mezcla con 5% de salvado de arroz, 1% de carbonato de calcio 2% de sulfato de calcio y 0,2% de sulfato de sodio • La relación en peso entre inóculo micelial y la masa de sustrato fue de 1:100
<i>Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial</i> (Alemu et al., 2022a)	<ul style="list-style-type: none"> • Rhizopus Oryzae • Fanerochaete Chrysosporium • Pleurotus Ostreatus • Ganoderma Lucidum 	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrín De Haya • Paja • Polvo De Coco • Cáscara De Arroz 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 10-20% del peso en base seca del sustrato
<i>Production of Mycoblock from the Mycelium of the Fungus Pleurotus ostreatus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pleurotus Ostreatus 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de arroz* • Aserrín De Haya* 	<ul style="list-style-type: none"> • 3% de sulfato de calcio (en peso seco) • Inóculo micelial: 200 gr

<p><i>for Use as Sustainable Construction Materials</i> (Alemu et al., 2022b)</p>			
<p><i>Mycstructures— growth-driven fabrication processes for architectural elements from mycelium composites</i> (Elsacker et al., 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trametes Versicolor 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras De Coco • Desechos de lino • Madera blanda • Paja 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial:sustrato de 1:1 en peso
<p><i>Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties</i> (Ghazvinian et al., 2022b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trametes Versicolor • Pleurotus Ostreatus • Ganoderma Lucidum • Pleurotus Albidus • Colorius 	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrín De Haya • Salvado De Trigo* • Paja De Colza 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aserrín: Paja</i> <ul style="list-style-type: none"> • 1:1 • 1:2 • 1:3 • 1:7 • Solo aserrín • Inoculación del sustrato al 7% del peso seco
<p><i>Morphological and physico-mechanical properties of mycelium biocomposites with natural reinforcement particles</i> (Gou et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pleurotus Ostreatus • Oudemansiella Radicata • Acremonium Sp. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tallo de algodón • Salvado de trigo 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustrato: 0%- 7.5%- 15%- 22.5%- 30%- 37.5% en peso • Inóculo micelial: 3% (p/p) sobre el sustrato
<p><i>Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trametes Versicolor • Trametes Multicolor • Ganoderma Lucidum • Pleurotus Ostreatus 	<ul style="list-style-type: none"> • Madera* • Corcho* • Paja De Colza* • Paja De Arroz* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial:10-32% en peso

(Jones et al., 2020a)		<ul style="list-style-type: none"> • Aserrín De Roble Rojo O Blanco* • Médula De Cábano* • Linaza* • Aserrín De Pino* 	
<i>Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components</i> (Özdemir et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Ganoderma Lucidum 	<ul style="list-style-type: none"> • Madera Blanda De Pino* • Fibras De Cábano* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 1% en peso
<i>Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite</i> (Shakir et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Pleurotus Ostreatus • Ganoderma Lucidum • Trametes Versicolor 	<ul style="list-style-type: none"> • Algodón* • Madera De Caucho* • Grano De Maíz* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 5 gr en peso con 95 mg de bromuro de potasio (KBr)
<i>Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites</i> (Soh et al., 2020a)	<ul style="list-style-type: none"> • Schizophyllumcomun* 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras De Bambú • Quitosano 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de quitosano: 2-3 % en peso • Relación quitosano:fibras enriquecidas: 50:50 a 70:30
<i>Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil</i> (Van Wylick et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Ganoderma Resinaceum • Trametes Versicolor 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras De Cábano* • Aserrín De Haya* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 2% en peso

<i>Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites</i> (Vašatko et al., 2022b)	<ul style="list-style-type: none"> • Pleurotus Ostreatus • Ganoderma Lucidum 	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrín De Haya* • Arena* • Arcilla* • Paja* 	<ul style="list-style-type: none"> • Inóculo micelial: 10% en peso
--	--	---	---

Nota. *Los autores de los artículos no proporcionan información acerca de la dosificación.

Una vez analizada la Tabla 2, se pudo resaltar que las cepas de hongo predominante en cada uno de los artículos son las correspondientes a las especies Pleurotus Ostreatus (mencionada en 9 artículos), Ganoderma Lucidum (mencionada en 9 artículos) y Trametes Versicolor (mencionada en 6 documentos), mientras que, los sustratos más comunes para realizar las investigaciones fueron el aserrín de haya o roble (mencionado en 6 artículos), la paja (mencionada en 6 artículos), y la cáscara de arroz (mencionada en 5 artículos), entre otros. Además, se identificaron las dosificaciones en términos de peso tanto de la concentración del sustrato como de la cantidad de inóculo micelial, la cual oscila en un rango de 1-20% en peso de la cantidad de la muestra. El menor porcentaje de peso fue de 1% de inóculo micelial mencionado por (Özdemir et al., 2022) y el máximo fue de 32% en peso de inóculo micelial mencionada por (Jones et al., 2020a).

Elaboración

Al investigar el proceso de preparación de composites a base de micelio fúngico y sus respectivos sustratos se han considerado en su mayoría cada una de las etapas iniciando desde la elección de la especie fúngica, hasta la preparación para cada uno de los ensayos a realizar que, a su vez, se han descrito en la sección “Estado Del Arte”. Además, se muestra en la Tabla 3 la duración de cada una de las fases.

Factores A Considerar. Para una adecuada elaboración de muestras se deben considerar factores como: Especie de micelio, sustrato empleado, métodos de fabricación, condiciones del lugar de crecimiento, tiempo de elaboración, nivel de pH, dimensiones de la probeta, método de prensado, dosificación, densidad, nivel de hidratación, humedad, cantidad de lignocelulosa, post procesamiento, uso de refuerzos, tipo de aditivo, entre otros, nombrados en la Tabla 3 por diferentes autores presentados.

Tabla 3*Elaboración Sustratos*

Autor	Tiempo De Elaboración	Preparación Para Su Uso
<i>Mechanical, Physical, and Chemical Properties of Mycelium-Based Composites Produced from Various Lignocellulosic Residues and Fungal Species</i> (Aiduang et al., 2022a)	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación: 14-21 días. • Inoculación: 2 semanas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preparación Sustrato</i> 2. <i>Preparación Muestra:</i> Se mezclan los residuos lignocelulósicos con agregados 3. <i>Esterilización Sustrato:</i> Se ajusta la humedad 4. <i>Inoculación</i> 5. <i>Incubación:</i> Crecimiento completo del micelio sobre el sustrato con una humedad relativa del 60% 6. <i>Moldeamiento</i> 7. <i>Prensado:</i> Para dar forma y aumento de densidad 8. <i>Secado:</i> Para lograr estabilizar la masa
<i>Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial</i> (Alemu et al., 2022a)	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación antes del moho: 7-45 días • Incubación después del moho: 3-45 días • Secado: 2-48 horas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Cultivo:</i> Generalmente de Basidiomycetes, método de tejidos o impresión de esporas, en granos para producir el inóculo o semilla 2. <i>Preparación y esterilización del sustrato:</i> Se muele y se tamiza para un tamaño homogéneo, se ajusta la humedad y se esteriliza a 100°C 3. <i>Inoculación:</i> Se mezcla la semilla con el sustrato estéril 4. <i>Incubación:</i> Se mantienen a 25-30°C y 60-70% de humedad 5. <i>Moldeamiento:</i> Se coloca en recipientes o moldes la mezcla obtenida 6. <i>Secado:</i> Se detiene el crecimiento aplicando calor a 60-125°C
<i>Production of Mycoblock from the Mycelium of the Fungus Pleurotus ostreatus for Use as Sustainable Construction Materials</i> (Alemu et al., 2022b)	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación: 7,14,21 días • Secado: 48 horas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Moldeamiento</i> 2. <i>Incubación:</i> Se emplea una temperatura de 28°C 3. <i>Desnaturalización</i>

<p><i>Mycostructures— growth-driven fabrication processes for architectural elements from mycelium composites</i> (Elsacker et al., 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación: 6-7 días • Desmoldamiento: Después de 14 días • Secado: 8 horas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Moldeamiento</i>: Moldes de polipropileno impermeable 2. <i>Incubación</i>: Se mantiene una humedad de 76,8% 3. <i>Encofrado</i>: En geotextil 4. <i>Corte</i>: En capas de 1cm de espesor 5. <i>Secado</i>: a 80°C
<p><i>Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties</i> (Ghazvinian et al., 2022b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento: 5,6 y 7 semanas • Incubación: 7 días de diferencia • Secado: 7 días 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preparación Mezcla</i>: 5 mezclas utilizando el hongo Pleurotus Ostreatus de sustratos como madera de roble y paja de trigo picada de 3 cm y harina de trigo integral sin blanquear al 7% del peso seco, con diferentes dosificaciones. 2. <i>Cultivo</i>: Se realizó tanto en bolsas como en moldes con aproximadamente 35 tratamientos para descontaminar 3. <i>Inoculación</i> 4. <i>Crecimiento</i>: En primera instancia en bolsas, y luego en encofrado. 5. <i>Secado</i>: Se secaron las muestras 7 días a 25°C y para el ensayo durante a 92°C 6. <i>Prensado</i>: Se realiza un prensado en caliente
<p><i>Morphological and physico- mechanical properties of mycelium biocomposites with natural reinforcement particles</i> (Gou et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo: 14 días • Secado: 72 horas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Incubación de cepas de hongos</i> 2. <i>Procedimiento de secado</i> 3. <i>Desmoldamiento</i>
<p><i>Engineered mycelium composite construction materials from fungal</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento: días a meses 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preparación Del Sustrato</i>: Se hidratan sumergiéndolos en agua 2. <i>Homogenización</i>: Mecánicamente para aumentar la superficie con licuadora.

<p><i>biorefineries: A critical review</i> (Jones et al., 2020a)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. <i>Esterilización:</i> Mediante autoclave horno u otros métodos para eliminar microbios 4. <i>Inoculación:</i> Dispersando uniformemente el hongo cultivado 5. <i>Crecimiento:</i> Se unen los hongos con el sustrato a temperatura ambiente o controlada de entre 25-27 °C 6. <i>Post procesamiento:</i> Se aplica prensado en frío o caliente 7. <i>Secado:</i> Al horno o aire para deshidratar y detener el crecimiento
<p><i>Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components</i> (Özdemir et al., 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incubación del sustrato: 2 semanas • Incubación de muestras: 3-6 días adicionales • Secado: 2-3 días 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección Tipo De Hongo</i> 2. <i>Preparación Del Sustrato:</i> Se mezcló salvado y el cáñamo con sulfato de calcio y agua 3. <i>Esterilización</i> 4. <i>Inoculación:</i> Con el 1% del micelio 5. <i>Incubación Del Sustrato:</i> A 26-28°C para desarrollar la red del micelio 6. <i>Moldeamiento:</i> Se añadió el sustrato a moldes con chapas de refuerzo en el interior 7. <i>Incubación De Muestras:</i> 3-6 días más para desarrollar la red de micelio 8. <i>Secado:</i> Se secaron las muestras a 60-70°C
<p><i>Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite</i> (Shakir et al., 2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inoculación: 14-45 días • Crecimiento: 14 días • Prensado: 20-40 minutos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Incubación:</i> A partir de los diferentes sustratos 2. <i>Inoculación</i> 3. <i>Moldeamiento:</i> A partir de aserrín de madera de caucho y granos de maíz con 10% de glucosa 4. <i>Esterilización</i> 5. <i>Inoculación Con Micelio</i> 6. <i>Extracción:</i> Se extrae el micelio crecido por métodos de ebullición o filtrado 7. <i>Prensado:</i> En caliente a 130°C, aplicando 5 MPa

<p><i>Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites</i> (Soh et al., 2020a)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento En Fibras De Bambú: 1-4 semanas • Crecimiento En Puntales Extruidos: 20 días 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preparación Fibras De Bambú:</i> Secado a 80°C, trituración y tamizado a tamaños de 1mm, 500µm y 200µm. 2. <i>Preparación Del Sustrato:</i> mezcla de 175g de fibras de bambú con 175ml de agua 3. <i>Esterilización Y Enfriamiento:</i> Con un pH de solución de quitosano: 4-6 4. <i>Inoculación:</i> Con 50 gr de cultivo madre de micelio 5. <i>Incubación</i> 6. <i>Preparación Muestra:</i> Mezcla de las fibras enriquecidas con micelio con solución de quitosano al 2-3% en ácido acético al 1% 7. <i>Extrusión Manual:</i> En puntales de 5cm de longitud 8. <i>Crecimiento:</i> En Puntales
<p><i>Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil</i> (Van Wylick et al., 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secado: 48 horas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Preparación Muestra:</i> Se elaboró la muestra con la mezcla del hongo y el sustrato con un tamaño de 2mm 2. <i>Incubación:</i> En cámara climática con temperatura de 25°C y humedad relativa 50%, con un pH entre 6-7 3. <i>Moldeamiento:</i> Se colocaron las muestras en una red de nailon 4. <i>Secado:</i> Eliminar humedad en el horno a 40°C 5. <i>Prensado:</i> Se liberaron de la red de nailon luego de haber prensado
<p><i>Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites</i> (Vašatko et al., 2022b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incubación: 1-6 semanas • Expansión del micelio: 5 días • Crecimiento: 3-19 días extra 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección Tipo De Hongo:</i> Se toman en consideración la composición de la pared celular, la capacidad para poder degradar la lignina y características del crecimiento de la red micelial. 2. <i>Preparación Del Sustrato:</i> El sustrato seleccionado se debe esterilizar e hidratar puede emplear un aditivo dentro del mismo para mejorar sus propiedades mecánicas. 3. <i>Inoculación:</i> Una vez ha crecido el micelio, se agrega sobre granos o a su vez, en forma líquida tomando en cuenta una proporción comprendida entre el 10-20% del peso del sustrato seleccionado.

-
4. *Moldeo*: Dentro del proceso de moldeado se debe tomar en cuenta que hay que sellar los moldes con la forma deseada de manera que se pueda mantener dentro la humedad del compuesto.
 5. *Incubación*: Durante esta etapa se deben controlar las condiciones de temperatura, humedad y pH, entre otros.
 6. *Secado*: Una vez se ha colonizado al material se debe aplicar calor (60-220°) para así detener el crecimiento del hongo
-

Nota. Se presenta un resumen del proceso y tiempo de elaboración de composite a base de micelio fúngico.

Se observa que los autores en general coinciden con seguir las mismas fases de elaboración que constan principalmente de: selección de especies, cultivo de micelio, esterilización del sustrato, inoculación del sustrato, incubación y secado. Sin embargo, dependiendo del sustrato seleccionado, se ha observado un cambio en la incubación del micelio debido a que en su mayoría el tiempo es de 2 semanas, con una variación de más o menos una semana, se coincide en su mayoría con el tiempo de secado en el horno de 24 a 48 horas previo al ensayo cuyo crecimiento y distribución se ve influenciado por la especie de hongo y sustrato, ya que a mayor cantidad de nutrientes produce que el micelio degrade lignocelulosa y se incuba en menos tiempo.

Dentro de la preparación de la muestra se han tomado en cuenta factores constructivos como el tipo de prensado, siendo una mejor opción el prensado en caliente ya que ha demostrado mejores resultados en términos de resistencia y nivel de pH respecto al frío. Asimismo, la especie de hongo seleccionada debido al filo al que pertenece y las condiciones de cultivo han modificado significativamente y representado una gran diferencia en relación a la resistencia de los diferentes compuestos realizados. Por otro lado, para la esterilización del sustrato la técnica más utilizada fue mediante tratamiento térmico. Entre otros aspectos tomados en consideración se encuentra la especificación de la temperatura óptima de entre 23°C a 28°C, nivel de pH entre 5 a 7 y humedad relativa entre los 60-80% para lograr una composición adecuada del bloque de micelio fúngico.

Diseños Experimentales

A partir de la revisión del estado del arte se han considerado en la Tabla 4 investigaciones que presentaron ensayos experimentales en función a diferentes normativas de construcción para determinar las resistencias de los compuestos a base de micelio, así como sus propiedades mecánicas para poder establecer el comportamiento estructural del bio compuesto.

Tabla 4

Diseños Experimentales Sustratos

Autor	Ensayo	Resultado Ensayo
<p><i>Mechanical, Physical, and Chemical Properties of Mycelium-Based Composites Produced from Various Lignocellulosic Residues and Fungal Species</i> (Aiduang et al., 2022a)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad • Densidad • Absorción de agua • Contracción • Degradación térmica • Compresión • Tracción • Flexión • Impacto • Nivel de pH • Conductividad eléctrica • Contenido de materia orgánica • Contenido de nitrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad: 61,23 - 74,51% • Densidad: 198,84 - 340,31 kg/m³ • Absorción de agua: 105,07 - 208,82% • Contracción: 8,10 - 16,31% • Degradación térmica: 200-325°C • Resistencia a compresión: 0,25 - 1,87 MPa • Resistencia a tracción: 0,20 - 0,87 MPa • Resistencia a flexión: 0,06 - 0,32 MPa • Resistencia a impacto: 0,21 - 2,70kJ/m² • pH: 4,67 - 6,12 • Conductividad eléctrica: 1,14-3,94 dS/m • Contenido de materia orgánica: 70,40- 86,28% • Contenido de nitrógeno: 1,05 - 1,37%
<p><i>Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial</i> (Alemu et al., 2022a)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Compresión • Absorción de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad: 110-330 kg/m³ • Resistencia a compresión: 2,2 MPa • Absorción de agua: 52-200%

<p><i>Production of Mycoblock from the Mycelium of the Fungus Pleurotus ostreatus for Use as Sustainable Construction Materials</i> (Alemu et al., 2022b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción de agua • Densidad • Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción De Agua: 68% • Densidad: 280 kg/m³ • Resistencia a compresión: 7,50 MPa
<p><i>Mycostructures—growth-driven fabrication processes for architectural elements from mycelium composites</i> (Elsacker et al., 2022)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a compresión promedio: 5,8-4,91 MPa <ul style="list-style-type: none"> ○ Mejor resistencia promedio: 3,60 MPa (solo aserrín) ○ Peor resistencia promedio: 0,69 MPa (dosificación 1:1)
<p><i>Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties</i> (Ghazvinian et al., 2022b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad Seca • Compresión No Confinada • Cohesión • Fricción Interna • Absorción De Agua • Coeficiente De Permeabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad Seca: 0,413 g/cm³ (Pleurotus Ostreatus) • Compresión No Confinada: 3,50 MPa (Ganoderma Lucidum) • Cohesión: 1,78 MPa (Pleurotus Ostreatus) • Fricción Interna: 21.8° (Pleurotus Ostreatus) • Absorción De Agua: 94,5% • Coeficiente De Permeabilidad: 37,5%
<p><i>Morphological and physico-mechanical properties of mycelium biocomposites with natural reinforcement particles</i> (Gou et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Conductividad térmica • Absorción acústica • Tracción • Flexión 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad: 60-300 kg/m³ • Conductividad térmica: 0.04-0.18 W/mK • Absorción acústica: 70-75% a 1000 Hz • Resistencia a tracción: 0.01-0.18 MPa • Resistencia a flexión: 0.05-0.29 Mpa
<p><i>Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compresión • Tracción • Extracción • Flexión 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a compresión: 1.2 MPa • Resistencia a tracción de juntas soldadas: 63.6 ± 10.5 MPa • Resistencia a la extracción (adherencia): 0.34-0.36 MPa • Resistencia a flexión:

(Jones et al., 2020a)		<ul style="list-style-type: none"> ○ Bloques ligeros sin refuerzo: 0.17 ± 0.04 MP ○ Bloques ligeros con celosía baja densidad: 0.19 ± 0.04 MPa
<i>Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components</i> (Özdemir et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño De Fibra Óptimo • Módulo De Young • Límite Elástico • Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño De Fibra Óptimo: 500 μm • Módulo De Young: ~ 250 MPa (500 μm fibra y 4 semanas de crecimiento) • Límite Elástico: 11-12 MPa (500 μm fibra y 4 semanas de crecimiento) • Módulo De Compresión: 0,40 MPa
<i>Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite</i> (Shakir et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Termogravimetría • Calorimetría • Flexión 	<ul style="list-style-type: none"> • Termogravimetría: Mayor estabilidad térmica con mayor tiempo de inoculación (45 días) • Calorimetría: Mejor temperatura de transición vítrea con mayor tiempo de inoculación (45 días) • Resistencia a flexión: 3.91 MPa (prensado 20-40 minutos)
<i>Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites</i> (Soh et al., 2020a)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje pérdida de peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje pérdida de peso 16 semanas: 50,80% (muestras vivas) • Porcentaje pérdida de peso 16 semanas: 43% (muestras inertes)
<i>Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil</i> (Van Wylick et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Compresión • Flexión 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a compresión: 2.49 Mpa (Aserrín de haya) • Resistencia a flexión: 0.649 N/mm² (Periódico triturado)
<i>Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Módulo de Young • Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad: 100-860 kg/m³ • Módulo de Young: 0.029-2 MPa • Resistencia a compresión: 0,10-2,40 MPa

(Vařatko et al., 2022b)

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Tracci3n Uniaxial• Flexi3n• % de p3rdida de peso | <ul style="list-style-type: none">• Resistencia a tracci3n: 0,40-0,83 MPa• Resistencia a flexi3n: 0.1-0.35 MPa• Tras hornear a 80°C pierde hasta el 90% de su peso |
|--|--|
-

Nota. Se presenta un resumen de los principales diseos experimentales realizados con el uso del composite a base de micelio f3ngico y sus respectivos sustratos.

Como los principales ensayos realizados se encuentran ensayos de tracci3n uniaxial, compresi3n, flexi3n, m3dulo de Young, contenido de humedad, absorci3n de agua y densidad, nombrados por los autores de la Tabla 3. Adicionalmente, pocas investigaciones muestran el desarrollo de ensayos de impacto, calorimetría, espectroscopía, y porcentaje de p3rdida de peso, entre otros.

Entre los diferentes resultados de los ensayos se encuentran la densidad en un rango de 60-400 kg/m³ directamente proporcional con la compresi3n, cuyos valores se encuentran en un rango de 0.25-5 MPa y menor resistencia a flexi3n con rangos de 0,06-0,32 MPa. Valores adicionales mostraron una absorci3n de agua del 50-200% y nivel de pH de 4-6 mencionado por un solo autor. Se ha observado que el aserrín se asocia a mayores resistencias a tracci3n y compresi3n en relaci3n al resto de productos agrícolas. Adem3s, se ha demostrado que, a mayor tiempo de incubaci3n, mejores resistencias debido a la poca cantidad de espacios vacíos y mayor compactaci3n.

Morteros

Dosificaciones

A lo largo de la investigación de elaboración de probetas de mortero en conjunto con diferentes especies de micelio se ha presentado en la Tabla 5 un resumen de las especies más empleadas, los sustratos que sirvan de nutrientes para su incubación, y la relación de peso entre ambos.

Tabla 5

Dosificaciones Morteros

Título/Autor	Nombre Científico Especie De Micelio Fúngico	Sustrato	Dosificación
<p><i>Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete</i> (Luo et al. 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trichoderma Ressei* • Aspergillus Nidualns* • Cadophora Interclivum* • Acidomelania Panicícola* 	<ul style="list-style-type: none"> • Agar de papa dextrosa* 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación en peso de agua a cemento de 0,5 • Relación en peso de arena a cemento de 3
<p><i>Study on the behaviors of fungi-concrete surface interactions and theoretical assessment of its potentials for durable concrete with fungal-mediated self-healing</i> (Zhang et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fusarium Oxysporum* • Trichoderma Ressei* 	<ul style="list-style-type: none"> • Agar de papa dextrosa • Caldo de papa dextrosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de masa de agua y cemento (a/c) de 0,5 • Relación de arena con cemento de 2,46 • Agua:65 g • Cemento:130 g • Arena: 320 g • Reductor de agua: 0,39 g • Total muestra: 515,39 g • 24 g de sustrato en 1 lt de agua • 10 ml de medio nutritivo en

cada muestra
de mortero

Nota. *Los autores de los artículos no proporcionan información acerca de la dosificación.

Se pudo examinar en la Tabla 5 que en los 2 artículos de estudio no se ha coincidido con la elección de especie fúngica, ya que en el primero se muestra una gran variedad de las mismas con la misma relación de peso, mientras que en el segundo únicamente se emplea la especie *Fusarium Oxysporum* con características diferentes.

Sin embargo, ambos autores coinciden que el agar de papa dextrosa aporta una gran cantidad de nutrientes para poder adecuar de mejor manera la especie fúngica ante las condiciones alcalinas, adicionando el segundo autor la papa dextrosa en consistencia caldosa. De la misma manera coinciden en una relación en peso de agua y cemento de 0,5 con una diferencia en la relación de arena a cemento de 2,46 en el caso de (Zhang et al., 2021) y 3 en el caso de Luo et al. (2018).

Elaboración

Factores A Considerar. Para poder realizar un estudio adecuado de las reparaciones de grietas en mortero y pasta de cemento se han escogido cepas de hongos variados que posean gran adaptabilidad al ambiente con el cemento y sus niveles de alcalinidad y pH elevado, a su vez, se ha considerado si la especie de hongo ha sufrido modificaciones en su estructura para ver su viabilidad, y el proceso de elaboración de probetas y tamaño de grietas en las mismas.

Tabla 6

Elaboración Morteros

Título/Autor	Tiempo De Elaboración	Proceso De Elaboración
<i>Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete</i> (Luo et al. 2018)	<ul style="list-style-type: none">• <i>Aislamiento:</i> 24 horas• <i>Incubación:</i> 6 meses• <i>Cultivo:</i> 7 días• <i>Curado Mortero:</i> 7 días• <i>Curado Pasta De Cemento:</i> 1, 3, 5, 7, 14 y 28 días	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Aislamiento De Cepas:</i> Se seleccionaron las cepas de hongos, y se aislaron de raíces de plantas que se encontraban en suelos con poca cantidad de nutrientes u obtenidos de diferentes colecciones.2. <i>Preparación De Probetas De Mortero:</i> Se realizaron Placas Petri de 60 mm (9ml en cada placa) y se curaron a 22°C con el 100% de humedad relativa3. <i>Inclusión De Hongos En Probetas:</i> Se colocaron las esporas de las cepas en conjunto con los sustratos en la

Study on the behaviors of fungi-concrete surface interactions and theoretical assessment of its potentials for durable concrete with fungal-mediated self-healing
(Zhang et al., 2021)

- *Esterilización:* 15 minutos
- *Curado:* 90 días

matriz dentro del proceso de mezclado. Sin embargo, no se menciona la cantidad o porcentaje de inóculo micelial empleado.

4. *Reparación De La Grieta:* Cuando se produce el agrietamiento de la probeta, tanto el agua como el oxígeno ingresan y provocan un ambiente en el que las esporas germinan y precipitan el CaCO₃ hasta que cubre la grieta sin permitir que ingresen más y se detiene el crecimiento.

1. *Preparación De Probetas:* Se realizaron las muestras de mortero en función a la dosificación. Se esterilizó en autoclave a 120°C. Secaron las muestras y colocaron en placas de Petri. Se emplearon diámetros de arena fina de 0,03-1 mm y probetas de diámetros de 508 mm y altura 6 mm.

2. *Cultivo De Hongos:* Luego de emplear nutrientes para los hongos se transfirieron a la superficie de muestras de morteros, cubrieron la tapa e incubaron a 20°C.

3. *Aditivos En Hormigón:* Se emplearon aditivos inclusores de aire en el hormigón a fin de lograr un mejor acoplamiento de las esporas de los hongos en los poros.

4. *Inclusión De Hongos:* Las esporas de los hongos se inyectaron en los poros en caso de tener tamaños grandes de esporas, caso contrario se colocaron en cápsulas e incorporaron al haberse curado 28 días las probetas como fue en el caso de la Trichoderma Ressei. Sin embargo, el autor no proporciona información de la cantidad de

inóculo micelial empleado en las probetas.

5. *Ensayos Experimentales:* Se clasificaron las diferentes muestras en función a los nutrientes empleados y condiciones de incubación para realizar los diferentes ensayos empleando un teléfono inteligente.
-

Nota. Se presentan los pasos de elaboración de morteros y reparación de grietas.

Generalmente, se presentan tres pasos principales para la elaboración de morteros con micelio fúngico, las cuales tratan del cultivo de hongo, elaboración de probetas y ensayos experimentales. Inicialmente se seleccionan las especies previamente mencionadas y se adecúa el ambiente en el que se nutrirá con los diferentes sustratos tomando en cuenta temperaturas de 20-22°C y controlando la humedad relativa del 100%. Las probetas se realizaron considerando las diferentes dosificaciones presentadas, con variaciones en las dimensiones en función a los ensayos a realizar y tomando en cuenta el tamaño máximo de grietas a reparar.

En el caso de que las esporas de los hongos tengan tamaños mayores a los poros o grietas a reparar en el hormigón, las mismas se trituran y colocan en cápsulas para ser incluidas en los mismos, caso contrario pueden cultivarse de forma directa o inyectándolas en las grietas una vez han pasado 28 días de curado.

Diseños Experimentales

Posterior a la revisión bibliográfica se ha presentado en la Tabla 7 diferentes ensayos realizados para comprobar el proceso de reparación de grietas en mortero y comportamiento del material y cómo éste afecta después a la resistencia y propiedades mecánicas del material.

Tabla 7

Diseños Experimentales Morteros

Título/Autor	Ensayo	Resultado Ensayo
<i>Interactions of fungi with concrete: Significant importance for bio-based self-healing concrete</i> (Luo et al. 2018)	<ul style="list-style-type: none">• Nivel de pH• Difracción de rayos X• Microscopico electrónico de barrido• Porosimetría de intrusión de mercurio	<ul style="list-style-type: none">• Nivel de pH del medio nutritivo: aumento de 6,5 a 13 luego de 3 semanas• Tasa de crecimiento de red micelial: 2,6 mm/día

		<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del tamaño de poros: menores a 0,1 μm
<p><i>Study on the behaviors of fungi-concrete surface interactions and theoretical assessment of its potentials for durable concrete with fungal-mediated self-healing</i> (Zhang et al., 2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de pH • Análisis SEM • Análisis EDS • Espectros infrarrojos por transformada de Fourier 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de pH del medio nutritivo: aumento de 4,8 a 11 • Pérdida de masa: 0,03 gr • Tiempo de curación de grieta: 3 semanas • Tamaño de grieta: 150 μm • Tiempo que tarda en cubrir superficie de mortero: 96 horas

Nota. Se presentan los diseños experimentales realizados con morteros y hongos.

La Tabla 7 analizada mostró resultados experimentales que muestran diferencias en relación al cambio de pH del medio nutritivo compuesto por el sustrato y la cepa de hongo, con valores iguales o mayores al doble de la inicial. Por otro lado, se ha demostrado aspectos como la tasa de crecimiento de red micelial de 2,6mm/día, que sirve para comprender el tiempo necesario para reparar la grieta en función de su tamaño, así como la pérdida de masa por la misma razón.

Se nombran ensayos entre los que se encuentran el análisis espectroscopía de rayos X de dispersión de energía SEM, EDS, espectros infrarrojos por transformada de Fourier, entre otros, que no presentan valores numéricos debido a que la realización de los mismos permitió observar de forma empírica el crecimiento y adaptación a las grietas de hormigón por parte del micelio, más no resultados específicos. No se han realizado ensayos de resistencias debido a que ambos estudios se centran en comprobar la efectividad del micelio como reparador de grietas.

Mediante el análisis de porosimetría de intrusión de mercurio se observaron grietas o poros de tamaño de 0,1 μm , que indicaban que las esporas que podían colocarse en las mismas debía tener diámetros menores a 3 μm , lo que implicaba obligatoriamente el uso de cápsulas para portar las esporas de los hongos. En el caso de las esporas de la especie *Trichoderma Ressei*, se mostraron diámetros de entre 3,5 μm a 4,5 μm , por lo que la opción más viable fue el encapsulamiento. En el caso de una grieta de 150 μm se comprobó que el tiempo para la curación de la misma fue de 3 semanas, sin embargo, los autores no midieron la reducción total de la grieta formada.

Hormigones

Dosificaciones

Al haber revisado artículos relacionados con la reparación de grietas en hormigón adicionando micelio fúngico en su estructura, se presenta en la Tabla 8 las diferentes dosificaciones empleadas por autores empleando diferentes cepas de hongos.

Tabla 8

Dosificaciones Hormigones

Título/Autor	Nombre Científico Especie De Micelio Fúngico	Sustrato	Dosificación
<i>A review on the potential of filamentous fungi for microbial self-healing of concrete</i> (Van Wylick et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Trichoderma Ressei* • Aspergiullus Nidulans* • Umbelopsis Dimorpha* • Pseudophialophora Magnispora* 	<ul style="list-style-type: none"> • Agar de papa dextrosa* 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación agua/cemento 1:1
<i>A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi</i> (Jiang et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Fusarium Oxysporum* • Aspergillus Nidulans* • Cladosporium Sphaerospermum* • Trichoderma Ressei* 	<ul style="list-style-type: none"> • Agar con extracto de malta 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 ml del medio nutritivo (sustrato con agua)
<i>Screening of Fungi for Potential Application of Self-</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rhizopus Oryzae* • Fanerochaete Chrysosporium* • Aspergillus Nidulans* 	<ul style="list-style-type: none"> • Agar de papa dextrosa 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 ml del medio nutritivo (sustrato diluido en 1 ml de agua)

<i>Healing Concrete</i> (Menon et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Aspergillus Terreno* • Aspergillus Orizae* 	<ul style="list-style-type: none"> • Lejía diluida: menos del 3% del peso
<i>An Overview on Bioconcrete and the Utilization of Microbes in Civil Engineering</i> (Rizwan et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Trichoderma Reesei* • Aspergillus Nidulans* • Cadophora Interclivum* • Acidomelania Panicícola* • Pseudophialophora Magnispora* • Neurospora Crassa* • Serpula Himantioides* 	<ul style="list-style-type: none"> • Medio nutritivo: 1 litro • Medio sólido: 1,5 gr en peso • Infusión de papa: 200 gr/Agar Agar: 20 gr/ Dextrosa: 20 gr • Peptona: 10 gr/ Agar Agar: 15 gr/ Dextrpsa: 40 gr • Tierra 1kg en 1 lt de agua • Dosificación agua/cemento: 1:1, 5:3

Nota. *Los autores de los artículos no proporcionan información acerca de la dosificación.

Se puede observar que, a excepción de un autor, la mayoría emplea especies de hongos similares para sus investigaciones como es el caso del *Trichoderma Ressi* y *Aspergillus Nidulans*, mientras que se presenta poca información acerca de la información referente a la cantidad en peso del micelio. Asimismo, se presentan valores acerca del nutriente del hongo y de la dosificación relacionada con la parte líquida y sólida del componente. Se puede observar en dos de los estudios realizados por Van Wylick et al. (2021) y Rizwan et al. (2021) que la dosificación agua/cemento fue de 1:1,1, además de que, en el último caso se empleó adicionalmente una de 5:3. Por otro lado, se hace mención a una cantidad máxima de 1 litro para diluir el sustrato (Rizwan et al., 2021) y una cantidad mínima de medio nutritivo de 10 ml (Menon et al., 2019) quien además muestra un máximo contenido de magnesio del 5%.

Elaboración

Factores A Considerar. Para un estudio adecuado de las reparaciones de grietas en probetas de hormigón realizadas se han considerado parámetros como: Cepas de hongos, proceso de elaboración, cantidad de esporas, adaptación a la falta de nutrientes y alta cantidad de alcalinidad y el pH del medio nutritivo, entre otros aspectos.

Tabla 9*Elaboración Hormigones*

Título/Autor	Proceso De Reparación De Grietas
<p data-bbox="245 607 528 891"><i>A review on the potential of filamentous fungi for microbial self-healing of concrete</i> (Van Wylick et al., 2021)</p>	<ol data-bbox="563 376 1372 1126" style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección De Especie Fúngica:</i> Se seleccionaron varias especies que poseían diferentes estilos de vida, con información biológica conocida y especies menos conocidas. 2. <i>Configuraciones De Conocimiento Iniciales:</i> Se investigó la compatibilidad de crecimiento del hongo con el concreto mediante diferentes estudios. Y realizó una incubación a una temperatura de 30°C. 3. <i>Incorporación De Hongos:</i> Se incorporaron las muestras de micelio en las placas de hormigón donde la parte de las esporas con los sustratos se incorporan previo al proceso de curado del hormigón. 4. <i>Formación De Grietas:</i> Se realizaron grietas con diferentes dimensiones en el concreto hasta un máximo de 0,46 mm para observar si se daba la germinación de las esporas. 5. <i>Reparación De Grietas:</i> Una vez se ha completado la reparación, se producen nuevas esporas que quedarán inactivas hasta la nueva formación de grietas e intrusión de agua y oxígeno dentro de las mismas.
<p data-bbox="245 1261 528 1585"><i>A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi</i> (Jiang et al., 2022)</p>	<ol data-bbox="563 1137 1372 1720" style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección De Especies Fúngicas:</i> Se escogieron especies de micelio en función a investigaciones previas y que tienen un gran potencial resistentes a las condiciones de hormigón. 2. <i>Incubación Del Hongo:</i> Se produce la germinación de esporas y demás componentes estructurales del hongo. Se introducen los nutrientes en la cepa de hongo con un pH de 2-9 a una temperatura de 25°C. 3. <i>Elaboración De Muestras:</i> Se elaboraron muestras de 4mm de espesor y 70 mm de diámetro. 4. <i>Crecimiento En Ambiente De Hormigón:</i> Se integraron las hifas de micelio dentro de una probeta fisurada de hormigón de cada una de las cepas para observar si las mismas germinaban o no manteniendo una humedad relativa de 100°C.
<p data-bbox="245 1765 528 1966"><i>Screening of Fungi for Potential Application of Self-Healing Concrete</i> (Menon et al., 2019)</p>	<ol data-bbox="563 1731 1372 2013" style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección De Especie Fúngica:</i> Se escogieron las especies fúngicas que posean estructuras similares a la de la cepa <i>Trichoderma Ressei</i> de la que se realizó una previa investigación. 2. <i>Modificación De Cepas:</i> En función a la especie seleccionada se realizaron modificaciones para imitar el crecimiento de pH alcalino.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. <i>Incubación De Hongos:</i> Se empleó agar de papa dextrosa para el crecimiento, se esterilizó la placa de concreto e incubaron placas Petri a 22°C y 30°C durante 21 días. 4. <i>Incorporación En Hormigón:</i> Se incorporaron los discos de micelio en placas Petri con espesor de 3 mm y 5 mm de diámetro. Se realizaron probetas de 0,4x0,4x04 cm. 5. <i>Identificación De Fases De Precipitados Fúngicos:</i> Se disolvieron las muestras de hongo en lejía diluida. 6. <i>Ensayos:</i> Se realizó la caracterización microscópica para comprender el tamaño de poro distribuido dentro de la muestra.
<p><i>An Overview on Bioconcrete and the Utilization of Microbes in Civil Engineering</i> (Rizwan et al., 2021)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección Y Cultivo:</i> Identificar los hongos o bacterias útiles, preparar las condiciones de crecimiento, sembrar y cultivas para su multiplicación 2. <i>Preparación de medio de cultivo:</i> Esterilizar, ajustar el pH a 10, con una temperatura de cultivo y de refrigerado de 35°C y 4°C respectivamente. 3. <i>Preparar Matriz De Hormigón:</i> Elaborar según la dosificación, obtener la mezcla en función a la resistencia buscada 4. <i>Fabricación de muestras:</i> Elaboración de moldes en forma de cubo o cilindros, curado previo de 24 horas, con dimensiones de 100x100x100 cm. 5. <i>Incorporar microorganismos:</i> Incluir las cápsulas o el cultivo directo a las grietas de hormigón. 6. <i>Curado:</i> Almacenar en agua por 7,14 y 28 días 7. <i>Agrietamiento:</i> Formar grietas controladas en las muestras curadas a la edad de 28 días. 8. <i>Reparación De La Grieta:</i> Se colocaron las probetas durante 2 a 3 semanas en agua para que la misma entre a los poros y pueda darse la germinación de las grietas.

Nota. Se presentan las fases de elaboración de hormigones y reparación de grietas.

A partir de la Tabla 9 presentada se ha observado un proceso similar para los estudios, empezando por la selección de especie fúngica, incubación, elaboración de muestras o probetas de hormigón, agrietamiento del hormigón e incorporación de micelio para reparación siempre vigilando los factores mencionados y el tiempo de cada una de las fases, con temperaturas que oscilan los 20-35°C. Además, dos de las 4 investigaciones muestran que se emplearon cápsulas para incorporar las esporas de los hongos debido a que poseen un tamaño mayor a las grietas.

Se ha comprobado en un artículo adicionalmente ensayos de laboratorio para comprobar aspectos de resistencias, sin embargo, en la mayor parte de las investigaciones,

detienen su desarrollo una vez finalizado la reparación de la grieta al no permitir más el ingreso de agua y oxígeno.

Diseños Experimentales

Una vez recopilada la información de los diferentes estudios se presentan en la Tabla 10 aquellos ensayos para comprobar el impacto del micelio en la reparación de grietas del hormigón, así como su afectación en las propiedades mecánicas de las diferentes probetas.

Tabla 10
Diseños Experimentales Hormigones

Título/Autor	Ensayo	Resultado Ensayo
<i>A review on the potential of filamentous fungi for microbial self-healing of concrete</i> (Van Wylick et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de pH • Espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDX) • Difracción de rayos X (XRD) • Espectros infrarrojos por transformada de Fourier 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de pH del medio nutritivo: Aumento de 8 a 13
<i>A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi</i> (Jiang et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexión • Porosidad • Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a flexión: 32, 15 MPa reducción del 1,6% • Porosidad: Aumento del 31% • Resistencia a la compresión: 6,50 MPa reducción del 0,46%
<i>Screening of Fungi for Potential Application of Self-Healing Concrete</i> (Menon et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopía de rayos X • Microscopio de transmisión • Nivel de pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de poros a los 28 días • Aumento de pH del medio nutritivo del 20%
<i>An Overview on Bioconcrete and the Utilization of Microbes in Civil Engineering</i> (Rizwan et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) • Espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDX) 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión: aumento de entre 10-36% • Resistividad eléctrica disminuye considerablemente

<ul style="list-style-type: none"> • Flexión • Compresión • Resistividad eléctrica • Porosimetría de intrusión de mercurio • Contenido de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> cuando se forman grietas. • Reduce la permeabilidad al curar los poros de forma natural. • Reducción de 6 veces la humedad.
--	---

Nota. Se presentan los diseños experimentales de las probetas de hormigón realizadas.

Se muestra en la Tabla 10 diferentes ensayos para medir el cambio en el nivel de pH del medio nutritivo compuesto por el sustrato y el hongo, porosidad, así como ensayos de espectroscopía de rayos X y análisis de microscopía electrónica de barrido para poder comprender el desarrollo de la red micelial en las grietas de hormigón formadas. Adicionalmente, dos estudios han empleado ensayos de flexión y compresión para observar el porcentaje de reducción de dicho valor respecto a las condiciones iniciales de la probeta, donde se observa un mejor comportamiento a compresión que a flexión.

En uno de los casos se observó un aumento de resistencia a compresión, mientras que en otro de los casos se redujo en un porcentaje menor a 0,5%. Por otro lado, se observó un aumento en relación a la porosidad del material del 31% en uno de los casos y una reducción de permeabilidad y humedad considerables donde la repelencia al agua del micelio provocó una reducción de la tasa de infiltración de agua hasta el 17,22%, además el nivel de pH del medio nutritivo también sufrió un aumento de un valor de 8 a un valor de 13 en el caso del ensayo realizado.

Existen valores numéricos no presentados debido a la falta de información de los autores en sus investigaciones, y, similar al caso de morteros, a causa de que dichos artículos el objetivo principal era probar qué tamaño máximo de grieta se podría reparar y, en primer lugar, si existía la posibilidad de repararse. Sin embargo, se ha mostrado que el tiempo promedio de reparación de la grieta se dio entre las 2 y 3 semanas desde la inclusión de las esporas, más no se menciona un análisis acerca de cuánto se redujo finalmente la grieta reparada.

Discusión

Valor Práctico De La Investigación

Aplicaciones

En general los compuestos a base de micelio tienen propiedades prometedoras para una amplia gama de aplicaciones en el sector de la construcción, sin embargo, son pocos los autores que han mostrado interés en probar este material en elementos que deban soportar grandes cargas debido a la falta de información y de diseños experimentales realizados.

Al analizarse los resultados, se pudo constatar que el uso de elementos biológicos a base de micelio es excelente para el aislamiento térmico y acústico, que puede ser adecuado para brindar una mayor seguridad contra incendios en las edificaciones, y lograr un mejor ambiente dentro de las viviendas. Se aseveró que el micelio fúngico muestra gran capacidad para reparar grietas en el hormigón de proyectos viales y estructurales, ya que, aunque hay pocas investigaciones realizadas sobre el tema, los resultados proporcionados han sido favorables según autores como Yang et al. (2021a).

Dosificaciones

En sustratos todos los estudios sobre compuestos a base de micelio se refieren a hongos de pudrición blanca. El uso frecuente de estas cepas se explica por su capacidad de mostrar una buena tasa de colonización de sustrato y de alimentarse de una gran variedad de biomasa vegetal lignificada. Mientras que en los estudios de hormigón y mortero se aplicaron hongos alcalinos debido a su compatibilidad y adaptación a las condiciones de incubación con el material.

En cuanto a los sustratos utilizados para la elaboración de compuestos a base de micelio, se aprecia que la mayoría proviene de subproductos agrícolas con lignocelulosa como la paja o el aserrín, Sydor et al. (2022) y Elsacker et al. (2022) describen que estos sustratos contienen los nutrientes necesarios para mejorar la tasa de crecimiento del hongo, éste se lo inocula en el micelio favoreciendo su degradación. En estudios de mortero se coincide que los hongos utilizados tienen mejor desempeño de crecimiento usando como sustrato el agar de papa, a causa de su contenido de lignina que unida tanto a la hemicelulosa como a la celulosa brinda a la pared celular de las plantas soporte estructural. Por otro lado, estudios de reparación de grietas en hormigón no proporcionan información específica acerca de los sustratos empleados para nutrir las cepas de hongos, por lo que no se logra establecer su relevancia dentro del proceso de incubación.

Únicamente en la elaboración de compuestos a base de micelio se ha contemplado tanto a la cepa de hongo como al sustrato en las dosificaciones, mientras que en la elaboración de mortero y hormigón la dosificación de centra en la elaboración de probetas de hormigón debido a que no se toma relevancia al proceso de inoculación del micelio. En la formación del bio compuesto se observó una dosificación de la cantidad de micelio del 10 al 32% en peso aproximadamente según autores como Jones et al. (2020a) siendo 10% el valor más común y una relación de inóculo micelial sobre sustrato de 1%-3% en función a Gou et al. (2021) y Aiduang et al. (2022a), este valor es referencial ya que los estudios no proveen las dosificaciones de todos los sustratos. En el caso de morteros, se observó una relación agua/cemento de 0,5 y relación de arena con cemento de entre 2,46 a 3 como afirman Luo et al. (2018) y Zhang et al. (2021) y, en el caso de elaboración de probetas de hormigón, la dosificación principal agua:cemento fue de 1:1 según el autor Van Wylick et al. (2021), con un máximo de 1lt de cantidad del medio nutritivo (Rizwan et al., 2021). Sin embargo, en ambos casos, no se menciona un porcentaje en peso de contenido de micelio.

Las especies de micelio más empleadas en las investigaciones son las correspondientes al *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum*, que son cepas de hongos muy comunes alrededor del mundo, debido a sus características de adaptación al medio ambiente y fácil reproducción, motivo por el cual Ecuador posee gran disponibilidad de dichas especies con nombres comerciales hongo ostra y hongo reishi respectivamente. Además, se pueden emplear más especies de hongos de pudrición blanca al ser de fácil de acceso y poseer características similares respecto a la degradación de lignocelulosa.

Elaboración

En investigaciones para la elaboración de biocompuestos se detalla con profundidad cada uno de los pasos que consta del cultivo de micelio, esterilización del sustrato, inoculación del sustrato, incubación y secado, sin embargo, en reparación de morteros y hormigones no se hace énfasis en la incubación de los mismos sino más bien en la elaboración de probetas de hormigón, creación e incorporación de cepas de hongos en las grietas.

El método de cultivo más usado de los materiales a base de micelio es en un molde, Antes de inocular el micelio con los sustratos seleccionados se hace una esterilización al sustrato, la esterilización promedio fue de 120°C mediante un proceso de autoclave, en el caso de morteros y sustratos debido a que en relación a hormigones no se dispone de información acerca de dicho parámetro. En las investigaciones analizadas se observa que para el desarrollo e incubación del compuesto la temperatura óptima es de 25° C, mientras que la humedad varía entre 60–80%. Por otro lado, en elaboración de morteros la temperatura óptima se encuentra en un rango de 20-22°C y humedad relativa del 100%. Las investigaciones de (Aiduang et al., 2022b; Ghazvinian et al., 2022; Shakir et al., 2020; Van Wylick et al., 2021) agregan el paso de prensado en caliente después del secado de mínimo 24 horas previo a los ensayos aplicando calor a una temperatura de 60°C aproximadamente. Finalmente, en el caso de elaboración de hormigones, la temperatura oscila en un rango de 22°C a un máximo de 30°C con humedad relativa del 100%. Respecto al nivel de pH, en relación a sustratos, morteros y hormigones el nivel de pH del medio nutritivo presenta una variación en función de la dosificación con valores entre 10-13.

El tiempo de incubación se ve influenciado por el hongo y el sustrato utilizado en los tres casos de estudio, además la temperatura y la humedad son factores muy importantes para la elaboración de compuestos a base de micelio debido a que la temperatura inicial va a permitir la incubación del hongo, y al aumentarse la misma se va a lograr detener su crecimiento para la formación de bloque, mientras que la humedad posee gran relevancia para permitir que el hongo pueda adaptarse a las condiciones del hormigón y reparar las grietas formadas.

Diseños Experimentales

Las propiedades mecánicas de los compuestos a base de micelio se ven influenciadas por el proceso de elaboración y las condiciones ambientales durante el crecimiento. Existe relación proporcional con la densidad y la resistencia a compresión pues una mayor densidad afectó positivamente la resistencia de los materiales siendo los mismos casos mencionados anteriormente.

Los estudios demuestran que tiempos de incubación mayores a 14 días dieron mayores resistencias a compresión hasta un máximo de 5 MPa en la elaboración de composites, sin embargo, no se dispone de información suficiente para comparar la influencia del hongo respecto a la resistencia en hormigones reparados debido a que únicamente dos estudios realizados por (Jiang et al., 2022) y (Rizwan et al., 2021) han realizado los ensayos correspondientes. Al no existir ensayos de propiedades mecánicas en morteros no se puede evaluar la afectación del hongo en la grieta.

Al evaluar las resistencias a tracción obtenidas en las investigaciones que han realizado ensayos de laboratorio, se ha logrado entender que el aserrín se asocia a mayores resistencias a la tracción que los otros subproductos agrícolas (Aiduang et al., 2022b; Vašatko et al., 2022b), Con respecto a la resistencia a flexión los compuestos con aserrín también presentaron mejores resultados de resistencia que con los otros sustratos en los tres casos.

Pocos estudios de composites y reparación de grietas evaluaron otras propiedades como: Absorción acústica, Coeficiente De Permeabilidad, Conductividad térmica, entre otros, dificultando una comprensión más específica del comportamiento de los materiales.

En investigaciones acerca de la reparación de grietas en morteros y hormigón se han identificado a partir de los ensayos realizados aspectos como la tasa de crecimiento del hongo y tiempo de reparación de grietas, que indicaron que a mayor contenido de nutrientes la tasa de crecimiento del micelio aumenta y que a menor aumento de pH se produce una mejor reparación de la grieta.

El tiempo promedio de reparación de grietas fue un aproximado de 3 semanas para dimensiones de 150 μm luego de los 28 días del curado de las probetas de hormigón, mediante una incorporación por cápsulas de las esporas de los hongos al existir tamaños mayores a los poros de los mismos.

Ventajas Y Desventajas

Ventajas Y Desventajas Constructivas

Tabla 11

Ventajas Y Desventajas Constructivas

Ventajas Constructivas	Desventajas Constructivas
<ul style="list-style-type: none">• No tienen limitaciones por temporada y ubicación lo que permite una buena disponibilidad de materia prima.• La adaptabilidad del micelio permite que exista una gran variedad de sustratos como candidatos para los estudios.• Los procesos constructivos poseen gran adecuación en relación al entorno lo cual facilita la fabricación y el autocultivo.• Las propiedades térmicas del micelio producen una adecuada seguridad contra incendios.• La estructura del micelio muestra que los biocompuestos generados son livianos y poseen buena moldeabilidad.• Las redes de micelio permiten su aplicación como biomatriz en biocompuestos.	<ul style="list-style-type: none">• No existe una estandarización ni automatización de los parámetros para su elaboración por lo que no existe un enfoque unificado para sus ensayos y se produce una lentitud en su fabricación.• La aireación del material puede ocasionar rotura debido a la falta de información acerca de la dosificación por lo que debe existir un control estricto de las condiciones de cultivo ya que se puede producir una contaminación si no existen condiciones asépticas estrictas.• Posee una difícil reproducibilidad que ocasiona la limitación de su producción a nivel industrial con una infraestructura y diseño limitados.• La mala elección del sustrato puede ocasionar amenazas en las probetas y limitar las aplicaciones.• La elección de cepas de hongos patógenos puede ocasionar que no se incorpore de manera adecuada en el mortero.• Falta de estudios de durabilidad y envejecimiento que provocan un vacío de conocimiento de las resistencias a largo plazo.

Nota. Se presentan las ventajas y desventajas constructivas obtenidas a partir de la revisión de la literatura. Recuperado de: (Aiduang et al., 2022a; Alemu, Tafesse et al., 2022; Biala et al., 2022; Bitting et al., 2022b; Elsacker et al., 2022; Girometta et al., 2019a; Jones et al., 2020a; Manana et al., 2021; Rigobello et al., 2021; Shakir et al., 2020; Soh et al., 2020a; Vašatko et al., 2022b; Yang et al., 2021a)

Ventajas Y Desventajas Mecánicas

Tabla 12

Ventajas Y Desventajas Mecánicas

Ventajas Mecánicas	Desventajas Mecánicas
<ul style="list-style-type: none">• Se destacan varias propiedades del material con resultados favorables entre las que se encuentran: aislantes, acústicas, ignífugas.• Además, se destaca su resistencia a la compresión en estructuras existentes a base de micelio y una buena resistencia a las termitas.• Es un aglutinante efectivo para mejorar propiedades de biocompuestos de madera.• Baja conductividad térmica y densidad.• Alta elasticidad y recuperación de forma.	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de carga estructural comparativamente baja en términos de resistencia a la tracción y flexión del compuesto.• El hormigón es un material poroso que baja rigidez.• Posee alta variabilidad de las propiedades mecánicas según el sustrato escogido.• La durabilidad del material se encuentra limitada.

Nota. Se presentan las ventajas y desventajas mecánicas obtenidas a partir de la revisión de la literatura. Recuperado de: (Aiduang et al., 2022; Alemu et al., 2022; Bitting et al., 2022b; Elsacker et al., 2022; Girometta et al., 2019a; Jones et al., 2020a; Manana et al., 2021; Özdemir et al., 2022; Rigobello et al., 2021; Soh et al., 2020a; Ziegler et al., 2016)

Ventajas Ambientales

Tabla 13

Ventajas Ambientales

Ventajas Ambientales
<ul style="list-style-type: none">• No producen emisiones de CO₂ en relación a materiales tradicionales y durante la incubación se realiza una alta absorción del mismo.• Bajo consumo de energía en el crecimiento.• Son materiales con gran biodegradabilidad y compostabilidad.• Material alternativo renovable, reciclable y regenerativo.• No se emplean componentes sintéticos lo que produce que no exista toxicidad.• Posee propiedades antimicrobianas y antioxidantes

Nota. Se presentan las ventajas ambientales obtenidas a partir de la revisión de la literatura. Recuperado de: (Aiduang et al., 2022; Alemu et al., 2022; Bitting et al., 2022b; Elsacker et al., 2022; Girometta et al., 2019a; Jones et al., 2020a; Manana et al., 2021; Özdemir et al., 2022; Rigobello et al., 2021; Soh et al., 2020a; Yang et al., 2021a; Ziegler et al., 2016)

Ventajas Económicas

Tabla 14

Ventajas Económicas

Ventajas Económicas
<ul style="list-style-type: none">• Bajos costos de producción en la etapa de crecimiento.• Contribuyen a la economía circular al usar residuos como materia prima.

Nota. Se presentan las ventajas económicas obtenidas a partir de la revisión de la literatura. Recuperado de: (Alemu et al., 2022; Elsacker et al., 2022; Jones et al., 2020a; Manana et al., 2021; Rigobello et al., 2021; Soh et al., 2020a)

Una vez realizada la revisión de la literatura se ha logrado establecer que los materiales compuestos a base de micelio tienen un gran potencial como material sostenible, sin embargo, pese a poseer grandes ventajas como alternativas frente a los materiales de construcción tradicionales, diferentes estudios mencionados en la Tabla 11 y Tabla 12 reconocen sus limitaciones constructivas y mecánicas principalmente por la falta de estandarización y baja resistencia a flexión y tracción, esto se lo puede considerar aceptable ya que simultáneamente los estudios mostrados en la Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 muestran los beneficios económicos y ambientales que poseen estos composites.

En la Tabla 11 se evidenció que los composites elaborados a base de micelio son en su mayoría livianos y poseen una gran variedad y fácil disponibilidad de materia prima, lo cual agiliza y favorece a su proceso constructivo, además de ser materiales con gran adaptabilidad a las condiciones de elaboración, sobre todo en relación a las condiciones climáticas que favorecen a su vida útil. Sin embargo, aunque estos materiales presentan varias ventajas constructivas prometedoras, existen limitaciones mencionadas como la falta

de un proceso de construcción estandarizado e información escasa sobre las dosificaciones que sugieren que hay desafíos significativos que deben abordarse para su implementación exitosa a gran escala.

Se pudo apreciar en la Tabla 12 una dualidad importante entre las ventajas y desventajas respecto a las propiedades mecánicas de los materiales a base de micelio. Por un lado, su baja densidad, alta elasticidad, y capacidad de recuperación de forma los posicionan como materiales atractivos para aplicaciones donde el peso es crítico, como en el diseño liviano y estructuras flexibles y a compresión. Sin embargo, la capacidad de carga estructural relativamente baja, la baja resistencia a la tracción, flexión y la rigidez limitada indican que pueden no ser adecuados para todas las aplicaciones estructurales.

Tal como se abordó en la Tabla 13 y Tabla 14, el uso de elementos biológicos como el micelio fúngico representa una valiosa contribución al desarrollo sostenible al ofrecer propiedades ambientales favorables que logran ser una posible solución a la gran emisión de CO₂ y producción de residuos tóxicos y contaminantes, presentando además una mejoría en relación al consumo de energía durante su elaboración, lo que significa que pueden desempeñar un papel significativo en la transición hacia proyectos más eficientes con una economía más verde y sostenible en una industria que se ha acostumbrado a usar, producir y desechar. En los diferentes estudios analizados no se ha evidenciado información acerca de desventajas ambientales ni económicas de la obtención de los materiales y elaboración de los compuestos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Existen variedad de estudios sobre la inclusión de micelio fúngico en sustratos, en donde se hace referencia frecuentemente a hongos de pudrición blanca, resaltando dos cepas: *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum*, además los estudios demuestran que es factible utilizar como sustratos materias primas derivados de sub productos agrícolas como la paja y el aserrín.
- Una vez realizada la revisión de la literatura, no se ha logrado obtener información acerca de la elaboración y diseño experimental del micelio fúngico en conjunto con los mampuestos, únicamente se menciona la posible aplicación como revestimiento de los mismos.
- A pesar de las numerosas investigaciones hechas en la última década sobre la inclusión del micelio fúngico en materiales de construcción, no se posee información suficiente en la reparación de hormigones por lo que aún existen vacíos de conocimiento para optimizar las propiedades estructurales.
- En relación a los morteros se sugiere como sustrato el agar de papa dextrosa, además, para su dosificación un porcentaje del 10% en peso con una relación agua/cemento de 0,5 y arena/cemento de 2,5 a 3. Su elaboración debe considerar una temperatura óptima en un rango de 20-22°C y humedad relativa del 100%.
- En el caso de elaboración de probetas de hormigón, la relación sugerida de agua/cemento es de 1:1 con un contenido de óxido de magnesio del 5% y máximo de 1lt de cantidad del medio nutritivo. Al no tener un porcentaje en peso del micelio se sugiere considerar el porcentaje hasta 30% obtenido para mampuestos considerando especies con nombres comerciales hongo ostra y hongo reishi. Para su elaboración, la temperatura se debe mantener en un rango de 22°C a un máximo de 30°C con humedad relativa del 100%.
- La investigación continua y el desarrollo tecnológico contribuyeron a superar las limitaciones y expandir las aplicaciones de estos materiales en diversas industrias.

Recomendaciones

- Se propone investigar más detalladamente las propiedades como el contenido de lignocelulosa, pH y contenido de humedad de las materias primas para obtener dosificaciones en función de los requerimientos de su aplicación.
- Debido a que los actuales estudios no proveen información de la vida útil de los compuestos a base de micelio, se recomienda realizar estudios a largo plazo.
- Se recomienda seleccionar especies de hongos que ya se han utilizado en investigaciones existentes para reducir la incertidumbre de las propiedades mecánicas en futuras investigaciones, además, se sugiere la investigación de diferentes especies con características similares en función de la región.

- Los estudios en donde se introduce especies de hongos para reparar el hormigón no analizan el comportamiento mecánico, por lo que se recomienda a las futuras investigaciones realizar ensayos donde se evalúe la resistencia de los materiales reparados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T., Oranratmanee, R., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022). Amazing Fungi for Eco-Friendly Composite Materials: A Comprehensive Review. In *Journal of Fungi* (Vol. 8, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jof8080842>
- Aiduang, W., Kumla, J., Srinuanpan, S., Thamjaree, W., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022a). Mechanical, Physical, and Chemical Properties of Mycelium-Based Composites Produced from Various Lignocellulosic Residues and Fungal Species. *Journal of Fungi*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/jof8111125>
- Aiduang, W., Kumla, J., Srinuanpan, S., Thamjaree, W., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022b). Mechanical, Physical, and Chemical Properties of Mycelium-Based Composites Produced from Various Lignocellulosic Residues and Fungal Species. *Journal of Fungi*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/jof8111125>
- Alemu, D., Tafesse, M., & Gudetta Deressa, Y. (2022). Production of Mycoblock from the Mycelium of the Fungus *Pleurotus ostreatus* for Use as Sustainable Construction Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2876643>
- Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A. K. (2022). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. In *International Journal of Biomaterials* (Vol. 2022). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2022/8401528>
- Biala, E., & Ostermann, M. (2022). Mycostructures—growth-driven fabrication processes for architectural elements from mycelium composites. *Architecture, Structures and Construction*, 2(4), 509–519. <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00073-6>
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022a). Challenges and Opportunities in Scaling up Architectural Applications of Mycelium-Based Materials with Digital Fabrication. In *Biomimetics* (Vol. 7, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020044>
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022b). Challenges and Opportunities in Scaling up Architectural Applications of Mycelium-Based Materials with Digital Fabrication. In *Biomimetics* (Vol. 7, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020044>

- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
- Défarage, C. (2011). *Organomineralization*.
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Peeters, E., Brancart, J., & De Laet, L. (n.d.). *Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates Living material fabrication View project self healing polymer networks View project Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates*. <https://doi.org/10.1101/569749>
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Peeters, E., Brancart, J., & De Laet, L. (2022). *Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates Living material fabrication View project self healing polymer networks View project Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates*. <https://doi.org/10.1101/569749>
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of the Total Environment*, 725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431>
- Galapagos Unbound. (2023). *Get On Ecuador's Green Side*. <https://www.galapagosunbound.com/flora-0>
- Ghazvinian, A., & Gürsoy, B. (2022a). Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020048>
- Ghazvinian, A., & Gürsoy, B. (2022b). Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020048>
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019a). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11010281>
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019b). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11010281>

- Gou, L., Li, S., Yin, J., Li, T., & Liu, X. (2021). Morphological and physico-mechanical properties of mycelium biocomposites with natural reinforcement particles. *Construction and Building Materials*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124656>
- Jiang, L., Pettitt, T. R., Buenfeld, N., & Smith, S. R. (2022). A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi. In *Building and Environment* (Vol. 214). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108925>
- Jin, C., Yu, R., & Shui, Z. (2018). Fungi: A neglected candidate for the application of self-healing concrete. *Frontiers in Built Environment*, 4. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00062>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020a). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. In *Materials and Design* (Vol. 187). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020b). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. In *Materials and Design* (Voles. 187). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Konwarh, R., Palanisamy, S. B., & Jogi, P. K. (2020). Harnessing the therapeutic myco-potential for concrete-crack healing: Prospects and snags. *Material Science Research India*, 17(2), 117–128. <https://doi.org/10.13005/msri/170204>
- Kuribayashi, T., Lankinen, P., Hietala, S., & Mikkonen, K. S. (2022a). Dense and continuous networks of aerial hyphae improve flexibility and shape retention of mycelium composite in the wet state. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106688>
- Kuribayashi, T., Lankinen, P., Hietala, S., & Mikkonen, K. S. (2022b). Dense and continuous networks of aerial hyphae improve flexibility and shape retention of mycelium composite in the wet state. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106688>
- Lam, A. (1997). A study of the development of environmental management in Hong Kong construction industry. *The Hong Kong Polytechnic University*.
- Luo, J., Chen, X., Crump, J., Zhou, H., Davies, D. G., Zhou, G., Zhang, N., & Jin, C. (2018). *Interactions of Fungi with Concrete: Significant Importance for Bio-Based Self-Healing Concrete*.

- Manana, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.01.001>
- Martuscelli, C., Soares, C., Camões, A., & Lima, N. (2020). Potential of fungi for concrete repair. *Procedia Manufacturing*, 46, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.027>
- Mendes, P., Farias, M., & Tavares, S. (2014). Certificação ambiental de habitações: comparação entre LEED for Homes, Processo Aqua e Selo Casa Azul. *Ambiente & Sociedade*, 17(2), 195–214. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200013>
- Menon, R. R., Luo, J., Chen, X., Zhou, H., Liu, Z., Zhou, G., Zhang, N., & Jin, C. (2019). Screening of Fungi for Potential Application of Self-Healing Concrete. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39156-8>
- Meyer, C. (2004). Concrete Materials and Sustainable Development in the USA. *Structural Engineering International*.
- Olivares, S., Galán, M., & Roa, F. (2003). *LOS COMPOSITOS: CARACTERÍSTICAS y APLICACIONES EN LA EDIFICACIÓN (COMPOSITES: CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS IN BUILDING CONSTRUCTION)*.
- Özdemir, E., Saeidi, N., Javadian, A., Rossi, A., Nolte, N., Ren, S., Dwan, A., Acosta, I., Hebel, D. E., Wurm, J., & Eversmann, P. (2022). Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020039>
- Perles, P. (2005). *Hormigón Armado* (Vol. 1).
- Poon, C. S., Yu, A., & Ng, L. H. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Rigobello, A., & Ayres, P. (2021). *Mycelium-Based Composites as Two-Phase Particulate Composites: Compressive Behaviour of Anisotropic Designs*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-943974/v1>
- Rizwan Bhina, M., Wibowo, A. H., Liu, K. Y., Khan, W., & Salim, M. (2021). *An Overview on Bioconcrete and the Utilization of Microbes in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.20944/preprints202104.0019.v1>
- Shakir, M. A., Azahari, B., Yusup, Y., Firdaus Yhaya, M., Salehabadi, A., & Ahmad, M. I. (2020). Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Journal Homepage*, 65, 253–263. www.akademiabaru.com/arfmts.html

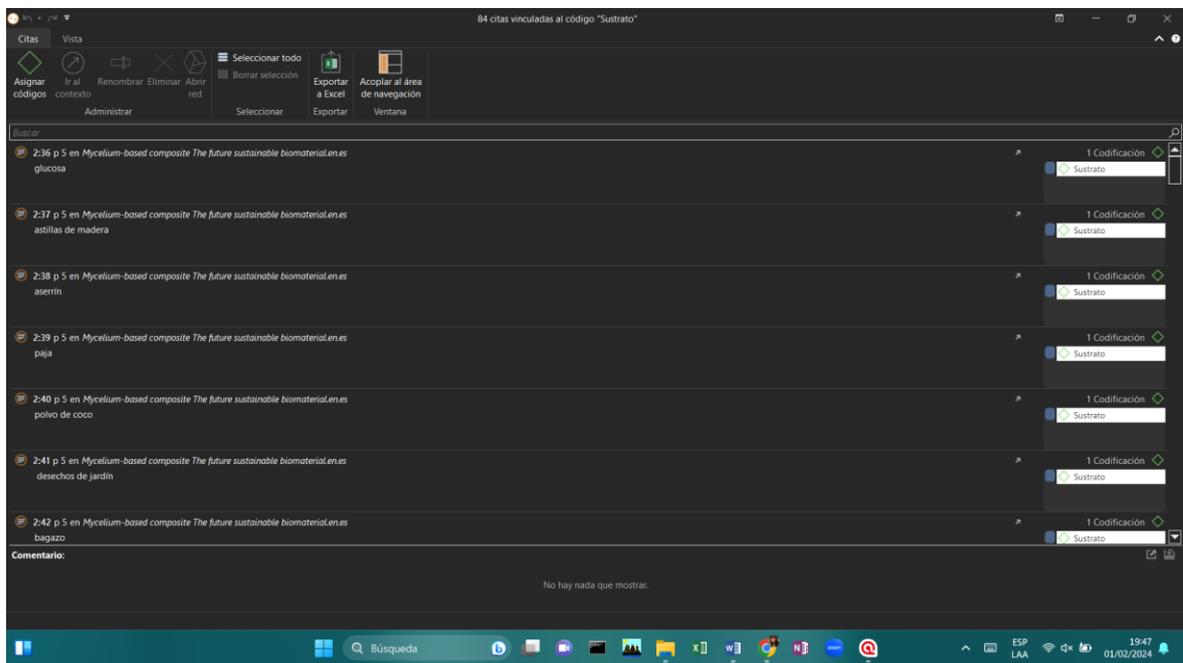
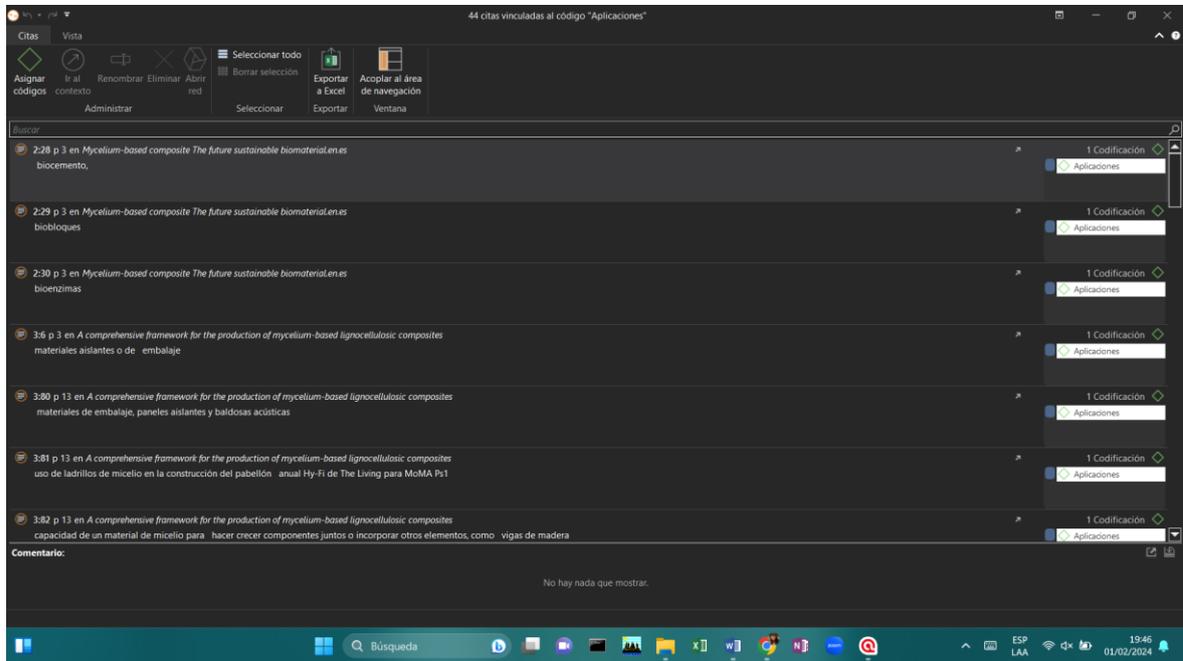
- Soh, E., Chew, Z. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D., & Le Ferrand, H. (2020a). Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites. *Materials and Design*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109058>
- Soh, E., Chew, Z. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D., & Le Ferrand, H. (2020b). Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites. *Materials and Design*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109058>
- Sosa, D. (2021, May 1). *Uso del micelio como biomaterial - Revista Mundo Diners*. <https://revistamundodiners.com/uso-del-micelio-como-biomaterial/>
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2022). Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14010145>
- Sydor, M., Cofta, G., Doczekalska, B., & Bonenberg, A. (2022a). Fungi in Mycelium-Based Composites: Usage and Recommendations. In *Materials* (Vol. 15, Issue 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma15186283>
- Sydor, M., Cofta, G., Doczekalska, B., & Bonenberg, A. (2022b). Fungi in Mycelium-Based Composites: Usage and Recommendations. In *Materials* (Vol. 15, Issue 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma15186283>
- Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., & Mikkonen, K. S. (2020). Comparison of novel fungal mycelia strains and sustainable growth substrates to produce humidity-resistant biocomposites. *Materials and Design*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108728>
- Van Wylick, A., Elsacker, E., Yap, L. L., Peeters, E., & de Laet, L. (2022). Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil. *Bio-Based Building Materials*, 1, 652–659. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/cta.1.652>
- Van Wylick, A., Monclaro, A. V., Elsacker, E., Vandeloock, S., Rahier, H., De Laet, L., Cannella, D., & Peeters, E. (2021). A review on the potential of filamentous fungi for microbial self-healing of concrete. In *Fungal Biology and Biotechnology* (Vol. 8, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40694-021-00122-7>
- Vašatko, H., Gosch, L., Jauk, J., & Stavric, M. (2022a). Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020051>
- Vašatko, H., Gosch, L., Jauk, J., & Stavric, M. (2022b). Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020051>

- Vera, J. A. (2019). *Air pollution from construction industry activities in Colombia Problemática ambiental del sector de la construcción View project Hazardous waste treatment View project*. <https://www.researchgate.net/publication/336749294>
- Yang, L., Park, D., & Qin, Z. (2021a). Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. In *Frontiers in Materials* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>
- Yang, L., Park, D., & Qin, Z. (2021b). Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. In *Frontiers in Materials* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>
- Zhang, X., Fan, X., Li, M., Samia, A., & Yu, X. (Bill). (2021). Study on the behaviors of fungi-concrete surface interactions and theoretical assessment of its potentials for durable concrete with fungal-mediated self-healing. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125870>
- Ziegler, A. R., Bajwa, S. G., Holt, G. A., McIntyre, G., & Bajwa, D. S. (2016). Evaluation of physico-mechanical properties of mycelium reinforced green biocomposites made from cellulosic fibers. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6), 931–938. <https://doi.org/10.13031/aea.32.11830>

ANEXOS

Anexo 1

Análisis De Aplicaciones Programa Atlas.TI



85 citas vinculadas al código "Fases Elaboración"

2:48 p 5 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 el sustrato mezclado con el suplemento muestra un mayor crecimiento de micelio que el sustrato no mezclado

3:5 p 3 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 Después de la colonización del sustrato, el material se calienta para matar el organismo y eliminar la humedad

3:17 p 4 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 extensión de la punta

3:35 p 8 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 El micelio se cultiva inicialmente en placas de agar, en sustrato de grano, en una solución nutritiva líquida o en el sustrato homogeneizado previamente cultivado

3:36 p 8 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 El sustrato se esteriliza en autoclave o pasteurizado para eliminar cualquier tipo de microorganismo ya presente en el sustrato y así prevenir la contaminación durante el proceso de crecimiento e incubación

3:37 p 8 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 Se añade una cantidad específica de tejido de micelio al sustrato. Si el sustrato no se humedeció antes del autoclave (paso 2), se agrega una cantidad de agua esterilizada.

3:39 p 8 en *A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites*
 El sustrato inoculado se envasa a mano en un molde esterilizado que tiene la forma deseada. El molde está sellado con una cubierta filtrada permeable al aire para mantener un microclima

Comentario:
 No hay nada que mostrar.

35 citas vinculadas al código "Ventajas"

2:18 p 3 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 costo

2:19 p 3 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 80 veces más baratos

2:20 p 3 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 facilidad de fabricación

2:21 p 3 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 no toxicidad

2:22 p 3 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 biodegradabilidad

2:23 p 2 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 disponibilidad de materia prima

2:24 p 2 en *Mycelium-based composite The future sustainable biomaterial.enes*
 facilidad de producción

Comentario:
 No hay nada que mostrar.