

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos fabricados con micelio fúngico para su uso en losas aligeradas

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Elber Yhoan Hilas Fustamante

ASESOR

Angel Antonio Ruiz Pico

<https://orcid.org/0000-0003-2638-0593>

Chiclayo, 2023

Entrega final en Ingles

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

15%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Istanbul Aydin University Trabajo del estudiante	2%
2	mdpi-res.com Fuente de Internet	2%
3	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Aristotle University of Thessaloniki Trabajo del estudiante	1%
5	www.mdpi.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Nanyang Technological University Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to University of Nebraska, Lincoln Trabajo del estudiante	1%
8	spiral.imperial.ac.uk Fuente de Internet	1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción.....	6
Materiales.....	8
Metodología.....	8
Resultados y discusión	14
Conclusiones	19
Referencias.....	19

Resumen

Este trabajo experimental propone una solución sostenible para la construcción mediante el uso de ladrillos hechos de micelio fúngico y aserrín. La idea surge del problema ambiental que enfrenta el mundo debido a la explotación de materias primas no renovables para la producción de materiales de construcción convencionales. En este estudio, el micelio de *Pleurotus Ostreatus* se mezcló con tres sustratos diferentes con diferentes granulometrías (aserrín, virutas de madera y una mezcla de aserrín y virutas) en proporciones de 10% de micelio y 90% de sustrato. Después de dejar la mezcla en condiciones húmedas durante unos 15 días para permitir un crecimiento óptimo del micelio, se extrajo del molde como un solo bloque sólido y se sometió a pruebas físicas y mecánicas. Los resultados muestran que el ladrillo resultante de la muestra C superó los requisitos de la norma ASTM C67-2003 para ladrillos en términos de módulo de ruptura, tasa de absorción, densidad y prueba de compresión. Además, el material propuesto logró un ahorro de peso del 28% por m² de losa ligera y tiene un menor costo de producción en comparación con los ladrillos convencionales y los bloques de espuma de poliestireno expandido. En conclusión, el uso de ladrillos hechos de micelio fúngico y aserrín podría ser una alternativa sostenible y rentable para la industria de la construcción. Este estudio presenta una solución prometedora que podría reducir el impacto ambiental de la construcción, ya que utiliza materiales renovables y tiene un menor costo de producción.

Palabras clave: ladrillos de micelio; ladrillos compuestos de micelio y aserrín; construcción; ladrillos de micelio ecológicos; biocompuesto; material de aserrín; Sostenibilidad en construcción.

Abstract

This experimental work proposes a sustainable solution for construction through the use of bricks made from fungal mycelium and sawdust. The idea arises from the environmental problem facing the world due to the exploitation of non-renewable raw materials for the production of conventional construction materials. In this study, *Pleurotus Ostreatus* mycelium was mixed with three different substrates with different granulometries (sawdust, wood shavings, and a mixture of sawdust and shavings) in proportions of 10% mycelium and 90% substrate. After leaving the mixture in humid conditions for about 15 days to allow for optimal mycelium growth, it was extracted from the mold as a single solid block and subjected to physical and mechanical tests. The results show that the resulting brick from sample C exceeded the requirements of the ASTM C67-2003 standard for bricks in terms of modulus of rupture, absorption rate, density, and compression test. Additionally, the proposed material achieved a weight saving of 28% per m² of lightweight slab and has a lower production cost compared to conventional bricks and expanded polystyrene foam blocks. In conclusion, the use of bricks made from fungal mycelium and sawdust could be a sustainable and cost-effective alternative for the construction industry. This study presents a promising solution that could reduce the environmental impact of construction, as it uses renewable materials and has a lower production cost

Keywords: Mycelium bricks; bricks composed of mycelium and sawdust; construction; ecological mycelium bricks; biocomposite; sawdust material; sustainability under construction.

Introducción

La rápida tasa de crecimiento de la población y el cambio constante en el mundo han impulsado la necesidad de construir infraestructura para satisfacer las demandas de una sociedad en constante evolución. Este aumento de la actividad de la construcción ha dado lugar a una fuerte inversión en el sector, pero también ha puesto de manifiesto un problema preocupante: según un estudio de E. Elsacker et al [1], la construcción representa la mitad del consumo de energía de Europa y un tercio del consumo de residuos y agua. Estas cifras alarmantes no solo reflejan un impacto ambiental negativo, sino que también muestran la sobreexplotación de los recursos naturales no renovables. [2]. Es por eso que el sector de la construcción requiere alternativas más sostenibles que mitiguen el daño ambiental y optimicen la gestión de los recursos. [3]

En todo el mundo, el sector de la construcción se enfrenta al reto de reducir su impacto medioambiental y su huella de carbono. Como uno de los mayores consumidores de recursos naturales y emisores de gases de efecto invernadero, este sector desempeña un papel clave en la lucha contra el cambio climático. En muchos países, la industria del cemento ha sido identificada como una de las mayores fuentes de emisiones de CO₂, junto con otros materiales de construcción como ladrillos y acero [4]. La construcción también genera grandes cantidades de residuos y puede afectar la calidad del aire y el agua. Por eso es esencial promover prácticas sostenibles y alternativas más ecológicas en el sector de la construcción a nivel mundial [5]. Las soluciones sostenibles van desde el uso de materiales renovables y reciclables, hasta la implementación de tecnologías y urbanísticas más eficientes energéticamente para reducir la necesidad de movilidad y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero [6].

En diferentes países del mundo ya se ha tomado conciencia sobre la necesidad de encontrar alternativas más respetuosas con el medio ambiente en todos los sectores, incluida la construcción. Con este objetivo, se han llevado a cabo diversos estudios y experimentos que han dado lugar a la creación de materiales ecológicos y sostenibles [7]. Una de las ideas más novedosas y prometedoras es el uso de la materia viva como base para estos materiales [8]. En este sentido, se ha explorado el uso del micelio, la red de fibras finas que forma el cuerpo fructífero de los hongos, como una alternativa ecológica para la creación de materiales de construcción [9]. La combinación de micelio con materia orgánica como granos de cebada, paja de cebada, trigo y otros, ha demostrado ser una opción viable y prometedora en la creación de materiales resistentes y sostenibles [10]. Además, este material es biodegradable y se puede producir a bajo costo, lo que lo convierte en una alternativa muy atractiva para la industria de la construcción.

El uso del micelio como material para la construcción no es solo una idea teórica, sino que ya ha sido puesto en práctica por algunas empresas y estudios de diseño. Un ejemplo de ello es el estudio Blast Studio de Londres, que ha construido estructuras utilizando este material a través de una técnica conocida como bioimpresión. [11] En esta técnica, el micelio se eleva para crecer dentro de un molde y luego se puebla con el compuesto circundante para crear una estructura sólida y liviana. De esta manera, las piezas de construcción se pueden producir con formas y tamaños personalizados que cumplan con los estándares de seguridad y resistencia necesarios; también tenemos la investigación realizada por Àgata B. et al. [12] donde investigaron el nivel de aceptación humana del nuevo material con respecto a su apariencia y su uso para la fabricación de pieles y decoración de interiores. Además, este proceso de fabricación es altamente sostenible, ya que no genera residuos y utiliza materiales naturales y renovables. Otro estudio creó mezclas innovadoras de biocompuestos de micelio inoculando diferentes combinaciones de aserrín de abedul y cáñamo, junto con corteza de abedul y aditivos de salvado de trigo, utilizando el basidiomiceto *Trametes versicolor* para producir biomateriales con su propia capacidad de crecimiento [13]. También probado como material de embalaje [14], y aunque las características no son como las de otros materiales, hay algunas áreas en las que los materiales a base de micelio muestran ventajas significativas, como su alta capacidad de atenuación acústica-tic,[15] su resistencia al fuego [16] y su ausencia de componentes químicos sintéticos nocivos para la salud [17]. Estos avances en la creación de estructuras que utilizan el micelio como material sostenible son un gran paso hacia la construcción verde y sostenible, y demuestran que la innovación y la creatividad pueden conducir a soluciones eficientes y respetuosas con el medio ambiente. En cuanto a los tipos de hongos a utilizar existe un estudio [18] donde la especialidad de *Pleurotus Ostreatus* destaca como una de las mejores para la creación de Biomateriales.

Dada la creciente preocupación por la sostenibilidad en la industria de la construcción y la necesidad de encontrar alternativas más respetuosas con el medio ambiente, este proyecto de investigación es especialmente relevante ya que tiene como objetivo explorar las posibilidades constructivas de un material basado en miceli-mmm de *Pleurotus Ostreatus* y utilizando aserrín y virutas de madera como sustrato para su uso en losas aligeradas llevando a cabo todo el proceso desde su elaboración, Caracterización física y mecanicista. Dada la creciente preocupación por la sostenibilidad en la industria de la construcción y la necesidad de encontrar alternativas más respetuosas con el medio ambiente, este proyecto de investigación adquiere especial relevancia. Además, al no requerir la extracción de materias primas y no generar gases

de carbono, se espera que este material se convierta en una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente en la construcción de viviendas en todo el mundo.

The hypothesis raised for this research is: The blocks made with mycelium of Pleurotus Ostreatus and sawdust have physical and mechanical characteristics to be used as lightweight slab bricks.

Materiales

La tierra arcillosa para la fabricación de ladrillos se encuentra en José Leonardo Ortiz (Chiclayo, Perú). Es extraída de manera manual para la elaboración de unidades de albañilería, presentando una composición de 11.4% de arena y 88.6% de arcilla y limo, por lo tanto, es un material apto para la fabricación de las unidades ya que presenta en su mayoría arcilla. Además, deben ser arcillas plásticas para que al contacto con el agua puedan ser moldeables para dar forma a los ladrillos y tener una suficiente adhesión en sus partículas para mantener su forma al momento del desmolde. [23]

La fibra de cabuya es clasificada como una fibra dura y se extrae de la planta de Agave Sisalana que miden 1 a 2 metros de longitud y un ancho de 10 a 15 cm, de donde se puede extraer 1000 filamentos de fibras con una buena resistencia y flexibilidad, con respecto a su cosecha se realiza en intervalos de 6 a 12 meses para poder obtener fibras de una buena calidad [24]. Según estudios realizados por Acevedo et al. [25], nos indican que las propiedades de las fibras dependen del tipo de fibra, clima, suelo y extracción. También, se caracterizan por tener bajas densidades y propiedades mecánicas óptimas para la fabricación de elementos ligeros, además pueden ser utilizadas para la renovación de fachadas y revestimientos para paredes, techos y mobiliarios.

La arena y el cemento se obtuvieron de un proveedor que los vende como materiales de construcción.

Metodología

Características del micelio

La muestra de micelio fúngico utilizada en esta investigación es de la especie de Pleurotus Ostreatus o comúnmente conocida como hongo ostra, la semilla utilizada se obtuvo de laboratorio biológico y es micelio incubado en granos de trigo. Es crucial asegurarse de que la semilla utilizada esté libre de contaminación para garantizar resultados experimentales

precisos y confiables [19]. La elección adecuada de las especies fúngicas representa un desafío debido a la gran diversidad de especies disponibles y los diferentes sustratos que se pueden utilizar. Además, la combinación entre una especie de hongo y un sustrato específico puede presentar dificultades en términos de crecimiento del micelio y parámetros de inactivación, así como existen varios requisitos para la producción de diferentes biocompuestos [20]. Algunos hongos pueden producir micotoxinas dañinas, atraer plagas de insectos o convertirse en especies invasoras, lo que puede presentar desafíos significativos para su uso en la producción de materiales biodegradables y sostenibles [21].

Mientras que *P. ostreatus* generalmente crece en aserrín, madera o materiales similares, un estudio realizado por Julia h. et al. también [22] mostró que también puede crecer en fibras naturales y fibras sintéticas solo con la adición de nutrientes que apoyan su crecimiento.

Características del sustrato

El sustrato utilizado en esta investigación es el residuo de madera de trabajos de carpintería, estos residuos se llaman astillas que constituyen la parte más fina del lijado y, también tenemos aserrín de aserrado y cepillado [23]. Este material se caracteriza por tener celulosa como componente principal [24] y qué producto del procesamiento esta puede variar sus propiedades [25].

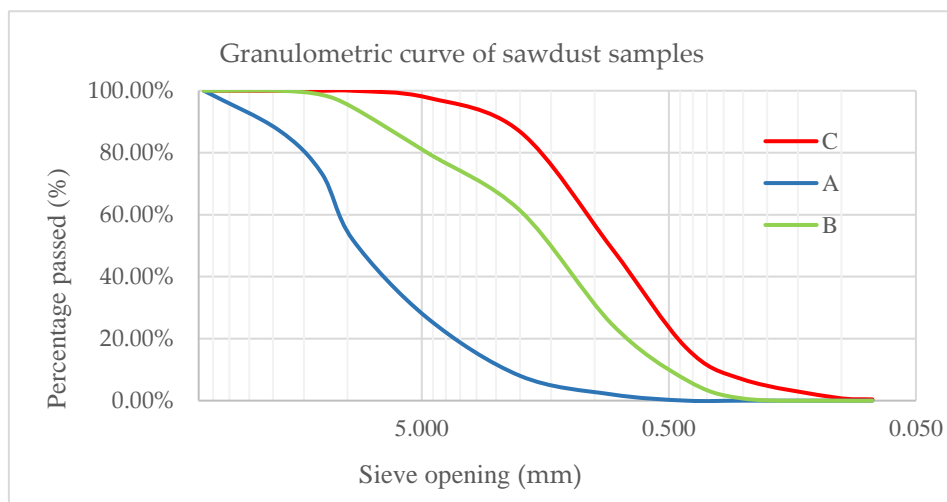
En esta investigación se utilizarán estos sustratos de madera de pino a los que se realizó un análisis granulométrico a tres tipos de muestras como son A, perteneciente al aserrín, MB que es una mezcla de virutas y aserrín en proporciones iguales y MC que pertenece únicamente al chip como se muestra a continuación:

Figure 1. Samples of sawdust and wood shavings



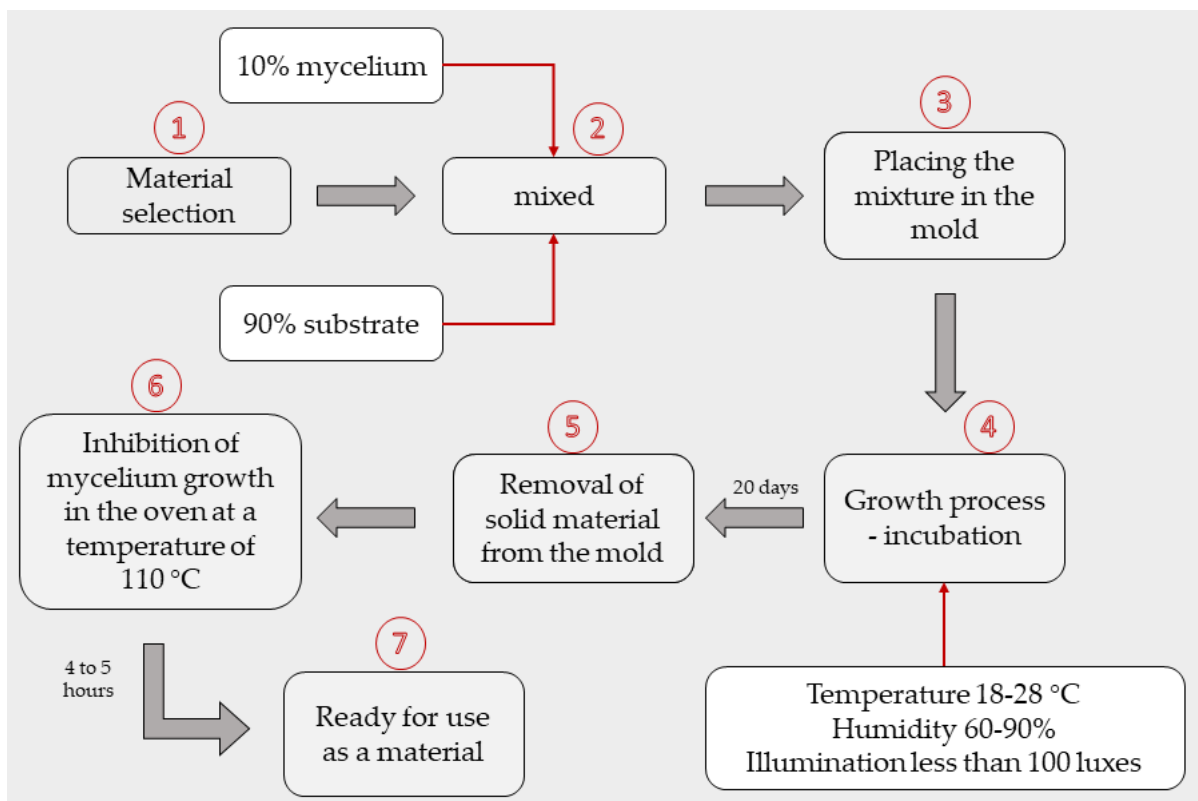
En cuanto a las características granulométricas de las muestras, tiene que para la muestra A tiene un TMN de 19mm, muestra B con TMN de 4,75 mm y muestra C con TMN de 2mm como se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 1. Características granulométricas de las tres muestras de sustrato.



Método de procesamiento de las muestras

Las muestras para la caracterización mecánica serán cúbicas con 13 cm a cada lado y para la caracterización física se elaboraron especímenes del tamaño de un ladrillo de techo convencional con una base de 30cm x 30cm y una altura de 15cm. El número de muestras producidas fue de 3 para cada muestra y para cada ensayo a realizar. El proceso de elaboración se detalla a continuación.



Preparación de moldes

Los moldes utilizados para realizar las pruebas de los bloques fueron fabricados por tecnopor, aunque lo ideal y recomendable es contar con moldes de plástico o vidrio para ser utilizados en más de una ocasión. La parte superior del molde permanecerá descubierta para permitir una inspección visual durante el periodo de colonización del micelio, siguiendo las mediciones previamente indicadas en la muestra.



Figure 1, Moldes para la fabricación de ladrillos

Preparación de la mezcla

Para la mezcla, se considera un 10% de porcentaje seco para la semilla de micelio previamente triturada en granos no mayores de 0,5 cm y un 90% de volumen perteneciente al sustrato de aserrín, mezcla que se introducirá en forma de capas en todo el molde. [26], comprimiendo cada capa para obtener una mezcla densa y compacta. Una vez que el molde esté lleno, se cubrirá con una envoltura de plástico transparente. El proceso se ilustra en la siguiente secuencia de imágenes.



Figure 3, Trituración manual del micelio



Figure 4, Mezcla de micelio con sustrato



Figure 5. Colocación de la muestra en los

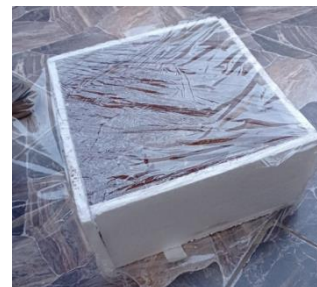


Figure 6, Envoltura con envoltura de papel film

Proceso de incubación

Las muestras se colocaron en un ambiente con condiciones de temperatura entre 18°C a 28°C con una humedad entre 60% y 90%. [27]. Para el desarrollo de la seta, también es necesario mantener ciertas condiciones de luminosidad, requiriendo un máximo de 100 luxes; es decir, el ambiente debe estar en oscuridad. Estas características se pueden conseguir cubriendo con una manta oscura o papel oscuro todas las fuentes de luz que pueda tener el entorno como ventanas, etc.[12]



Figure 7. Incubación de muestras

Desactivación del crecimiento o secado del micelio

Todas las muestras pasarán por el horno de convección a una temperatura de 70°C a 110°C durante un tiempo de 5 a 10 horas hasta que su peso se estabilice, esto implica que el peso debe ser comprobado inmediatamente a partir de la quinta hora puesto en el horno para identificar que el material se ha secado correctamente. [28] Este proceso también ayuda a desactivar el crecimiento del hongo, transformando así el material en algo sólido y compacto.



Figure 8. Bloques secados al horno a una temperatura de 109 °C

Caracterización física y mecánica

La caracterización física del material se realizó de acuerdo con ASTM C 67-05 que sugiere realizar las siguientes pruebas.

Densidad

Para determinar la densidad, se utilizaron muestras de 13cm x13cmx13cm, y se utilizó una balanza con una precisión de 0,001 g, recipiente de agua capaz de mantener la muestra problema completamente sumergida, horno capaz de circulación de aire libre que permite temperaturas de 110°C a 115°C. El procedimiento de prueba comienza calentando la muestra a una temperatura entre 110°C y 115°C repitiendo el proceso hasta que no haya variación de peso, luego la muestra debe colocarse en un recipiente lleno de agua destilada hirviendo, disponerla de manera que el líquido que cubre completamente la muestra permanezca hirviendo durante 3 h. A continuación, se pesará la muestra sumergible, se pesará previamente utilizando el aparato de suspensión y la muestra sumergible. La muestra se retira del recipiente y la superficie se seca con un paño húmedo para pesar.

Absorción

El procedimiento se inició calentando la muestra a un rango de temperatura de 110 ° C a 115 ° C, repitiendo el proceso hasta que no se observó variación de peso. Luego, las muestras se colocaron en un recipiente con agua destilada, se sumergieron completamente durante un período de 24 horas y se mantuvieron a temperaturas que oscilaban entre 15 ° C y 30 ° C. Una vez completado este proceso, las muestras se retiraban del baño, se secaban superficialmente con un paño húmedo y se pesaban a los 5 minutos de la toma de las muestras del recipiente.

Alabeo

Para determinar la concavidad, la parte recta de la regla se colocó primero diagonal o longitudinalmente en una cara más grande del ladrillo, luego se introdujo la cuña precisamente en el punto donde se produce la deformación máxima, registrando la lectura con precisión de 1 mm del valor obtenido. En cuanto a la determinación de la convexidad, se destacará el siguiente procedimiento: Se coloca el borde recto de la regla en la diagonal de una cara mayor del bloque



Figure 9. Determinación de la deformación

y luego se introduce una cuña en cada vértice, buscando el punto en la diagonal sobre el que la regla logra apoyar teniendo en cuenta que la altura en ambas cuñas es la misma.

Compresión

Esta prueba se llevó a cabo con una máquina de compresión estándar donde la muestra se colocó con una de sus caras más grandes en el soporte, bajando la cabeza de la máquina, maniobrando la rótula de tal manera que haya un contacto perfecto en la cara superior de la muestra asegurando que coincida con el eje longitudinal de la muestra.



Figure 10. Prueba de compresión

Módulo de ruptura

El procedimiento para realizar esta prueba es el siguiente: primero, las muestras con los lados más anchos y planos se colocan en los soportes, asegurándose de que sean de 18 cm. Luego la placa de acero se baja en la cara de la muestra al contacto para que luego se aplique la carga donde su tasa de aumento no debe ser superior a 10 N / cm^2 , La carga se aplicará al centro, a través de una placa de acero de aproximadamente 6,5 mm de espesor y 40 mm de ancho, cuya longitud no es inferior a la anchura de la muestra.

Resultados y discusión

Propiedades físicas

Densidad y absorción

En relación a la densidad, los resultados muestran que la muestra A obtuvo la densidad más baja con un valor constante de $0,08 \text{ g/cm}^3$ en sus tres ejemplares ensayados. La muestra B mostró una densidad ligeramente superior que varió de $0,13 \text{ g/cm}^3$ a $0,16 \text{ g/cm}^3$, mientras que la muestra C alcanzó la densidad más alta, como se esperaba, con valores que variaron de $0,19 \text{ g/cm}^3$ a $0,20 \text{ g/cm}^3$. Véase el cuadro 1.

REn la prueba de absorción, se encontró que la muestra C presentó la absorción más baja, con valores que oscilaron entre 15,20% y 15,85%. La muestra B mostró valores de absorción entre 27,17 % y 30,11 %, mientras que la muestra A mostró valores de absorción más altos, alcanzando hasta 64,56 %.

Table 1. *Resultados de densidad y absorción*

Sample N°	Unit tested	Densidad g/cm3	Absorción %
1	(MA)	0.08	63.95%
2	(MA)	0.08	60.83%
3	(MA)	0.08	64.56%
4	(MB)	0.13	28.10%
5	(MB)	0.16	30.11%
6	(MB)	0.15	27.17%
7	(MC)	0.19	15.40%
8	(MC)	0.19	15.20%
9	(MC)	0.20	15.85%

Alabeo

La variación dimensional de las muestras en la muestra C exhibió los valores más bajos con una concavidad de 1,05 mm y una convexidad de 1,00 mm. Para la muestra B, los valores de concavidad y convexidad fueron 2,5 mm y 1,50 mm, respectivamente. Finalmente, la mayor variación dimensional se obtuvo para la muestra A, con valores de hasta 4,00 mm en concavidad y 2,60 mm en convexidad. Véase el cuadro 2.

Table 2 *Resultados de deformación*

Muestra	Cara arriba		Cara abajo	
	Cóncavo	convexo	Cóncavo	convexo
Código	mm		mm	
MA	4.00	0.00	0.00	2.60
MB	2.50	0.00	1.50	0.00
MC	1.05	0.00	0.00	1.00

Propiedades mecánicas

Módulo de compresión y ruptura

La resistencia a la compresión del material a base de micelio y astillas de madera correspondiente a la muestra C presentó una resistencia a la compresión máxima de 2,94 kg/cm² y una mínima de 2,72 kg/cm², mientras que la muestra B tuvo valores máximos de resistencia a la compresión de 2,83 kg/cm² y una mínima de 2,61 kg/cm². La muestra A, que

corresponde a la mezcla de micelio y cáscara de arroz, presentó una resistencia máxima a la compresión de 2,40 kg/cm² y una mínima de 2,34 kg/cm².

En cuanto a la determinación del módulo de ruptura, se observaron los valores más favorables para la muestra C con valores que oscilaron entre 3,48 kg/cm² y 3,55 kg/cm². Para la muestra B se obtuvieron valores entre 3,48 kg/cm² y 3,17 kg/cm³. Finalmente, la muestra A, que hasta ahora ha dado los resultados más bajos, alcanzó un módulo máximo de 2,72 kg/cm² y un mínimo de 2,49 kg/cm².

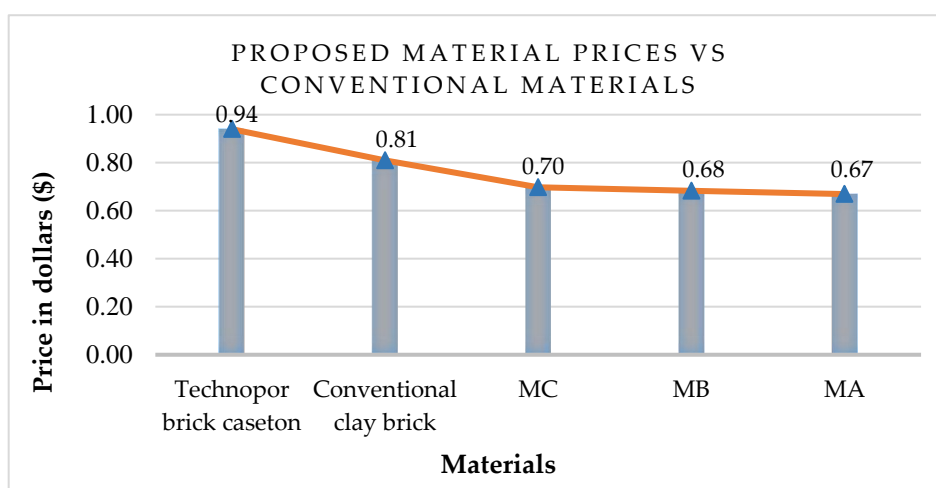
Table 3. Resultados del módulo de compresión y ruptura

Muestra Nº	Unidad probada	Compresión (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
1	(MA)	2.40	2.49
2	(MA)	2.34	2.72
3	(MA)	2.40	2.57
4	(MB)	2.61	3.17
5	(MB)	2.83	3.17
6	(MB)	2.61	3.48
7	(MC)	2.78	3.55
8	(MC)	2.72	3.55
9	(MC)	2.94	3.48

Análisis económico

En cuanto al análisis de costes, se han comparado los costes obtenidos en la fabricación del material a base de micelio para sus tres muestras diferentes que son MA, MB y MC con el coste de mercado de un ladrillo convencional de arcilla y un casete de ladrillo de Tecnopor, estos resultados demuestran que los materiales a base de micelio fúngico son más baratos que los materiales que se utilizan convencionalmente.

Figure2, Comparación de precios del material propuesto frente al material convencional



Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio son prometedores, ya que demuestran que el material a base de micelio y aserrín no solo es una alternativa viable a los materiales comúnmente utilizados en el mercado, sino que además supera a estos en cuanto a sus características mecánicas y bajo coste de producción. Además, este material tiene la ventaja de ser más respetuoso con el medio ambiente, [29] ya que se crea a partir de materiales renovables y biodegradables. Este hallazgo sugiere que el uso de este material puede revolucionar el sector de la construcción y ofrecer soluciones más sostenibles y rentables para la industria.[30]

Table 4. Summary of relevant results

slab height	CON LADRILLO DE ARCILLA COCIDA		CON BLOQUES DE MICELIO			
	Peso de la losa	Peso del ladrillo	Peso de la losa	Peso del bloque	Ahorro de peso	Ahorro de peso
cm	kg/m ²	Kg/m ²	kg/m ²	Kg/m ²	kg	%
17	270	60	196	19	74	27%
20	300	68	216	24	84	28%
25	350	90	247	31	103	29%
30	420	110	279	39	141	34%

Después de un riguroso proceso de pruebas realizadas en el laboratorio, fue posible identificar la combinación más eficiente y adecuada para las necesidades del proyecto. La muestra C hecha de una mezcla cuidadosamente seleccionada de micelio y astillas de madera con un tamaño de partícula promedio (TMN) de 2.00 mm, demostró un rendimiento sobresaliente en términos de sus propiedades mecánicas, cumpliendo con todos los requisitos establecidos por ASTM C67-2003. Los resultados obtenidos muestran que esta combinación es altamente efectiva y puede ser una excelente opción para su aplicación en la construcción de losas aligeradas.

En la tabla 4 observamos que el valor más alto en resistencia a la compresión es la muestra C, que pertenece a la mezcla de micelio y astillas de madera con TMN de 2.00 mm y una resistencia de 2.81 kg/cm², esta resistencia disminuye para que el sustrato tenga un tamaño de partícula mayor, esto nos lleva a concluir que cuanto más partícula tenga el sustrato esto deja más huecos en su interior por lo que la semilla de micelio lo hace. no lograr una colonización completa, dejando huecos en su interior, además esto explica el grado de absorción que presenta la muestra A, ya que, al tener un mayor volumen de huecos, la cantidad de agua que entra al interior es mayor, en cuanto a densidad es la muestra A, la que logra un valor menor

perteneciente a 2.38 g/cm³ y es otro indicador que llevaría a que nuestra conclusión anterior sea correcta porque cuanto mayor El volumen de heno de huecos está dentro del espécimen, menor es su densidad.

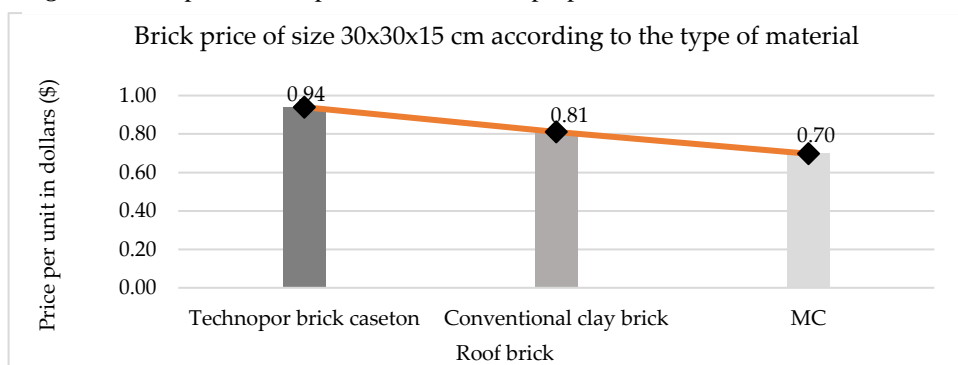
Table 5. Comparison of loads produced by conventional slabs vs slab with mycelium bricks

	SEGÚN NORMA	MUESTRA		
	ASTM C67- 2003	MA	MB	MC
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	-	2.38	2.69	2.81
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	2.00	2.59	3.27	3.53
Densidad (g/cm ³)	-	0.08	0.15	0.19
Absorción (%)	22%	64%	30%	15%

Además de su bajo peso, el material a base de micelio ofrece una ventaja significativa en términos de diseño y construcción de losas ligeras. La función principal de un ladrillo para techos es reducir el peso total de la losa, y esto se logra gracias a la baja densidad del micelio. En comparación con un ladrillo de arcilla cocida convencional, fue posible reducir en promedio el peso de la losa aligerada en un 30% utilizando el material propuesto. Esta reducción de peso permite una mayor versatilidad en el diseño y construcción de las losas aligeradas, ya que se pueden utilizar materiales más ligeros en la estructura sin comprometer su resistencia y estabilidad. Los resultados se presentan a continuación para losas de diferentes espesores.

Investigaciones anteriores explican en detalle que el material hecho de micelio representa una alternativa atractiva para reducir el peso de la losa aligerada, sin aumentar los costos. Por lo tanto, se puede afirmar con certeza que el material propuesto es una solución rentable y efectiva. En comparación con los ladrillos convencionales y los ladrillos de caseton de poliestireno expandido, el costo de producción del material a base de micelio es notablemente menor, con una reducción del 14% y 26%, respectivamente. Esto significa que no solo se proporciona una solución sostenible y de alta calidad, sino también una solución económica y accesible.

Figura 3, Comparación de precios del material propuesto frente al material convencional



Conclusiones

En conclusión, este estudio ha demostrado que la incorporación de fibra de cabuya y cemento tipo I mejora significativamente las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos de arcilla sin cocer. En particular, se encontró que los ladrillos con un contenido de fibra del 20% y un 25% de cemento tipo I presentaban una menor variación dimensional, una reducción en la absorción de agua y una mayor resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos convencionales. Además, se determinó que la proporción óptima de fibra y cemento para lograr una alta resistencia y durabilidad es del 20% de fibra y un 25% de cemento tipo I. Estos resultados sugieren que los ladrillos propuestos tienen el potencial de ser utilizados como una alternativa a los ladrillos convencionales en aplicaciones de albañilería.

Referencias

- [1] E. ElsackerI, S. Vandeloek, J. Brancar, E. Peeters and L. De Laet, "Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates," *Plosone*, 2019.
- [2] I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos and E. Bezirtzoglou, "Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review," *Google Scholar*, 2019.
- [3] Z. Yang, F. Zhang, B. Still and M. White, "Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam," *ResearchGate*, 2017.
- [4] ITeC, "Incorpora el cálculo del análisis ambiental a tu presupuesto," 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=w4l4VM-LKZo&t=1s>.
- [5] I. Raut, M. Calín, Z. Vuluga, O. Florín, P. Jenica, R. Nicoleta, D. Mihaela, A. Elvira, p. ionela and J. Luisa, "Fungal Based Biopolymer Composites for Construction Materials," *Materials*, vol. 2906, 2021.
- [6] M. V. Madurwar, R. V. Relegaonkar and S. A. Mandavgane, "Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review," *ScienceDirect*, vol. 38, pp. 872-878, 2013.
- [7] J. Mitchell, A. Mautner, S. Luenco, A. Bismarck and S. John, "Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review," *Materials Design*, vol. 187, 2020.
- [8] N. Boullosa, "Micelios: hongos para salvar al mundo," 2010.
- [9] I. Fuentes and C. Monereo, *Bio Fabricación*, Madrid, 2020.
- [10] R. Zabel and J. Morrell, "Wood Microbiología. Deterioro y su prevención," *Prensa académica: Cambridge*, p. 576, 2020.
- [11] A. M, "3dnatives," 2022. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/tree-column-micelio-residuos-010220222/#!>.
- [12] à. Bonenberg, M. Sydor, C. de Grzegorz, B. Doczekalska and K. Grygorowicz, "Mycelium-Based Composite Materials: Study of Acceptance," *Materials*, 2023.
- [13] G. Daniels Loris, I. Filipova and A. Laura, "Characterization of Self-Growing Biomaterials Made of Fungal Mycelium and Various Lignocellulose-Containing Ingredients," *Materials*, 2022.

- [14] R. Abhijith, A. Ashok and Rejeesh, "Sustainable Packaging Applications from Mycelium to Substitute Polystyrene: A Review," *Mater*, 2018.
- [15] V. Meyer, E. Basenko, G. Benz, M. Caddick, M. Csukai, D. Endy and J. Frisvad, "Growing a Circular Economy with Fungal Biotechnology: A White Paper. Fungal," *Biol*, 2020.
- [16] K. Rafiee, H. Schritt, G. Kaur and S. Brar, "Biodegradable Green Composites: It's Never Too Late to Mend," *Opin. Green Sustain*, 2021.
- [17] M. Fairus, E. Bahrin, E. Arbaain and N. Ramli, "Mycelium-Based Composite: A Way Forward for Renewable Material," *J. Sustain*, p. 17, 2022.
- [18] M. Sydor, G. Cofta, B. Doczekalska and A. Bonenberg, "Fungi in Mycelium-Based Composites: Usage and Recommendations," *Materials*, vol. 6283, 2022.
- [19] A. Digafé, M. Tefesse and A. Kanti Mondal, "Compuesto a base de micelio: el futuro biomaterial sostenible," *International Journal of Biomaterials*, 2022.
- [20] O. Robertson, F. Høgdal, F. McKay and T. Lenau, "Fungal Future: A Review of Mycelium Biocomposites as an Ecological Alternative Insulation Material. In Proceedings of the Balancing Innovation and Operation," *Lyngby*, vol. 101, pp. 55-68, 2020.
- [21] J. Van den Brandhof and Wösten, "Risk Assessment of Fungal Materials. Fungal Biol," *Biotechnol*, 2022.
- [22] J. Helberg, M. Klocker, L. Sabantina, J. Storck, R. Bottjer, b. brockhagen, F. Kinzel, A. Rattenholl and A. Ehrmann, "Growth of *Pleurotus Ostreatus* on Different Textile Materials for Vertical Farming," *Materials*, 2019.
- [23] N. Serret Guasch, M. Quintero Ríos and G. Giralt Ortega, "Caracterización de aserrín de diferentes maderas," *Scielo*, vol. 36, no. 3, 2016.
- [24] B. Doczekalska and M. Zborowska, "Wood Chemical Composition of Selected Fast Growing Species Treated with Naoh Part I: Structural Substances," *Wood Res*, vol. 55, pp. 41-48, 2010.
- [25] H. R. Cea Muñoz, *Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia, Chile: Valdivia*, 2003.
- [26] P. Sustentable, "Micelio, el material de futuro," [Online]. Available: <https://puntosustentable.com/2019/02/06/micelio-el-material-de-construccion-a-base-de-hongos/>.
- [27] Y. Xing, M. Brewer, H. El Gharebawi, G. Griffith and P. Jones, "Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials," *IOP SCIENCE*, vol. 121, 2018.
- [28] I. Díaz Pérez, *Determinación del Rendimiento del Hongo Pleurotus ostreatusen Diferentes Sustratos, México*, 2008.
- [29] C. Girometta, A. M. Picco, R. M. Baiguera, D. Dondi, S. Babbini, M. Cartabia, M. Pellegrini and E. Savino, "Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review," *MDPI*, vol. 11, p. 281, 2019.
- [30] I. Sartori and A. G. Hestnes, "Uso de energía en el ciclo de vida de edificios convencionales y de bajo consumo energético: un artículo de revisión," *ScienceDirect*, vol. 39, no. 3, pp. 249-257, 2017.
- [31] S. Manan, W. U. Muhammad, M. Ul-Islam, O. Mohammad Atta and G. Yang, "Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials," *ScienceDirect*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, 2021.
- [32] M. G. Pelletier, G. A. Holt, J. D. Wanjura and E. Bayer, "An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates," *ScienceDirect*, vol. 51, pp. 480-485, 2013.
- [33] E. M. Samsudin, L. H. Ismail and A. A. Kadir, "A review on physical factors influencing absorption performance of fibrous sound absorption material from natural fibers(Review)," *Scopus*, vol. 11, no. 6, pp. 3703-3711, 2016.