

Fabricación, análisis y evaluación de la conductividad térmica de placas fabricadas con micelios

(Fabrication, analysis and evaluation of the thermal conductivity of panels made of mycelia)

Lucio Ponzoni,¹ Melany Melo,² Agustín Cacase,³ Julieta Ganiele,⁴

Sara Montenegro⁵ y Luciano Atorresi⁶

Material original autorizado para su primera publicación en la revista Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo.

Campo temático: Ingeniería Sustentable

Recepción: 20/2/2024 | Aceptación: 4/10/2024.

¹ Jefe de Departamento de Estructura y Comportamiento - Gerencia de Materiales, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Director del grupo AeroMat- Laboratorio Perfil Alar. Investigador de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), Coordinador del Centro de Estudios de Energías Renovables (CEER) de la UNTREF. investigacionaeromat@gmail.com

² Miembro del grupo AeroMat. Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF). Gestora y coordinadora en Chaer Ingeniería Ambiental.

³ Miembro del grupo AeroMat. Estudiante de ingeniería eléctrica, electrónica y comunicaciones de la Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM). Auxiliar administrativo en la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF).

⁴ Investigadora en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) perteneciente al grupo AeroMat- Laboratorio Perfil Alar, División de Hidrógeno en materiales, Departamento de estructura y comportamiento, Gerencia de materiales. MSc en Materiales del Instituto Sabato. Ing. Ambiental de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF).

⁵ Investigadora en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) perteneciente al grupo AeroMat- Laboratorio Perfil Alar, División de Hidrógeno en materiales, Departamento de estructura y comportamiento, Gerencia de materiales. MSc en Materiales del Instituto Sabato. Ing. Ambiental de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF). Agente de propiedad industrial del Instituto Nacional de la Propiedad Industrial.

⁶ Investigador en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) perteneciente al grupo AeroMat- Laboratorio Perfil Alar, División de Hidrógeno en materiales, Departamento de estructura y comportamiento, Gerencia de materiales. Ing. Mecánico de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Resumen

En la construcción de ecoviviendas, uno de los enfoques más interesantes y prometedores es el uso de aislaciones térmicas alternativas basadas en materiales de descarte o de origen natural. Estos materiales no solo ofrecen una forma sostenible de construir, sino que también permite ahorrar costos en comparación con los materiales que se encuentran en el mercado y aumentar el confort interior. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar placas aislantes en base a micelios utilizando como especie fúngica el Reishi (*Ganoderma Lucidum*), evaluando el crecimiento del mismo en tres sustratos diferentes: aserrín mezclado con viruta de madera, restos de yerba mate y restos de borra de café. En cada mezcla se agregó el mismo porcentaje de micelio, siendo este un 10% del total, y se han utilizado dos mecanismos diferentes para el secado de las placas (al horno y al sol). Asimismo, para evaluar las propiedades térmicas del material se realizó el ensayo de aparato de placa caliente con guarda (APCG) para medir la conductividad térmica a partir de la norma IRAM 11559. Los resultados del ensayo revelaron que, las placas bio fabricadas en base a micelio presentan valores de conductividad térmica comparables a los de materiales aislantes convencionales.

Palabras Clave: Conductividad térmica, materiales aislantes, micelios, ecovivienda.

Abstract

One of the most interesting and promising approaches in the construction of eco-houses is the use of alternative insulation materials based on waste or naturally occurring materials. These materials offer a sustainable and cost-effective way of building, while also improving indoor comfort. In this context, the aim of this research was to develop insulation boards based on mycelia using Reishi (*Ganoderma Lucidum*) as a fungal species and to evaluate its growth in three different substrates: sawdust mixed with wood shavings, yerba mate waste and coffee grounds. In each mixture, the same percentage of mycelium was added, 10% of the total, and two different mechanisms were used to dry the plates (oven and sun). Tests were also carried out to evaluate the thermal properties of the material using the Guarded-Hot-Plate (GHP) method for determining thermal conductivity based on the IRAM 11559 standard. The results of the test showed that the bio-based panels based on mycelium have thermal conductivity values comparable to those of conventional insulation materials.

Keywords: Thermal conductivity, insulating materials, mycelium, eco-housing.

1. Introducción

La producción de materiales fabricados industrialmente, como los materiales para la construcción, consumen energía en todo su ciclo de vida. Esto implica desde la extracción y procesamiento de las materias primas hasta su demolición, siendo la gran mayoría no reciclables e impactando de manera negativa al ambiente. Se estima que, el sector de la construcción es responsable del consumo de la mitad de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida y del 50% del total de los residuos generados. De estos materiales, solo se recicla entre un 10% y 18% (Utopía Urbana, 2022). En este contexto, para reducir el uso de recursos no renovables para la producción de materiales y disminuir la dependencia de éstos de fuentes de energía convencionales, se propone utilizar materiales fabricados a partir de recursos renovables.

Asimismo, según el último informe “estado del ambiente” realizado en el año 2020 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se afirma que el promedio de generación diaria de residuos es de 1,15 kg per cápita, lo que representa unas 49.300 toneladas diarias, y alrededor de 18 millones de toneladas anuales. En particular, para el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), el volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) que se deriva a la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) representa un tercio del volumen general del país. La tipología de los mismos está compuesta por un 44,49% de residuos orgánicos (alimenticios y de jardín) y un 50,03% de residuos secos (plásticos, papel y cartón, textiles, vidrio, metales, otros). Por ello, se puede observar que existe un inadecuado manejo de los residuos, ya que no se aplican técnicas de valorización, reciclado o reutilizado, para disminuir la cantidad de residuos generados previo a su disposición final.

En este contexto, el grupo de investigación se encuentra trabajando en el desarrollo de una vivienda Ecosocial Modular Eficiente de bajo mantenimiento, diseñada para su rápida y segura instalación en situaciones de emergencia, utilizando materiales de origen reciclado.

La presente investigación se desglosa del proyecto mencionado y plantea como objetivo la fabricación de placas aislantes en base a micelios de la especie fúngica *Ganoderma Lucidum* como reemplazo de los aislantes convencionales, para ser utilizada como capa aislante en el sistema de doble pared de la Ecovivienda. Esto minimiza el impacto ambiental producido en la fabricación de materiales provenientes de recursos no renovables y reduce la disposición final de residuos orgánicos al aprovecharlos como sustratos para el proceso productivo.

2. Objetivo

Diseñar y construir placas aislantes fabricadas con micelios de la especie fúngica *Reishi (Ganoderma Lucidum)*; a fin de realizar un análisis comparativo

de la conductividad térmica entre el material obtenido y los materiales aislantes convencionales disponibles en el mercado.

3. Metodología

3.1 Diseño de placas aislantes

El diseño de placas se fundamenta en el funcionamiento del micelio, una red filamentosa de hifas que constituye la estructura vegetativa de los hongos. En este contexto, una especie fúngica en conjunción con un sustrato da origen a un material biocompuesto con notables propiedades aislantes. El micelio, al aferrarse a sustratos derivados de procesos biológicos, capitaliza el crecimiento intrínseco del organismo fúngico en dichas matrices. Las hifas, por su parte, penetran profundamente en los sustratos, desplegando una red tridimensional intrincada. Con el transcurso del tiempo, la biomasa fúngica cataliza la degradación del sustrato, formando un material biocompuesto cohesionado.

La elección de los materiales para este proyecto se llevó a cabo considerando su fácil acceso y amplia disponibilidad, con el propósito de demostrar que existen alternativas de bioconstrucción de materiales aislantes utilizando insumos accesibles.

En primer lugar, se decidió utilizar la especie fúngica Reishi (*Ganoderma Lucidum*), ya que tiene la particularidad de crecer muy rápido y ser fuerte en cuanto a la lucha contra otros microorganismos que pueden infectar el trabajo (Cantera, 2020). Esto es fundamental, debido a que el crecimiento del micelio del hongo, se llevará a cabo en condiciones no controladas de temperatura, presión y humedad. Estas condiciones no son ideales, por lo cual el hongo seleccionado es el que mejor se ajusta a dichas condiciones.

El Reishi fue adquirido en “Galpón sustentable”, quienes se dedican a la comercialización y cultivo de diferentes tipos de hongos. Desde su adquisición, se mantuvo refrigerado durante 1 semana previo a su uso, ya que impide que las semillas fructifiquen.

En segundo lugar, en cuanto a los sustratos, se eligió probar tres sustratos; restos de yerba mate, aserrín-viruta de madera y borra de café; debido a su alta disponibilidad y a que son ricos en lignina y/o celulosa. La especie de hongos Reishi producen enzimas que son capaces de degradar estos compuestos, transformando la estructura compleja de los residuos en moléculas simples que son fáciles de absorber.

Estos residuos se generan en gran cantidad, por lo tanto, conlleva un tiempo relativamente corto conseguir la cantidad necesaria para la bio-fabricación. A su vez se generan en sitios cercanos y son residuos sin valor económico. Si bien, tanto los restos de yerba mate como los restos de borra de café, originan una

descomposición rápida, se contempla que al momento de su generación se llevará un secado inmediato para evitarla.

3.2 Construcción de probetas para ensayo

3.2.1 *Descontaminación del sustrato*

Para ello, se colocó el sustrato con agua en una olla común de cocina, dejándolo hervir aproximadamente por 2 horas. Este proceso debe realizarse en el mismo momento que va a ser utilizado. Luego, se pasó por un colador para retirar los restos de agua y se dejó enfriar. A modo de ejemplo, en la Figura 1 se visualiza la descontaminación del aserrín junto con la viruta de madera.



Figura 1. Descontaminación de aserrín y viruta. Fuente: elaboración propia

3.2.2 *Preparado de la mezcla*

El sustrato se dejó enfriar, y se retiró la semilla miceliada de Reishi de la heladera, para que a la hora de realizar la mezcla junto con el aserrín y la viruta de madera, ambos se encuentren a temperatura ambiente. Una vez que el sustrato perdió temperatura, se lo escurrió para extraer el exceso de agua. El punto ideal es cuando al retirar una muestra de sustrato, se comprime con la mano y al descomprimirla, se obtiene el sustrato moldeado con la forma del puño en un instante. Luego, se realizó la mezcla entre el sustrato y el micelio, desgranando y unificando hasta obtener una mezcla homogénea dentro del molde. Se recomienda colocar un 10% de micelio con respecto al total del sustrato a utilizar. En la Figura 2 se muestra este procedimiento.



Figura 2. Preparado de la mezcla. Fuente: elaboración propia

3.2.3 Armado de probetas

El molde se llenó a tope para obtener una placa de espesor de 2,5 cm y se envolvió con papel film. Para facilitar el intercambio de oxígeno y el egreso de los gases emitidos durante el crecimiento del micelio, se realizaron pequeños agujeros al azar. Luego, se dejaron las probetas dentro de un lugar oscuro y fresco, bajo condiciones no controladas. Debido a la disponibilidad del sitio, la fabricación de placas se realizó en distintos tiempos.

Cuando las condiciones no son controladas, es importante el monitoreo constante. Se recomienda que cada 3 días aproximadamente, se observa el objeto para ver cómo evoluciona y evitar contaminación con hongos atmosféricos. Si ocurre, se debe quitar el film y remover la superficie contaminada con algún instrumento metálico previamente desinfectado. Ahora bien, si se extiende en gran superficie la infección, se debe rellenar con mezcla en la zona afectada, envolver nuevamente con film y dejar continuar su crecimiento.

Esta etapa finaliza al observar la colonización completa de la superficie. A continuación, en la Figura 3, se observan algunas de las fotografías tomadas para demostrar el crecimiento del micelio.



Figura 3. Crecimiento del micelio. Fuente: elaboración propia

3.2.4 Desmoldado y secado

Luego de 54 días, se desmoldan y secaron las probetas. Se realizaron dos tipos de secado. Uno a temperatura constante, colocando las placas en el horno de cocina a gas, previamente calentado a 70°C durante 1:30hs aproximadamente, en el transcurso de tres turnos. Se debe tener en cuenta que, al someterlas al calor, se reduce el volumen aproximadamente en un 10% debido a la pérdida del agua. El otro secado se realizó al sol para evitar las variaciones dimensionales que sufrieron las placas secadas al horno. Ambos tipos de secado se observan en la Figura 4.

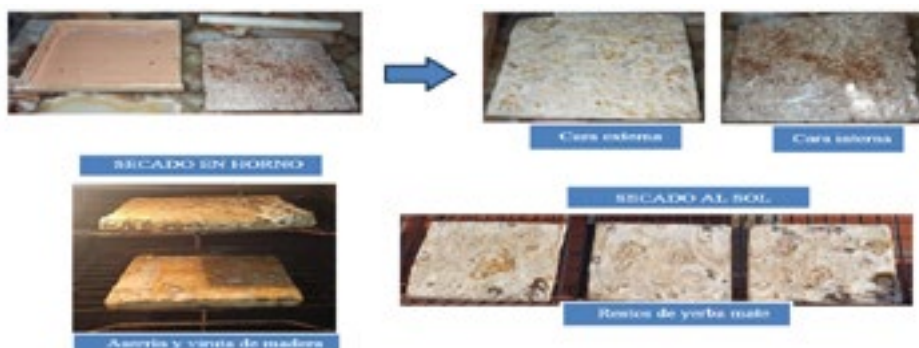


Figura 4. Secado de placas. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para obtener el peso de las placas, se utilizó una balanza analítica de laboratorio calibrada de marca Chyo, tipo MJ-3000, con un peso máximo de 3.100 gr \pm 0,01. Para obtener el espesor de las placas se utilizó un calibre metálico de acero, marca Silver Shadow, con rango de medición 0,05 mm - 150 mm, midiendo 3 puntos de cada lado de la placa para obtener un espesor promedio.

3.3 Ensayo de conductividad térmica a través del APCG

A fin de determinar la conductividad térmica de las placas de micelio- aserrín, micelio-yerba mate y micelio-café, se utilizó un aparato de placa caliente con guarda (APCG) de 2 probetas, como se observa en la Figura 5. El APCG utilizado fue construido por el grupo de investigación AeroMat siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM N° 11.559.

Con el propósito de calibrar el dispositivo de ensayo, se realizó una prueba con probetas de madera de tipo aglomerado aplacado con melamina.

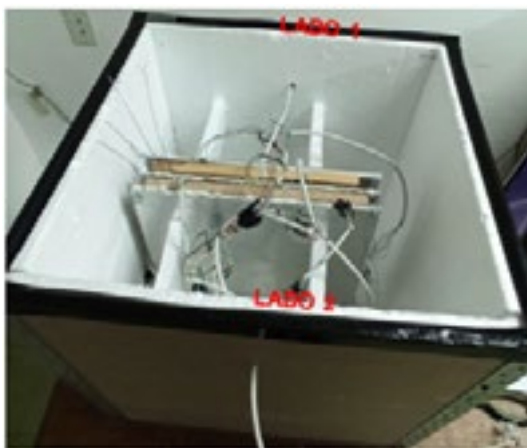


Figura 5. Aparato de placa caliente con guarda. Fuente: elaboración propia.

3.3.1 Descripción del ensayo

El método de ensayo consiste en aplicar una densidad de flujo de calor uniforme y unidireccional en condiciones de estado estacionario, es decir, que las variables -temperatura, masa, volumen, densidad, etc.- no cambian a través del tiempo estudiado, para determinar la transmisión de calor de probetas con forma de placa plana y calcular sus propiedades de transmisión de calor. Para ello cuenta con unidad caliente central, a cada lado de ella van colocadas las probetas y dos unidades de enfriamiento periféricas que se encuentran dentro de una caja para aislar el conjunto del ambiente circundante.

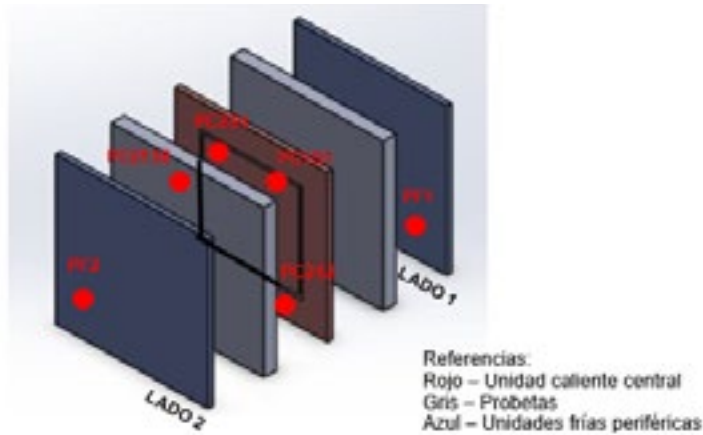


Figura 6. Esquema descripción ensayo. Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Condiciones del ensayo

Para realizar el ensayo se estableció una diferencia de temperatura de 20°C, de acuerdo a lo requerido por la norma, donde la temperatura de las unidades frías fué de 40°C y la unidad caliente central 60°C. A su vez, el ensayo constó de 4 mediciones consecutivas durante un periodo de 5 minutos cada uno, y se realizaron mediciones de masa, espesor, volumen y densidad las probetas antes y después del ensayo.

3.3.3 Cálculos del ensayo

Se calculó el factor de transmisión o conductividad térmica k (W/mK) usando la siguiente Ecuación 1.

$$k = \frac{\Phi_m \cdot d}{A \cdot (T_1 - T_2)} \quad (\text{Ec. 1})$$

Asimismo, se determinó la resistencia térmica R (m²K/W) utilizando la Ecuación 2.

$$k = \frac{(T_1 - T_2)}{\Phi_m \cdot A} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Φ_m : potencia media suministrada a la sección de medición de la unidad calefactora central (W)

T_1 : temperatura media del lado caliente de las probetas (K)

T_2 : temperatura media del lado frío de las probetas (K)

A : área de la zona de medición (m²). Debido a que se utilizan dos probetas, el área de medición se debe multiplicar por 2.

d: espesor promedio de las probetas (m).

Finalmente, para determinar la potencia media suministrada Φ_m (W) se utilizó la Ecuación 3.

$$\Phi_m = \frac{Pot_{pulso_medición} \cdot t_{pulso_on}}{T} \tag{Ec. 3}$$

Donde:

$Pot_{pulso_medición}$: potencia del pulso suministrada a la zona de medición de la unidad calefactora central. Valor constante de 39,3 W.

t_{pulso_on} : tiempo donde la energía se transfiere a temperatura constante y permite la circulación de corriente (seg)

T: tiempo total del ensayo, es decir el tiempo entre pulsos ($t_{pulso_on} + t_{pulso_off}$) (seg)

4. Resultados y Discusión

4.1 Diseño y construcción de placas aislantes

Es importante destacar que, de la totalidad de las placas fabricadas, no todas fueron colonizadas completamente. En el cuadro 1 se establecen las condiciones ambientales y tiempos de crecimiento de cada una de ellas.

Cuadro 1: Parámetros de crecimiento de las placas de micelio

Placa		Época de crecimiento	Tiempo de crecimiento	Tiempo de semilla miceliada refrigerada previo a uso	Colonización completa
Micelio. aserrín	MA1	Primavera	55 días	7 días	SI
	MA2	Primavera			SI
	MA3	Otoño	43 días		NO
	MA4	Otoño			NO
Micelio- yerba mate	MY1	Primavera/ Verano	79 días	12 días	SI
	MY2	Verano/ Otoño	60 días	103 días	SI
	MY3	Verano/ Otoño			SI
	MY4	Verano/ Otoño			SI
Micelio- café	MC1	Otoño	43 días		182 días
	MC2	-	-	-	-

A partir del Cuadro 1, se observa que las placas que presentaron una colonización completa fueron: MA1, MA2, MY1, MY2, MY3 y MY4.

A pesar de que la mejor época de crecimiento para el micelio es la primavera (Chen A., 2005), estas placas fueron fabricadas en distintas épocas del año y el tiempo de crecimiento transcurrido fue casi el mismo, asociamos estos resultados a las condiciones controladas de entorno.

En cuanto a las placas de micelio-aserrín, específicamente MA3 y MA4, y la placa de micelio-café (MC1) fueron las últimas en construirse, y el crecimiento del micelio no evolucionó. Posiblemente esto sucedió debido a una contaminación en parte de la semilla miceliada de Reishi, como se observa en la Figura 7. A pesar de que se extrajo la parte contaminada previo a la fabricación de las placas, esto podría haber interferido en el crecimiento.



Figura 7. Semilla miceliada de Reishi contaminada.
Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, basándonos en lo mencionado anteriormente, se decidió no fabricar la placa MC2

Con respecto al secado, se han probado las dos opciones mencionadas, es decir, secado al horno y secado al sol. Las primeras placas construidas, MA1 y MA2, fueron secadas al horno, y las placas de micelio-yerba mate (MY1, MY2, MY3 y MY4) se han secado al sol, debido a que se observó una gran disminución dimensional al utilizar la primera opción. En el Cuadro 2 se puede observar lo mencionado.

Cuadro 2: Diferencias dimensionales de las placas de micelio según tipo de secado

Placa	Tipo de secado	Volumen pre-secado (cm ³)	Área post-secado (cm ²)	Espesor promedio post-secado (cm)	Volumen post-secado (cm ³)	Peso (gr)
MA1	Horno	1.562,5	392,89	2,14	839,8	103,72
MA2			381,21	2,03	774,81	106,99
MY1	Sol		459,02	2,11	967,78	184,53
MY2			485,05	1,9	921,6	162,22
MY3			465,47	2	921,25	187,92
MY4			488,25	2,06	1007,01	172,73

A partir de la Cuadro 2, se puede observar como el secado a horno de las placas MA1 y MA2 no sólo disminuyó en un 53,7% y 49,5% del volumen total respectivamente, sino que también implicó una disminución del peso comparándolas con las placas de micelio-yerba mate. Luego del secado al horno, se obtuvieron unas placas totalmente secas y livianas, pero al transcurrir el tiempo en sus superficies comenzaron a observarse pequeñas infecciones por el ambiente circundante, como se observa en la Figura 8.

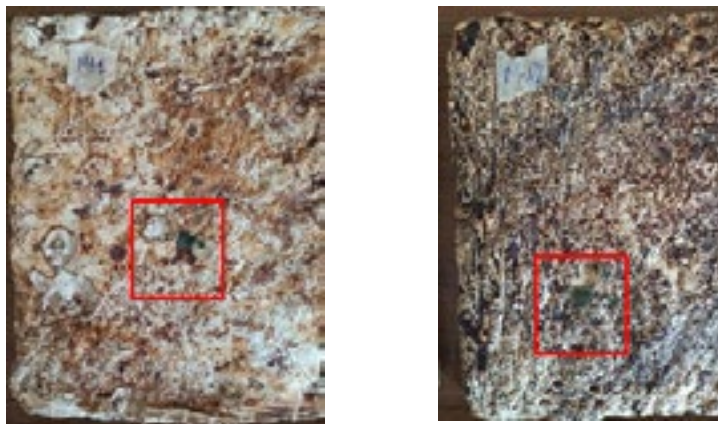


Figura 8. Pequeñas infecciones en las placas MA1 y MA2 Fuente: elaboración propia.

En cambio, las placas MY1, MY2, MY3 y MY4 al ser sometidas a secado al sol no disminuyeron tanto su volumen, y su peso es mayor al de las placas micelio-aserrín debido al contenido de humedad. A su vez, se observó que a medida que se iban secando al sol las placas comenzaron a curvarse levemente (Figura 9).



Figura 9: Curvado de las placas micelio-yerba mate. Fuente: elaboración propia.

En todas las placas, tanto las de micelio-aserrín como las de micelio-yerba mate, se ha colocado un 10% de semilla miceliada de Reishi, esto significa 156,25 cm³ del volumen total. Por lo cual, el peso de las placas sólo depende del sustrato colocado en el molde.

Las ventajas de no utilizar contramolde durante el armado de las placas fueron un menor tiempo de crecimiento, y un mayor intercambio de gases y oxígeno con el ambiente circundante. Sin embargo, esto implicó que se presentaran irregularidades en las superficies expuestas, obteniendo placas no homogéneas, con presencia de huecos y/o sustrato que no fue degradado por el hongo.

Por ello, las placas no cumplieron con los requisitos y especificaciones de las probetas para ensayo que establece la Norma IRAM N° 11559, ya que las irregularidades superficiales provocan la disminución de contacto entre las probetas y las unidades del APCG.

4.2 Ensayo de conductividad térmica

En la Figura 10, se comparan los valores de conductividad hallados en los ensayos en función de la densidad del material. La menor conductividad térmica se obtuvo en las placas micelio-yerba mate, lo que implica mejores condiciones de aislación comparado al sustrato aserrín.



Figura 10. Ensayo de conductividad térmica. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 11 se observan los valores de conductividad térmica obtenidos por distintos autores en función del tipo de medición, especie fúngica y sustrato. Analizando dichos valores se establece que, si bien existen variaciones, los resultados obtenidos en los ensayos poseen órdenes de magnitud y valores comparables con la bibliografía.



Figura 11. Comparación de valores de conductividad térmica obtenidos por diversos autores. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, es pertinente mencionar que los valores de conductividad térmica obtenidos se encuentran influenciados por el proceso de fabricación, y en este caso, no se controlaron los parámetros ambientales. Asimismo, no se realizaron mediciones de porosidad y contenido de humedad de las placas, y esto puede provocar errores en las mediciones utilizando la APCG.

5. Conclusión

Se fabricaron 10 placas en total: 4 placas micelio-aserrín (MA1, MA2, MA3 y MA4), 4 placas micelio-yerba mate (MY1, MY2, MY3 y MY4) y 2 placas micelio-café (MC1 y MC2). Sólo 6 de estas han llegado a conseguir una colonización completa, siendo MA1, MA2 y las 4 placas con sustrato de restos de yerba mate, respectivamente. Las placas MA3, MA4 y MC1 no presentaron una colonización completa. Posiblemente esto se debió a que, al comenzar con el procedimiento de construcción, se observó que la semilla miceliada de Reishi se encontraba contaminada y ello afectó el crecimiento del micelio en los distintos sustratos.

A partir de estas observaciones se concluye que, la colonización de las placas es un proceso muy complejo y se ve favorecido por las temperaturas cálidas, siendo

la primavera la época óptima de crecimiento del micelio.

Las placas MA1 y MA2, secadas al horno, sufrieron una disminución en su volumen de alrededor del 50%, y registraron un peso menor que las secadas al sol. A su vez, estas placas se vieron contaminadas con hongos atmosféricos, luego del secado. Por otro lado, las placas MY1, MY2, MY3 y MY4, secadas al sol, presentaron una variación en su volumen menor y registraron un peso mayor comparado a las primeras. Posiblemente esto sucedió debido a que las placas secadas al sol cuentan con un mayor contenido de humedad. No obstante, mientras transcurría el proceso de secado, se curvaron.

Para hallar los valores de conductividad térmica de las placas aislantes, se sometieron al ensayo denominado aparato de placa caliente con guarda (APCG) de doble probeta. Este ensayo nos permitió determinar a partir de cuál de los sustratos se obtiene una baja conductividad térmica.

Con ese fin, se seleccionaron las placas que mejor se ajustaban a los requerimientos de la norma técnica de referencia IRAM N° 11.559, y se realizaron 4 mediciones de las placas micelio-aserrín y micelio-yerba mate, siendo ésta última la que se obtuvo el menor coeficiente de conductividad térmica (0,13 W/mK), demostrando un gran potencial para su uso como aislante.

Como parte de los trabajos futuros se plantea fabricar placas con otros sustratos y especies fúngicas, así como también realizarlas con diferentes espesores, a fin de determinar cuál de estas combinaciones proporciona el menor coeficiente de conductividad térmica. Asimismo, se debe investigar acerca del post-procesado de las placas con el objetivo de mejorar su vida útil utilizando diferentes tipos de recubrimientos, tales como aceites o polímeros naturales, u otros procesos.

Referencias

- Utopía Urbana. (4 de septiembre de 2022). Microfabricación: construcción sustentable con hongos. <https://utopiaurbana.city/2022/09/04/micofabricacion-construccion-sustentable-con-hongos/>
- Chen, A. (2005). Cultivo de hongos Ganoderma. Manual del Cultivador de Hongos. E.E.U.U.: MushWorld
- Cantera, A. (2020). Biofabricación con micelio. <https://www.analauracantera.com.ar/>.
- Yang, Z. et al. (2017). Physical and mechanical properties of fungal mycelium-based biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(7),1-9
- Holt, G. A. et al. (2012). Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded Packaging Material: Evaluation Study

of Select Blends of Cotton Byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6,431-439.

Xing, Y. et al. (2018). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121.

[https://doi :10.1088/1755-1315/121/2/022032](https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032)

Elsacker, E. et al. (2019). Mechanical, physical and chemical characterization of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS One*,14,1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>