



Desarrollo de componente para la construcción con biomateriales en base a micelio de hongo, mediante técnicas de prensado en calor

Propuesta de instalación de infraestructura en Estación Biológica Senda Darwin, Ancud.

Luciano Cuq Seplveda



Tesis de investigación y proyecto, Noviembre 2021
Profesores: Francisco Chateau y Sebastián Rodríguez
Laboratorio de Biofabricación UC / 2020-2021

Agradecimientos

A mis profesores guía, Francisco Chateau y Sebastian Rodríguez, por guiarnos y apoyarnos con paciencia, confianza y dedicación en una época compleja de trabajo remoto y online.

A mis compañeros del taller, especialmente a Benjamín Aedo, con quien trabajé desde el inicio de la investigación. Por aconsejarme, apoyarme y hacer mas ameno todo este proceso.

A mi familia y amig-s, por acompañarme, contenerme y ayudarme a distraerme cuando fue necesario.

A mi ayudante Matías Elliot por los consejos y todas las tardes de ayuda en el laboratorio.

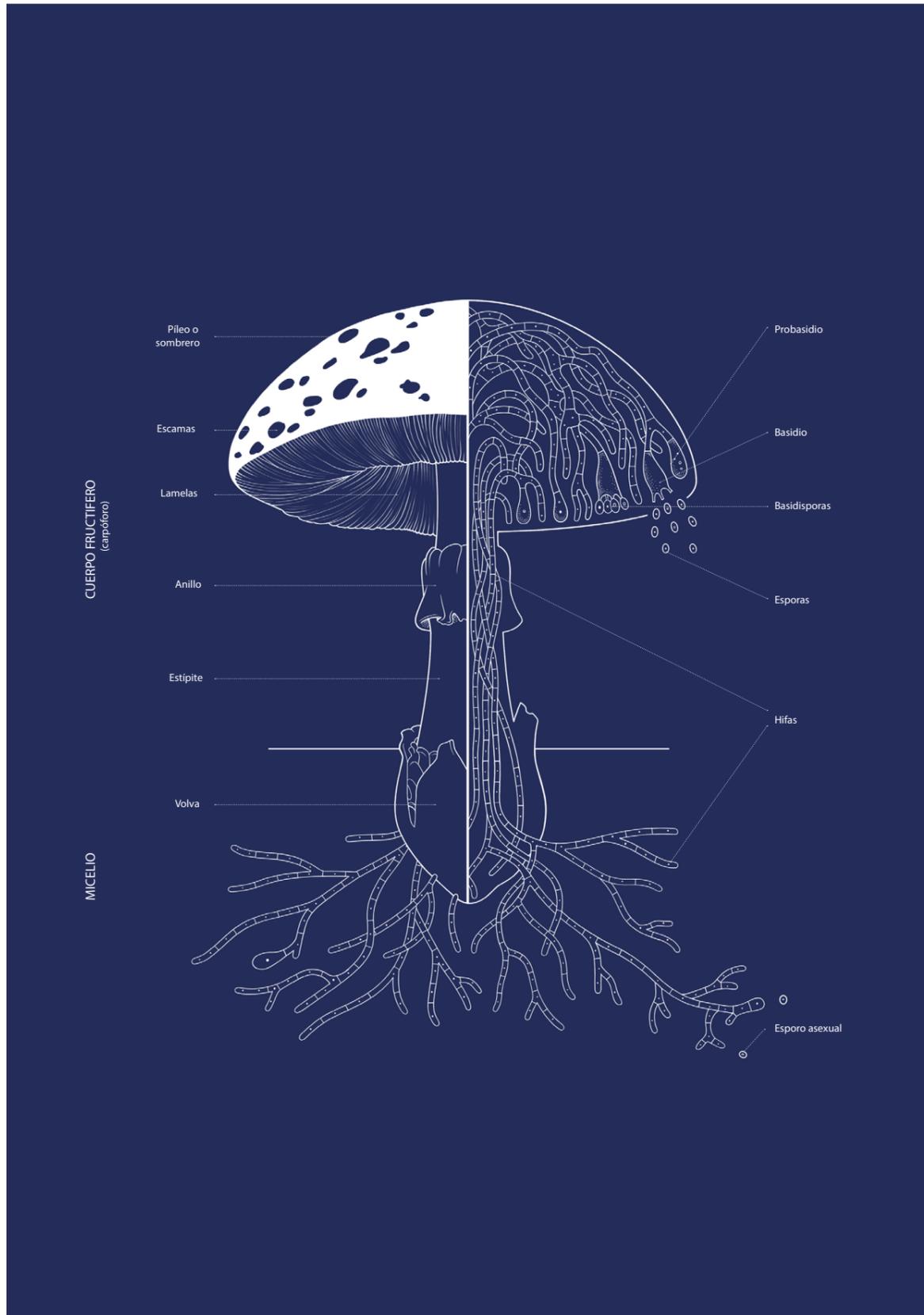
Al mundo funji por enseñarme que no todo en esta carrera son maquetas y láminas, que la arquitectura a veces está presente donde no lo imaginamos.

Abstract

En esta investigación se explorará la elaboración de un componente constructivo elaborado en base a micelio de hongo filamentosos y sustratos orgánicos lignocelulósicos, por medio de técnicas de prensado, prensado en calor y la aplicación de conceptos de forma resistente. A través del prensado se pondrán a pruebas distintos estados del material después de la exposición al calor, correspondientes a las etapas de la degradación térmica de la celulosa y sus derivados, llegando incluso a la carbonización del biomaterial, dicho material se propone como una solución de bajo costo e impacto medioambiental para reducir los desechos agroindustriales, tales como viruta de madera y similares, aprovechando las propiedades de los hongos ya mencionados de poder reducir estos desechos al usarlos como materia prima. Se medirá la capacidad de aislación y de absorción de agua del material con la finalidad de realizar un diagnóstico de sus potenciales usos y sus carencias en cuanto a su comportamiento. Dichos componentes formarán parte tanto de los muros como de la cubierta de un proyecto de arquitectura, más específicamente de un centro de interpretación del paisaje en la Estación Científica Senda Darwin, Ancud, Chiloé.

Palabras clave: Hongo filamentosos, lignina, celulosa, biomaterial, biofabricación, sustrato, forma resistente, prensado en calor, degradación térmica, carbonización.

| | |
|---|----|
| 1 CONTEXTO | 9 |
| -Antecedentes del Laboratorio de Biofabricación UC | 10 |
| -Biofabricación | 10 |
| -Fabricación con micelio y Laboratorio de Biofabricación UC | 11 |
| 2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE | 15 |
| -Aplicaciones en el Diseño | 16 |
| -Construcciones a mayor escala | 17 |
| 3 MARCO TEÓRICO | 21 |
| 4 OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 29 |
| -Preguntas de investigación | 30 |
| -Objetivos generales | 30 |
| -Objetivos específicos | 30 |
| -Hipótesis | 31 |
| 5 METODOLOGÍA | 33 |
| -Fabricación del molde | 35 |
| -Preparación del sustrato y enmoldado | 36 |
| -Tratamiento exterior | 38 |
| 6 EL PROYECTO | 41 |
| -Contexto general | 42 |
| -Emplazamiento del proyecto | 42 |
| -Construcción del prototipo | 43 |
| -Sistema constructivo | 45 |
| -Distribución del programa y lugares intervenidos | 46 |
| 7 BIBLIOGRAFÍA | 51 |
| 8 ANEXOS | 55 |



CONTEXTO

Fig 1-1: Morfología del hongo. Laboratorio de Biofabricación UC. 2021

ANTECEDENTES DEL LABORATORIO DE BIO-FABRICACIÓN UC

El presente trabajo se inscribe en la investigación en base a fabricación con micelio desarrollada por el equipo del laboratorio de Biofabricación UC.

Iniciada en el año 2017, sus objetivos son desarrollar investigación aplicada en torno a proceso de fabricación que involucren el uso de micelio de hongos descomponedores de celulosa, buscando la producción de biomateriales y la divulgación de los procesos y las tecnologías involucradas.

En dicha iniciativa participan investigadores de las Facultades de Ciencias Biológicas, Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente se aloja en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos (FADEU) de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

BIOFABRICACIÓN

Hablar de diseño y biofabricación significa hablar de materiales y productos generados a partir de moléculas orgánicas tales como proteínas y carbohidratos; células y sus distintas formas de organización, pasando desde tejidos a organismos pluricelulares complejos; llegando a considerarse incluso el uso de moléculas inorgánicas como el CaCO_3 (carbonato de calcio), el cual cumple roles estructurales vitales en diversos organismos. También significa hablar de procesos productivos, ciclos de vida, economías circulares, sustitución de materiales sintéticos fabricados a gran escala o fabricación de componentes compatibles con otros organismos vivos.

Durante los últimos años, las tecnologías de biofabricación y el desarrollo de biomateriales han permitido instalar una agenda centrada en la obtención de biomateriales renovables, cuya producción y ciclo de vida tiene el potencial de reducir el impacto en el medio ambiente, permitiendo articular de forma eficiente y territorial las necesidades de las comunidades en relación con la disponibilidad de sus materias primas y requerimientos propios del usuario final. Considerando esto, el éxito en la implementación de

esta tecnologías no depende exclusivamente de sus atributos internos (baja huella de carbono, bajo consumo energético, uso eficiente de los recursos naturales, etc.), sino que también se vincula con el modo en que se concibe los procesos de investigación, producción y divulgación en relación al territorio, la gestión de las comunidades locales involucradas, el modo en que se administra la propiedad de los medios de producción, la procedencia de los insumos y el manejo de los desechos vinculados al proceso productivo, además de la forma en que los productos derivados de estas nuevas industrias se comercializan y compiten en el mercado. (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott 2019)

FABRICACIÓN CON MICELIO Y LABORATORIO DE BIOFABRICACIÓN UC

Entre el año 2018 y el 2019 se llevan adelante tres proyectos de investigación complementarios, orientados a instalar en el Laboratorio de Biofabricación UC las capacidades para producir materiales conformados por el micelio de hongos y residuos agroindustriales. Se proyectó en estos dos años testear sus posibilidades en el ámbito de la arquitectura y el diseño para posteriormente prototipar una línea de producción de escala industrial orientada a la producción de bloques estructurales de micelio. De esta forma, se buscó validar empíricamente la hipótesis de que es posible producir materiales resistentes en base a micelio y sustratos lignocelulósicos con un uso útil para componentes constructivos, fabricados a una escala apropiada para la industria, proporcionando una alternativa efectiva de materiales con baja huella ecológica y posibilidades de integrarse efectivamente en un ciclo que abarque la fabricación, el uso y la descomposición.

La experiencia se llevó a cabo en colaboración Rafael Astaburuaga Armanet y la empresa Hongos de Chile —entidad privada dedicada a la producción industrial de champiñones comestibles—, los que permitieron el despliegue in-situ de un “laboratorio de campaña” para el escalamiento de los procesos de inoculación y cultivo ensayados en el laboratorio durante los años 2017 y 2018.

El cultivo, testeo y prototipado involucró dos especies de hongos lignocelulolíticos: *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*, los cuales fueron colectados en el parque Karukinka y la industria agropecuaria, respectivamente. La secuencia completa de cultivo y fabricación se llevó a cabo haciendo uso de ambas especies lo que finalmente llevó a optar por la utilización de *P. Ostreatus* debido a su mayor robustez y velocidad de crecimiento en el rastrojo de trigo, llegando a producirse aproximadamente 250 bloques estructurales de 10 x 20 x 50 cm, con una densidad aproximada de 25 kg/m³; y un protocolo para la producción industrial de estos.

Derivado de esta experiencia, actualmente se trabaja en la caracterización físico-mecánica de los bloques y de forma paralela se busca reproducir, en el Laboratorio de Biofabricación, el proceso desarrollado que se realizó en Hongos de Chile, variando los sustratos con los que se cultiva el micelio para controlar la densidad y resistencia final del material.

Paralelamente, a partir del año 2019, mediante un FONDART de Investigación en Diseño, se desarrolla una investigación alternativa cuyo objetivo fue desarrollar un textil a partir de micelio y fibras naturales, además de una incubadora de bajo costo y de código abierto. Esta última no sólo permite a los interesados replicar los resultados de la investigación, sino que también da la posibilidad de manejar variables de interés en el crecimiento del hongo, otorgando la posibilidad de experimentar en el área sin la necesidad de invertir grandes sumas de dinero en equipamiento. (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott 2019)



Fig 2-1: Morfología del hongo. Laboratorio de Biofabricación UC. 2021

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

APLICACIONES EN EL DISEÑO

Las investigaciones sobre los biomateriales, mas específicamente los biocompuestos en base a micelio de hongo y sustratos provenientes de la agroindustria han crecido significativamente durante los últimos años, surgiendo incluso empresas como Ecovative, la cual ofrece diversos productos tanto en el área del diseño industrial, diseño de vestuario, entre otros, destacando sus productos de embalaje (fig. 2-2), ya que apuntan a reemplazar materiales altamente contaminantes como el poliestireno expandido. Otra empresa creada a partir de la exploración con biomateriales el MOGU S.r.l, en la que destaca su uso de los biomateriales en el diseño de interiores, tales como paneles acústicos o revestimientos para muros (fig. 2-3).



Fig 2-2: Proceso de fabricación de packaging para botellas de Ecovative. Fuente <https://ecovatedesign.com/>



Fig 2-3: Paneles acústicos de la empresa MOGU S.r.l. Recuperado desde <https://mogu.bio/acoustic/mogu-kite/>

CONSTRUCCIONES DE MAYOR ESCALA

A pesar de los significativos avances en la materia, los biomateriales no han podido adquirir un rol más protagónico en la construcción dada su condición esponjosa, llegando solo a ser usados como en estructuras sandwich o interiores de puertas, debido a sus capacidades aislantes. No obstante arquitectos como David Benjamin y la oficina The Living han explorado en el biocompuesto sus capacidades para construir estructuras autoportantes como La torre Hy-Fi (fig. 2-4), estructura compuesta a partir de ladrillos biodegradables y compostables de biocompuesto expuesta en los espacios del MoMA's PS1 en el año 2014, tras ser la oficina ganadora del YAP (Young Architects Program), esta exposición apila bloques construidos 100% a partir de micelio y sustrato formando 3 torres de forma cilíndrica. Años después The Living expuso en el año 2019 en el Centro Pompidou "Living Bricks" (fig. 2-5), esta muestra consiste en un arco formado por bloques cilíndricos de biomaterial en base a micelio de hongo, estos cilindros parecen estar puestos



Fig 2-4: Torre Hy-Fi de, The Living y David Benjamin, MoMA's PS1, New York, 2014. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623576/biodiseno-yap-moma-inaugura-hy-fi-la-torre-de-ladrillos-organicos-y-compostables>

Fig 2-5: Living Bricks, The Living y David Benjamin, Centro Pompidou, 2019. Fuente <https://skyachitoff.com/living-bricks>

de manera aleatoria, explorando las capacidades de unirse unos a otros mediante anastomosis, capacidad del micelio de unirse a otra estructura miceliar mediante bio-soldadura.

Otras muestra de construcción con biomateriales fue The Growing Pavilion (fig. 2-7), creación de la compañía New Heroes en colaboración con Dutch Design Foundation. Este Pabellón está compuesto por una estructura principal hecha de madera de forma cilíndrica, la cual es recubierta en su exterior por paneles de biomaterial (fig 2-6), probando en este caso su capacidad de formar paneles de gran tamaño.

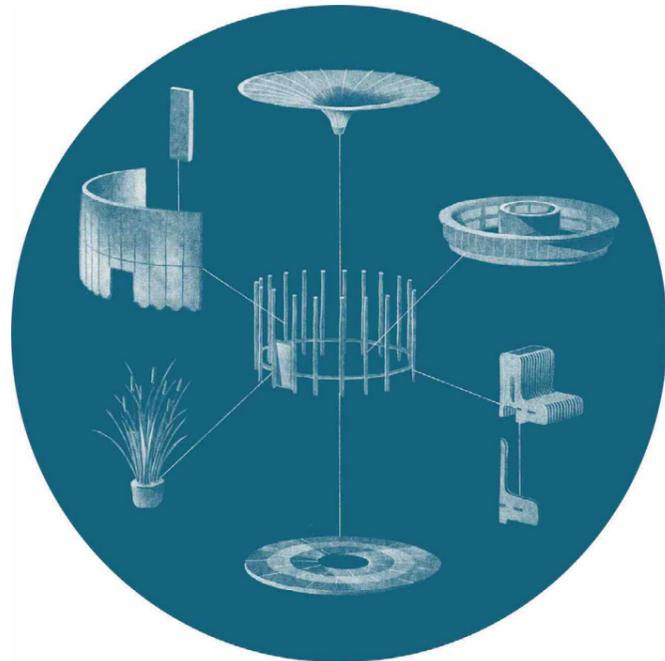


Fig 2-6: Despiece de la estructura de The Growing Pavilion, New Heroes y Dutch Design Foundation. Fuente <https://thegrowingpavilion.com/about/>



Fig 2-7: The Growing Pavilion, New Heroes y Dutch Design Foundation. Fuente <https://thegrowingpavilion.com/about/>



Fig 3-1: Sustrato de viruta de pino y cáscara de nuez inoculado con *P. Ostreatus*.
Elaboración propia.

MARCO TEÓRICO

En la industria de fabricación de los materiales para la construcción existen diversos procesos de producción en los que se utilizan tanto, técnicas de prensado y tratamientos térmicos para otorgarle firmeza y cohesión al material. Entre estos podemos encontrar el MDF, el OSB y el hardboard o cholguán, entre otros (fig. 3-2), los cuales están compuestos por materiales aglomerados mediante ciclos de prensado, comenzando con un prensado en frío el cual compacta el material con el pegamento utilizado, posterior a esto comienza el prensado en calor a temperaturas que van desde los 180 a los 200 °C en intervalos de tiempo que van desde los 9 a los 18 minutos, según la densidad que se desee lograr. Rangel et al., (2017). La aplicación de estos procesos nos da un indicio de como proceder para transformar el sustrato colonizado en un material útil en la construcción, además de introducir el tema de los tratamientos de calor en la fabricación de este tipo de componentes constructivos.

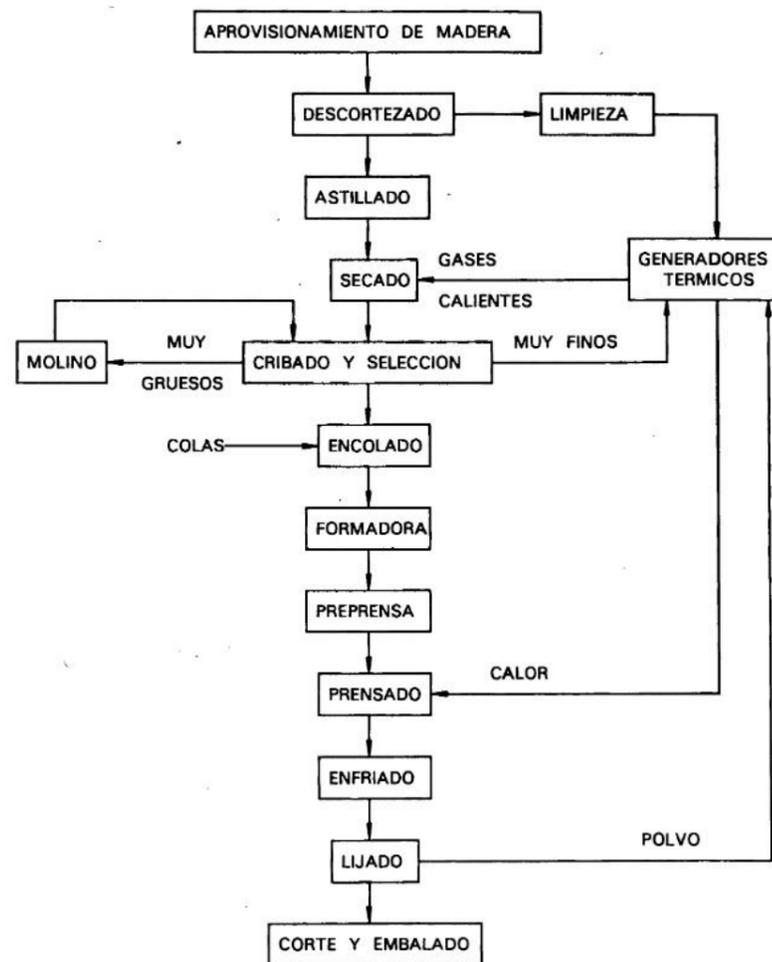


Fig 3-2: Diagrama de flujos de una fábrica de proceso continuo Solsona de tableros aglomerados. Alfonso Fernández González . 1993.

Al indagar mas profundamente en los tratamientos térmicos aplicados sobre madera, aparecen las maderas termotratadas, las cuales consisten en trozos de madera sometido a temperaturas elevadas que van desde los 120 a los 280 °C durante tiempos que van desde los 15 minutos a las 24 horas lo que elimina las hemicelulosas, disminuyendo las propiedades higroscópicas e incrementando su durabilidad. Hillis (1984), Jämsä y Viitaniemi (2001), Rapellin y Guyonnet (2005), Inari et al., (2007), Garibay (2015). Dicho proceso suele realizarse en ambientes controlados utilizando algún gas inerte, tales como, el nitrógeno, argón, dióxido de carbono), pero también se puede realizar en cámaras normales con presencia de oxígeno. Homan et al., (2000), Vernois (2001), Waskett y Selmes (2001), Calonego et al., (2010), Garibay (2015).

Este tipo de procedimientos aplicados a la madera, no solo modifican su aspecto físico, también produce cambios químicos en su estructura según la temperatura que se le aplique, entre las cuales se pueden identificar intervalos de temperatura las que afectan de manera diferente la composición de la madera, comenzando a producirse mayores cambios en la etapa denominada pirólisis, que va de temperaturas entre 220 y 400 °C, degradando la hemicelulosa y la celulosa, sin embargo la lignina tiene un rango mas amplio de degradación que va desde los 160 y 900 °C, finalizando con la descomposición total de la madera (fig. 3-3). Yang, Yan, Chen, Lee, Zheng (2007).

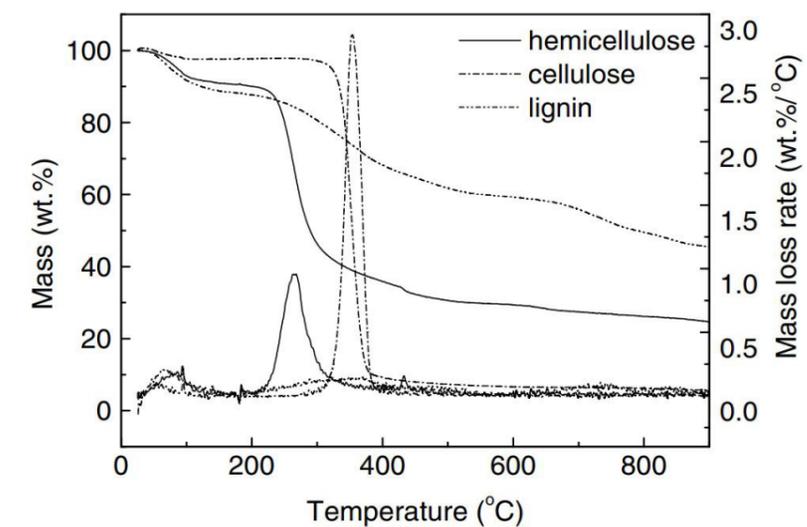


Fig 3-3: Curvas de Pirólisis de la hemicelulosa, celulosa y lignina de la madera en TGA. Yang et al. 2007.

Existen tratamientos térmicos que utilizan la fase de la pirólisis de la madera para carbonizar la primera capa de trozos de madera denominada "Shou Sugi Ban" por su origen japonés, el propósito de este método es aumentar la durabilidad de la madera, para ser usada en exteriores, formando una capa de carbón de 3 a 5 mm de espesor que protege la madera en el exterior, posterior a la carbonización la madera es tratada con esmaltes y aceites. Ebner, Stelzer, Barbu (2019). Durante este proceso ocurre la degradación de la celulosa, manteniendo la lignina, lo que transforma la madera en un material menos apetecible para organismos que se alimentan de madera, además de también ayudar a repeler el agua, reducir el daño solar y retardar el fuego. Madera21 (2020).

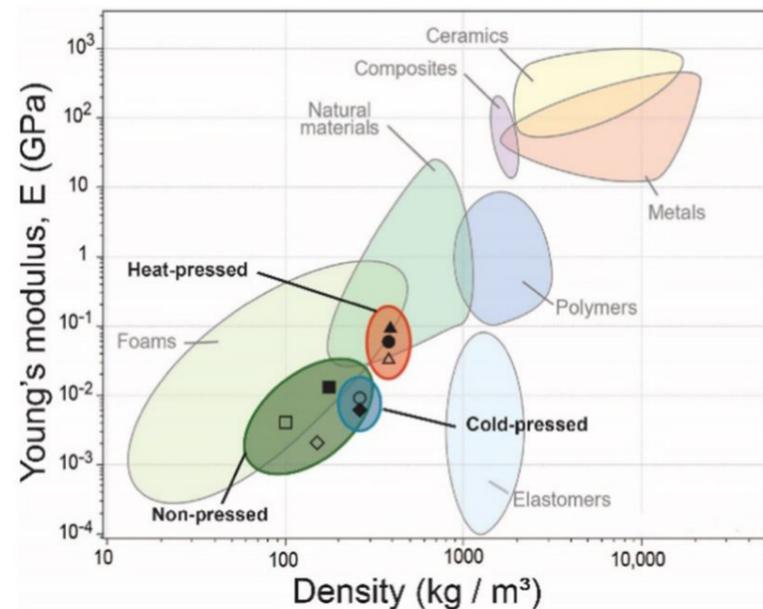


Fig 3-4: Comparación del módulo de Young entre biomateriales, no prensado, prensado en frío y prensados en calor y materiales comunes. Apples et al. 2019.

Por otro lado, los compuestos de micelio, al igual que los tableros de madera aglomerada son prensados en frío o en caliente para darles mayor firmeza estructural, debido a que el prensado consolida los materiales, aumentando su densidad y reduciendo su porosidad. Dai, Yu, Zhou (2007). Además, se ha demostrado que el prensado por calor mejora la homogeneidad, la resistencia y la rigidez de los materiales, cambiando su rendimiento de espumoso a corcho y madera (fig. 3-4). Appels, Camere, Montalti, Karana, Janse, Dijksterhuis, Krijgsheld, Wösten (2019). En cuanto a la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad, según la literatura, los compuestos prensados en calor han

tenido un mejor desempeño que los materiales prensados en frío, con resultados similares en pruebas de flexión de tres puntos, aumentando su resistencia de no prensado a prensado en frío y prensado con calor. Appels et al. (2019). Dicho prensado en calor se suele hacer a una temperatura de 150 °C, sin llegar a la etapa de degradación por calor de los materiales en base a celulosa u otros derivados biológicos. Jones, Mautner, Luenco, Bismarck, John (2020).

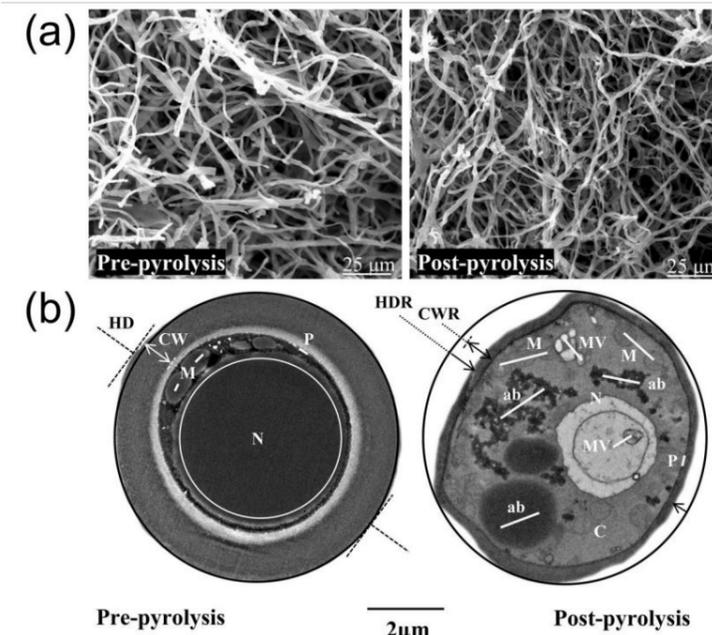


Fig 3-5: Sección de las hifas de *Trametes versicolor*, pre y post-pirólisis, Jones et al. 2018.

Los compuestos de micelio presentan una degradación térmica muy similar a la presente en la madera tal como se describe en el paper Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites "La primera etapa de degradación (25–200 °C) se atribuye a la evaporación del agua libre y químicamente unida (H₂O) que conduce a una pérdida de masa del 5% en peso entre 100 y 200 °C. Los espectros FTIR indicaron que la mayor parte del agua se libera hasta 150 °C. Entre 200 y 375 °C se produce una pérdida de masa mucho mayor en la segunda etapa (aproximadamente 70% en peso), presumiblemente debido a la descomposición de los componentes orgánicos (por ejemplo, aminoácidos, polisacáridos, quitina, etc.). El análisis FTIR de los gases desprendidos mostró que la pérdida de masa en la segunda etapa va acompañada de la liberación de una mezcla volátil multicomponente compuesta principalmente por CO₂ y H₂O. La liberación de gases no inflamables como el CO₂ y el H₂O es un hallazgo crítico, ya que

estos gases pueden dificultar la combustión acelerada al diluir la concentración de gases inflamables desprendidos, mejorando así el rendimiento libre. [...] La tercera y última etapa de descomposición (450–600 °C) implica una mayor degradación del carbón residual primario durante el cual los componentes químicos se han reducido completamente, lo que resulta en la producción de metano (CH₄) y la consiguiente formación de un residuo de carbón carbonoso. Se espera que el residuo de carbono sea completamente amorfo debido a las temperaturas de calentamiento relativamente bajas (<1000 °C sin catalizador) en comparación con la temperatura de grafitización superior a 1400 °C. Se encontró que la masa residual era aproximadamente $23 \pm 0,6\%$ en peso a 600 °C con una caída insignificante a temperaturas más altas y es consistente con otros estudios realizados en especies similares de micelio. El rendimiento relativamente más alto de residuos de micelio en comparación con la mayoría de los polímeros termoplásticos y termoendurecibles implica una tendencia potencialmente menor a formar humo y volátiles tóxicos durante la descomposición / combustión térmica.”

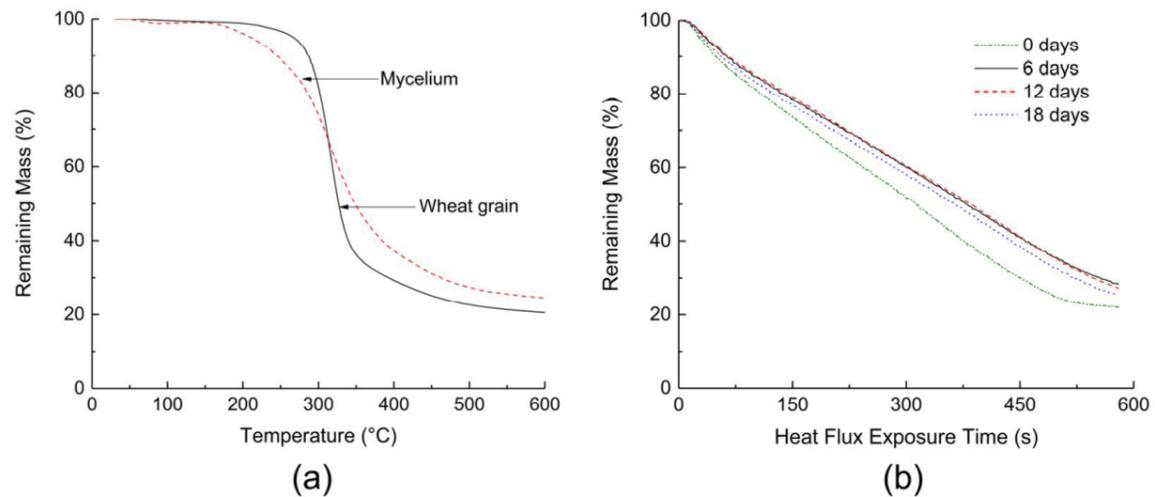


Fig 3-6: (a) Curva de la pérdida de masa del micelio y el grano de trigo, en un aumento de 30° C/min. (b) Curva de pérdida de masa de bloques de prueba con diferentes periodos de crecimiento. Jones et al. 2018.

Otro de los componentes de el micelio y que también se ve afectado al someter el compuesto a temperaturas elevadas, es la quitina, un carbohidrato que forma parte de las paredes celulares del micelio. La quitina al ser expuesta a temperaturas entre 30 y 100 °C pierde aproximadamente el 10% de su masa, la que se mantiene estable hasta llegar a 250 °C, en donde se

produce una abrupta caída en su masa degradándose casi por completo al llegar a temperaturas sobre 300 °C, y por lo tanto, debilitando de manera considerable las paredes celulares del micelio (fig. 3-7). Rodríguez, Sibaja, Vega, Camacho, Madrigal (2010).

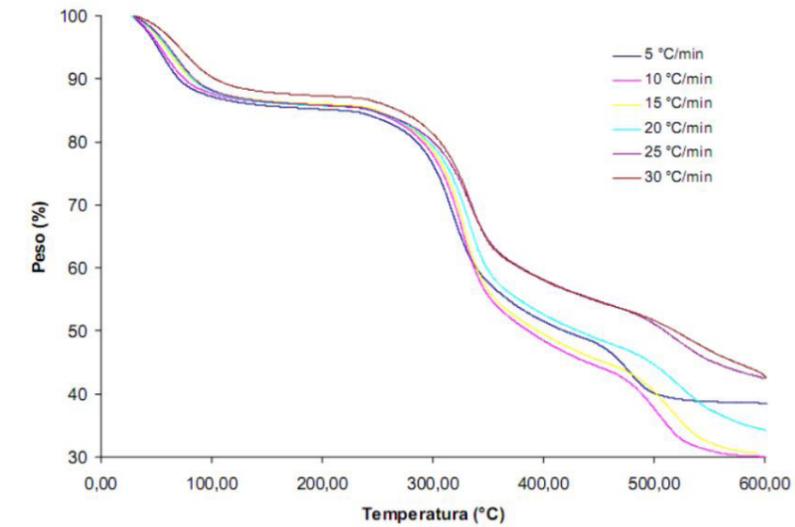


Fig 3-7: (a) Curva de la pérdida de masa de la quitina a diferentes velocidades de calentamiento. Rodríguez et al. 2010.

OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué beneficios físico-mecánicos se obtienen al tratar el biomaterial con calor?

¿Cuál de las etapas de la degradación por calor otorga mejores cualidades al biomaterial en base a micelio?

¿Tanto el prensado en calor como la degradación por calor pueden transformar al biomaterial en una opción para recubrimientos exteriores?

¿Los conceptos de forma resistente aplicados a componentes constructivos de compuestos de micelio son opción para lograr elementos autoportantes?

OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar un componente constructivo en base a micelio que sea competente en el ámbito de la construcción

Mejorar las propiedades mecánicas y de resistencia a las condiciones ambientales de los materiales en base a micelio de hongo, de manera tal de alargar su vida útil, con el método de prensado en calor.

Descubrir cual, de las etapas de degradación por calor, mediante el prensado en calor, otorgan al material un mejor desempeño en las pruebas de resistencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer entre los distintos sustratos investigados en el laboratorio es el mas adecuado para la experimentación

Establecer las dimensiones y forma adecuadas para el desarrollo de un prototipo componente arquitectónico compuesto de micelio y sustrato.

Establecer un método de prensado en calor que mejore las características físicas del material para sus distintos usos en el proyecto.

HIPÓTESIS

Hipótesis General:

Los diversos tipos de tratamientos con calor, tanto el prensado como la degradación, a materiales en base a micelio, son una opción para darles mejores propiedades estructurales, transformado este material compuesto en una opción para la elaboración de componentes constructivos y su uso en proyectos de arquitectura.

Hipótesis Especifica:

Existe un punto en específico tanto en el prensado como en la degradación por calor que proporciona al material en base a micelio de hongo, la rigidez suficiente para formar prototipos de forma laminar.

Con la aplicación de conceptos de forma resistente es posible fabricar prototipos de componentes mas resistentes y de mayores dimensiones.

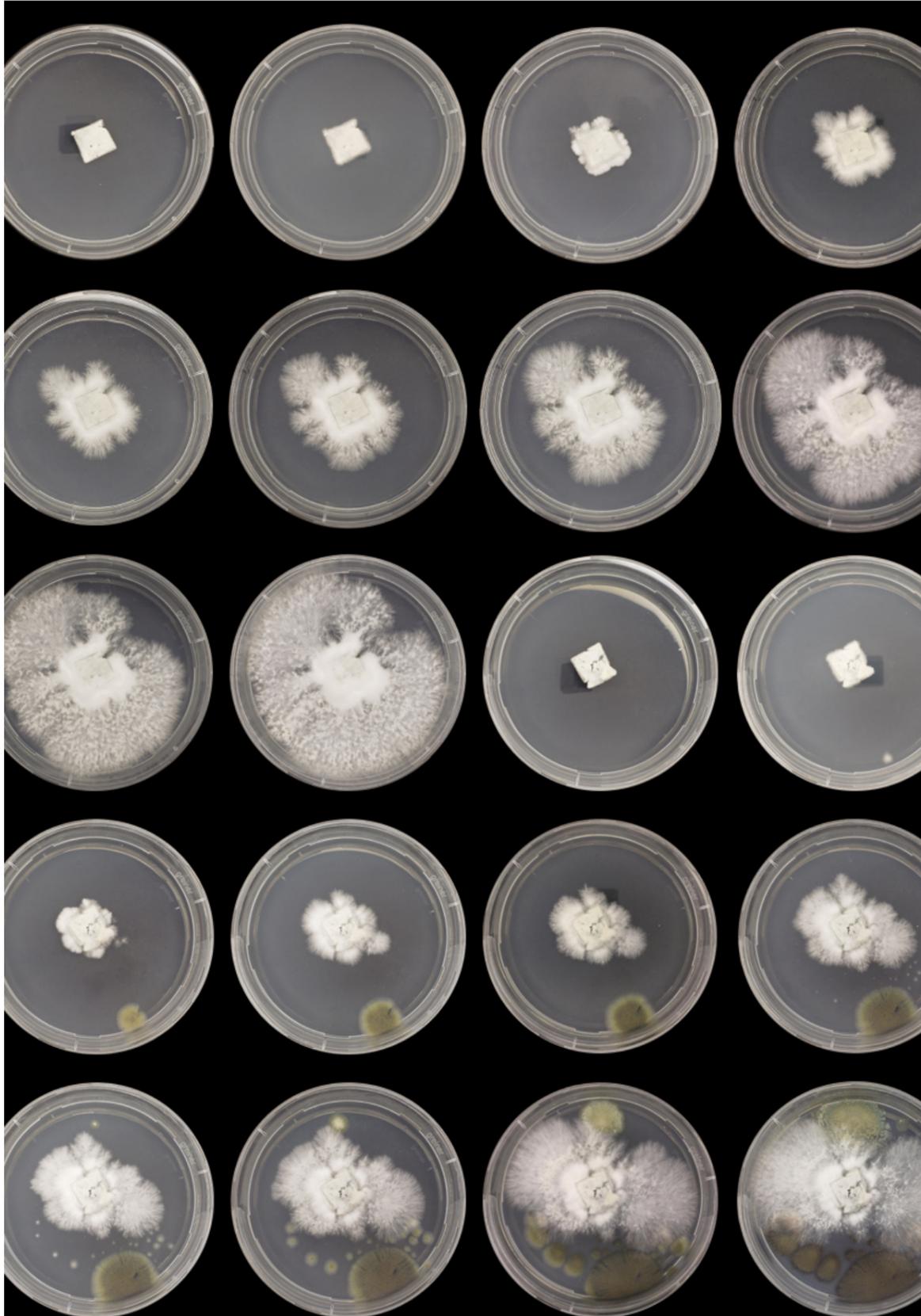


Fig 5-1: Registro fotográfico del crecimiento en placa petri de *T. versicolor*.
Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Para elaborar un método de elaboración para el material, se caracterizaron los diferentes sustratos utilizados en el Laboratorio de Biofabricación UC, entre los cuales se pueden encontrar viruta de pino, cáscara de nuez, tallos de parra, orujo de uva, entre otros; de los cuales se seleccionó la viruta de pino debido a sus características de cohesión, liviandad una vez seco, su fácil obtención y su rápida colonización una vez es inoculada.

Luego se estudiaron las características de diferentes cepas de hongos estudiados en el Laboratorio, de los cuales dos fueron seleccionados como candidatos, Trametes Versicolor y Pleurotus Ostreatus, ambos ampliamente utilizados en diferentes experimentos tanto dentro del laboratorio como en los cursos de biofabricación UC. Se tomó la decisión de utilizar el P. Ostreatus debido a su velocidad de crecimiento dentro del sustrato y por su presencia a nivel mundial debido a sus usos culinarios, por lo que es una especie de fácil obtención, lo que hace que este experimento sea replicado en diferentes partes del mundo.

Posteriormente se realizó una revisión bibliográfica sobre los tratamientos térmicos existentes para los materiales en base a celulosa y al mismo tiempo una revisión que diera cuenta lo que ocurre a la quitina (compuesto que le da la rigidez al micelio), con el fin de saber claramente cuáles son las limitaciones que se pueden presentar al tratar con calor el material en base a micelio y sustrato, además de entender lo que sucede químicamente en ambos compuestos al ser expuestos al calor.

Se planteó de una estrategia de prensado y exposición al calor teniendo en cuenta el comportamiento tanto de los materiales lignocelulósicos como de la quitina, para lograr un punto óptimo en el cual se pueda lograr mayor rigidez estructural una vez prensado el material.

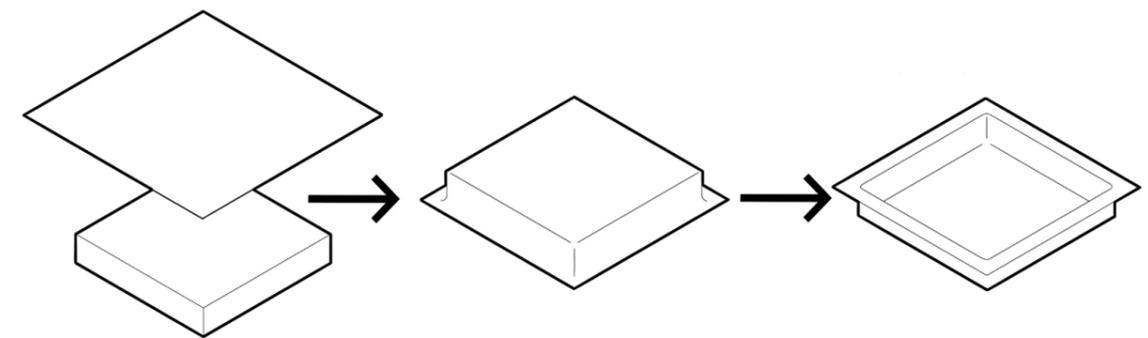
Se detallará el proceso de producción, tanto del material como de los moldajes con el fin de poder definir los parámetros para la producción de un material funcional en un proyecto de arquitectura. Para lograr abarcar todas las incógnitas en la elaboración de dicho componente, el moldaje será de dos tipos uno de "tipo teja" para experimentar los beneficios de aplicar conceptos de forma resistente en sustrato inoculado

con micelio de hongo. Y un segundo tipo de moldaje que está pensado especialmente para ser sometido a las diferentes pruebas.

FABRICACIÓN DE LOS MOLDES

Molde de prueba:

Para la fabricación de el molde para las probetas primero se fabricó una matriz de forma cuadrada en MDF, de medidas 150x150x48 mm, con esta matriz sólida se procedió a hacer los moldes de polietileno de alto impacto mediante una máquina termoformadora, produciendo un total de 4 moldes (fig. 5-2).



Molde componente tipo teja:

Para generar un molde que sea comprimible se utilizó 1 plancha poliestireno expandido de alta densidad de 40 mm de espesor, de la cual se recortaron 5 trozos de 300x200 mm que al ser apilados forman un volumen de 300x200x200 mm, una vez que estuvieron listos los 5 trozos se cortaron cuidadosamente utilizando un filamento caliente obteniendo una forma aproximada del molde final, luego fueron pegados unos a otros con el usando cola fría, formando de esta manera 2 partes que fueron dejadas secar sometidas a presión durante 2 días.

Una vez que las dos partes del molde estuvieron secas se les dio una terminación lisa mediante una lijadora de banda.

Posteriormente a la parte superior del molde de poliestireno se le surcaron 4 franjas con la utilización de un fierro calentado con un soplete, para formar nervaduras en el componente de biocompuesto.

Fig 5-2: Proceso de fabricación del molde para el material de prueba con polietileno de alto impacto. Elaboración propia.

Finalmente se elaboró una caja de MDF que contuviera el molde de poliestireno, con el objetivo de contener este al momento de presionar, dicha caja fue forrada en su interior con cinta adhesiva para evitar que esta se adhiera al entrar en contacto con el biocompuesto (fig. 5-3)

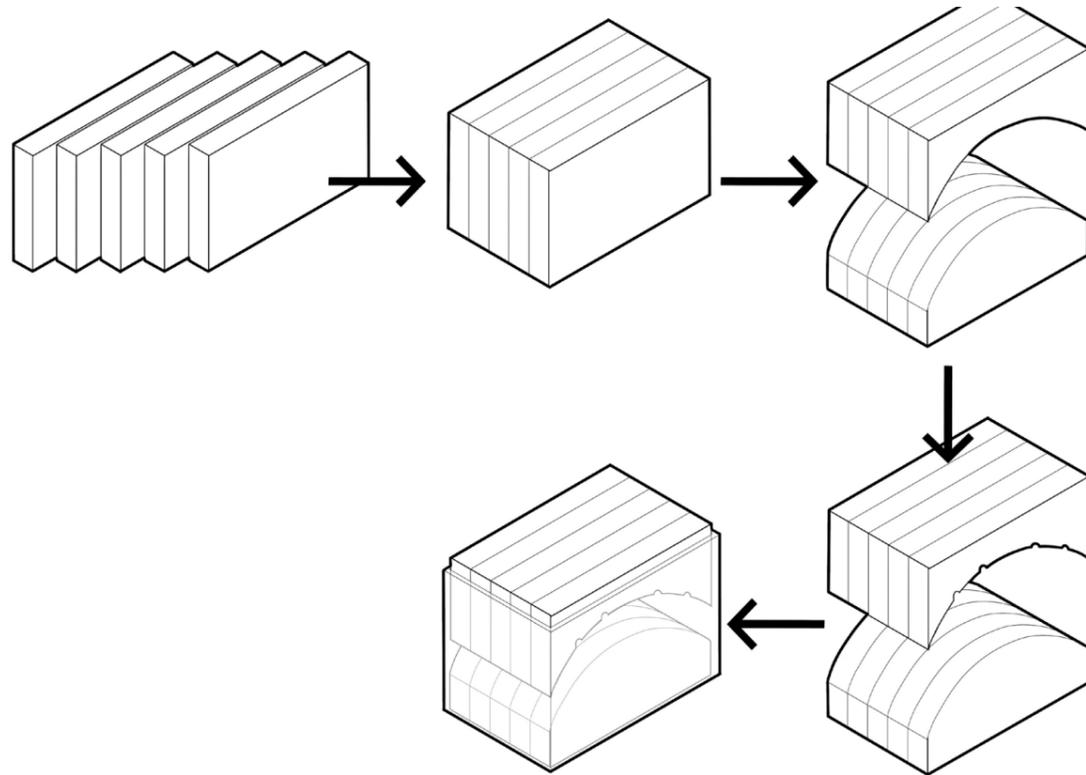


Fig 5-3: Proceso de fabricación del molde tipo teja en base a poliestireno expandido de alta densidad, para el componente arquitectónico de biomaterial. Elaboración propia.

PREPARACIÓN DEL SUSTRATO Y ENMOLDA-DO

1. Se comenzó con el crecimiento del hongo en agar de papa dentro de una placa petri durante 10 días.
2. Inoculación de arroz integral, para la formación de spawn, este creció en un frasco de vidrio un aproximado de 14 días.
3. Se hizo un autoclave con el sustrato seleccionado (viruta de madera de pino), luego se retiró el exceso de agua y se dejó enfriar fuera de la olla del autoclave hasta una temperatura inferior a 30° C.
4. Se hicieron mediciones de pH, para asegurar un pH 8, generando un ambiente propicio para el crecimiento del hongo, según indica el Manual de Biofabricación UC.
5. Inoculación del sustrato de viruta de madera de pino con el spawn.

6. Ambos tipos de moldes fueron desinfectados con etanol, para luego ser llenados con sustrato inoculado y presionados de forma manual para asegurar que no existieran vacíos al interior, una vez estuvieron llenos de sustrato fueron comprimidos con prensas sargento e introducidos a una incubadora durante un periodo de 10 días.
7. Se desmoldaron los 4 moldes de prueba y se introdujeron a una incubadora por un periodo de 3 días para generar una terminación exterior de micelio. Por otro lado para el desmoldaje del componente tipo teja, se retiró la caja de MDF y solo una de las partes de poliestireno expandido para cuidar la integridad del componente y se sometió a un periodo de crecimiento de 3 días dentro al interior de una incubadora, luego se repitió el mismo proceso al retirar la segunda parte del molde.
8. Cada una de las piezas de biocompuesto de micelio fue sometida a un proceso de horneado con el fin de matar al hongo y detener su crecimiento, el cual consistió en un periodo de tiempo de 20 minutos a 140° C e inmediatamente después un periodo de tiempo de 40 minutos a 100° C. Luego fueron dejados al exterior para perder paulatinamente el agua de su interior.

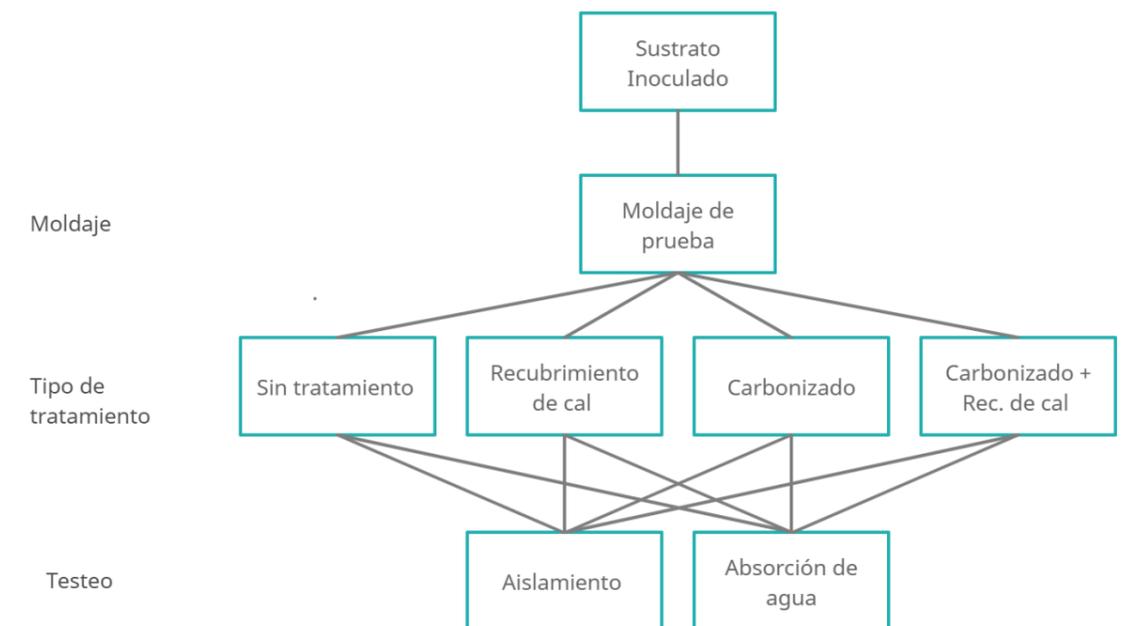


Fig 5-4: Esquema de producción, tratamiento y testeado de los bloques de biomaterial de prueba. Elaboración propia.

TRATAMIENTO EXTERIOR

Antes de someter a las pruebas al compuesto de micelio este fue recubierto de diferentes formas de manera de poder comparar los resultados de los tests. El tratamiento exterior a las piezas producidas con micelio es fundamental, debido a que su deterioro al estar expuesto a condiciones ambientales, tales como humedad o agua los afectan de manera severa, produciendo su prematura degradación.

La elección de un recubrimiento que además tenga un bajo impacto medioambiental es vital, dado que recubrimientos usados hoy en la construcción para los acabados de madera, tales como, las resinas o barnices pueden afectar el carácter biodegradable del compuesto.

En este caso en particular se optó por tratar a los bloques de prueba de 4 formas diferentes, permutando entre un recubrimiento de colado de cal y agua, como lo hace la empresa Ecovative con sus productos de biocompuesto; y por otro lado un carbonizado superficial, parecido a lo que es la técnica japonesa para madera Yakisugi o Shou-Sugi-Ban. El primero de los bloques no fue tratado de ninguna manera, el segundo fue recubierto con cal, el tercero fue carbonizado en su capa más externa y por último el cuarto bloque fue tratado de manera mixta, con una capa carbonizada y posteriormente recubierta con cal.

Absorción de agua:

La capacidad de absorción de agua del material (m) se medirá usando como base las pruebas estándar de absorción de agua para concretos de cementos hidráulicos, en la que se introdujo la probeta en un ambiente con 100% de humedad relativa durante 2 horas, midiendo en intervalos de tiempo de 10 minutos usando la siguiente fórmula:

$$m = \frac{Mt}{a * d}$$

Aislamiento :

Para poder medir de manera aproximada la capacidad de aislamiento del biomaterial con sus respectivos recubrimientos exteriores fue necesaria la construcción de un modelo para la medición, este consistió en un pequeño túnel de poliestireno expandido con el bloque de prueba en el centro de este, por uno de los lados del túnel se introdujo aire caliente con el uso de una pistola de calor y por el otro extremo se midió la temperatura superficial usando un termómetro infrarrojo, esta prueba tuvo una duración de 1 hora y las mediciones se realizaron cada 5 minutos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

PROBETA PARA TESTEO

Se produjeron cuatro probetas de biomaterial de medidas 15x15x3cm aproximadamente, dejando una de estas sin ningún tipo de tratamiento y otras tres con distintos tipos de tratamiento exterior; un recubrimiento de Cal, un carbonizado externo, y un carbonizado con recubrimiento de cal (fig. 6-1). Por complicaciones tanto de tiempo y falta de los instrumentos adecuados no se pudo degradar térmicamente de manera controlada las probetas, por lo que se recurrió a tratamientos diferentes.



Fig 6-1: Probetas para testeo de absorción de agua y propiedades aislantes. a) Sin tratamiento. b) Recubrimiento de cal. c) Carbonizado exterior. d) Carbonizado exterior y recubrimiento de cal. Elaboración propia.

Una vez a las probetas se les aplicó su tratamiento exterior se procedió a probar sus cualidades térmicas y de absorción de agua.

Absorción de agua:

Para la prueba de absorción de humedad se sometieron los cuatro bloques de prueba a una cámara saturada en vapor de agua durante 24 horas, realizando mediciones de su masa cada 30 minutos, en el gráfico (fig. 6-2) se observa el crecimiento en gramos de cada una de las muestras en cada medición durante una jornada 7 horas y con una última medición al día siguiente.

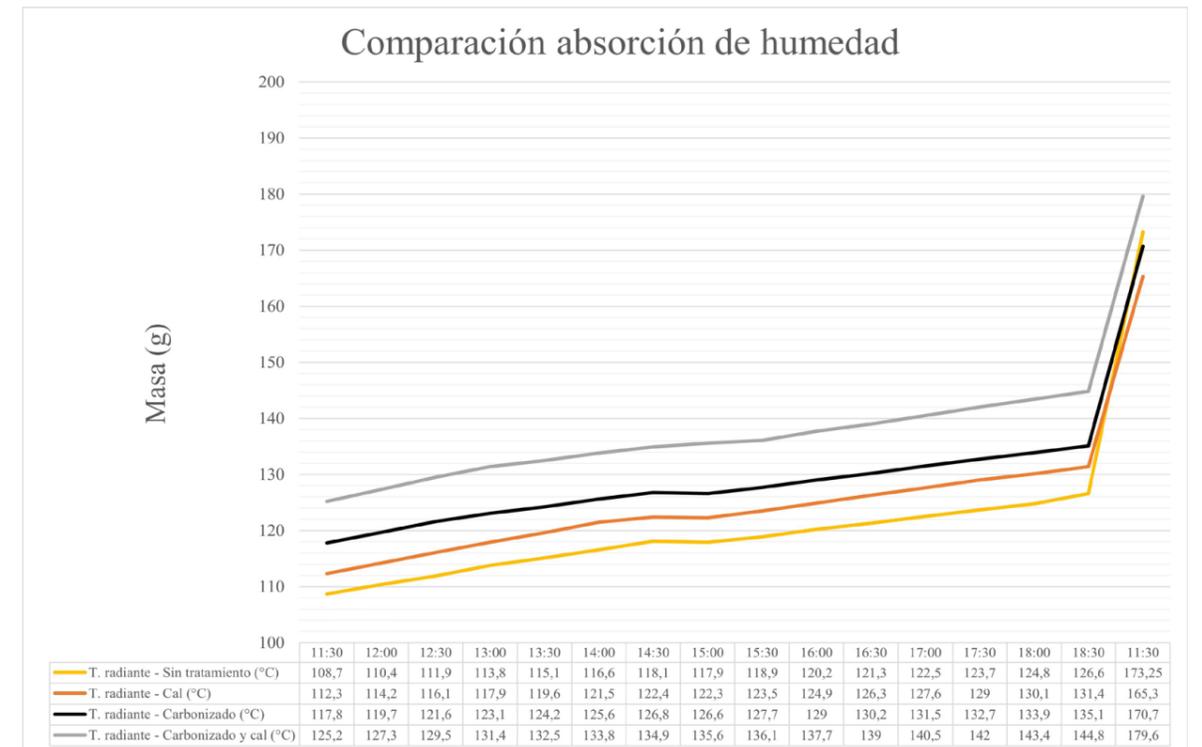


Fig 6-2: Gráfico de comparación de masa según la absorción de agua, por cada uno de los tratamientos exteriores.

En el gráfico se puede apreciar que cada una de las probetas parte con una masa diferente a las demás, masa que está entre 109-126 (g), siendo la muestra sin tratamiento la de menor masa, seguida por la muestra recubierta de cal, luego, la muestra con carbonizado exterior, y por último, la muestra carbonizada y recubierta con cal la con mayor masa.

Durante las 7 horas de medición inicial esta diferencia de masa se mantiene prácticamente estable, manteniendo el orden inicial.

Al finalizar las 24 horas de medición la muestra con carbonizado y cal continúa siendo la más pesada, seguida de la muestra sin tratamiento que subió 2 puestos, luego la muestra con carbonizado exterior, y por último, la muestra con recubrimiento de cal.

Análisis:

Al comparar las masas iniciales con las finales de cada una de las muestras (fig 6-3), se observó que la que tuvo el mayor aumento fue la sin tratar y la con la capa carbonizada homologó virtualmente la absorción de las muestras con tratamiento de cal, lo que supone que los tratamientos aplicados a las probetas disminuyen la absorción de agua en comparación a la muestra sin tratamiento, lo que se podría reflejar en una mayor duración del material cuando esta expuesto a factores del climáticos, mejorando así su durabilidad.

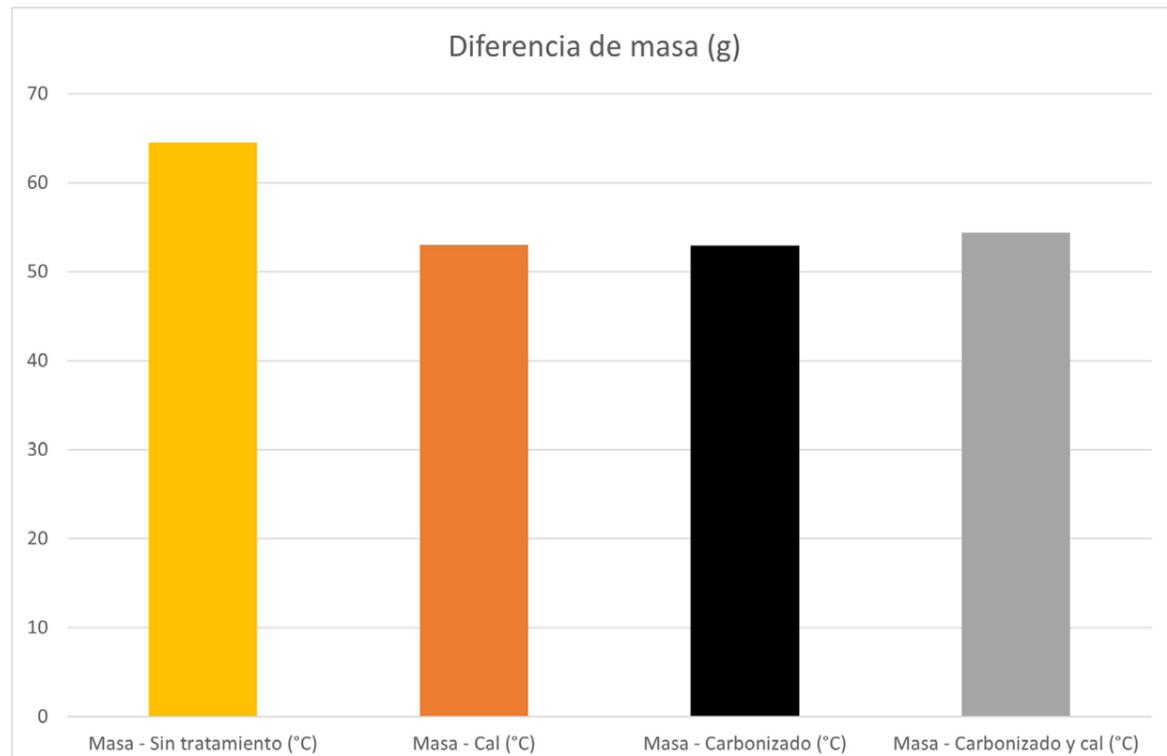


Fig 6-3: Gráfico de comparación de diferencia de masa inicial y final de cada una de las muestras, al cabo de 24 horas de medición. Elaboración propia.

Aislación:

Para poner a prueba la capacidad aislante de cada una de las muestras y sus tratamientos, se introdujeron las muestras a un túnel fabricado de material aislante situando la muestra en el medio de este, luego, por un extremo se introdujo aire caliente a una temperatura constante de 75°C y por el otro extremo se midió la temperatura radiante cada 5 minutos durante 1 hora, con el uso de un datalogger con una termocupla tipo K. Los datos fueron dispuestos en modo de gráfico (fig 6-4).

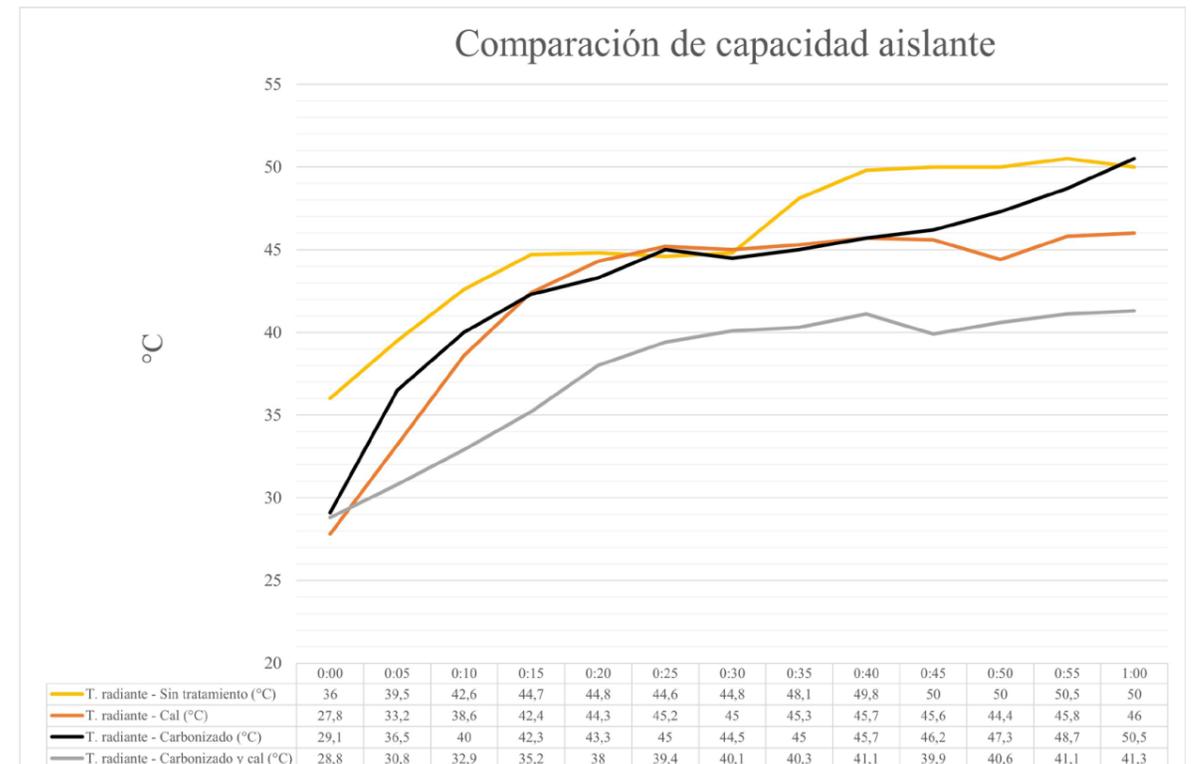


Fig 6-4: Gráfico de la temperatura radiante de cada una de las muestras y sus respectivos tratamientos exteriores. Elaboración propia.

Inicialmente la muestra sin tratamiento comienza con una temperatura de 36°C, la más alta de las cuatro muestras, alcanzando su máxima temperatura en al minuto 55 con 50,5°C y finalizando la medición con 50°C.

Para la muestra con recubrimiento de cal, su temperatura inicial fue de 27,8°C, la más baja de las cuatro y alcanzando su temperatura máxima de 46°C en la última medición.

Para el caso de la muestra con el carbonizado exterior su temperatura inicial fue de 29,1°C, alcanzando su máxima al finalizar la medición con un registro de 50,5°C.

Por último, la muestra con el tratamiento mixto de carbonizado exterior y recubrimiento de cal comenzó la medición con una temperatura de 28,8°C y su máxima temperatura fue de 41,3°C en la última medición.

Análisis:

Para poder comparar los datos de forma mas eficiente de construyó un gráfico de barras comparando la temperatura inicial de cada una de las muestras con la temperatura máxima alcanzada durante los 60 minutos de medición (fig. 6-5).

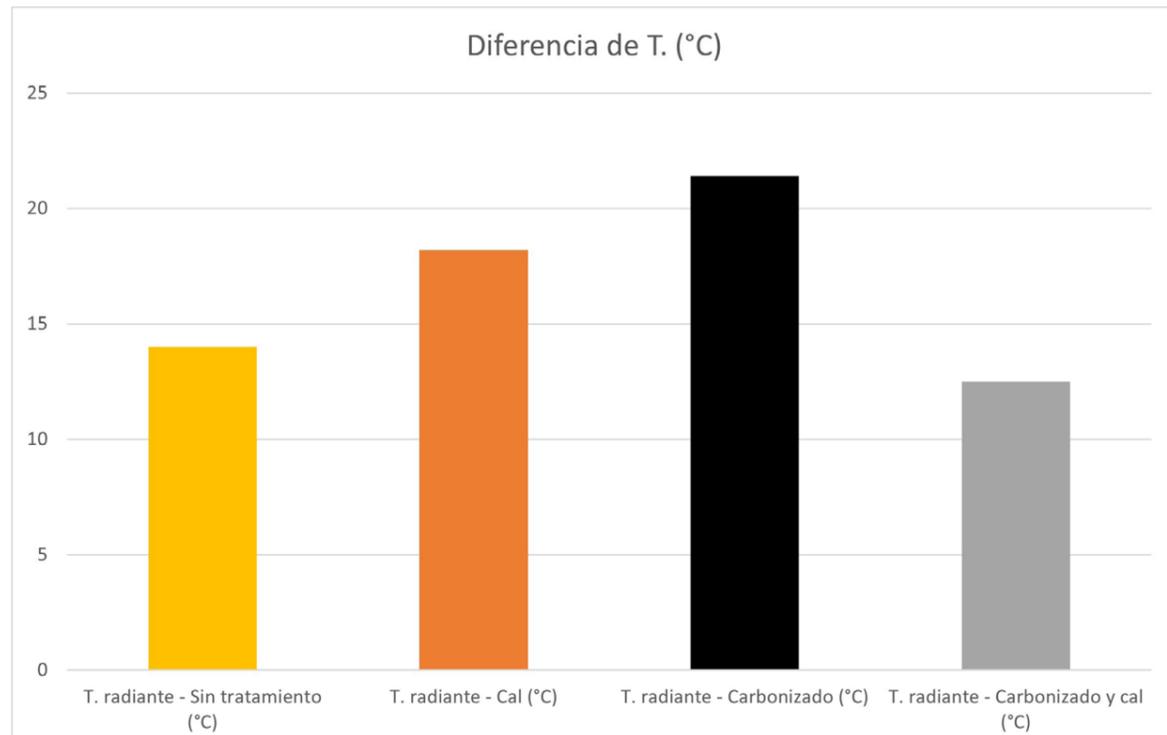


Fig 6-5: Gráfico de comparación de diferencia de temperatura inicial y temperatura máxima registrada a lo largo de 60 minutos de medición de cada una de las muestras. Elaboración propia.

Al comparar el delta de las temperaturas, se puede apreciar claramente que la que tuvo una mayor variación fue la muestra con el tratamiento de carbonizado exterior con un delta de casi 22°C. Por otro lado, la muestra que tuvo un mejor comportamiento aislante fue la que tuvo el tratamiento mixto de carbonizado y recubrimiento de cal con un delta menor a 13°C.

PROTOTIPO TIPO TEJA

Para la finalización del prototipo tipo teja, se desarmó la caja de MDF que contenía el molde de poliestireno expandido y se retiró la mitad superior de este, luego, se introdujo a la incubadora por 2 días para obtener una terminación mas uniforme de micelio. Luego, de la primera incubación se retiró la segunda mitad del molde y se introdujo nuevamente a la incubadora para obtener la terminación de micelio en la totalidad del prototipo.

Posteriormente, se introdujo a un horno a una temperatura de 140°C por 20 minutos y luego a 100°C por 40 minutos, aumentando considerablemente su firmeza al final del proceso de secado y reduciendo su masa de 1150 (g) a 643 (g).

Finalmente se pintó con cal, para obtener una terminación lisa y blanca obteniendo así el prototipo tipo teja .



Fig 6-5: Prototipo tipo teja. Elaboración propia.



Fig 7-1: Imagen objetivo para Centro de interpretación en Estación biológica Senda Darwin. Elaboración propia.

EL PROYECTO

CONTEXTO GENERAL

El proyecto propuesto para la utilización del biomaterial se ubica en la Provincia de Chiloé, perteneciente a la Región de Los Lagos (fig. 7-2), más específicamente en la Comuna de Ancud a un costado de la Ruta 5 sur a 19 minutos de la ciudad de Ancud y a 11 minutos de Chacao, muy cercano al canal del Chacao (fig. 7-3), esta ubicación implica el traslado vía marítima, tanto para los visitantes como para los materiales que provengan de Chile continental.

- 1 - Estación Senda Darwin
- 2 - Ancud
- 3 - Castro
- 4 - Quellón
- 5 - Pargua
- 6 - Canal Chacao
- 7 - Parque Nacional Chiloé
- 8 - Parque Tantauco
- 9 - Parque Tepuhueico

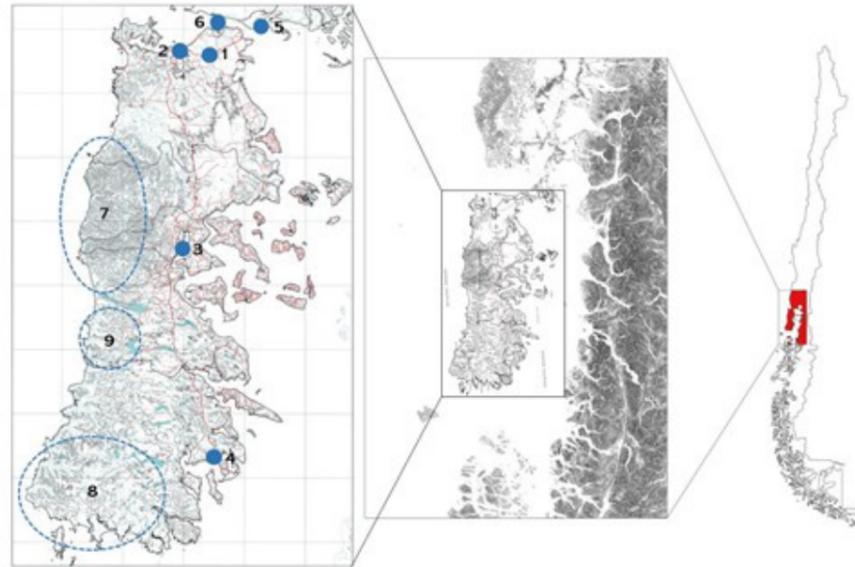


Fig 7-2: Contexto regional, con los principales hitos en la Isla de Chiloé. Elaboración propia.

EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO

La Estación Biológica Senda Darwin (EBSA) es un Área Protegida Privada ubicada en el sector norte de la Isla Grande de Chiloé, donde se realiza investigación científica sobre Ecología y Biodiversidad.

La EBSA provee infraestructura para recibir a científicos (casa de huéspedes), desarrollar cursos (centro Beagle) y dar oportunidades de recreación e información ecológica (senderos, vivero y unidad demostrativa agroecológica). Estación Biológica Senda Darwin (s/f).

Además de los edificios y los distintos programas presentes en la estación biológica, dentro de esta se pueden identificar diferentes tipos de bosques y ecosistemas, los cuales están destinados principalmente a la investigación, entre los más importantes se pueden encontrar tres tipos de bosques; el bosque antiguo, el bosque renoval y el bosque riveroño, este último recibe su nombre debido a la cercanía con el Río Huicha, después se pueden identificar otros 3 ecosistemas con una vegetación de menor densidad, tales como; el matorral, el pomponal y la pradera (fig. 7-3).

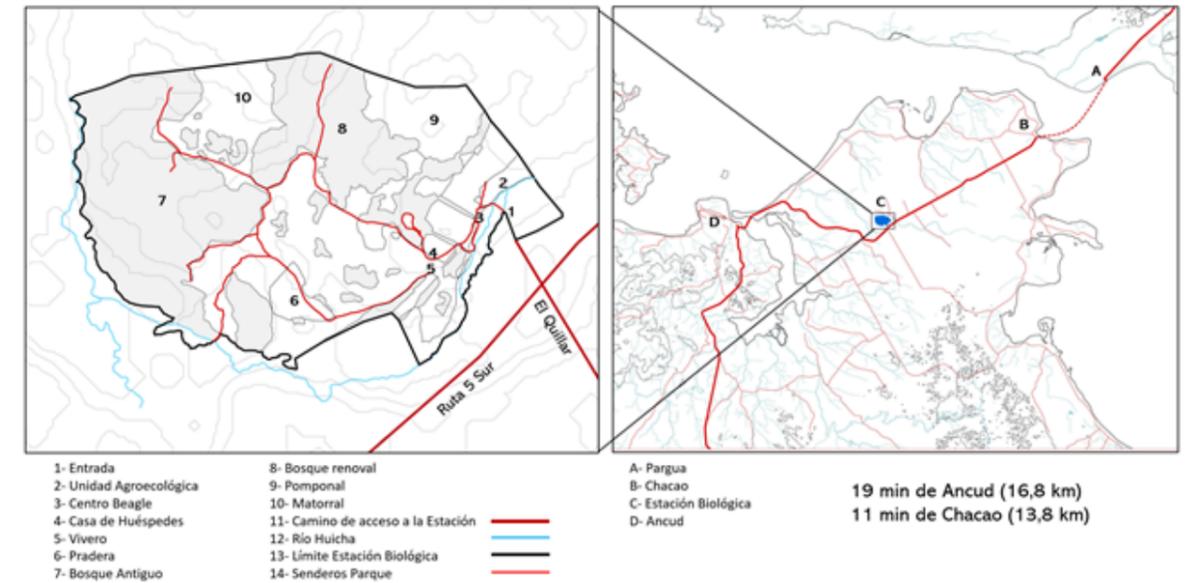


Fig 7-3: Contexto cercano de la zona a intervenir, con los principales hitos e infraestructura de la Estación Biológica Senda Darwin. Elaboración propia.

Para la elección del lugar específico en que se le emplazará se tomó en cuenta que, al ser lugares de conservación e investigación biológica de la flora y fauna del lugar, se debe producir el menor impacto posible al ecosistema, por lo que los bosques fueron descartados, por otro lado, la pradera es el único lugar al cual se tenía acceso mediante senderos abiertos al público, por consiguiente, fue este el lugar seleccionado el emplazamiento del centro de interpretación.

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La principal aspiración de esta investigación es la elaboración de un prototipo de componente arquitectónico hecho en su totalidad de material en base a micelio. Esta pieza o componente tendrá funciones específicas en el proyecto; la primera de

estas está enfocada en la construcción de una cubierta y por otro lado en la construcción y/o recubrimiento de muros y tabiques divisorios dentro del proyecto de arquitectura.

Para la construcción del prototipo (fig. 7-4) centrado en la cubierta se usarán conceptos de forma resistente, dándole una forma de arco catenario extruido, formando así un componente morfológicamente similar a una teja. Adicionalmente se le incorporarán nervaduras en todo su largo, pensado en su poca resistencia estructural previo al prensado. Para su elaboración en el laboratorio se confeccionó un molde hecho con poliestireno expandido de alta densidad, en el que se introdujo el sustrato ya inoculado con el micelio para su posterior crecimiento dentro de este durante 7 días, obteniendo como resultado un componente de tipología laminar, con baja masa.

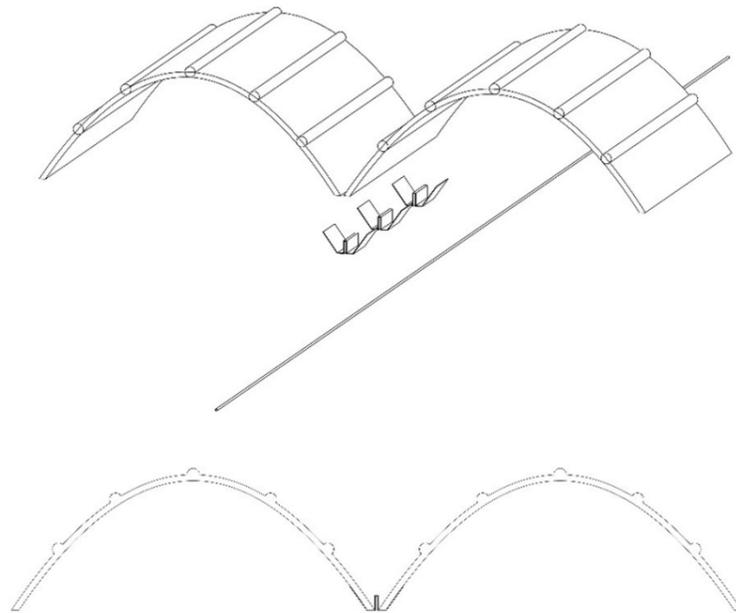


Fig 7-4: Ensamblaje del componente arquitectónico en base a micelio de hongo. Elaboración propia.

Por otro lado, para la construcción de los muros de sustrato se establecerá un módulo principal el cual estará compuesto por diferentes bloques de micelio, dichos bloques se construirán con el mismo método de crecimiento dentro del molde y para esto se confeccionarán los moldes necesarios, todos de poliestireno expandido de alta densidad al igual que los otros.

SISTEMA CONSTRUCTIVO

La construcción de la cubierta del proyecto está diseñada para aprovechar al máximo el bajo peso de los componentes hechos de biomaterial, el cual se compondrá principalmente por una estructura tensada, esta estructura está formada por una serie de vigas tensadas puestas en paralelo, formando un sistema de doble capa, estas vigas convergen en sus extremos en una serie de mástiles. Debido a que el sistema de vigas de doble capa proporciona 2 estratos diferentes (fig. 7-5), en el inferior se pondrán las componentes tipo teja, transformando el interior en un espacio abovedado y el estrato del cable superior se pondrá una tela que actuará como última membrana protegiendo al interior del proyecto de los elementos y además funcionará como cerramiento parcial en los perímetros del proyecto.

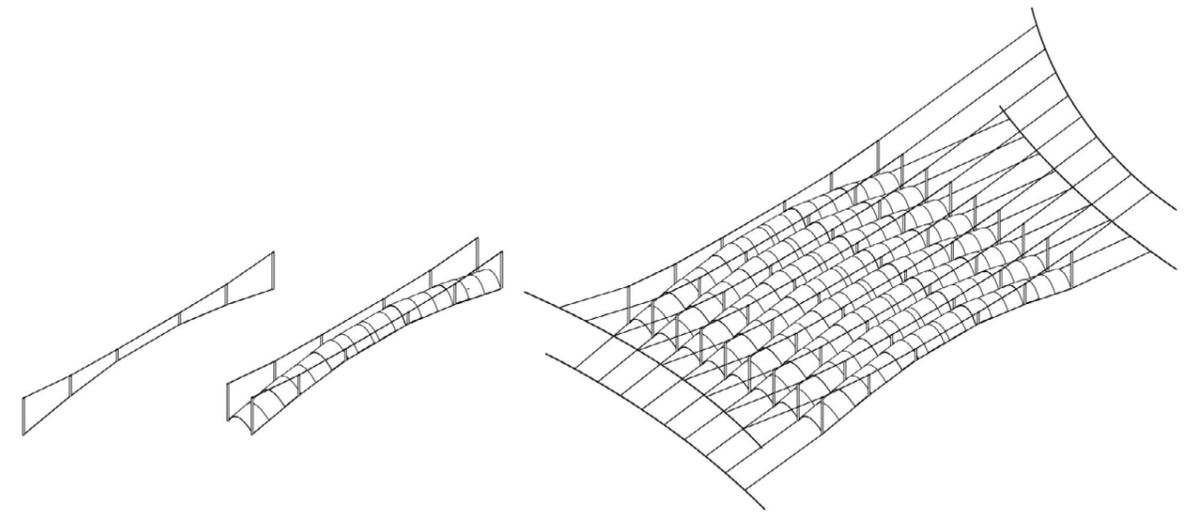


Fig 7-5: Lógica constructiva y de repetición y del módulo estructural de cubierta; vigas tensadas y cubierta de biomaterial. Elaboración propia.

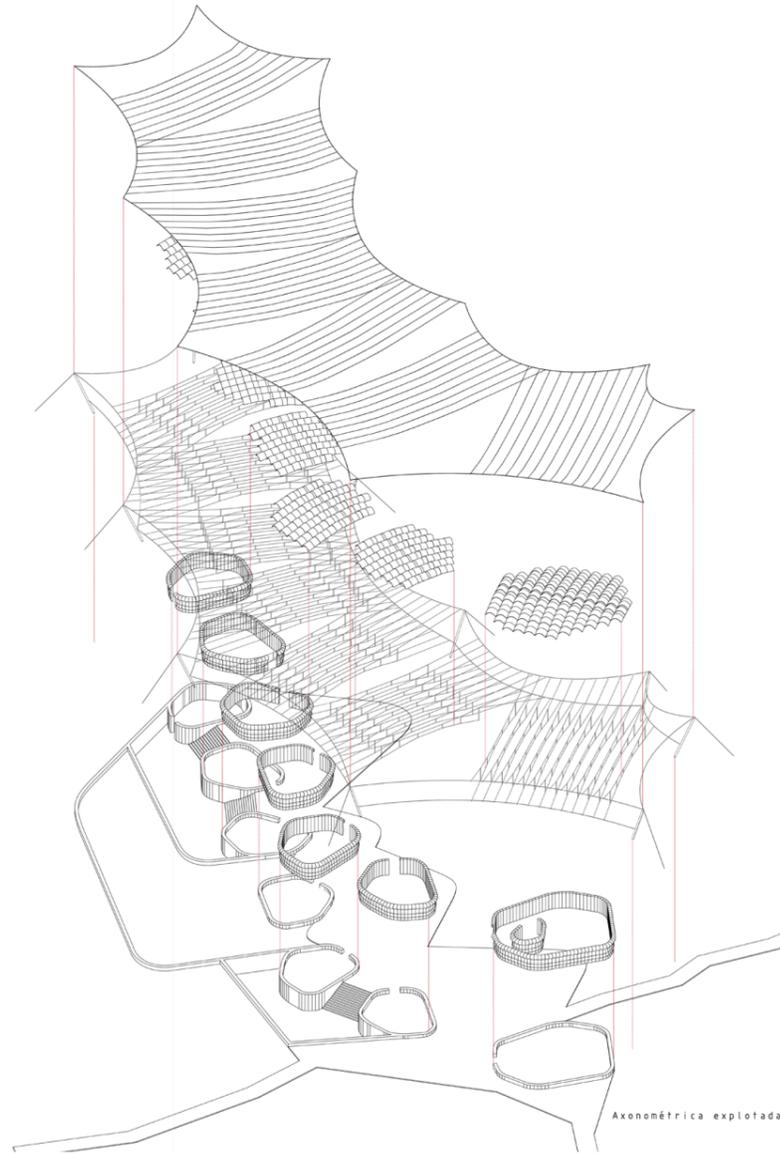


Fig 7-6: Axonométrica explotada, del programa principal, Centro de interpretación y laboratorios. Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA Y LUGARES INTERVENIDOS

A lo largo del parque se ubicarán distintos puntos intervenidos con el sistema constructivo propuesto (fig. 7-7), de manera de formar un recorrido que se acople a los programas ya existentes. En primer punto será la construcción de una cubierta del estacionamiento del parque en la entrada del parque que constará también con una caseta de guardia con el sistema de muros de biomaterial. Luego, se propone un espacio de observación bajo techo una vez cruzado el puente

de acceso a la estación, en conjunto a las edificaciones, principalmente asociado al Centro Beagle, dicho techo transformará el ingreso del parque en un espacio techado que albergará el programa principal y espacios de circulación para el resto del parque, actuando como punto articulante para los demás programas y senderos de la Estación.

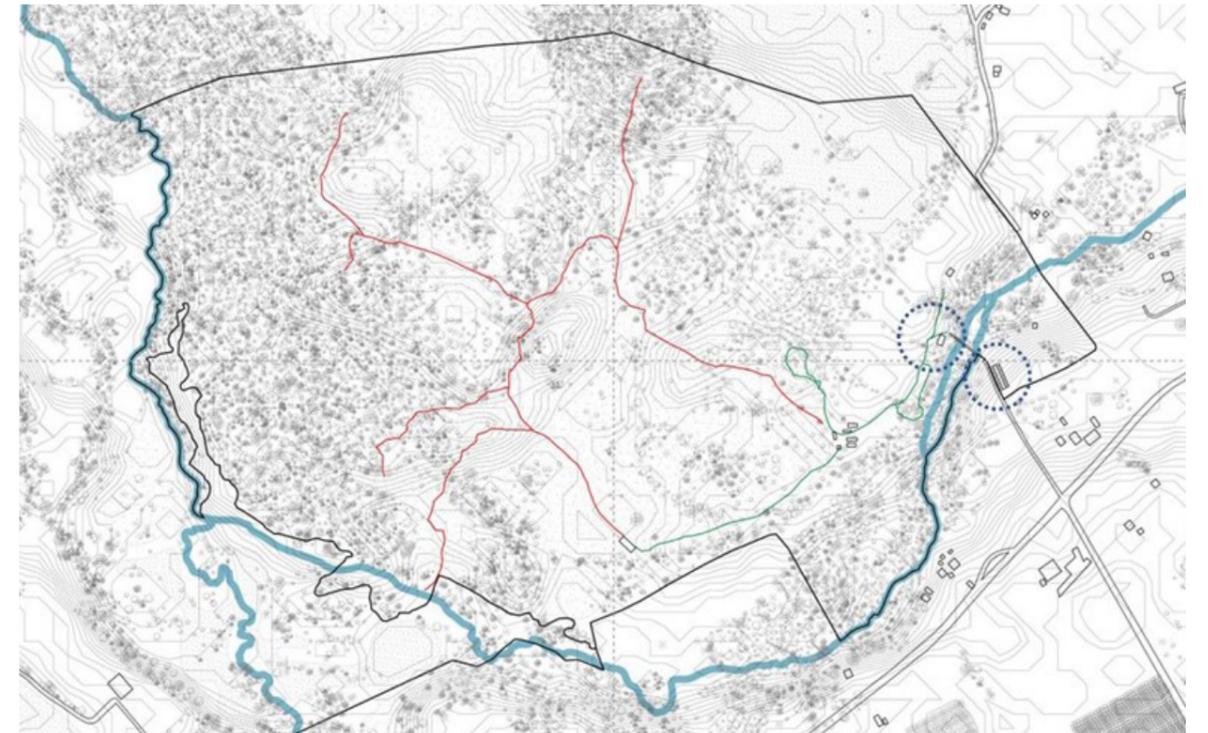


Fig 7-7: Planimetría general de Estación Biológica Senda Darwin. En rojo senderos privados de uso científico; en verde senderos de acceso general; en azul zonas a intervenir dentro de la Estación. Elaboración propia.

Para la selección del programa se realizó un estudio de distintos referentes de centros de interpretación de distintas latitudes y dimensiones, en los que se identificaron los recintos principales y sus dimensiones mínimas, seleccionando el programa necesario para el proyecto en cuestión.



Fig 7-8: Centro de interpretación del Románico, Space Workers, Loudasa, Portugal. Fuente <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/937707/centro-de-interpretacion-del-romanico-spaceworkers>

- Área total: 2020 m²
- Área espacios públicos: 463,6 m²
- Área espacios privados: 103 m²
- Área servicios: 43 m²
- Área circulaciones: 1410 m²

Programa seleccionado

- Auditorio
- Baños
- Laboratorio
- Bodega
- Administración

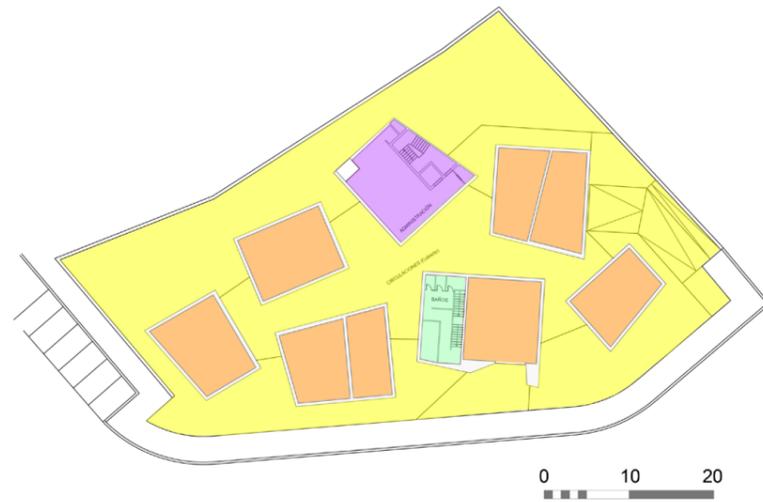


Fig 7-9: Planta, cuadro de superficies y programa seleccionado del Centro de interpretación del Románico . Space Workers, Loudasa, Portugal . Amarillo: espacios de circulación, naranja: espacios de uso público, morado: recintos privados, verde: recintos de servicios. Elaboración propia.

Como principal referente tanto de programa como de sus distribución fue el Centro de interpretación del Románico (fig. 7-8) de la oficina Space workers, ubicado en Loudasa, una villa del distrito de Oporto en Portugal, este centro tiene una superficie total de 2020 m² (fig. 7-9).

El programa ubicado en el último punto mencionado consiste en una recepción, un auditorio, baños públicos, y un espacio de muestra o espacio multiuso para el desarrollo de actividades o exposiciones. Dicho programa se distribuirá de manera tal conformar un espacio fluido en el que se podrá recorrer el proyecto aun cuando este esté fuera de horario de funcionamiento, para evitar espacios estancos, de esta forma se podrá usar la circulación del proyecto como parte de los senderos existentes en el centro de investigación biológica (fig. 7-10).

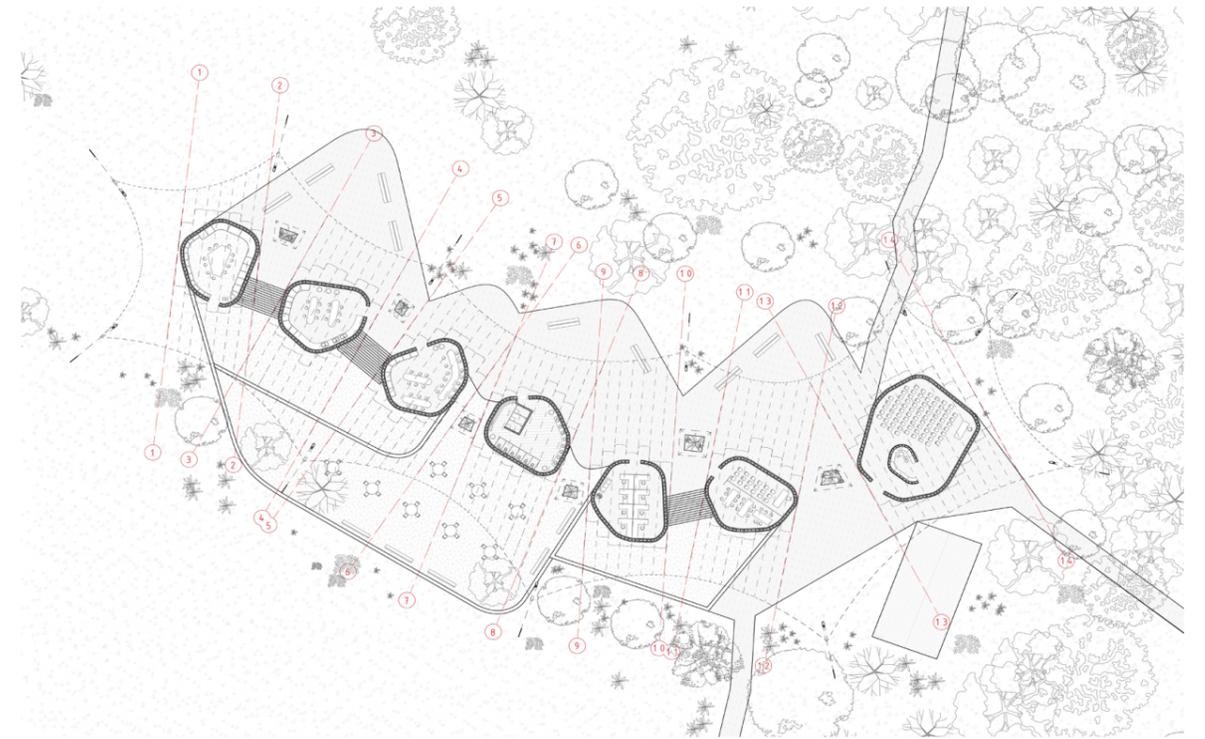


Fig 7-10: Planta de propuesta de Centro de interpretación y laboratorios en Estación Biología Senda Darwin. Elaboración propia.



Fig 7-11: Planta de propuesta de Centro de interpretación y laboratorios en Estación Biología Senda Darwin. Elaboración propia.



Fig 7-12: Vista objetivo exterior. Elaboración propia.



Fig 7-13: Vista objetivo interior. Elaboración propia.

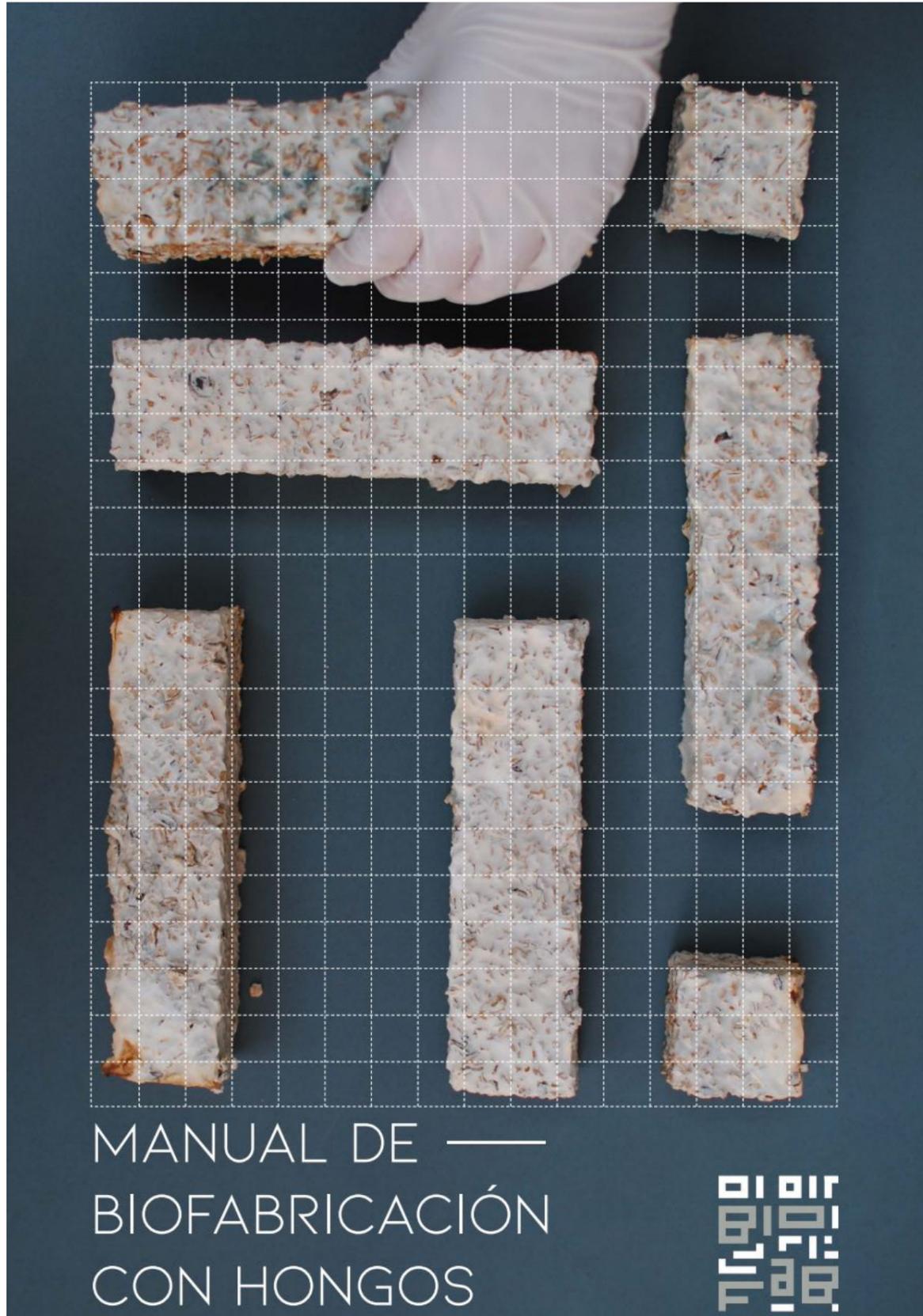


Fig 7-1: Portada del Manual de Biofabricación con hongos. Laboratorio de Biofabricacion UC.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sabantina, L., Kinzel, F., Hauser, T., Többer, A., Klöcker, M., Döpke, C., Böttjer, R., Wehlage, D., Rattenholl, A., & Ehrmann, A. (2019). Comparative study of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on modi-fied PAN nanofiber mats. *Nanomaterials*, 9(3), 475.
- [2] Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related prop-erties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71.
- [3] Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.
- [4] Parodi Miranda D. (2018). Material compuesto a partir del residuo cáscara de nuez *Juglans regia*. *RChD: creación y pensamiento*, 3(5), 1-13.
- [5] C. Dai, C. Yu, X. Zhou, Heat and mass transfer in wood composite panels during hot pressing. Part II. Modeling void formation and mat permeability, *Wood Fiber Sci.* 37 (2) (2007) 242–257.
- [6] Asmamaw Tesfaw, Abebe Tadesse, Gebre Kiros. Optimization of oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushroom cultivation using locally available substrates and materials in Debre Berhan, Ethiopia. *J App Biol Biotech*, 2015; 3 (01): 015-020.
- [7] Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., Sabu, J. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397.
- [8] Ceremi, K., Can Akkaya, K., Pohl, C., Schimidt, B., Neubauer, P. (2019). Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*. 6:17.
- [9] VOLCRAFT (2010). *Volsoft Client (1.96)* [Software].
- [10] Mitchell Jones, Andreas Mautner, Stefano Luenco, Alexander Bismarck, Sabu John, Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review, *Materials & Design*, Volume 187, 2020, 108397, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>.
- [11] Armijo Castro, Francisco, and Onica Armijo Suarez. "Curva de enfriamiento de los peloides espanoles-propiedades termicas." *Anales de Hidrologia Medica*, vol. 1, 2006, p. 97+. Gale OneFile: Informe Académico.
- [12] Instituto Nacional de Normalización. (2007). *Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificio – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. (NCh. 853, Of. 93). Santiago, Chile.
- [13] Leidig Rangel, Pablo Moreno, Shakespeare Trejo, Styles Valero (2017). Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla*. *Maderas. Ciencia y tecnología* 19(3): 373 – 386.
- [14] Garibay, M. (2015). Efecto de Termotratamiento en las Propiedades Físico-Mecánicas de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Procedente de una plantación Comercial. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- [15] Benavides, L. Sibaja, M. Vega, J. Camacho, M. Madrigal, S. (2010). Estudio cinético de la degradación térmica de quitina y quitosano de camarón de la especie "Heteroacarpus vicarius" empleando la técnica termogravimétrica en modo dinámico. *Revista Iberoamericana de Polímeros*.
- [16] Laboratorio de Biofabricación UC (2018). *Manual de biofabricación con hongos*.
- [17] Fernández, A. (1993). Evolución del mundo tecnológico de los tableros de madera. *Congreso Forestal Español*. Madrid, España.
- [18] Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D., Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *ScienceDirect. Fuel* 86, 1781-1788.



Fig 8-1: Imagen objetivo para prototipo de lámpara de biomaterial. Elaboración propia.

ANEXOS

EXPERIMENTACIÓN PREVIA CON BIOMATERIALES EN BASE A MICELIO DE HONGO

Se hicieron varios experimentos previos para tener nociones básicas de cómo se comporta el micelio en presencia de varios tipos de sustrato, molde, formas y tratamientos. Se utilizó *Trametes Versicolor* en viruta de madera de pino *Pleurotus Ostreatus* en cáscara de nueza molida.

LAMPARA Y MUESTRA DE TRAMETES VERSICOLOR

Con motivo del curso Introducción a la biofabricación y a los biomateriales, se fabricó el prototipo de una lámpara de material en base a micelio de *Trametes Versicolor*, con un proceso prácticamente idéntico al que se utilizará para la fabricación de las probetas y el prototipo de tablero requerido en la presente investigación.

Se hizo el replaqueo (fig. 8-2) del hongo en una placa petri durante 12 días, hasta que cubrió la totalidad de la placa, luego fue refrigerada en oscuridad, para evitar que siguiera creciendo.

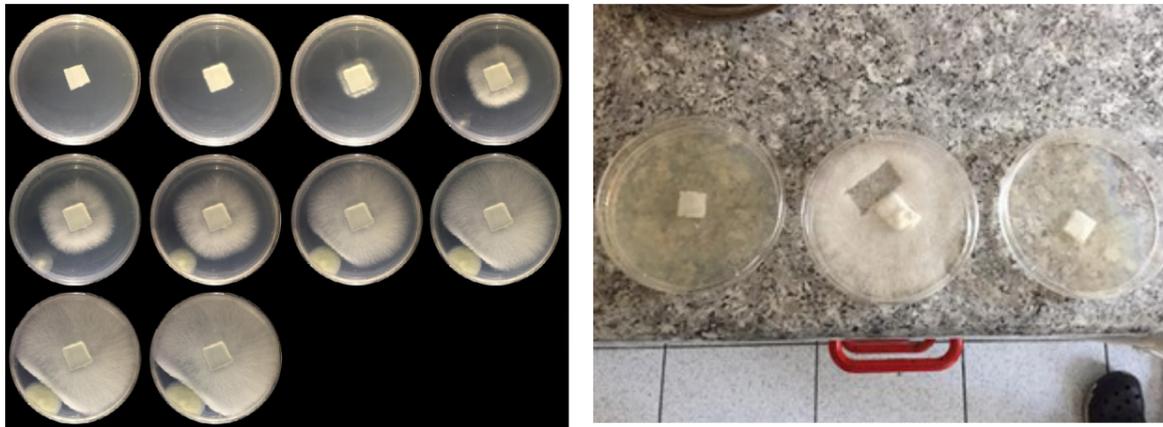


Fig 8-2: Crecimiento y replaqueo de *Trametes versicolor* en placas petri. Elaboración propia.

Luego, para la producción de spawn (fig. 8-3), se inoculó arroz integral con un $\frac{1}{4}$ de micelio de la placa original y se dejó crecer durante dos semanas.



Fig 8-3: Spawn de *trametes versicolor* en frasco de vidrio. Elaboración propia.

Posteriormente, se utilizó un $\frac{1}{4}$ del spawn producido para inocular 2 bolsas de aproximadamente 1 kg de sustrato autoclavado de madera de pino humedecida (fig. 8-4), se usó además una cucharada de café molido y 2 cucharadas de harina como suplemento alimenticio para el hongo. Ambas bolsas se dejaron crecer durante 15 días hasta alcanzar un crecimiento uniforme del micelio, cada 5 días el sustrato fue revuelto para homogenizar el crecimiento del micelio.



Fig 8-4: Primer y último día de crecimiento del micelio en sustrato de viruta de pino. Elaboración propia.

Se elaboró un molde para el sustrato inoculado, el cual después de ser llenado de sustrato paso por un proceso de crecimiento en el molde de 1 semana (fig. 8-5). Finalmente, fue desmoldado y dejado secar a la sombra obteniendo el prototipo de lampara.



Fig 8-5: Construcción de molde y prototipo de lampara terminado. Elaboración propia.

TABLERO DE PLEUROTUS OSTREATUS Y CÁSCARA DE NUEZ

Al igual que con el experimento anterior se hizo una clonación del hongo en una placa petri, pero a diferencia del anterior esta vez su crecimiento fue durante 21 días (fig. 8-6).

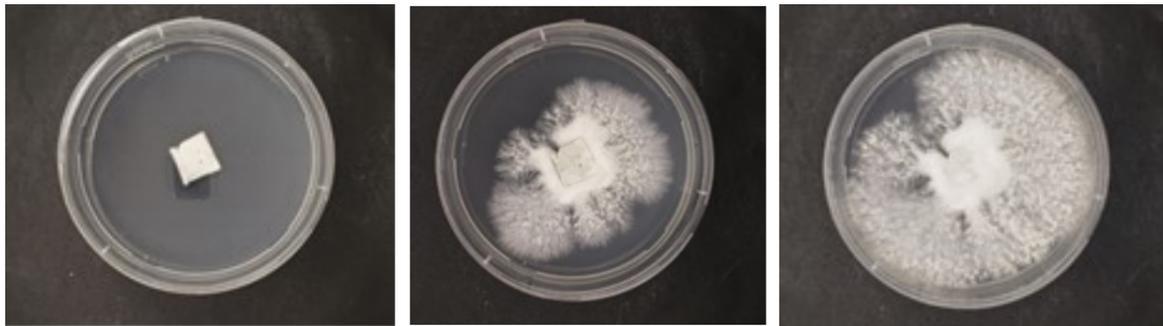


Fig 8-6: Crecimiento de Pleurotus ostreatus en placa petri. Elaboración propia.

Luego se inoculo arroz integral en un frasco de vidrio y se dejó crecer durante 10 días, hasta que cubrió el frasco completamente.

Se trituro el sustrato de cascara de nuez hasta alcanzar un grano promedio de 4 mm y fue inoculado con un ¼ del spawn producido en el frasco, agregando también 1 cucharada de café molido y 2 cucharadas de harina como alimento para el hongo. Luego fue puesto en una bolsa plástica y se dejó crecer durante 2 semanas (fig. 8-8).



Fig 8-7: Crecimiento de Pleurotus ostreatus en arroz integral (spawn). Elaboración propia.



Fig 8-8: Crecimiento de Pleurotus ostreatus en sustrato de cáscara de nuez molida. Elaboración propia.

Una vez el sustrato alcanzo un buen crecimiento en la bolsa fue puesto en un molde de madera de 50x30 cm durante 4 días para posteriormente ser prensados en frio durante 10 días (fig. 8-9).



Fig 8-9: Sustrato de cascara de nuez molida inoculada en el molde y proceso de prensado. Elaboración propia.

Luego del prensado en frío, el prototipo de tablero fue desmoldado y envuelto en film plástico, dejándolo crecer fuera de este hasta que el micelio cubra la totalidad de las caras del tablero, para después dejar que este seque (fig. 8-10).



Fig 8-10: Crecimiento del micelio fuera del molde para lograr terminación. Elaboración propia.

PROPIEADES AISLANTES DEL BIOMATERIAL CARBONIZADO

El diseño del experimento consistió en crear un modelo (fig. 8-11) que aislara una de las caras de cada probeta de biomaterial, y dejar la otra totalmente expuesta al sol la mayor cantidad de tiempo posible, de manera que se pudiese medir sus capacidades de aislación, midiendo las temperaturas superficiales de cada una de las caras del material y luego comparando cada una para sacar conclusiones. Se utilizó un data logger modelo DL-111K para medir la temperatura radiante de las caras del material puesto a prueba y además se utilizó un data logger modelo DL-121TH para medir las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Las mediciones tuvieron lugar un jueves 12 de noviembre en la comuna de Ñuñoa (-33.4583, -70.6 33° 27'), iniciándose a las 8:45 de la mañana y finalizando a las 8:45 de la tarde del mismo día y se hicieron cada 1 minuto.

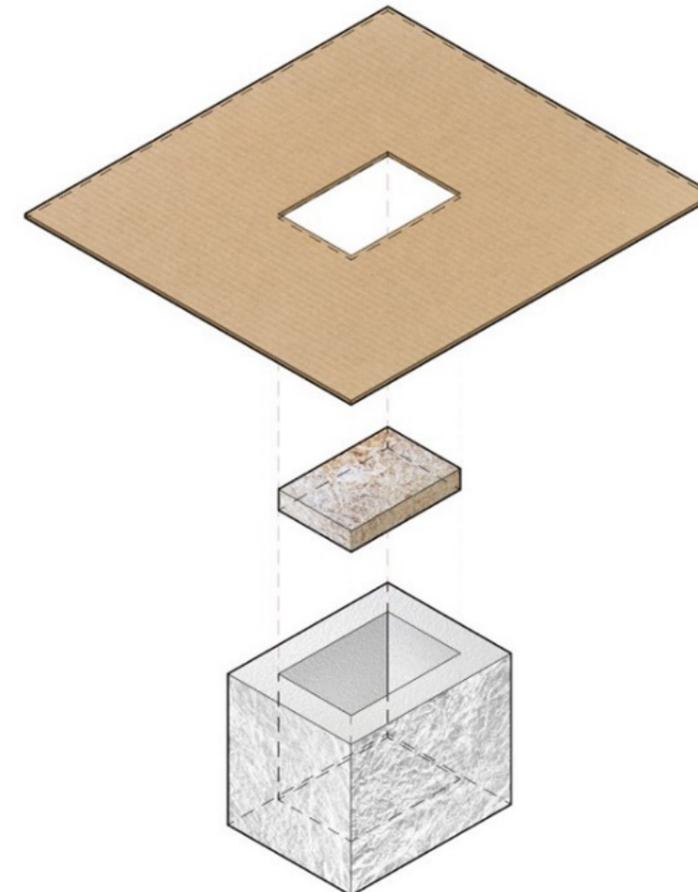


Fig 8-11: Despiece de modelo construido para la medición. Elaboración propia.

Para la elaboración del material que se pondrá a prueba se inoculó sustrato de viruta de madera autoclavado en olla a presión y se dejó crecer el hongo durante 3 semanas, una vez que el material estaba completamente colonizado por el micelio fue sacado de la bolsa de crecimiento y compactado durante 5 días al aire libre con 12 kilogramos de peso, de manera de que mientras se secura este iba siendo compactado, obteniendo un bloque tipo tablero de material en base a micelio de hongo de un espesor de 2,5 cm.



Fig 8-12: 1.- Comparación de biomaterial carbonizado y sin carbonizar. 2.- Acercamiento de sección de pieza carbonizada de biomaterial. Elaboración propia.

Una vez el material estaba seco y compacto se recortaron dos trozos de igual medida de 150 x 100 x 25 mm. Posteriormente se trataría con fuego cuidadosamente uno de estos trozos para carbonizar una de sus caras con una profundidad aproximada de 3-4 mm. (fig. 8-12)

En total se utilizaron 5 dataloggers, 2 DL-111K en las caras interiores del material y otras 2 unidades en las caras exteriores del material con la termocupla tipo K adherida en todo momento a la superficie, por otro lado, se mantuvo un datalogger DL-121TH cercano al lugar de las mediciones en un cilindro de cartón y a la sombra para medir las condiciones ambientales del lugar en el que se hizo el experimento (fig. 8-13).

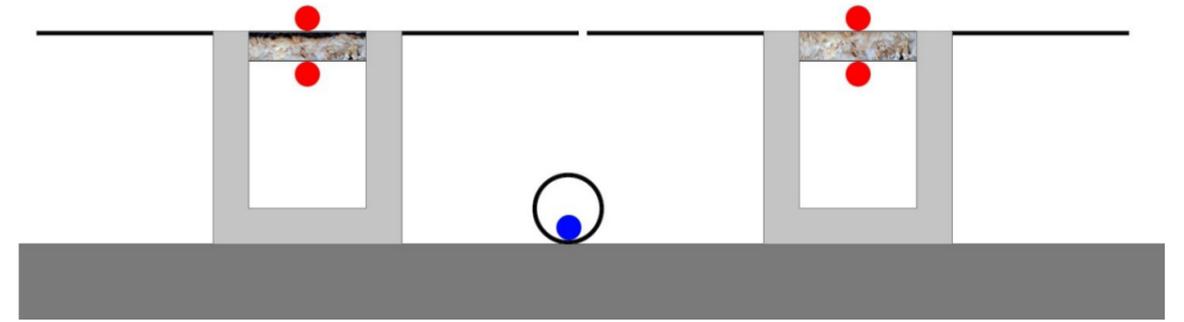


Fig 8-13: Corte del experimento realizado. Círculos rojos DL-111K, círculo azul DL-121TH. Elaboración propia.

Al cruzar la información obtenida de la medición de ambos casos en un gráfico (fig. 8-14) queda en evidencia que prácticamente durante toda la medición, salvo a las 17:00 horas, la temperatura radiante interior del material sin carbonizar es inferior a la del material carbonizado, tendencia que se repite al analizar las curvas de la temperatura radiante exterior de ambos casos.

Observando una a una las curvas en el gráfico 4-3, se puede ver que el pick de temperaturas, tanto la del aire, como ambas temperaturas radiantes del material sin carbonizar ocurre entre las 17:00 y 18:00 horas, momento en el que las curvas de temperatura radiante del material carbonizado tienen una baja considerable, esto pudo deberse a alguna interrupción en la radiación incidente, como la sombra de un árbol o de la edificación en la cual tuvo lugar el experimento.

La considerable diferencia de temperatura entre los dos casos puede deberse al color final del material al ser carbonizado ya que, siendo de color negro casi en su totalidad, absorbe una mayor cantidad de radiación en comparación al material sin carbonizar que tiene una terminación más blanquecina. Si bien el carbón tiene una baja conductividad térmica, alrededor de 0,186 W/mK, esta es menor a la que tienen las maderas de pino y por consiguiente este factor pudo empeorar sus cualidades de aislante térmico.

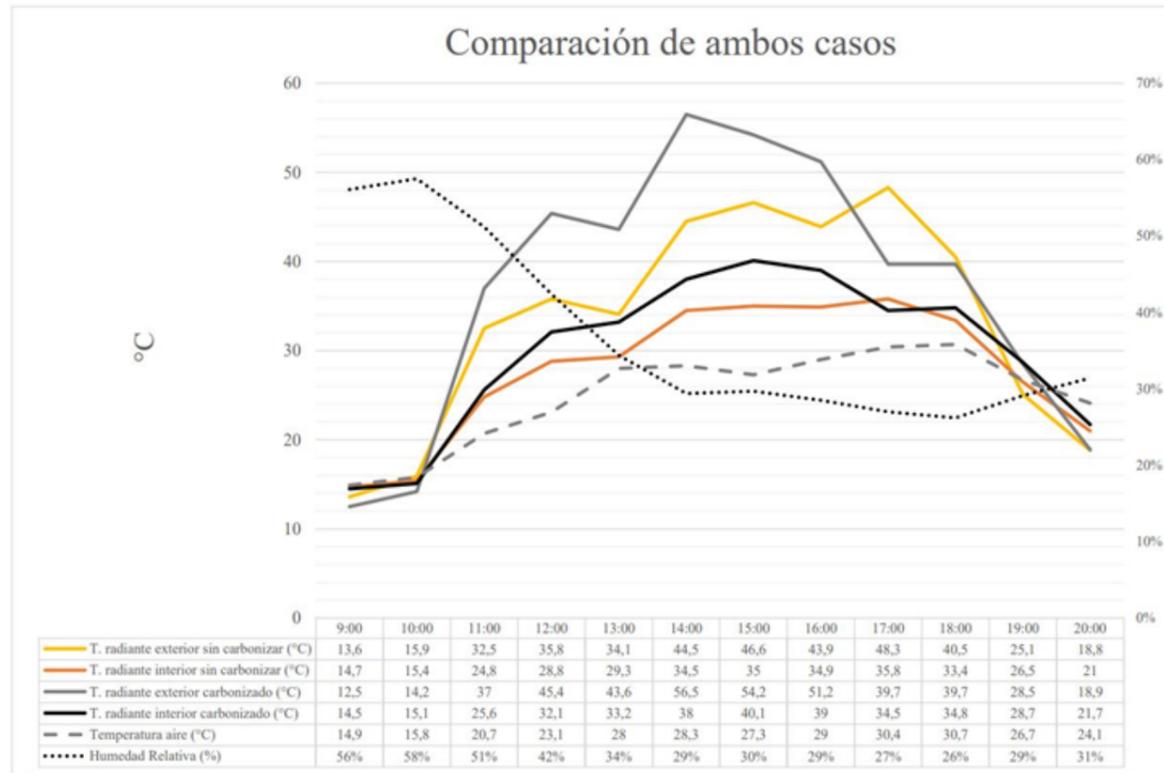


Fig 8-14: Grafico de comparación de los promedios por hora de la temperatura radiante exterior e interior de ambos casos, además de los promedios por hora de la temperatura del aire y de la humedad relativa. Elaboración propia.

Las características de aislación térmica de los biomateriales en base a micelio y sustratos lignocelulósicos están ampliamente descritas en la literatura científica poniendo a este material en competencia con los materiales de aislación convencionales. En esta misma línea, el propósito de este experimento fue comparar y analizar lo que puede producir el tratamiento con calor o la carbonización en las propiedades de dicho material.

Finalmente se logró hacer una comparación cuantitativa de las temperaturas radiantes, interior y exterior, de dos bloques de biomaterial con diferentes tratamientos de calor, obteniendo resultados ampliamente favorables para el bloque sin tratamiento alguno, debido a que la carbonización del material alteraba su conductividad térmica y además le daba un color oscuro propio del carbón, lo que aportó al sobre calentamiento del material, esto nos indica que para futuras mediciones el de este tipo sobre este material, el experimento debe hacerse con la cara carbonizada hacia el interior de la caja, para evitar el sobre calentamiento por una absorción desigual de las ondas electromagnéticas, de modo tal que se midan realmente las capacidades aislantes del biomaterial.

PLANIMETRÍA EXTRA



Fig 8-15: Planimetría general de las zonas intervenidas dentro la EBSD. Elaboración propia.

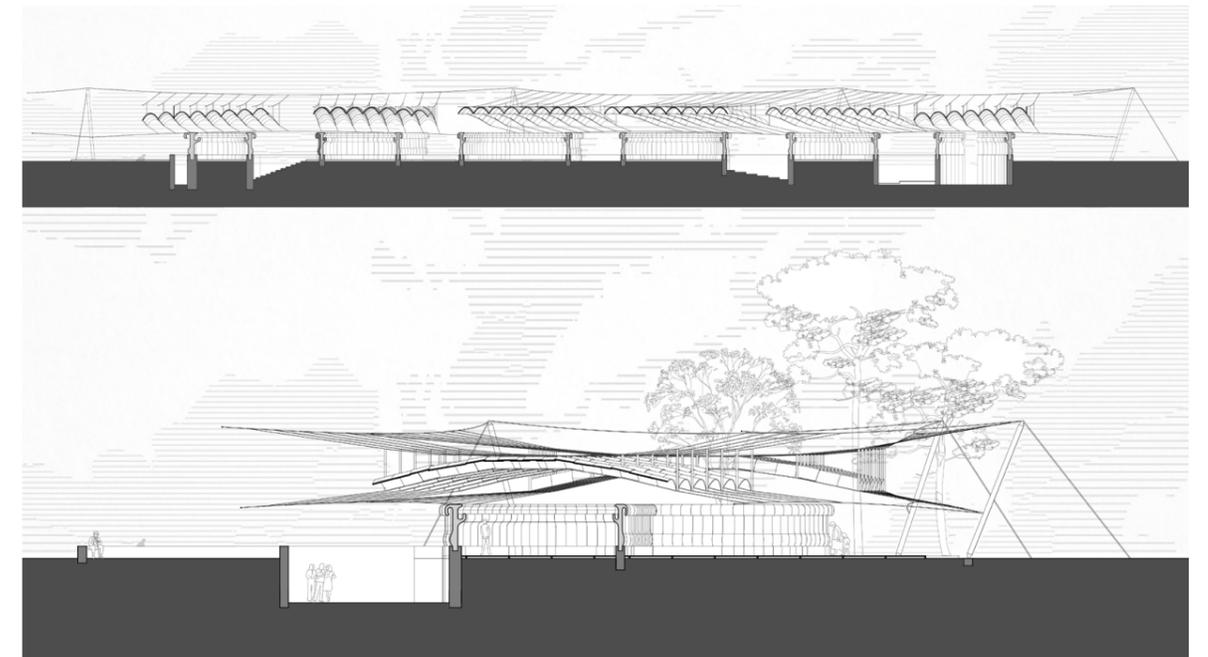


Fig 8-16: 1: Corte longitudinal del proyecto. 2: Corte transversal del proyecto. Elaboración propia.