

F N G PANEL

CONFORT TÉRMICO POR MEDIO DE MICELIO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN DISEÑO AVANZADO

PRESENTA: JOSÉ MANUEL PATIÑO SOTO

DIRECTORA: DRA. ERIKA ELIZABETH PÉREZ MÚZQUIZ

CO DIRECTOR: DR. HABID BECERRA SANTA CRUZ

Morelia michoacán diciembre de 2024







Fotografía 1. Panel FNG. Fotografía de JMPS

2024

UMSNH

Facultad de Arquitectura

Maestría en Diseño Avanzado

FNG PANEL

Confort térmico por medio de micelio

Tesis que para obtener el grado de:
Maestro en Diseño Avanzado

Autor
José Manuel Patiño Soto

Mesa sinodal:

Dra. Erika Elizabeth Pérez Múzquiz
Dr. Habid Becerra Santacruz
Dr. Juan Alberto Bedolla Arroyo
M.D.A. Ana Cecilia Botello Gómez
Dr. Alberto Gómez Tagle Chávez

Morelia, Michoacán. Diciembre de 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi directora, co director y a toda mi mesa sinodal por su valioso apoyo y las observaciones que enriquecieron el desarrollo de esta tesis.

A mi familia por su infinita paciencia, que demandó mucho tiempo y ausencias, por su cariño y respaldo en todo momento.

A mis compañeros de trabajo y amigos, por su ánimo constante y su apoyo incondicional, que me motivaron a superarme y a ser resiliente. Gracias en especial a las M.D.A. Ana Cecilia Botello Gómez y Alejandra Murillo García por su incansable ayuda y consejos en toda la fase experimental de esa tesis.

A mis compañeros de la MDA, quienes, en este largo camino de aprendizaje, estuvieron presentes brindando su apoyo en todo momento. Gracias por el apoyo incondicional team Copitos.

A todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron con su ayuda, información, críticas constructivas, palabras de aliento y esfuerzo, construyendo así este trabajo.

Gracias.



INDICE

01

Problemática
Justificación
Objetivos
Hipótesis
Antecedentes

12 - 27 pág.

02

Conceptos básicos
Estado del arte

28 - 41 pág.

03

Planteamiento metodológico

42 - 55 pág.

04

Proceso de diseño experimental

56 - 73 pág.

05

Concepto material y
patrones de experiencia

74 - 95 pág.

06

Moldeado

96 - 107 pág.

07

Evaluación térmica del FNG Panel

108 - 123 pág.

08

Conclusiones finales
Discusion final de resultados

124 - 137 pág.

09

Referencias
Indice de imagenes

138 - 147 pág.

RESUMEN

Los Biomateriales y la Biofabricación son dos conceptos de reciente creación. El micelio forma parte de esta creciente familia de materiales emergentes que busca reducir el deterioro de los ecosistemas, aumentar el ciclo de vida de algunos materiales naturales como las biomasas vegetales y, sobre todo, reintegrarlos a los ecosistemas sin la contaminación que ocurre con los derivados de hidrocarburos. Es importante tener en cuenta que estos materiales tienen un ciclo de fabricación donde la huella de carbono es mínima; muchos de ellos se elaboran manualmente en laboratorios, y aquellos que se producen industrialmente generan bajas emisiones de CO₂.

Este trabajo se centra en el estudio de las cualidades y posibilidades de organismos vivos del reino Fungi para la elaboración de piezas biofabricadas que demuestran propiedades mecánicas, térmicas y estéticas. Se exploran las opciones que ofrece este mundo en sus diversas especies y su interacción con las biomasas vegetales de las que se alimentan para la creación de nuevos materiales.

Se brinda una opción material aplicable a la arquitectura con un enfoque sustentable, orientada a la reutilización de residuos en abundancia material, que puedan inscribirse en una economía circular y el concepto de territorio.

Palabras clave: Fungi, Biomaterial, Biofabricación, Biodegradable, Micelio

ABSTRACT

Biomaterials and biofabrication are two recently developed concepts. Mycelium is part of this growing family of emerging materials that aims to reduce ecosystem degradation, extend the lifecycle of certain natural materials such as plant biomass, and, above all, reintegrate them into ecosystems without the pollution associated with hydrocarbon derivatives. It is important to note that these materials have a manufacturing cycle where the carbon footprint is minimal; many of them are crafted manually in laboratories, and those produced industrially generate low CO₂ emissions.

This work focuses on studying the qualities and possibilities of living organisms from the Fungi kingdom for creating biofabricated pieces that demonstrate mechanical, thermal, and aesthetic properties. The options offered by this world in its various species and their interaction with the plant biomass they feed on for the creation of new materials are explored.

A material option is provided, applicable to architecture with a sustainable approach, aimed at reusing abundant waste materials that can fit into a circular economy and the concept of territory.

01



PROBLEMÁTICA

La cantidad de desechos generados diariamente en el municipio de Morelia asciende a 850 toneladas, de las cuales solo el 2% es reciclado (Alfaro, 2023). Esta baja tasa de reciclaje refleja la necesidad urgente de mejorar los procesos de gestión de residuos en la región. En el ámbito agrícola, el estado de Michoacán cultiva alrededor de 151 tipos de productos en una extensión de 1.1 millones de hectáreas, alcanzando una producción anual de 9.1 millones de toneladas de alimentos. Sin embargo, estos cultivos generan también residuos agrícolas que, en su mayoría, se destinan como forraje para animales o como insumos para plantas forrajeras; una pequeña fracción, no cuantificada, termina siendo quemada, lo cual representa una pérdida de potencial de aprovechamiento y una fuente de contaminación ambiental.

Entre los residuos generados en las zonas urbanas, especialmente en Morelia, se encuentran diversos materiales derivados de hidrocarburos, cuya degradación natural puede tardar siglos, según estimaciones científicas, lo que implica un impacto ambiental a largo plazo. Algunos de estos desechos, como los materiales de construcción, suelen ser descartados directamente en los vertederos. Otros, como el escombro, son objeto de iniciativas de reutilización, aunque la tasa de aprovechamiento es aún baja. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), aproximadamente el 30% de la contaminación mundial está asociada a la industria de la construcción, con un impacto considerable debido al uso de concreto, uno de los materiales más contaminantes del sector.

Dada esta situación, es indispensable que los materiales de construcción migren a opciones sostenibles. Los materiales tradicionales no solo contribuyen al calentamiento global mediante la emisión de gases de efecto invernadero, sino que también promueven el agotamiento de los ecosistemas, cuya regeneración y recuperación para fines productivos es cada vez más difícil. En particular, el poliestireno expandido o el extruido, ampliamente utilizados en la industria de la construcción, se estima que el consumo de este material alcanza las 125,000 toneladas anuales, mayormente destinadas a la construcción (Asociación Nacional de Industrias del Plástico). Este material podría ser sustituido por biomateriales obtenidos de residuos vegetales, que representan una alternativa más amigable con el ambiente.

De manera similar, otros materiales aislantes empleados en la construcción como el poliuretano, el poliisocianurato, la de fibra de vidrio y lana mineral, derivados principalmente de hidrocarburos, requieren alternativas sostenibles que disminuyan su impacto ecológico. Estas transiciones no solo abordan los efectos ambientales negativos de los materiales actuales, sino que también promueven el desarrollo de una economía circular, basada en el aprovechamiento de residuos agrícolas de alimentos y también de residuos urbanos, para la fabricación de materiales de construcción ambientalmente conscientes.

JUSTIFICACIÓN

“...es posible situarnos en un nuevo punto de escasez de recursos a nivel global, el cual se encuentra agravado por la pérdida sistemática de ambientes que por efecto del cambio climático los reduce aún más. Esto indica una nueva necesidad permanente que en una visión global de la economía ya no es posible de mantener si se continúa con modelos lineales. Debido a esto, fueron surgiendo diversos procesos basados en el concepto de economía circular donde un desecho en lugar de ser descartado pasa a constituir un insumo, con el consecuente ahorro de materiales y energía”. Itria et al. (2021)

La investigación en biomateriales dentro de una economía circular seguirá avanzando, al igual que la producción a mayor escala de productos biobasados y biofabricados, especialmente aquellos que utilizan residuos orgánicos como insumos antes de su descarte final. La Fundación Ellen MacArthur identifica un ciclo biológico dentro de la economía circular, específicamente en la producción de alimentos a nivel global. Este ciclo genera una cantidad considerable de residuos desaprovechados que deben integrarse en procesos de reutilización. Un marco de referencia emergente busca establecer los mecanismos para re aprovechar estos residuos, creando un ciclo regenerativo que, al final de su uso, permita que los materiales se reintegren a los ecosistemas de los cuales fueron extraídos, nutriéndolos y haciéndolos productivos nuevamente.

Este ciclo implicaría un contexto local donde el territorio es importante y los procesos involucrados se acortan, tratando de evitar por traslados y distribución, ne-

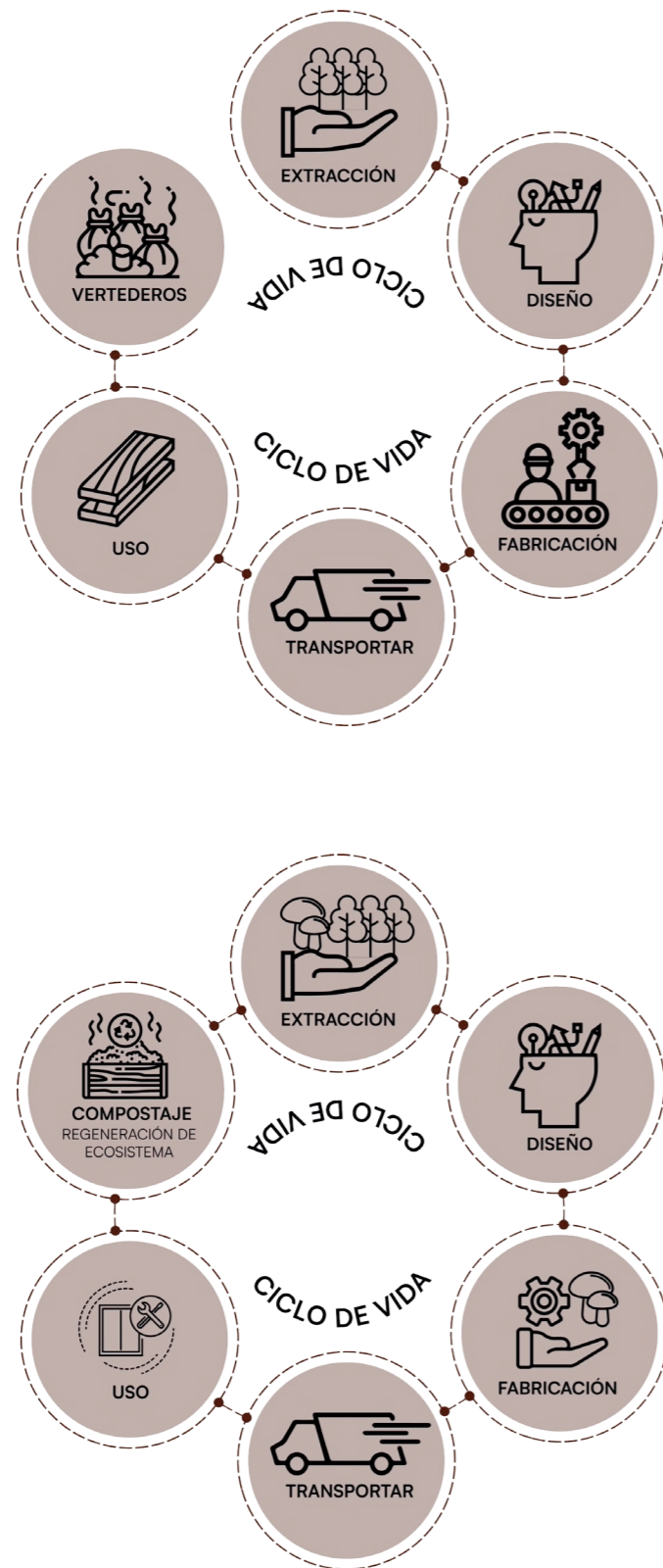


Gráfico 1. Gráfico de JMPS

cesaria en la mayoría de los productos que consumimos, pero que representa un gran impacto en el aumento de gases de efecto invernadero, huella de carbono y calentamiento global, se busca el uso preferente de insumos de territorio para evitar esto.

El Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos que opero de 2009 a 2012, indicaba que solo Michoacán producía 51,545 toneladas al año de residuos agrícolas provenientes del maíz, sin embargo, no hay datos recientes de estos y no están contabilizados los provenientes de otros cultivos como trigo, sorgo, avena, cebada o caña de azúcar, lo que puede triplicar esta cifra y representa una gran oportunidad en la reutilización de ellos como insumos para biofabricación.

Estos residuos son destinados principalmente al forraje por pequeños ganaderos o comercializados con plantas forrajeras, sin embargo, una cantidad no establecida es desechada y representa el medio ideal para la reproducción de especies Fungi. Otro tipo de desecho vegetal, es el proveniente de los procesos madereros tampoco esta contabilizado por ningún organismo gubernamental y también es medio ideal para la reproducción de estas especies.

Fotografía 3. Fotografía de JMPS



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un panel biofabricado y biodegradable a base de micelio, que represente una alternativa a la reducción de temperatura en espacios interiores.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Establecer los sustratos vegetales que representen abundancia en territorio, y permitan la reproducción de especies Fungi.
- Establecer las especies Fungi (hongos) adecuadas en la fabricación del prototipo
- Definir las características específicas de densidad en el sustrato, y de espesor y tamaño en la fabricación del prototipo
- Probar valor térmico en los prototipos biofabricados.

HIPÓTESIS

Es posible desarrollar un panel biofabricado que proporcione confort térmico en espacios interiores, utilizando residuos vegetales locales como materia prima y organismos vivos, como hongos, en su proceso de fabricación, aprovechando las propiedades aislantes del micelio y las características térmicas de los sustratos lignocelulósicos, con el objetivo de promover soluciones sostenibles y de bajo impacto ambiental en la construcción.”



Fotografía 4. Fotografía de JMPS

ANTECEDENTES

En años recientes el interés por el uso de biomateriales ha ido en aumento, no solo ha crecido el interés en la conservación del planeta y la reducción en la extracción de recursos naturales, sino que cada vez vemos más ejemplos de productos realizados con biomateriales, la conciencia sobre los residuos crece cuando vemos la posibilidad de reutilización de productos de uso común o sus residuos, donde se demuestran ciclos de vida ampliados y productos nuevos a partir de estos descartes.

Soledad, Núñez y Duarte (2020), hablan de una revolución material en proceso, con alcances de una revolución social y cultural, hay un asunto de conciencia de lo sustentable con nuevas materialidades e ideales de implementar una economía circular capaz de restaurar el ecosistema. Aunque esta idea pueda significar un cambio de paradigma a mas corto plazo, lo cierto es que la preocupación de todos estos aspectos es una constante y en años futuros ese cambio podrá más evidente y tangible.

Lee et al (2020), dicen que las tendencias contribuyen aún más al interés en los biomateriales, el cambio climático y la potencial baja de huellas de carbono en comparación con los materiales sintéticos basados en combustibles fósiles, la guerra contra los plásticos, el veganismo y encontrar alternativas a los materiales derivados de animales, un cambio que se potencializa con el uso del Internet y las redes sociales. Así la difusión de estas acciones ayuda a tomar acciones de forma más inmediata.

La Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) y la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), estiman que en México se consumen cada año ciento veinticinco mil toneladas de poliestireno expandido, de este el 25% se utiliza en la industria alimentaria y el 75% en la construcción. Lo mismo sucede con el Medium Density Fibreboard (MDF) material alto consumo y alternativa de madera maciza cuya producción en México alcanzó en 2014 seiscientos cuarenta y cinco mil metros cúbicos de acuerdo con notifix.info y tan solo representa el 10% de MDF consumido en México, siendo sus mayores exportadores países como Brasil y Chile con el 90% restante.

Tanto el poliestireno expandido como el MDF, son materiales que reducen costos en la construcción, aunque su daño a los ecosistemas es evidente, el primero un derivado del petróleo y el segundo al utilizar resinas sintéticas que difícilmente pueden considerarse degradables. Del poliestireno expandido se cree que puede tardar 500 años en degradarse y no existen datos concretos sobre el formaldehído que se encuentra en el MDF.

Este ejemplo de solo dos materiales de alto consumo en México puede mostrar el beneficio del micelio en el uso de biomateriales y biofabricados cuando se obtienen características y aplicaciones similares en ellos sin el mismo impacto en extracción recursos y daño a los ecosistemas, son fácilmente reemplazables por micelio añadiendo sobre todo su cualidad de ser compostable, lo que no sucede con el MDF y el poliestireno expandido, estamos hablando de una reintegración total a los ecosistemas en pocos meses, al llegar a su ciclo de final de vida.

Este interés en los biomateriales surge en el segundo año de la maestría, explorando posibilidades de encontrar una solución a la mitigación de calor en

superficies, primero a una escala urbana y después a una escala menor. El conocimiento del micelio abrió una posibilidad que dio una luz más clara en cómo abordar esta problemática, el reino fungi con su variedad de especies y su capacidad de reproducción, será explorado en la búsqueda de mitigación del calor y confort térmico, sumado a ello, mas características como resistencia al fuego y cualidades acústicas se suman dando mayores beneficios al utilizarlo como material de construcción.

Se buscará siempre una paleta biomaterial con identificación de abundancias (Weiss & Besoain, 2022) basada en el territorio que permita identificar residuos vegetales y especies locales, sin extracción de recursos naturales adicionales y reutilizar aquellos que han sido descartados en abundancia para alargar su ciclo de vida. El concepto de economía circular está presente como valor añadido a un biomaterial que recicla sustratos vegetales, proporciona uso adicional hasta que finalmente sean reintegrados a los ecosistemas con cero residuos. Se cuidarán el concepto de fabricación y distribución con el fin de reducir al mínimo las emisiones.

A lo largo de la historia, los hongos han tenido un uso alimentario significativo. Los hongos comestibles han sido una fuente importante de alimentos, y el micelio ha sido cultivado para obtener los “cuerpos fructíferos”, es decir, las setas que consumimos. La observación del crecimiento de estos organismos llevó a la búsqueda de alternativas en las que los sustratos vegetales y las hifas del micelio, actuando como aglutinantes, pudieran cumplir funciones útiles. Esto derivó en esfuerzos por comprender y controlar estos procesos para la creación de nuevos materiales de uso cotidiano.

Fotografía 5. Fotografía de JMPS



El interés por el micelio como biomaterial surgió en la década de 1990, impulsado por la búsqueda de alternativas sostenibles que evitaran la extracción continua de recursos y, sobre todo, por la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir el uso de hidrocarburos en productos de uso cotidiano. Phil Ross, en San Francisco, California, Estados Unidos, comenzó a estudiar el comportamiento de diferentes especies de hongos, primero utilizando sustratos vegetales y, posteriormente, experimentando en medios líquidos para producir una membrana similar a la piel o la tela.

Estas aproximaciones al micelio como biomaterial culminaron con la exposición del Pabellón HiFy en el MoMA en 2014 y la fundación de la empresa “Mycoworks”. Posteriormente, por razones estratégicas de mercado, se crearon las marcas “Fine Mycelium” y “Made with Reishi”, dedicadas a la creación de alternativas de piel para la industria de la moda, convirtiéndose en su principal producción a nivel industrial y mundial.

Los ejemplos difundidos por Mycoworks a nivel comercial, junto con el creciente interés en estudiar este material emergente, han impulsado líneas de investigación en universidades de todo el mundo, como la Universidad Católica de Chile, la Universidad Politécnica de Madrid, así como en Yale, Stanford y el MIT en Estados Unidos. En México, se están realizando pruebas en instituciones como la Universidad Veracruzana, la UNAM y la Universidad Autónoma de Nuevo León, entre otras.

Empresas como radial.bio en México, han surgido al estudiar el micelio hasta la creación de un modelo de negocios donde se pueden industrializar sus productos. La tendencia es la aparición de nuevos productores de biomateriales tanto en el mundo como en México, que buscan brindar productos amigables con los ecosistemas y reducir la contaminación que producen.

Según la fuente Precedence Research, el mercado global de biomateriales de aplicación médica se estimó en 135.87 mil millones de dólares en 2022, y se espera que crezca hasta los 431.49 mil millones de dólares para 2032, con un incremento anual superior al 12%. Este crecimiento en el sector refleja la necesidad de continuar la investigación para su promoción en otros campos y para lograr futuros avances. Es evidente que la investigación en biomateriales relacionados con la economía circular en la industria alimentaria seguirá desarrollándose, al igual que la producción a gran escala de productos biodegradables basados en organismos vivos.

02



CONCEPTOS BÁSICOS

REINO FUNGI

El término fungi deriva del latín *fungus* que significa hongos. A las especies de este reino se les conoce como mohos, levaduras, setas, hongos, etc. Presentan características particulares que los diferencian de las especies vegetales con los que durante mucho tiempo estuvieron clasificados, hasta que en 1968 se les crea su propio reino. UNAM. (n.d.). Reino Fungi. Recuperado de <https://portalacademico.cch.unam.mx/>

MICELIO

Lira Gómez (2022) define el micelio como la parte vegetativa de los hongos, está formada por filamentos llamadas hifas una especie de hilos que gran extensión que crecen desde su punta, generalmente por debajo del suelo en áreas boscosas y que se encarga de absorción y distribución de nutrientes a manera de sistema digestivo vegetal.

Puede tener una función aglutinante en suelos de siembras solidificando o uniendo componentes vegetales dándoles firmeza, cualidad principal que será utilizada en el desarrollo de este proyecto, esta función logrará unir sustrato por medio del tejido de las hifas de los hongos y un sustrato vegetal en un solo elemento que posteriormente será moldeado.

Pueden formar cuerpos fructíferos que generalmente se reproducen por encima de la tierra o en la corteza de árboles aun en los que ya se hayan cortado y secado. Existen otras variedades similares que tienen un uso medicinal. El micelio para

este proyecto será aquel que no ha producido cuerpos fructíferos y cuyo crecimiento haya sido interrumpido precisamente antes de este evento.

SUSTRATO LIGNOCELULÓSICO

El sustrato lignocelulósico es un material compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que se utiliza como soporte y fuente de nutrientes en diversos procesos biotecnológicos, incluyendo el cultivo de hongos y la producción de biocombustibles. Este tipo de sustrato proviene de residuos agrícolas e industriales, como el bagazo de caña, los rastrojos de arroz, maíz, trigo o sorgo, fibra de coco y aserrín de árboles, entre otros..

Resero-Delgado et al. (2016) afirman que el interés por el uso de materiales lignocelulósicos radica en que estos son los subproductos agro industriales más abundantes y constituyen fuentes de materias primas renovables, siendo menos costosos que otros nutrientes empleados en procesos de fermentación. Además, grandes cantidades de materiales lignocelulósicos no utilizados están disponibles en el mundo; sin embargo, la mayoría se quema, lo que genera un problema medioambiental aún más grave.

BIOMATERIAL

Término usado para indicar materiales con una asociación biológica no específica (Lee et al. 2020)

BIOFABRICADO

Son materiales biológicos producidos por células vivas y microorganismos como los hongos o micelio. (Lee et al. 2020)

**ECODISEÑO
DISEÑO VERDE**

Las primeras ideas son aplicadas en una idea de reducir-reutilizar-reciclar. Se buscaba reducir el impacto ambiental mediante el rediseño de cualidades de productos individuales mediante una jerarquía de residuos. Se busca minimizar el consumo de recursos naturales

Papanek, V. (1985)

**DISEÑO INSPIRADO
EN LA NATURALEZA**

Diseño de cuna a cuna y diseño biomimesis: imitar los procesos de la naturaleza como única manera de lograr la sostenibilidad en un sistema de producción y consumo.

McDonough, W.; Braungart, M. (2002)

**DISEÑO PARA UN
COMPORTAMIENTO
SOSTENIBLE**

Se basa en la economía del comportamiento con estrategias o basadas en informar, y proporcionar retroalimentación. Se buscan patrones de uso ambiental, un pensamiento integral centrado en información de consumo que lleve a un modo sostenible a más largo plazo.

Berdichevsky, D., & Neuenschwander, E. (1999).

DISEÑO ECOLÓGICO

Aumento todo un enfoque en todo el ciclo de vida de los productos, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, lo que permitió perfilar el impacto final de los productos buscando direcciones estratégicas en los impactos del diseño.

Boks, C., & McAlone, T. C. (2009)

DISEÑO REGENERATIVO

Si bien el diseño de cuna a cuna parte del concepto de una economía circular, la idea de establecer ciclos más amplios y cero desechos es una meta en desarrollo. Se consideran variables como comercialización, con un modelo de negocios que integren el comercio justo y el mantenimiento de un ecosistema, especialmente biológico. Este enfoque tiene un marco de referencia similar al "growing design", donde se utilizan organismos vivos en los procesos de producción.

(definición de JMPS)m



El micelio se forma a partir de la simbiosis entre un sustrato lignocelulósico de origen vegetal y una especie del reino Fungi, el primero sirve de alimento y el otro actúa como aglutinante. En este trabajo, se busca la obtención de un material sólido que pueda utilizarse para conformar un panel mediante moldes.

Esta práctica, ampliamente difundida, se enmarca dentro del Diseño Regenerativo, según la evolución de conceptos presentada en la tabla anterior. Se trabaja con un biofabricado que aprovecha la reutilización de sustratos vegetales del entorno para diseñar un objeto mediante organismos vivos, el cual, al llegar al final de su ciclo de vida, puede ser usado como composta para alimentar el mismo ecosistema de donde fue extraído.

Aunque solo puede cumplir una función una vez moldeado, al ser compostable no genera residuos y puede ser utilizado en los mismos lugares de donde se extrajo, como campos de cultivo o bosques, volviendo a nutrir los suelos para iniciar un nuevo ciclo de producción de alimentos o de extracción.

ESTADO DEL ARTE

Pabellón HiFy The living @ MOMA NY, Estados Unidos

- Sistema estandarizado de producción de ladrillos de micelio.
- Posibilidades mecánicas y térmicas.
- Ejemplificación de ciclo de vida completo
- Compostable.

Imagen 1. Imagen de pabellón HiFy obtenido de: <https://arquitecturaviva.com/obras/pabellon-hy-fi-nueva-york>



2014

Empaques y objetos de radial.bio

- Producción de empaques y piezas de diseño a la medida.
- Amplia difusión de productos
- Modelo exitoso de negocio emprendedor
- Produce industrialmente.

Imagen 2. Imagen de radial.bio, obtenido de: <https://www.instagram.com/radial.bio/?hl=es>



2018

Paneles acústicos de mogu.bio

- Producción de piezas acusticas y otros como pisos.
- Amplia difusión de productos en línea
- Modelo industrial de producción de productos basados en micelio con un mercado en crecimiento.

Imagen 3. Imagen de mogu.bio, obtenido de: <https://mogu.bio/>



2019

The Pavillion from Mushroom Mycelium TH OWL University, Hoxter Alemania

- Ejercicio de diseño para máster en universidad OWL en Alemania, diseño digital de piezas de micelio unidas a madera.
- Resistencia de piezas necesaria para su construcción.
- Expuesta a intemperie por varios meses

Imagen 4. Imagen del pabellón OWL. Obtenido de: <https://www.th-owl.de>



2022

Panel Mycocomposite para Vivienda multifamiliar The Phoenix, Oakland CA

- El panel de micelio producido industrialmente se uso como aislante en la construcción del proyecto de vivienda asequible "The Phoenix" en Oakland, CA

Imagen 5. Imagen de The Phoenix. Obtenido de: www.archdaily.mx/mx/1011364/revolucionando-la-vivienda-social-phoenix-un-proyecto-sostenible-impulsado-por-la-inteligencia-artificial



2023

De acuerdo con Itria et al (2021) los materiales basados en hongos surgen a partir de la patente US170049059A1, fecha de prioridad 2006-12-15 por la empresa Ecovative Design. Existe un antecedente previo en el producto alemán *Mycowood* en la década de los 1960 para la producción de lápices que no fue utilizado ampliamente y que buscaba un material de menor densidad que la madera

A partir de la década del 2000 se ha difundido ampliamente el estudio del micelio como alternativa a varios materiales que producen alta huella de carbono,

representan exceso de extracción de recursos y no pueden ser reciclados fácilmente, los materiales biofabricados parecen hasta ahora la mejor opción para resolver estos problemas, en una nueva conciencia de lo sustentable y del deterioro de ecosistemas.

El Pabellón HiFy demostró que el micelio podría tener un sistema controlado en la fabricación de piezas a gran escala, con resistencia a la compresión, así como cualidades térmicas y biodegradables. Todo el pabellón fue utilizado tras su exposición como composta.

Desde entonces han surgido modelos de negocios exitosos como radial.bio y mogu.bio, que han logrado la producción controlada de micelio. Estas empresas pueden crear tanto piezas de catálogo como diseños personalizados, y cada vez es más común ver negocios similares en países de todo el mundo. Algunos de estos productos se utilizan en la moda, empaques, envases y la construcción. Si bien someter las piezas a calor aumenta su resistencia, el pabellón fabricado con micelio en la Universidad OWL en 2022 enfrentó el desafío de crear piezas con mayor resistencia, utilizando madera como soporte para lograr este objetivo. Si se considera la posibilidad de que el MDF sea reemplazado por piezas de micelio, será necesario seguir mejorando su resistencia. Por ahora, se aprovechan sus propiedades aislantes e ignífugas en la construcción, como en el caso del proyecto de viviendas asequibles “The Phoenix” en Oakland construidas en 2023.

Se espera que en los próximos años su uso se difunda aún más en la construcción de edificios, lo que podría ayudar a reducir hasta un 36% de las emisiones de carbono generadas en 2021, principalmente debido al uso de concreto, según datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente..

Los casos mostrados no solo representan las aplicaciones del micelio recientemente a nivel comercial y su amplia difusión, también nos indica la preocupación de todos por los aspectos sustentables como una nueva forma de pensar, después de décadas de tiraderos y cuencas saturadas de plásticos, según el Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica del gobierno de México (2023), cada habitante produce en promedio 45 a 59 kg/habitante/año. Nuestro país no es la excepción y el cuidado del medio ambiente es ya una preocupación en ámbitos sociales y académicos.

La década de 2000 fue especialmente importante para el desarrollo del micelio como material para biofabricados. Desde entonces, las patentes comerciales e investigaciones académicas, se han multiplicado en busca de un mejor dominio de este material en respuesta a la creciente conciencia ambiental y la cantidad de desechos no biodegradables, como los plásticos, el poliestireno expandido y el MDF.

Las aplicaciones industriales de piezas de micelio, aunque aún limitadas, destacan por su baja huella de carbono y por ser biodegradables. Al diseñar materiales biofabricados, especialmente los generados por organismos vivos, se integran dentro del enfoque de diseño regenerativo lo que permite que, al finalizar su ciclo de vida útil, estos materiales puedan ser descartados de manera segura. Al descomponerse, devuelven nutrientes al ecosistema, reduciendo la extracción de recursos y facilitando su reintegración gradual.

El Liquid Culture Mycelium (LCM) es otra opción ampliamente difundida que utiliza medios líquidos para la reproducción de micelio, obteniendo un producto similar a las telas o pieles animales. Varias marcas ya han adoptado esta forma de biofabricación. Se buscan alternativas al uso de pieles, especialmente de bovinos, con el objetivo de reducir tanto la matanza y consumo de animales para la elaboración de objetos de uso cotidiano. Algunas compañías como litecosm.com, mylo-unleather.com, tomtex.co, mycotex.nl, forager.bio y mycoworks.com, entre otras, ya producen micelio de manera industrial utilizando LCM.

Si bien existe una extensa red de estudios e investigaciones sobre el micelio a nivel mundial, gran parte de la información se encuentra protegida por patentes. Por lo tanto, para su estudio es necesario partir de análisis y resultados propios, considerando las condiciones biológicas locales y de territorio, tanto en lo referente a especies como a sustratos endémicos.

PRINCIPALES EMPRENDIMIENTOS DE MATERIALES FÚNGICOS EN ARGENTINA Y EL MUNDO

AÑO DE INICIO	EMPRENDIMIENTO	PRODUCTOS	PAÍS	CANTIDAD DE PATENTES
2007	Ecovative Design	Packaging	Estados Unidos	21
		Productos de cosmética		
		Alimento		
		Telas y cuero		
		Paneles acusticos		
2009	Mylo	Cuero fúngico	Estados Unidos	3
2011	Francisco Kuhar & Ricardo Itria	Bioaglomerado fúngico	Argentina	0
		Investigación y desarrollo		
2013	Mycoworks	Cuero fúngico	Estados Unidos	3
2013	Silvio Tinello Design	Productos de diseño	Argentina	0
		Arte		
2015	Mogu	Paneles acústicos	Italia	2
		Losas para pisos		
2017	Mycocrea	Investigación y desarrollo	Argentina	0
		Capacitaciones en biofabricación		

AÑO DE INICIO	EMPRENDIMIENTO	PRODUCTOS	PAÍS	CANTIDAD DE PATENTES
2017	Mycomaker	Asesorías	Ecuador	0
		Educación y divulgación		
2018	Mallki	Macetas	Argentina	0
		Envases		
		Packaging		
2018	Sistemas Materiales	Investigación y desarrollo	Argentina	0
2018	Labva	Investigación y desarrollo	Chile	0
		Divulgación		
2019	Fungipor	Packaging	Argentina	0
		Macetas		
		Envases		
2021	Radial	Packaging	México	0
		Macetas y envases		

Fuente: Itria et al. (2021) p. 70-71. Economía material y biomateriales fúngicos

Tabla 1. Tabla de emprendimientos JMPS

03



PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Se eligió la filosofía de Design Thinking enfocada en el diseño de productos, junto con la metodología de Karana et al. (2015) para el diseño de materiales. Esta última complementa la primera, aportando un enfoque material en un proceso donde se requiere un prototipo final que solo puede obtenerse mediante la exploración material del micelio.

También se estudia la aplicación de Karana en coautoría otros autores, en el análisis de esta misma metodología material, aplicada específicamente al micelio. El proceso parte de la comprensión de los materiales de descarte del territorio para integrarlos en el diseño, así como de las especies de Fungi presentes en la región, que se incorporan en un solo material.

Aunque la especie Fungi actúa como aglomerante, su interacción con los materiales de los sustratos produce resultados que generan los patrones de experiencia material propuestos por Karana, permitiendo desarrollar el material que más se ajusta al producto buscado (visión) para la fabricación del panel.

Es fundamental recurrir al prototipado de los patrones de experiencia del material y del propio panel, hasta obtener ambos resultados (material y producto) en sincronía. Una etapa de ajuste y depuración del proceso de diseño está contemplada como la fase final del proceso.

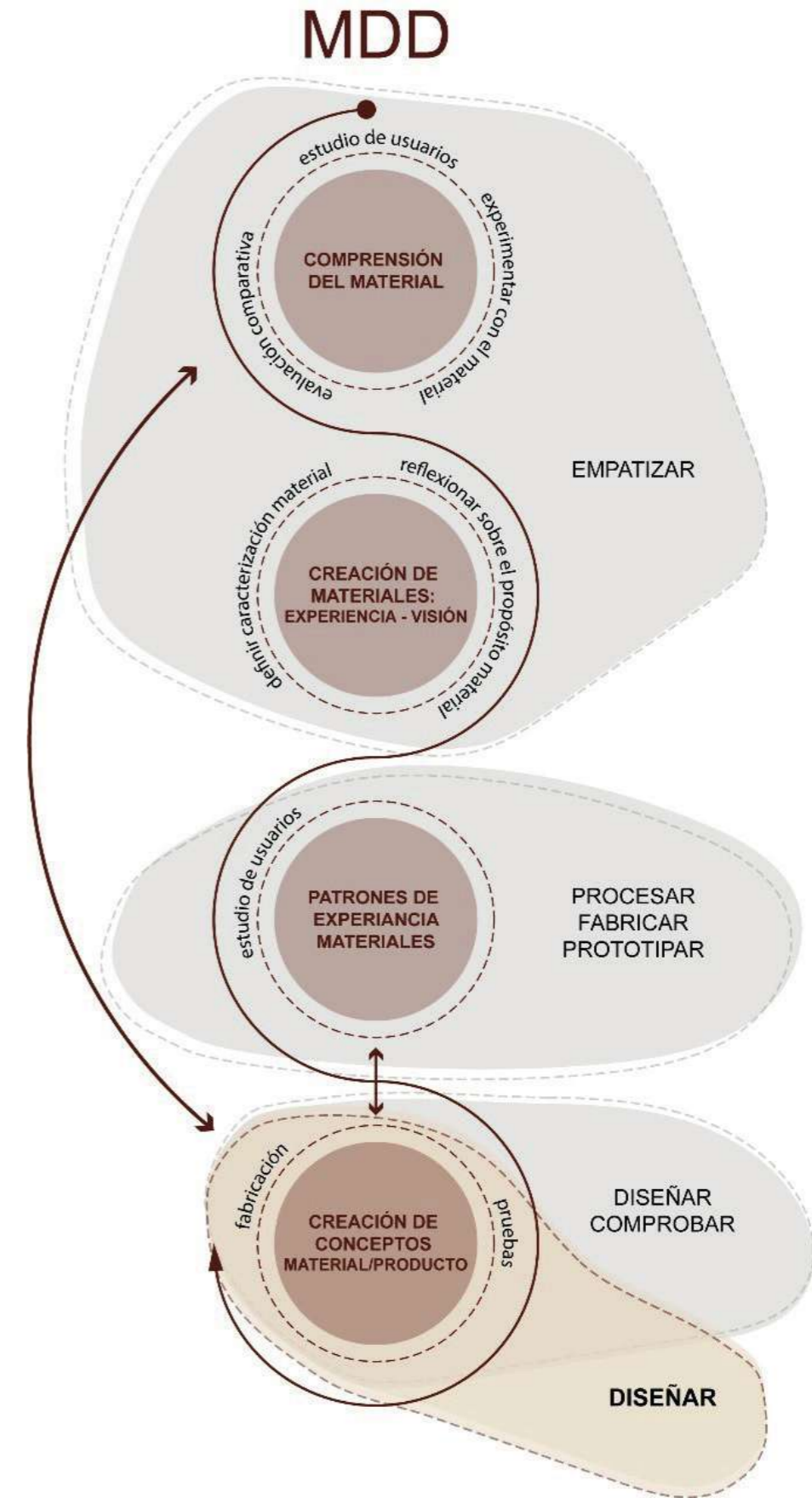


Diagrama del autor basado en metodologías Design Thinking y Material Driven Design de Karana et al.

Gráfico 2. Gráfico de JMPS

DIAGRAMA DE PROCESO GENERAL

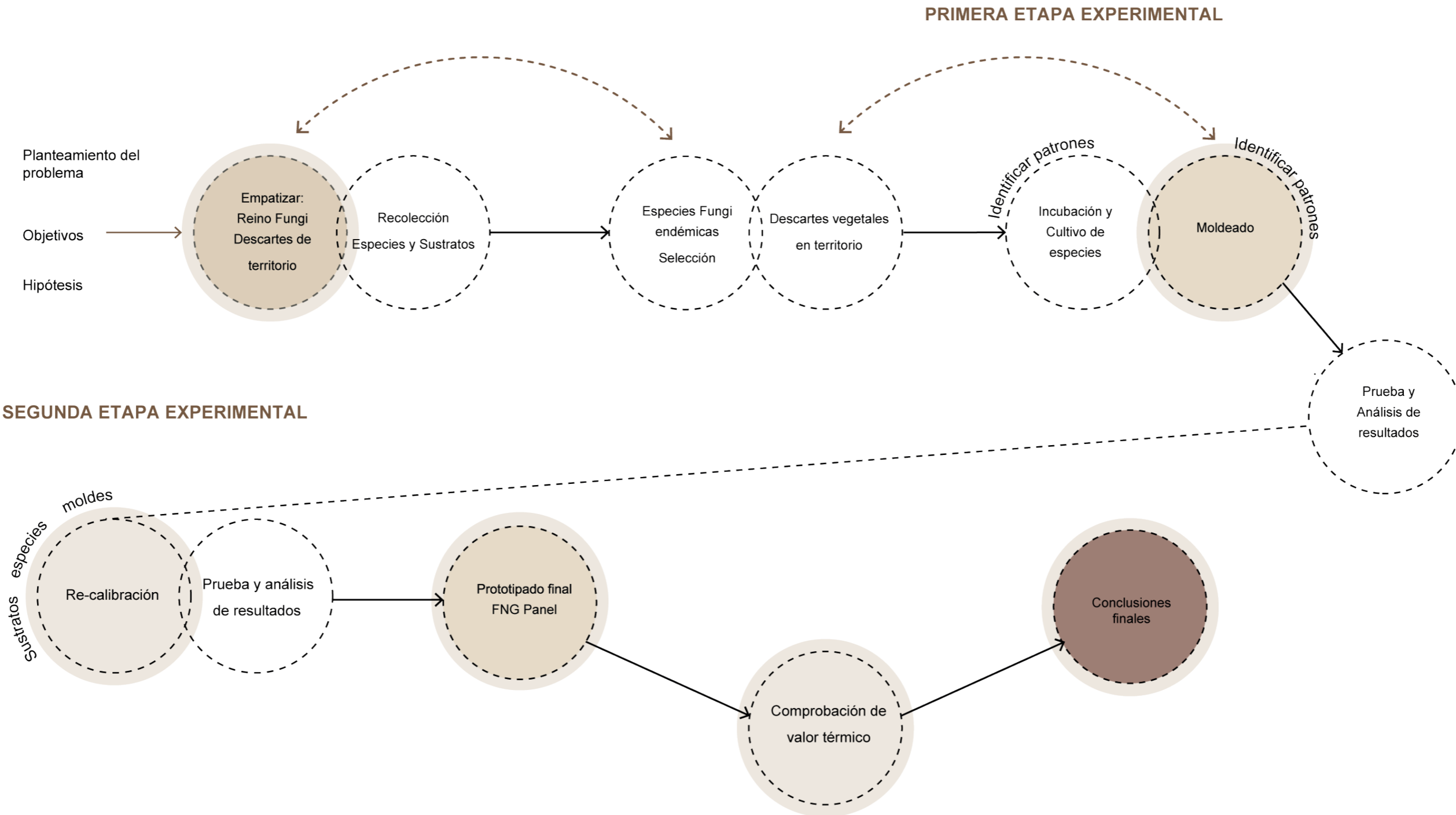


Gráfico 3. Gráfico de JMPS

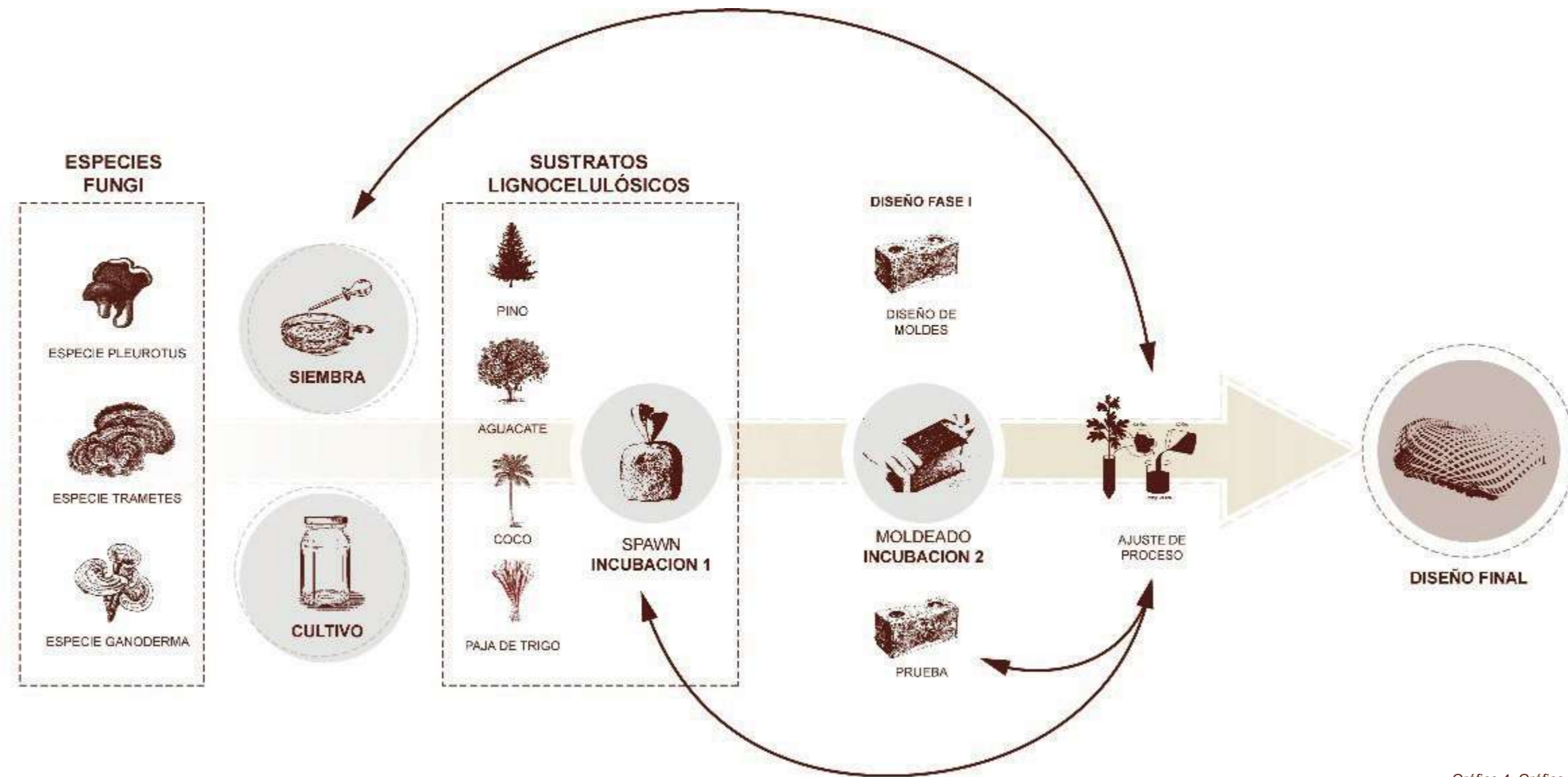


Gráfico 4. Gráfico de JMPS

El manejo del micelio requiere el cuidado específico de varias fases de incubación, cada una con sus tiempos y condiciones ambientales particulares. La primera incubación considera el su cultivo en cajas de Petri o frascos con grano.

La segunda incubación corresponde al cultivo en bolsas, conocidas como spawn, requiere entre tres y cuatro semanas dependiendo de las características específicas de temperatura, humedad y la especie Fungi. Durante estas dos primeras fases de incubación, es necesaria la ausencia de luz o en su defecto, el uso solamente de luz azul.

La última incubación se da al colocarse el sustrato en el molde donde tendrá su fase final de incubación hasta que las piezas tengan su característico color blanco y las hifas hayan aglutinado el sustrato completamente. La pieza final requiere de secado a temperatura ambiente con condiciones de humedad controlada que puede ser de una o dos semanas.

Por último se puede realizar un secado con calor, lo que inactiva el crecimiento futuro de micelio en las piezas y confiere resistencia adicional.



TRAMETES



PLEUROTUS



GANODERMA





Fotografía 7. Fotografía de JMPS

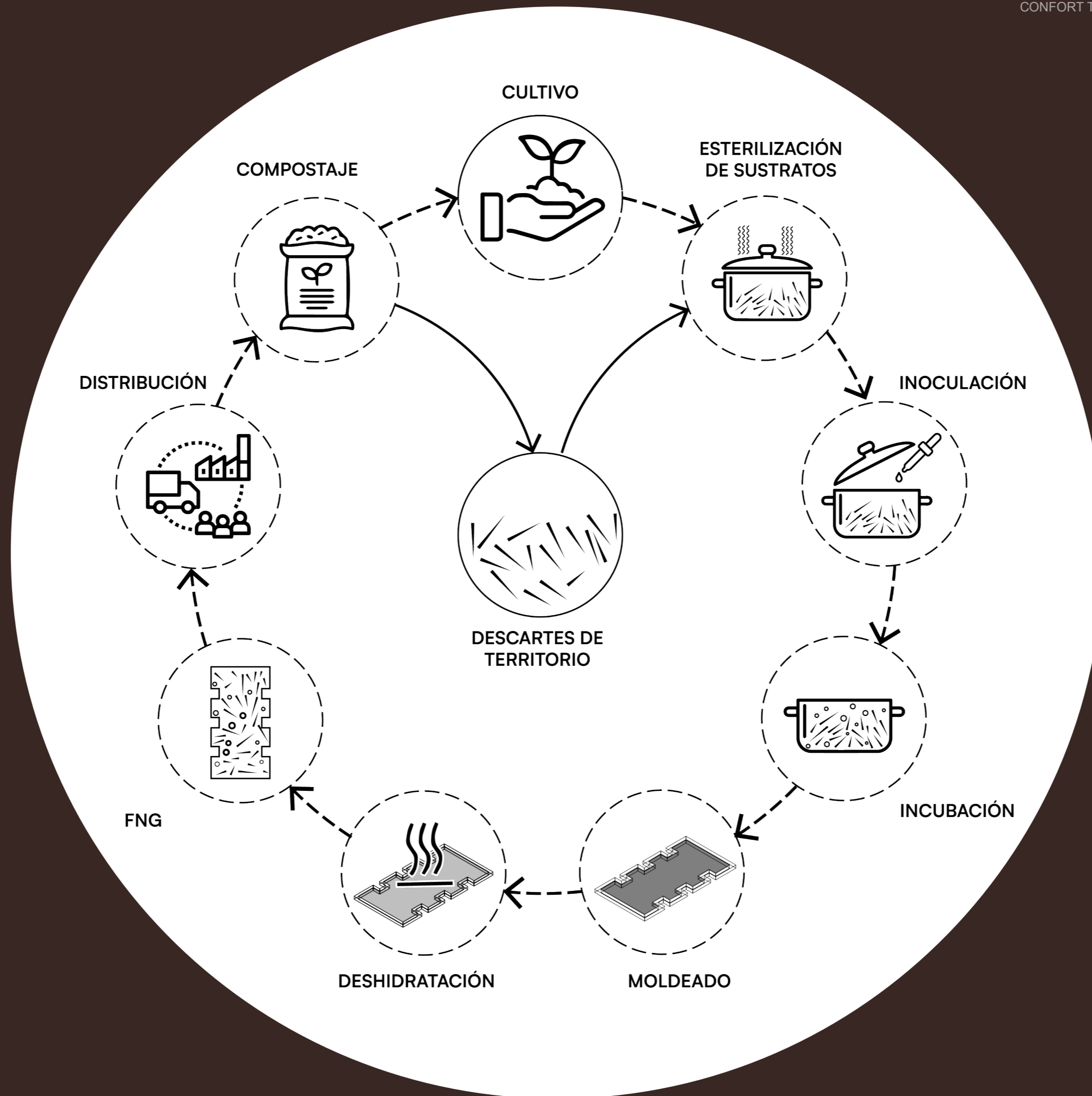
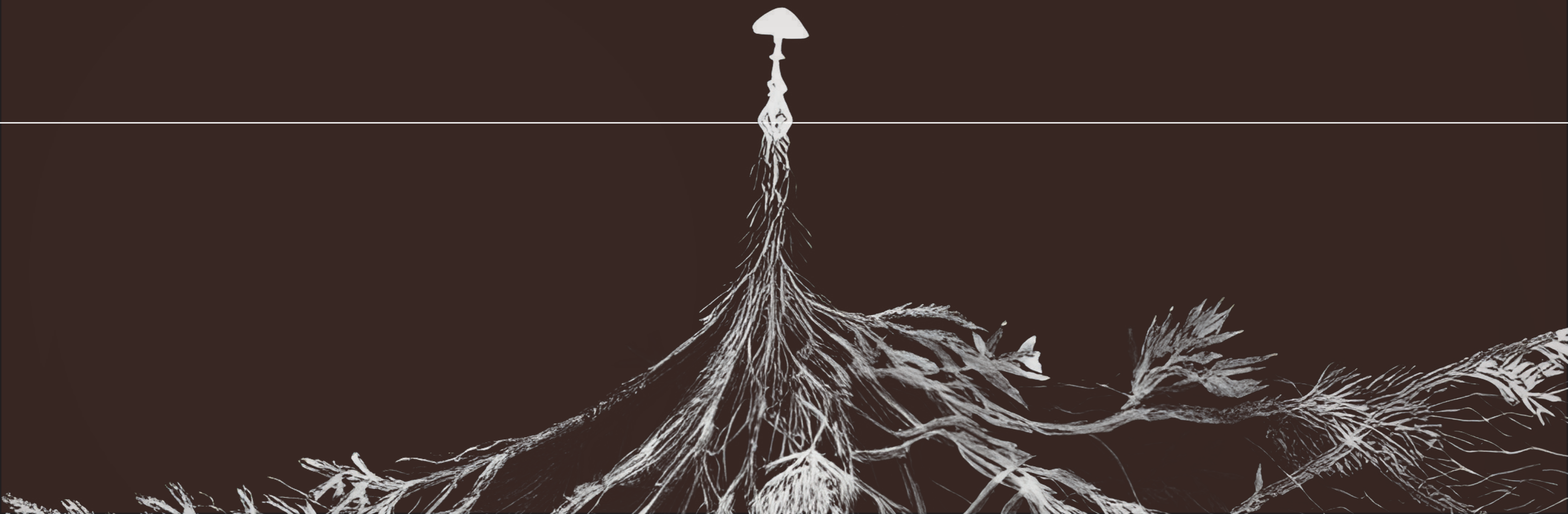


Gráfico 6. Gráfico de JMPS

04



PROCESO DE DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la elaboración del micelio se recurrió a dos fuentes de especies de Fungi. En primer lugar, se obtuvieron muestras en cajas de Petri, proporcionadas por el personal de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana. Además, se adquirió grano inoculado a través del sitio mercadolibre.com.mx.

Las especies obtenidas en Petri fueron *Pleurotus*, *Ganoderma* y *Trametes*, recolectadas en diversas regiones del estado. Por su parte, las especies adquiridas comercialmente en sorgo inoculado fueron *Pleurotus* y *Ganoderma*.

Las muestras en Petri se inocularon en grano hervido y posteriormente esterilizado en frascos, para luego ser transferidas al sustrato vegetal. En cuanto al grano inoculado comercialmente, este se aplicó directamente a las bolsas de sustrato vegetal (spawn).

El sustrato, humedecido al 60%, se colocó en bolsas especiales para autoclave y se esterilizó durante una hora en una olla de presión antes de cualquier proceso. La inoculación se realizó dentro de una still air box, asegurando un ambiente libre de contaminantes y utilizando un mechero de alcohol para mantener la esterilidad.

Para el proceso final, las piezas se dejaron secar a temperatura ambiente hasta que la humedad superficial desapareció. Algunas de las piezas fueron sometidas a horneado a 60°C durante aproximadamente dos horas, con el fin de inactivar el crecimiento futuro de micelio adicional y conferir mayor rigidez a las piezas.

Fotografía 8. Fotografía de JMPS



Una vez obtenidas las bolsas de sustrato inoculado o spawn, se dejaron incubar por tres o cuatro semanas en ausencia de luz, hasta que el sustrato presentó la característica podredumbre blanca del micelio en casi toda la bolsa. Posteriormente, se transfirió a moldes, donde permaneció en incubación por dos semanas más, o hasta que se observó el mismo recubrimiento blanco

Un primer acercamiento al micelio consistió en explorar las especies proporcionadas que presentaban un mejor crecimiento en laboratorio, así como identificar los componentes de los sustratos que ofrecieran el mayor aporte en lignina y celulosa. Se comenzó con aserrines pero estos retenían demasiada humedad y formaban un material más frágil. Gradualmente, se aumentó la granulometría con la paja de trigo, la fibra de coco, o viruta de pino.

Algunas especies, como *Trametes*, fueron descartadas debido a que no lograron desarrollarse en las condiciones de humedad, temperatura y tipo de sustrato establecidas. Todo este proceso permitió una mejor comprensión de las características tanto del sustrato como de las especies. El factor de la humedad resultó clave: su falta impedía el crecimiento adecuado de las muestras, mientras que el exceso provocaba la descomposición del spawn. El tiempo de incubación también fue determinante, ya que algunas especies requerían hasta cinco semanas de incubación, mientras que otras solo tres.

Desde el inicio fue importante controlar la contaminación de las muestras a lo largo de todo el proceso. A pesar de la esterilización de los utensilios, la contaminación del aire resultó ser el problema más persistente. El uso de la *Still Air Box* fue fundamental durante el proceso de inoculación de las muestras.

Fotografía 9. Fotografía de JMPS





Fotografía 10. Fotografía de JMPS

Las primeras incubaciones se hicieron rodeando el área con latas de alcohol sólido sin embargo, la contaminación de las muestras persistía.



Fotografía 11. Fotografía de JMPS

Al usar una *still air box* con un mechero de alcohol encendido al interior, se redujo o eliminó la contaminación en las muestras.



Fotografía 12. Fotografía de JMPS

El material obtenido con mayor porcentaje de aserrines de granulometría fina, resultaron bajos en resistencia y frágiles al manejo



Fotografía 13. Fotografía de JMPS

Se aumentó gradualmente al sustrato granulometría mas gruesa como la de paja de trigo para aumentar resistencia.



Fotografía 14. Fotografía de JMPS

De los materiales con granulometría más gruesa, la paja de trigo resultó una de las mejores opciones, abundante en territorio y buena fuente de celulosa y lignina.



Fotografía 15. Fotografía de JMPS

La mezcla de paja de trigo y viruta de pino aporta mas resistencia y es colonizada fácilmente por las especies Fungi, en especial la *Pleurotus*.

LOS MOLDES Y SUS MATERIALES

Madera forrada con cinta adhesiva.



Fotografía 16. Fotografía de JMPS

Los primeros moldes utilizados fueron de madera forrados con cinta plástica con el fin de evitar adhesión del micelio a la madera durante la última incubación. En general la madera recubierta tiene buenos resultados y fue uno de los materiales para moldes más usado en el proceso.

Madera forrada con vinil adhesivo.



Fotografía 17. Fotografía de JMPS

Un molde de madera de mayor dimensión fue utilizado posteriormente, esta vez recubierto con vinilo adhesivo, sin embargo se observó durante el desmolde, que las piezas deberían de ser de menores dimensiones para su mejor manejo.

Molde de silicon para hornear.



Fotografía 18. Fotografía de JMPS

En la exploración de materiales en moldes, se utilizaron los fabricados en silicon para hornear, de 30X30 cm, la desventaja del molde es su falta de rigidez que al desmoldar podía romper las muestras.

Acrílico de 3 y 6 mm reforzada en marco de madera.



Fotografía 19. Fotografía de JMPS

La mica transparente de tres milímetros resulto uno de los mejores materiales por su rigidez y la facilidad para su inspección durante la incubación. Se probó con espesor de seis milímetros aunque no mejoró el moldeado o el manejo sobre el acrílico más delgado de tres milímetros, se agregaron marcos de madera para rigidizar el molde.

PRIMERAS CONCLUSIONES

Sustratos	Humedad	Especies Fungi	Temperatura	Tiempos de incubación
Paja de trigo	50% - 60%	Pleurotus	22°C - 30°C	Cajas petri o frascos
Viruta de pino		Ganoderma		1 a 2 semanas
Rastrojo de maíz				Spawn 3 a 4 semanas
				Moldes 2 semanas

La elección de los materiales del sustrato se hace en base a la resistencia que puede proporcionar a las piezas, característica necesaria para el desarrollo del panel.

Se observó que humedad inferior a esta resulta insuficiente para el crecimiento del hongo y humedad superior genera mas fácilmente pudrición no deseada.

En las condiciones de laboratorio y sustratos elegidos, la especie Pleurotus produjo mejores resultados, seguida de la especie Ganoderma.

Temperatura inferior a 22 °C inhibe y alarga el tiempo de incubación y temperatura superior a 30°C detiene el crecimiento y causa pudrición.

Los tiempos de incubación varían según condiciones de temperatura y humedad del ambiente, estos tiempos están basados en crecimiento de Pleurotus, se observó mayor tiempo en la incubación de Ganoderma.



Fotografía 20. Fotografía de JMPS

Ejemplo de muestra contaminada en cajas petri, la podredumbre debe ser uniforme y blanca, el cambio de color implica contaminación de la muestra.



Fotografía 22. Fotografía de JMPS

Ejemplo de muestra contaminada en molde, también se puede apreciar cambio coloración en el proceso de esta última incubación



Fotografía 21. Fotografía de JMPS

Ejemplo de muestra de spawn dañada por calor excesivo, la temperatura al interior de hasta 35°C detuvo el crecimiento y origino podredumbre no blanquecina.



Fotografía 23. Fotografía de JMPS

Otra muestra contaminada en molde, algunos materiales requieren doble esterilización antes de incluirse en el sustrato, en este caso cartón de empaque de huevo.

PRIMEROS RESULTADOS

Sustratos

Humedad

Temperatura

Al inicio del proceso de elaboración de micelio, se presentaron fallas constantes, siendo el principal problema la contaminación de las muestras, tanto en las cajas Petri como en los sustratos. Dado que el laboratorio no contaba con una campana de flujo laminar, la inoculación se realizó inicialmente protegiendo el espacio inmediato con latas de alcohol encendidas. Sin embargo, este método no logró aislar completamente las muestras del aire contaminado.

Como alternativa, se utilizó una still air box, que ayudó a controlar el flujo de aire durante la inoculación. A pesar de esto, la contaminación persistía en las muestras de sustrato. Para mitigar el problema, se decidió que las semanas de reposo del spawn se realizaran en un área con menor flujo de aire.

Posteriormente, se habilitó un segundo laboratorio dentro del mismo edificio, donde se protegió un área cubriendo paredes y techo con plástico, lo que evitó la circulación directa de aire. Este cambio permitió observar una disminución gradual en la contaminación del spawn.

Después de algunas semanas y con un control más estricto sobre el área de trabajo y los utensilios, la contaminación se redujo significativamente, hasta el punto de que fue posible obtener spawn adecuado para el moldeado. Por lo tanto, se continuó trabajando en esta área, que además ofrecía un mejor control de la humedad.

Otro desafío importante fue el control de la temperatura durante los meses de mayo y junio, cuando se registraron valores récord de hasta 35 °C dentro del laboratorio. Estas condiciones provocaron la descomposición de las muestras y la pérdida de gran parte del material en cultivo. Fue necesario esperar varias semanas, hasta el inicio de la temporada de lluvias, para que las temperaturas fueran nuevamente adecuadas para el cultivo de nuevas muestras.

Con la llegada de la temporada de lluvias, surgió otro problema: la temperatura descendió a 20 °C o menos, lo que ralentizó significativamente la incubación del spawn. Para contrarrestar este efecto, se utilizó un calentador doméstico que permitió mantener una temperatura constante de 22 °C. Durante este periodo, la elevada humedad ambiente, típica de la temporada de lluvias, resultó beneficiosa y se mantuvo dentro del espacio confinado en un 60 %.

Todos los cultivos se llevaron a cabo a temperatura ambiente, lo que evidencia la necesidad de contar con sistemas de control artificial de temperatura y humedad para garantizar incubaciones estables durante todo el año. De no ser posible implementar dicho control, la producción debería limitarse a los meses en los que las condiciones ambientales sean favorables, excluyendo mayo y junio, cuando las temperaturas alcanzan máximos y la humedad desciende a niveles mínimos.

PRIMEROS RESULTADOS

Especies

Tiempos de incubación

De las especies utilizadas, fue necesario realizar un primer cultivo en frascos que, en teoría, debería reproducirse sobre los sustratos sin contratiempos. Sin embargo, se observó que se obtenían mejores resultados al reproducirlas en una segunda generación o segundo cultivo. Este cultivo de segunda generación permitió que los sustratos desarrollaran una pudrición blanca más densa y uniforme en comparación con el primer cultivo.

Después de algunas semanas, y con un control más estricto sobre el área de trabajo y los utensilios, la contaminación se redujo significativamente, al punto de que fue posible obtener spawn adecuado para el moldeado. Por ello, se continuó trabajando en esta área, que además ofrecía un mejor control de la humedad.

Otro desafío significativo fue el control de la temperatura durante los meses de mayo y junio, cuando se registraron valores récord de hasta 35 °C dentro del laboratorio. Estas condiciones provocaron la descomposición de las muestras y la pérdida de gran parte del material en cultivo. Fue necesario esperar varias semanas, hasta el inicio de la temporada de lluvias, para que las temperaturas fueran nuevamente adecuadas para el cultivo de nuevas muestras.

Con esto surgió otro problema: la temperatura descendió a 20 °C o menos, lo que ralentizó significativamente la incubación del spawn. Para contrarrestar este efecto, se utilizó un calentador doméstico que permitió mantener una temperatura constante de 22 °C. Durante este periodo, la elevada humedad ambiental, típica de la temporada de lluvias, resultó beneficiosa y se mantuvo dentro del espacio confinado en un 60 %. Una vez que esta temperatura estuvo bajo control, el cultivo en spawn o moldes se mantuvo durante dos o tres semanas.

Todos los cultivos se llevaron a cabo a temperatura ambiente, lo que evidencia la necesidad de contar con sistemas de control artificial de temperatura y humedad para garantizar incubaciones estables durante todo el año. De no ser posible implementar dicho control, la producción debería limitarse a los meses en los que las condiciones ambientales sean favorables, excluyendo mayo y junio, cuando las temperaturas alcanzan máximos y la humedad desciende a niveles mínimos, así como enero, donde las temperaturas más bajas pueden inhibir su crecimiento.

05



CONCEPTO MATERIAL Y PATRONES DE EXPERIENCIA



Fotografía 24. Fotografía de JMPS

SV1



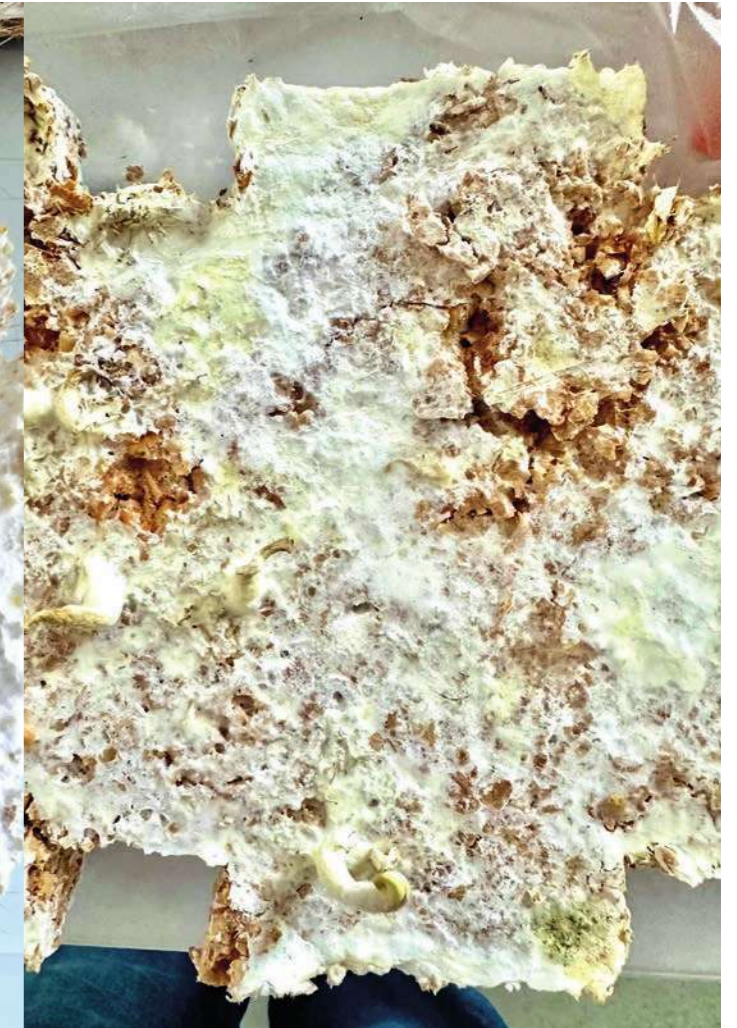
Fotografía 25. Fotografía de JMPS

SV4



Fotografía 26. Fotografía de JMPS

SV5



Fotografía 27. Fotografía de JMPS

SV6



Fotografía 28. Fotografía de JMPS

Fotografía 29. Fotografía de JMPS

SV7

La caracterización del material, según la metodología de Karana et al., es una etapa indispensable del proceso en la que se genera una primera idea del material. Esta idea inicial surgió a partir del uso de aserrín de diferentes árboles en los sustratos y su granulometría, con el objetivo de obtener mejores bordes al rellenar completamente los moldes. Aunque este objetivo se cumplió, las piezas resultantes presentaron baja resistencia (ver pág. 59).

SV8

Si bien esta caracterización pasó por varias etapas en las que se definieron la granulometría y la mezcla de materiales, se logró no solo una mejor adaptación a los moldes, sino también una mezcla que ofreciera un acabado menos áspero. Se buscó que la mezcla tuviera una resistencia media que permitiera su manipulación para su colocación sin el deterioro o quiebre de las piezas.

La búsqueda de estas características llevó a realizar pruebas con paja de trigo, que resultó ser el mejor material para proporcionar esta resistencia buscada, además de ser rico en lignina y celulosa, por tanto buen alimento para el desarrollo de las hifas del micelio. El sustrato elaborado a partir de este material fue inicialmente cortado a mano y luego con un molino de grano; sin embargo, su granulometría seguía siendo gruesa. Se añadió viruta de pino, que, al mantenerse húmeda durante el moldeado, permitía obtener un material más flexible y con bordes y superficies menos ásperas. Se comprobó que ambos ingredientes eran bien aprovechados por la especie *Pleurotus* durante la incubación, generando una capa blanca densa, tal como se deseaba.

El uso de los sustratos SV7, SV8 y la especie *Pleurotus* resultó en muestras moldeadas con una resistencia aceptable bajo las condiciones planificadas de tiempo, humedad y temperatura. Esta especie y los sustratos fueron seleccionados para las piezas finales, manteniendo siempre una proporción mayor de paja de trigo sobre viruta de pino (70%-30%), proporción que puede ajustarse para aumentar la resistencia hasta un 80% o 90%, dependiendo de las necesidades estéticas y de visibilidad de las piezas fabricadas.



Definición de sustratos

Muestra **SV1** Fecha: 15 abril 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Aserrín de pino	Aserrín de aguacate	Fibre de coco	Harina de trigo	
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
35%	35%	30%	150 g	
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus	15%	3 bolsa + 2 molde	70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	No	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco / Ocre	Regular	Puede mejorarse resistencia	

Tabla 2. Tabla elaborada por JMPS



Definición de sustratos

Muestra **SV2** Fecha: 18 abril 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Aserrín de pino	Aserrín de aguacate	Fibre de coco	Paja de trigo	Salvado de trigo
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
30%	20%	30%	20%	150 g
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus	20%	3 bolsa + 3 molde	70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	No	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco / Ocre	Regular	Puede mejorarse resistencia	

Tabla 3. Tabla elaborada por JMPS



Definición de sustratos

Muestra **SV3** Fecha: 13 mayo 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Paja de trigo	Harina de trigo			
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
35%	150 g			
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	15%	3 bolsa + 2 molde	70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	Si	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Buena resistencia, granulometría muy gruesa	

Tabla 4. Tabla elaborada por JMPS



Definición de sustratos

Muestra **SV4** Fecha: 16 mayo 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Paja de trigo	Harina			
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
35%	150 g			
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	15%	3 bolsa + 2 molde	70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	Si	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Buena resistencia, granulometría muy gruesa	

Tabla 5. Tabla elaborada por JMPS

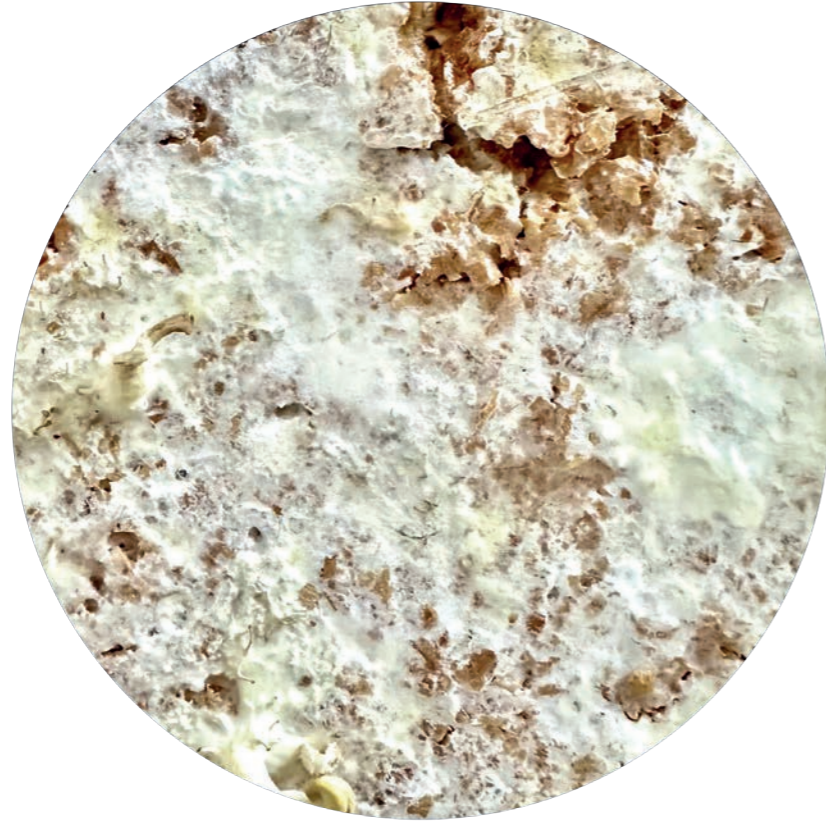


Definición de sustratos

Muestra **SV5** Fecha: 16 mayo 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Paja de trigo	Viruta de pino	Harina		
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
35%	60%	150 g		
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	20%	3 bolsa + 2 molde	60%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	Si	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Buena resistencia, granulometría media	

Tabla 6. Tabla elaborada por JMPS

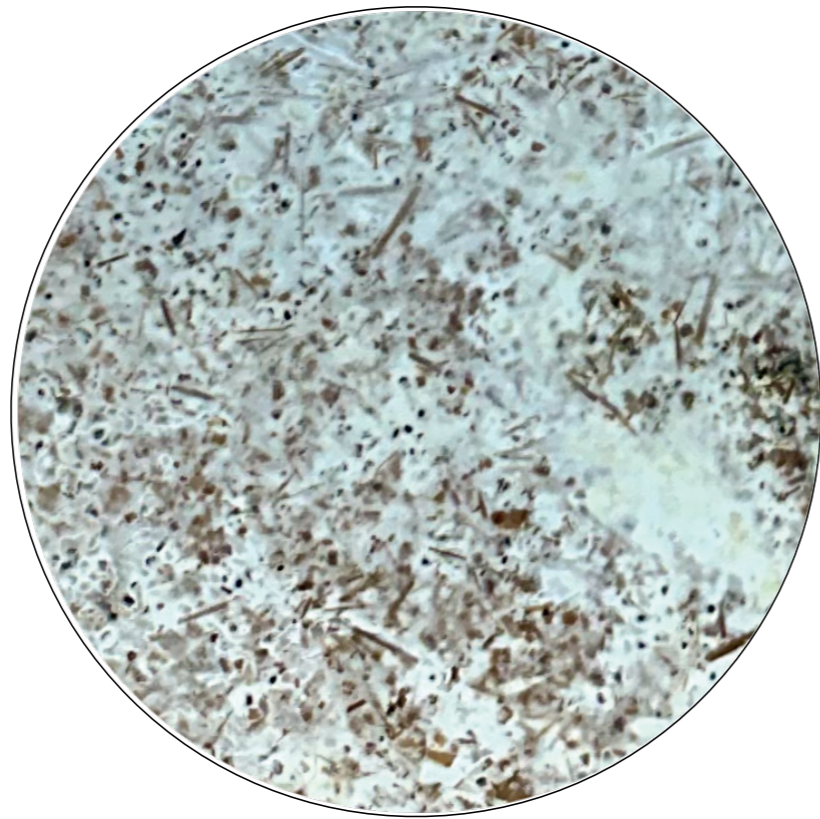


Definición de sustratos

Muestra **SV6** Fecha: 07 junio 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Viruta de pino	Harina			
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
95%	150 g			
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	20%	3 bolsa + 2 molde	60%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	Si	
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Baja resistencia, granumoletría media	

Tabla 7. Tabla elaborada por JMPS

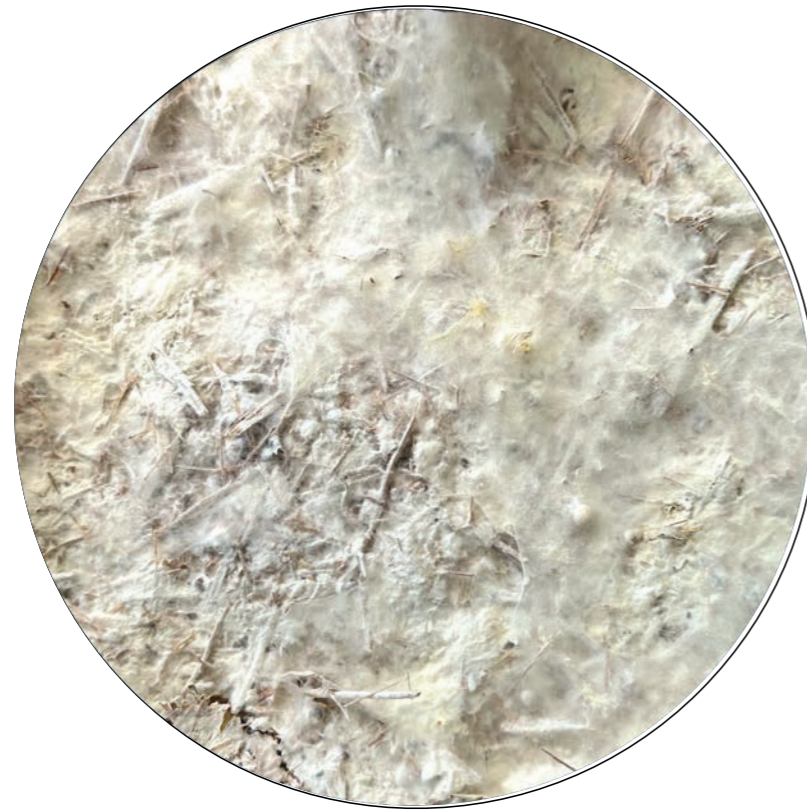


Definición de sustratos

Muestra **SV7** Fecha: julio 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Viruta de pino	Paja de trigo	Harina		
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
60%	30%	150 g		
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	20%	3 bolsa + 2 molde	60-70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	No	Inoculo
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Buena resistencia, granulometría media	

Tabla 8. Tabla elaborada por JMPS



Definición de sustratos

Muestra **SV8** Fecha: julio 2024

Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4	Ingrediente 5
Paja de Trigo	Viruta de pino	Rastrojo de maíz	Harina	
Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción	Cantidad/ Proporción
60%	20%	20%	150 g	
Especie usada	Cantidad de grano inoculada en peso	Tiempo en incubación en semanas	% de humedad	Método de esterilización
Pleurotus 2	20%	3 bolsa + 2 molde	60-70%	Olla de presión
Temp. promedio cultivo	Tiempo de secado	Secado mecánico	Luz UV	Otros
2 semanas	1 semana	No	No	Inoculo
Resistencia	Color	Superficie	Observaciones	
Media	Blanco	Regular	Buen resistencia, granulometría media	

Tabla 9. Tabla elaborada por JMPS

06



MOLDEADO

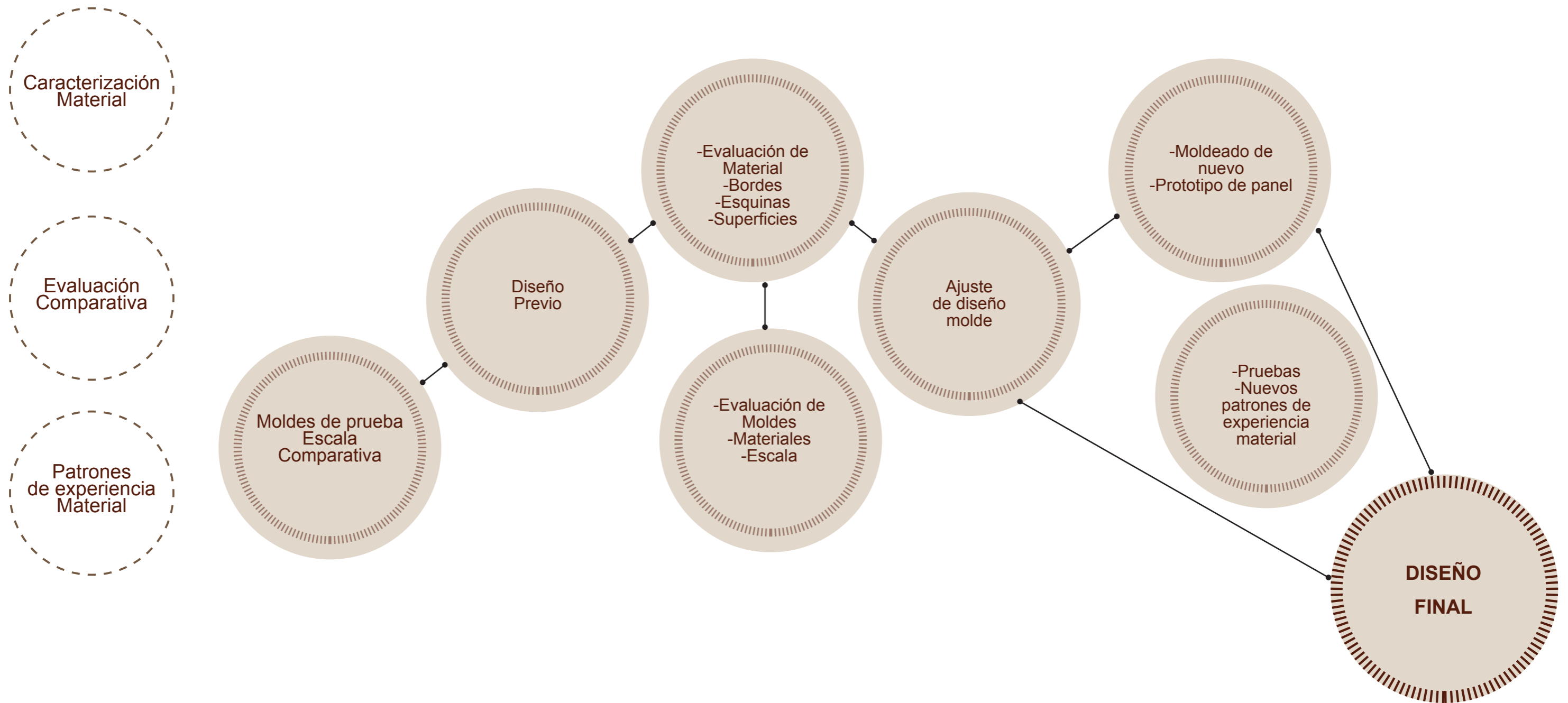
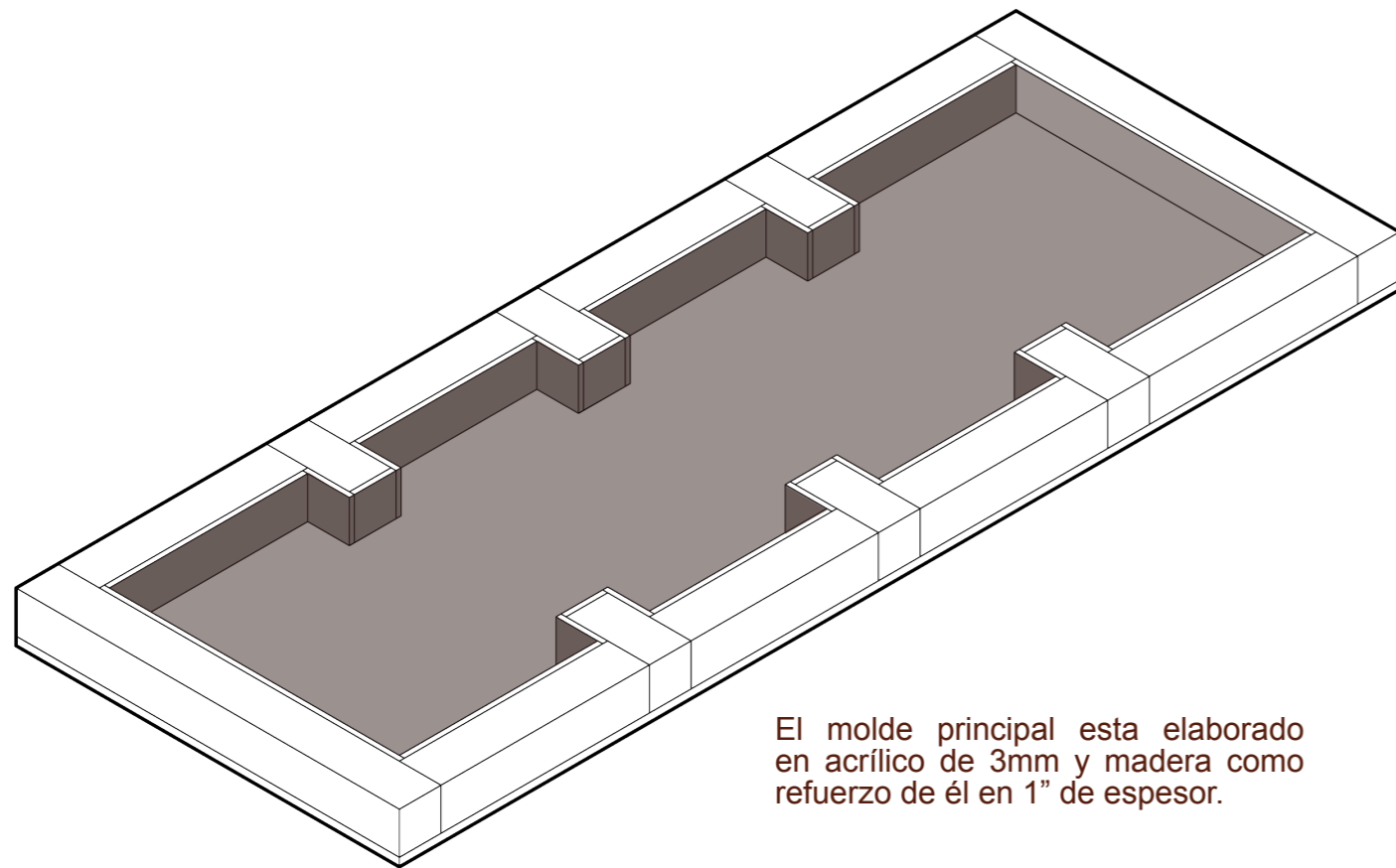


Gráfico 7. Gráfico de JMPS



El molde principal esta elaborado en acrílico de 3mm y madera como refuerzo de él en 1" de espesor.

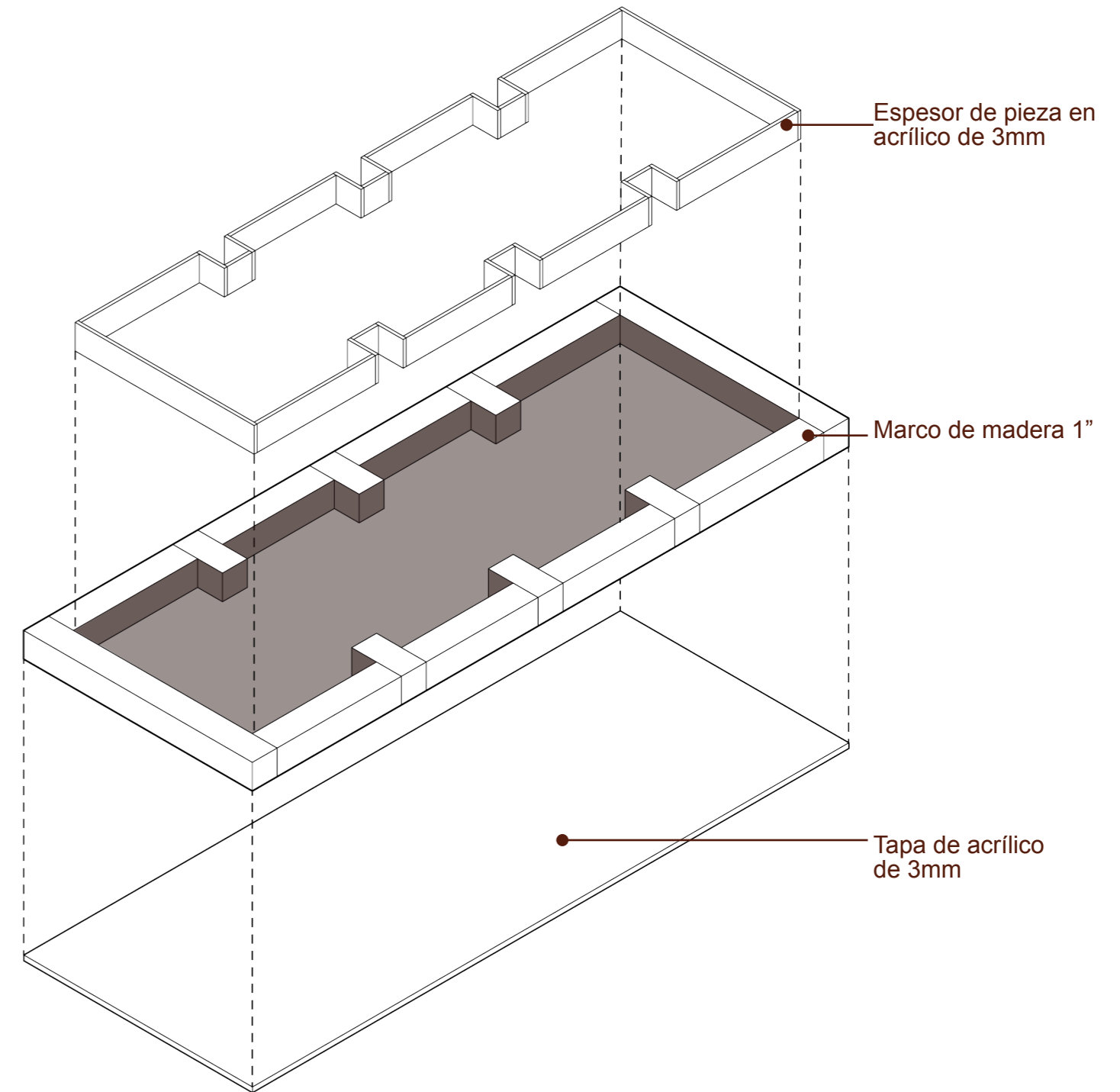


Gráfico 8. Gráfico de JMPS

Gráfico 9. Gráfico de JMPS



Fotografías 30. Fotografía de JMPS

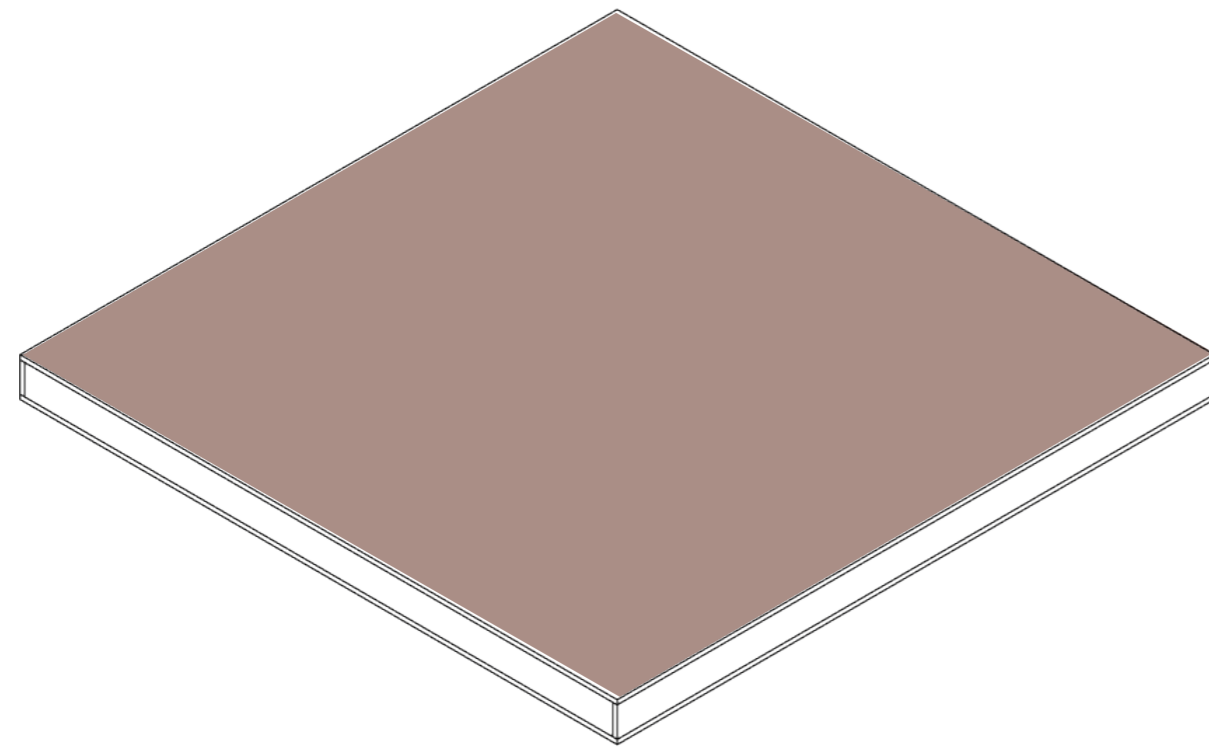
Para los moldes finales se utiliza acrílico de tres milímetros cortado por láser, el despiece permite también usar un marco de madera, en este caso cortado con sierra y de espesor de una pulgada. De esta forma, se puede ejercer presión sobre el acrílico sin romperlo o despegarlo, lo cual es necesario para obtener una buena densidad en las piezas al compactar el sustrato, para este propósito se utilizó una llana de albañilería.

El marco de acrílico y madera cuenta, además, con dos tapas más, lo que facilita el control de la humedad durante la última fase de incubación y permite observar la pieza desde sus dos caras más grandes, hasta que el micelio complete el crecimiento de la capa blanca deseada en ambas superficies.

El desmolde se realiza removiendo las dos tapas de acrílico y soltando el marco. Este sistema permitió obtener una pieza más uniforme, sin los bordes irregulares que se habían presentado con moldes anteriores y sin quiebres.

Otro molde se fabricó utilizando triplay de 40 x 40 centímetros, y para darle un espesor de un centímetro también se empleó acrílico. Una semana después de la incubación, se cubre con una tapa de triplay con las mismas características y se gira la pieza, dejándola incubar por una semana más para asegurar la adherencia del micelio en ambas caras del triplay.

El propósito de este panel es estudiar la adherencia del micelio a la madera y realizar una medición térmica. El soporte de madera puede ofrecer mayor rigidez estructural en caso de ser necesario. A diferencia de lo que ocurre con el acrílico, la adherencia a la madera requiere una esterilización más rigurosa y un control más estricto de la humedad en el sustrato.



Un segundo molde suma dos capas de triplay de 3mm y un relleno de micelio confinado en 1cm de acrílico.

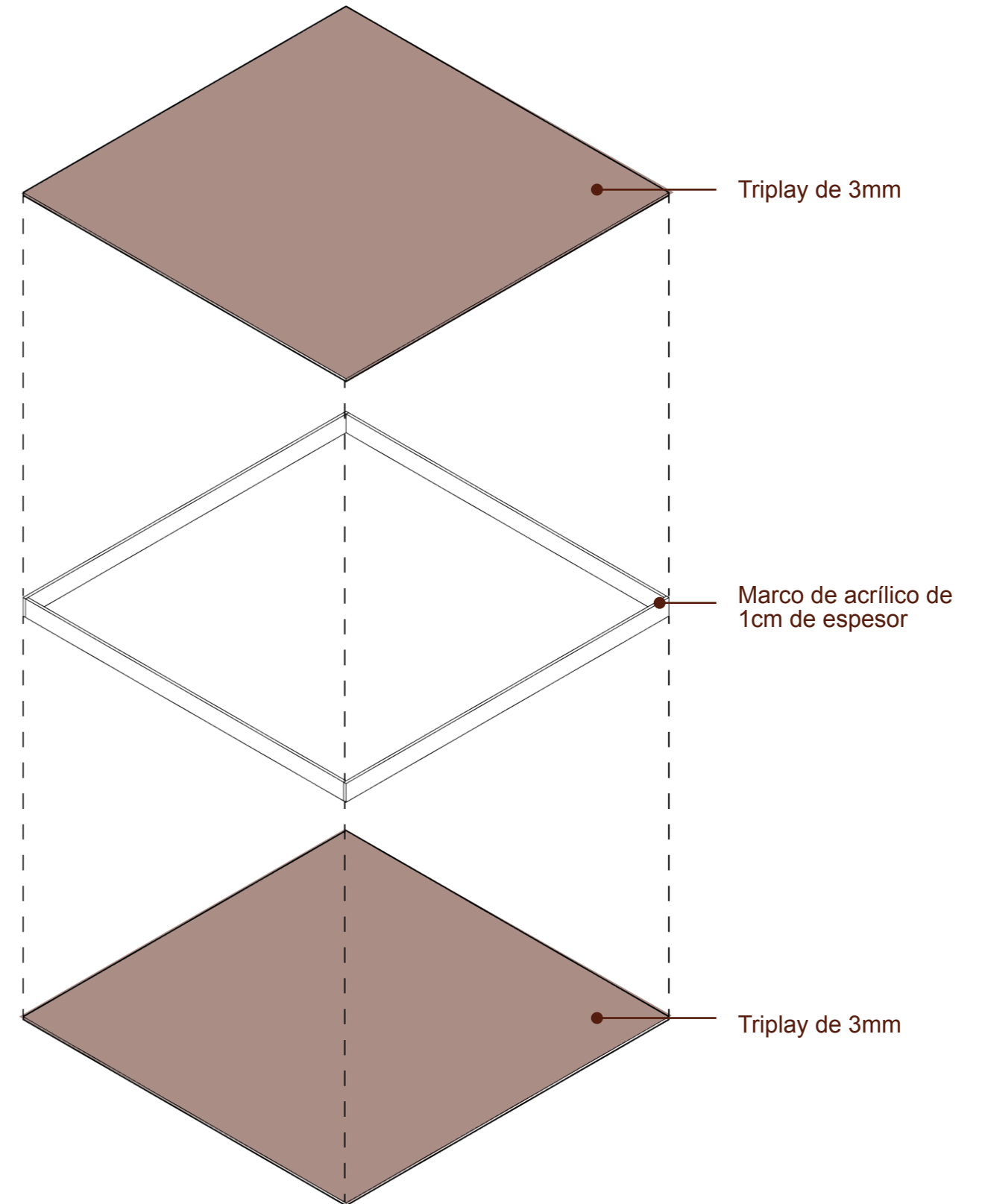


Gráfico 10. Gráfico de JMPS

Gráfico 11. Gráfico de JMPS

Fotografías 31. Fotografía de JMPS



Fotografías 32. Fotografía de JMPS

Fotografías 33. Fotografía de JMPS



Fotografías 34. Fotografía de JMPS

Se elaboró un panel de madera con relleno de micelio cultivado; sin embargo, no se logró concluir el proceso debido a problemas de contaminación. El objetivo era medir, en condiciones de laboratorio y mediante instrumentos especializados, el valor térmico del micelio, recreando un espacio a escala para este fin.

Los moldes utilizados, fabricados con triplay y un marco de acrílico cortado con láser, presentaron mayores dificultades durante la incubación del sustrato, ya que la contaminación surgía en algunos casos desde el inicio. También se probaron moldes de MDF con el mismo espesor, pero estos mostraron resultados similares en términos de contaminación. Esto sugiere que tanto el triplay como el MDF de 3 mm de espesor requieren un proceso de esterilización más riguroso que los métodos probados, los cuales incluyeron el uso de alcohol etílico al 90%, agua oxigenada al 20%, calor en horno y baños de cal.

Otro posible factor que afectó el proceso es que el uso de dos caras de material podría estar impidiendo el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono necesario para la incubación del micelio. Inicialmente, el sustrato se colocó sobre una de las caras del triplay o MDF buscando la adherencia del micelio. Después de una o dos semanas, se cubría con la segunda cara. Aunque en algunos casos las piezas lograban completar

la incubación y se alcanzaba el nivel deseado de colonización (pudrición blanca), la contaminación solía aparecer durante la fase final de secado.

Durante el proceso, se intentaron medidas adicionales para controlar la contaminación, como la adición de pequeñas cantidades de cal al sustrato y la aplicación de una mezcla pulverizada de agua destilada y agua oxigenada al 10%. El uso excesivo del baño de agua destilada y agua oxigenada detenía el crecimiento del micelio. Además, aunque se realizaron variaciones en el porcentaje de humedad, estas no lograron detener la contaminación. Será importante continuar con estas pruebas utilizando madera natural, ya que este material representa un soporte que podría ofrecer una mayor gama de aplicaciones al micelio, gracias a la resistencia combinada que se obtiene integrándolas.

Dado que los resultados previos sugieren que la contaminación provenía mayormente del aire, sería importante considerar el uso de una cámara que limite el flujo de este y mantenga la humedad de las piezas durante la incubación, hasta ahora, las muestras solo fueron cubiertas con plástico. También sería necesario probar con otra especie Fungi, que pueda adaptarse mejor a condiciones de incubación con un intercambio de oxígeno más limitado.

07

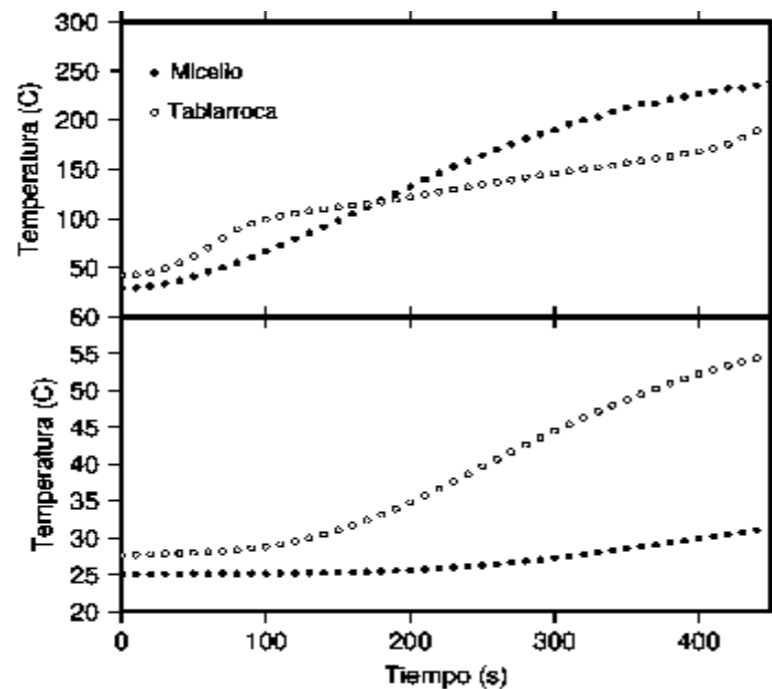


EVALUACIÓN TÉRMICA DEL FNG PANEL

Para comprobar el valor térmico del micelio se hizo una primera prueba utilizando como testigo otro material, este caso tablarroca. La prueba se realizó aplicando calor con una pistola y con un cristal de por medio, de tal forma que se pudiera distribuir este uniformemente. Se tomó lectura utilizando cables termopar conectado en ambas caras del material, a un registrador de datos HOBO utilizando el software HOBOWare.

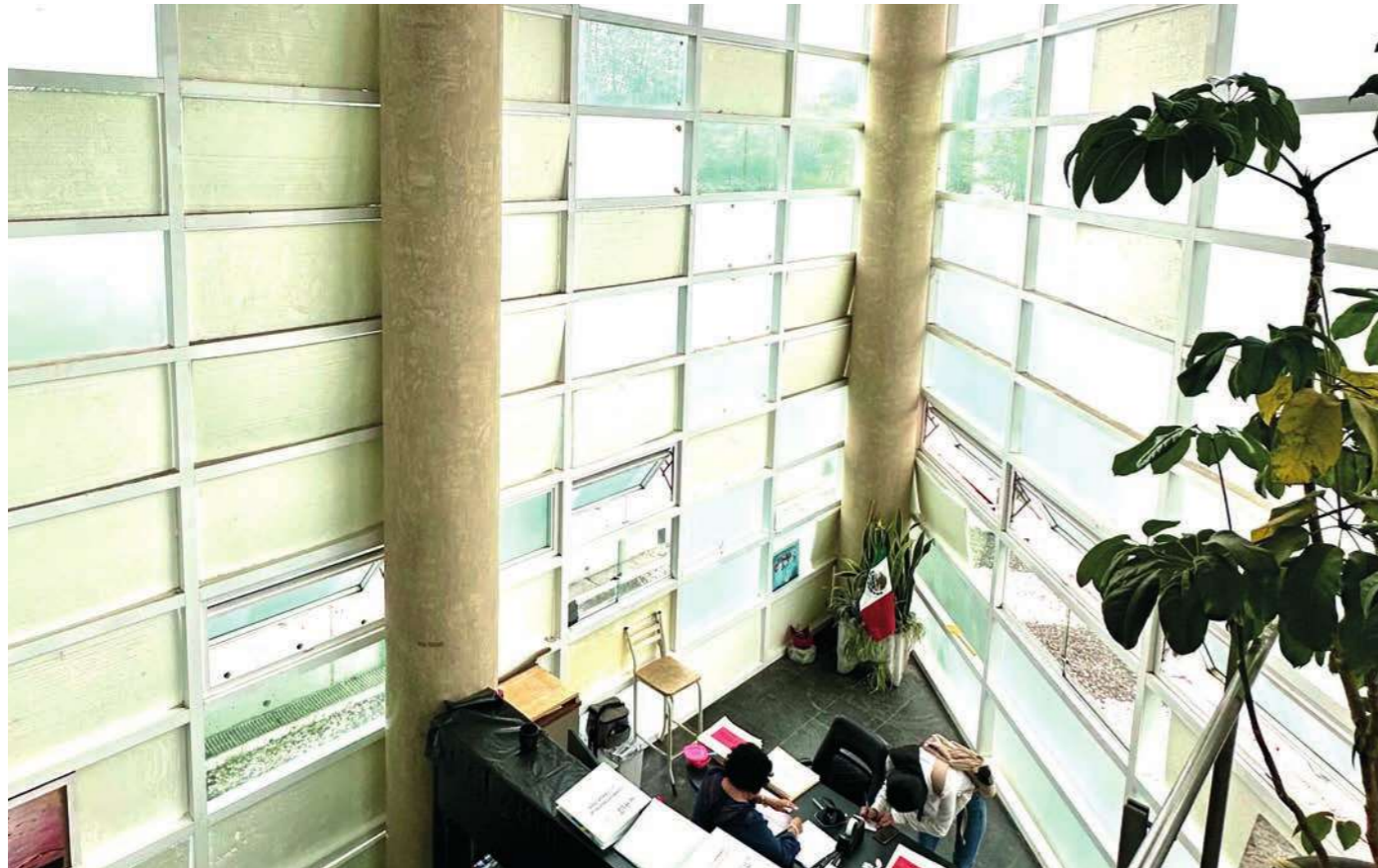
El tiempo para cada muestra se midió en un rango de 30 a 40 minutos aplicando una temperatura de hasta 200°C, al efectuar la prueba algunos factores pudieron acortarla como el límite de temperatura del sensor. En esta prueba se aplicó una temperatura con la pistola de calor buscando obtener una curva desde el calentamiento y su pico, hasta la recuperación a la temperatura de inicio del material analizado.

En ambos casos se aplicó calor observándose mayor capacidad calorífica en Micelio, a diferencia de la tablarroca, la temperatura ganada por el micelio fue mínima y por lo tanto el tiempo de recuperación también, según se puede observar en la siguiente gráfica



Fotografías 35. Fotografía de JMPS





Fotografías 36. Fotografía de JMPS



Fotografías 37. Fotografía de JMPS. Edición JMPS

Se realizó una segunda medición en un espacio de oficina ubicado en la Facultad de Arquitectura de la U.M.S.N.H., en la ciudad de Morelia. Este experimento se llevó a cabo utilizando cables termopar conectados a registradores de datos HOBO. En esta ocasión, se utilizó micelio como material principal, acompañado de dos materiales de referencia: tablarroca, como en la medición anterior, y poliestireno expandido (EPE).

Todos los materiales fueron colocados en un marco de ventana de 9 cm de profundidad, equipado con cables termopar y sensores en ambas caras. El primer sensor registró la temperatura en la superficie del material, orientada hacia el espacio de oficina, mientras que el segundo midió la temperatura en una cámara de aire expuesta a la radiación solar a través de un cristal.

Además, se emplearon registradores de datos HOBO para medir la temperatura ambiente, tanto en el interior como en el exterior, con el objetivo de compararla con las mediciones obtenidas en los materiales. El experimento se realizó durante el mes de noviembre de 2024. La primera lectura tuvo que descartarse debido a una falla en uno de los registradores HOBO. Sin embargo, una segunda medición se llevó a cabo durante una semana, con todos los registradores funcionando de manera simultánea. A partir de las pruebas iniciales, se observó que el micelio presentaba una notable capacidad calorífica, evidenciada previamente en pruebas de laboratorio. Esta capacidad generó una diferencia de temperatura de hasta 30 °C entre las caras expuestas al calor y las que no lo estaban.

En el esquema siguiente se presenta el detalle del espacio utilizado para la medición, así como la configuración del montaje. Adicionalmente, se colocó un registrador HOBO en el área exterior del edificio para medir la temperatura y la humedad ambiente. De manera complementaria, se instaló otro registrador en un área interior próxima con el propósito de comparar estos datos, especialmente con las temperaturas obtenidas en la cámara de aire generada en el marco de la ventana.

ESQUEMAS DE MONTAJE DE PRUEBAS

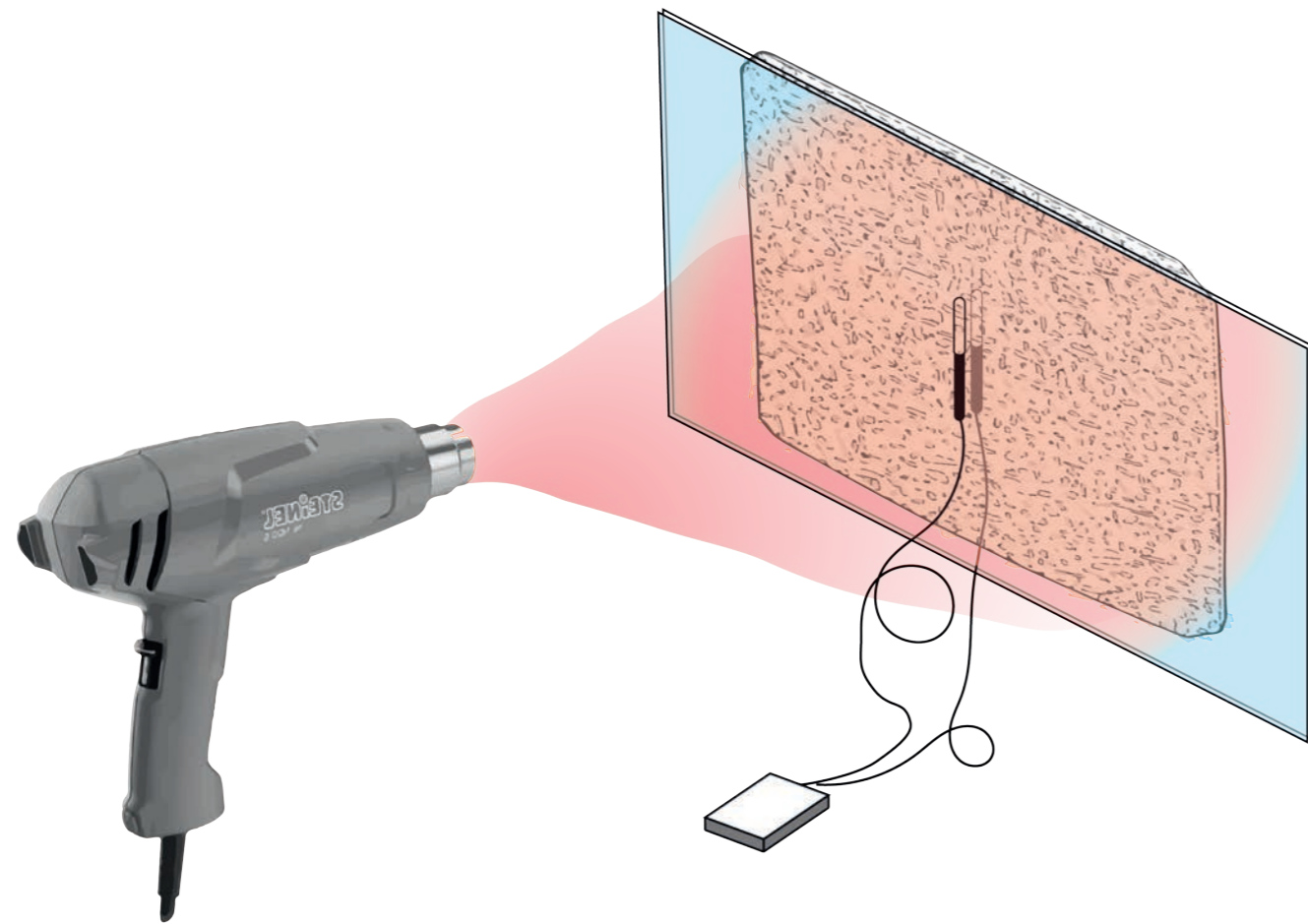


Gráfico 12. Gráfico de JMPS

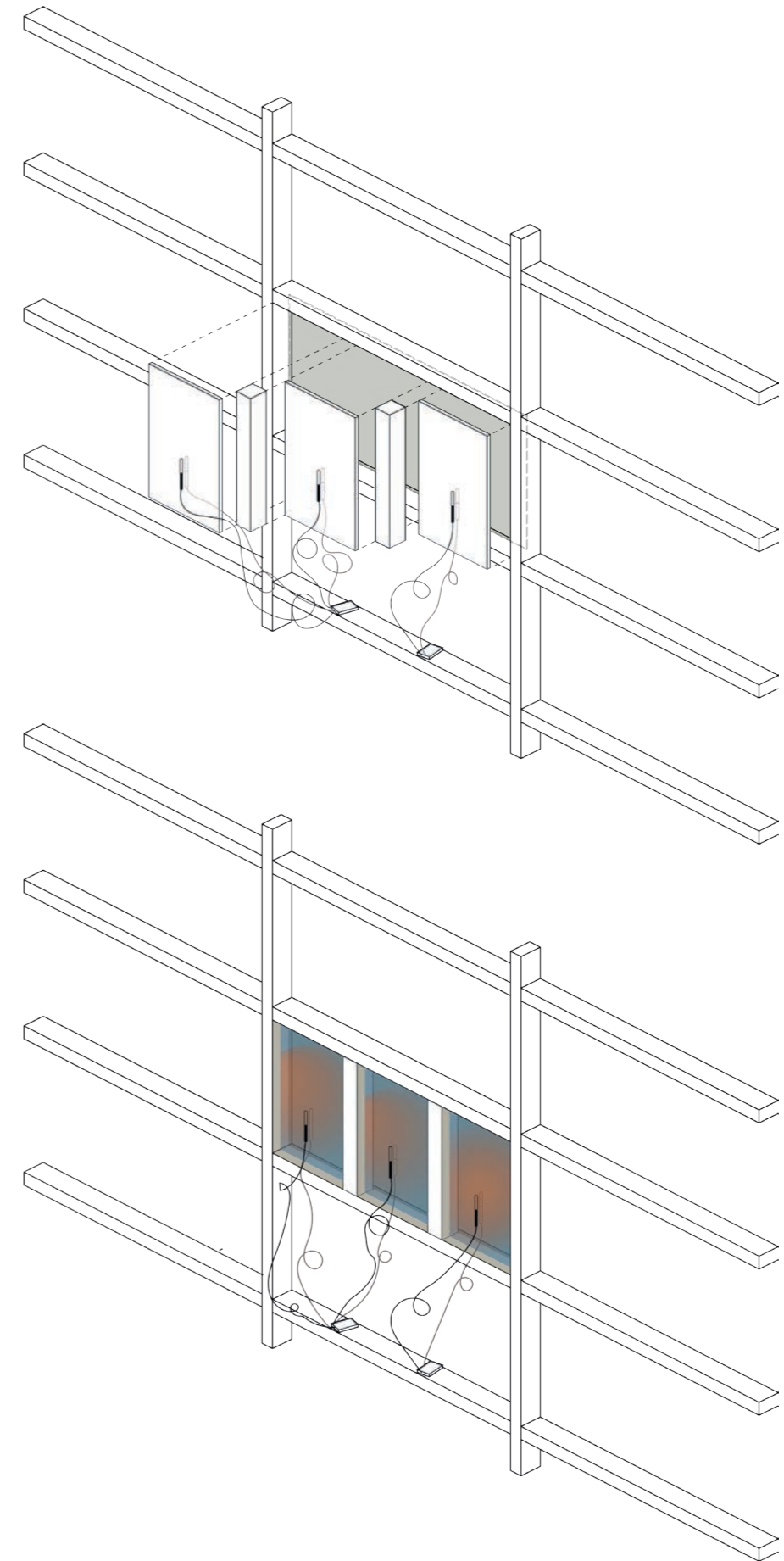


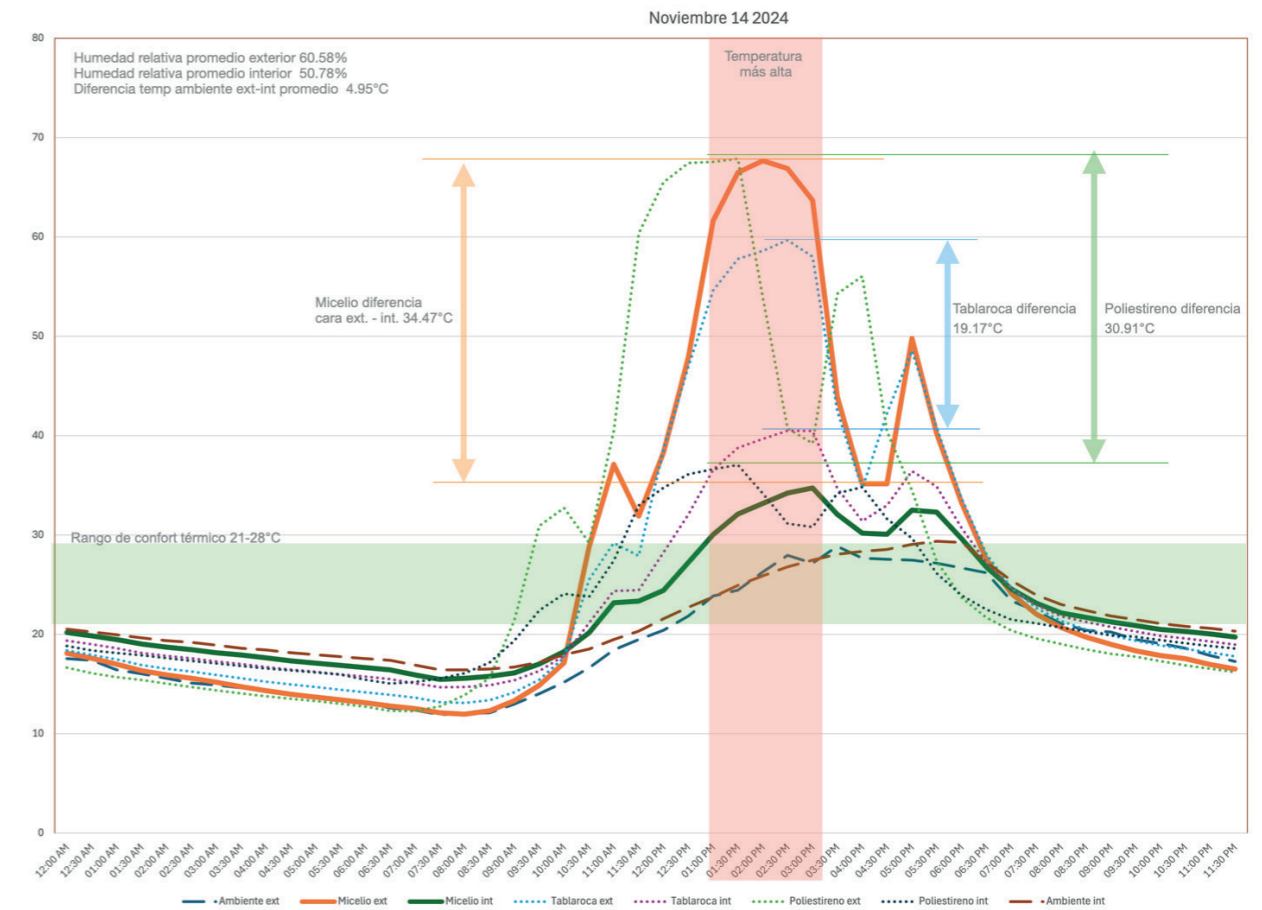
Gráfico 13. Gráfico de JMPS

Se muestran continuación los resultados de la medición térmica, las gráficas presentan una evaluación diaria a lo largo de siete días, en línea continua se aprecia el micelio y en línea discontinua la de los materiales testigo (tablaroca y poliestireno expandido) así como las mediciones de temperatura ambiente.

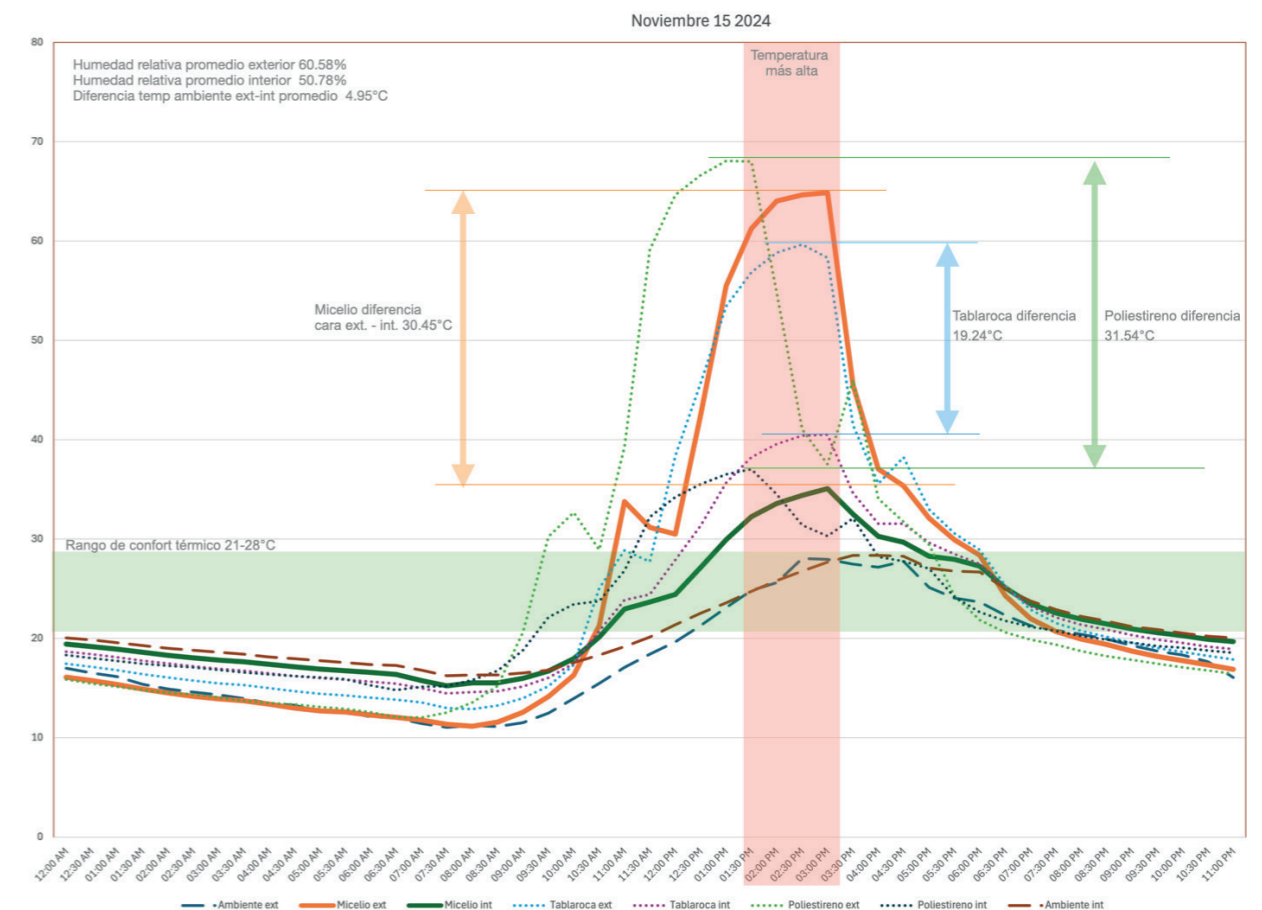
En el extremo superior derecho los gráficos muestran el porcentaje promedio de humedad relativa tanto en interior como en exterior así como la diferencia de temperatura promedio. Tanto el micelio como los materiales testigo están indicados con una diferencia de temperatura en las dos caras analizadas, interior ubicada dentro del espacio de oficina analizado y exterior o expuesto en la cámara de aire generada.

Las temperaturas mínimas analizadas ocurrieron en un horario de 7:00 a 8:00 de la mañana y las máximas en un horario de 01:00 a 03:00 de la tarde, estas ultimas sirvieron para indicar las temperaturas pico donde se prueba la capacidad calorífica de los tres materiales, en especial la baja transferencia de calor del micelio.

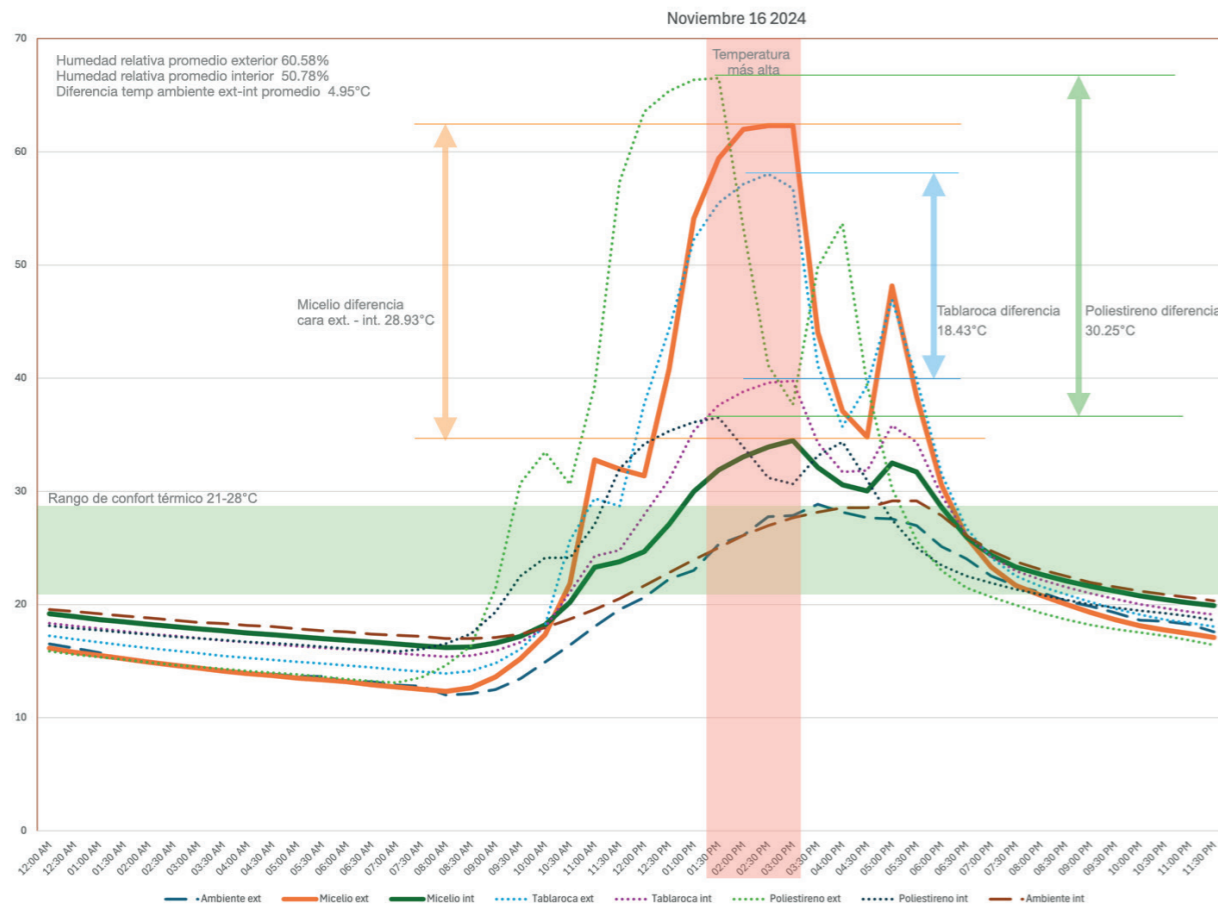
Para mejorar la lectura de las gráficas, el micelio esta indicado en línea continua y mas gruesa (naranja y verde) del los otros materiales y las lecturas de temperatura externa.



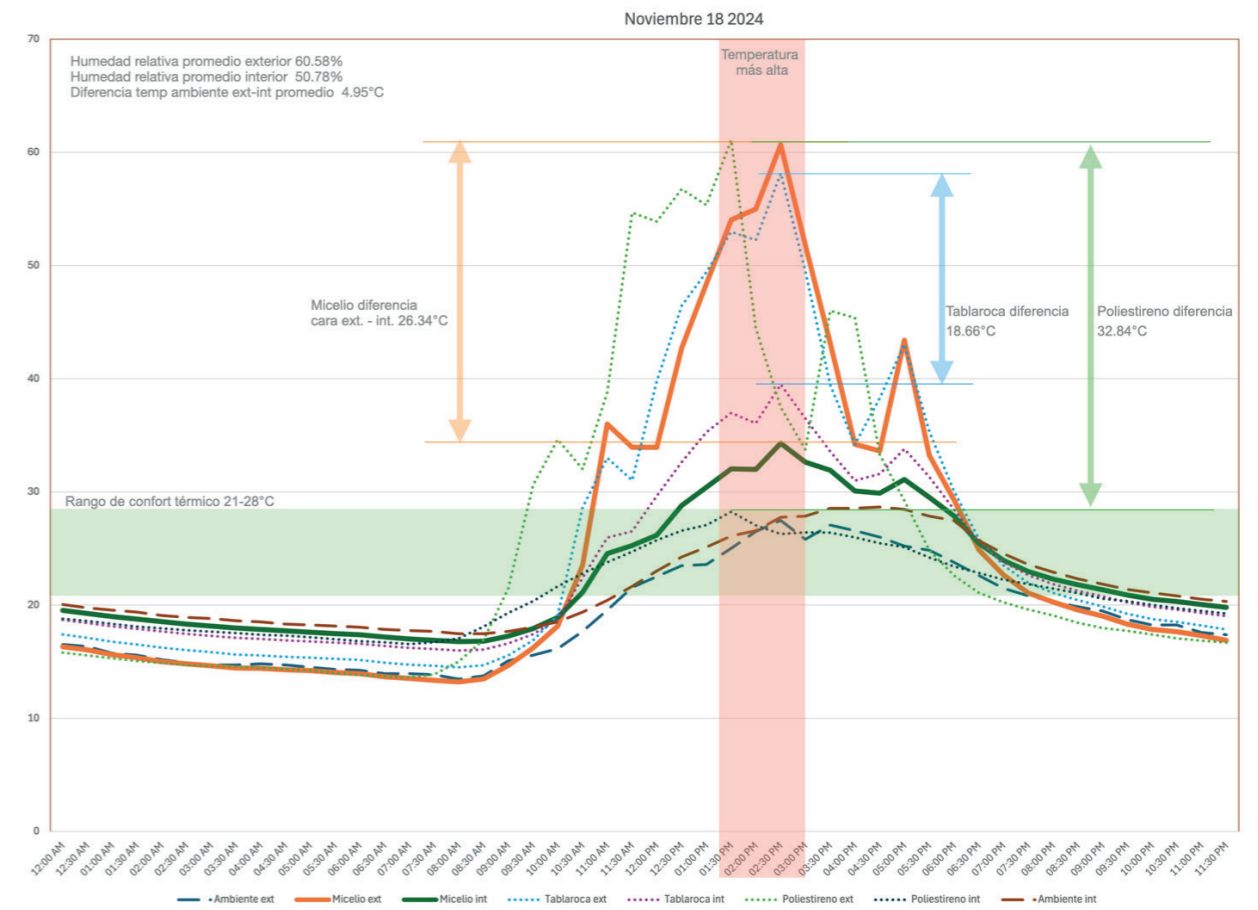
Gráfica 1. Gráfica elaborada por JMPS



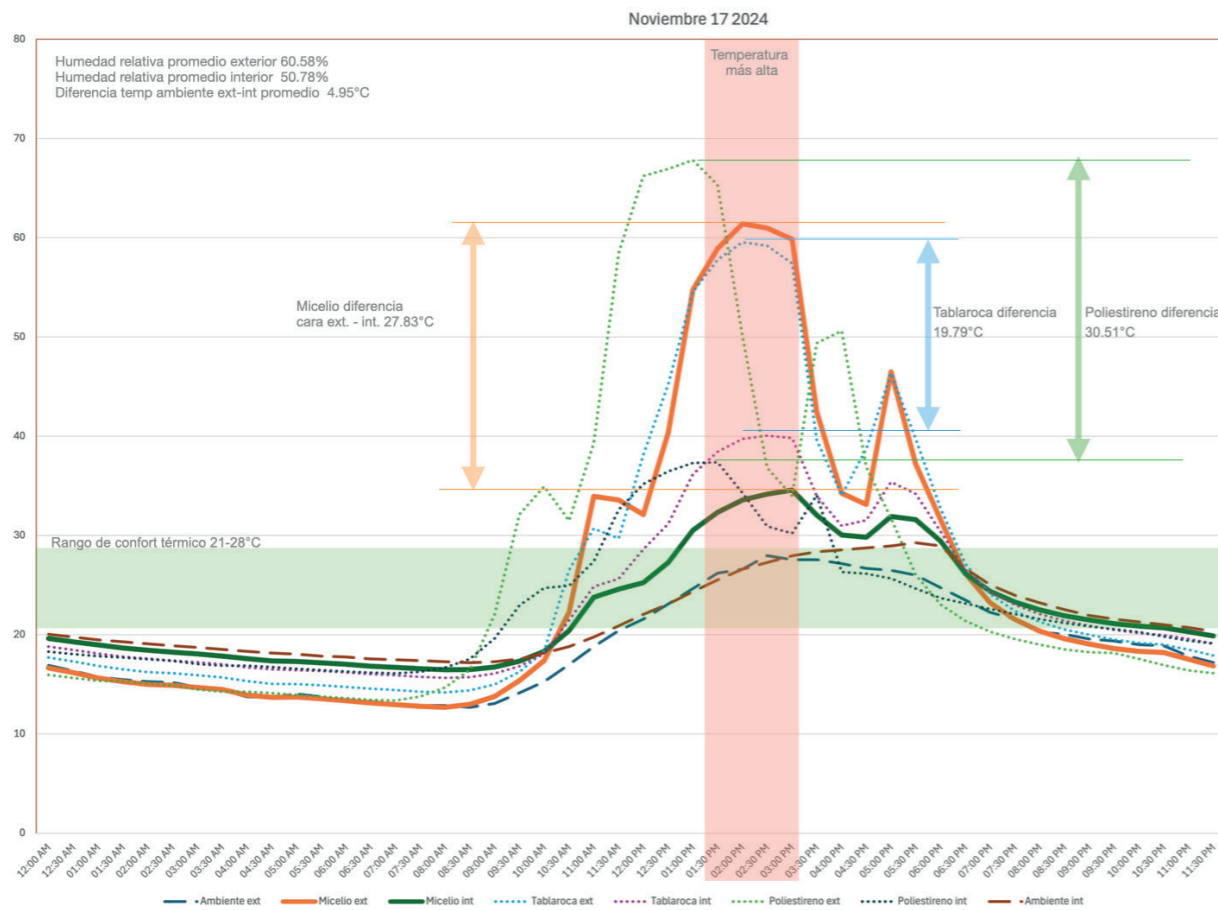
Gráfica 2. Gráfica elaborada por JMPS



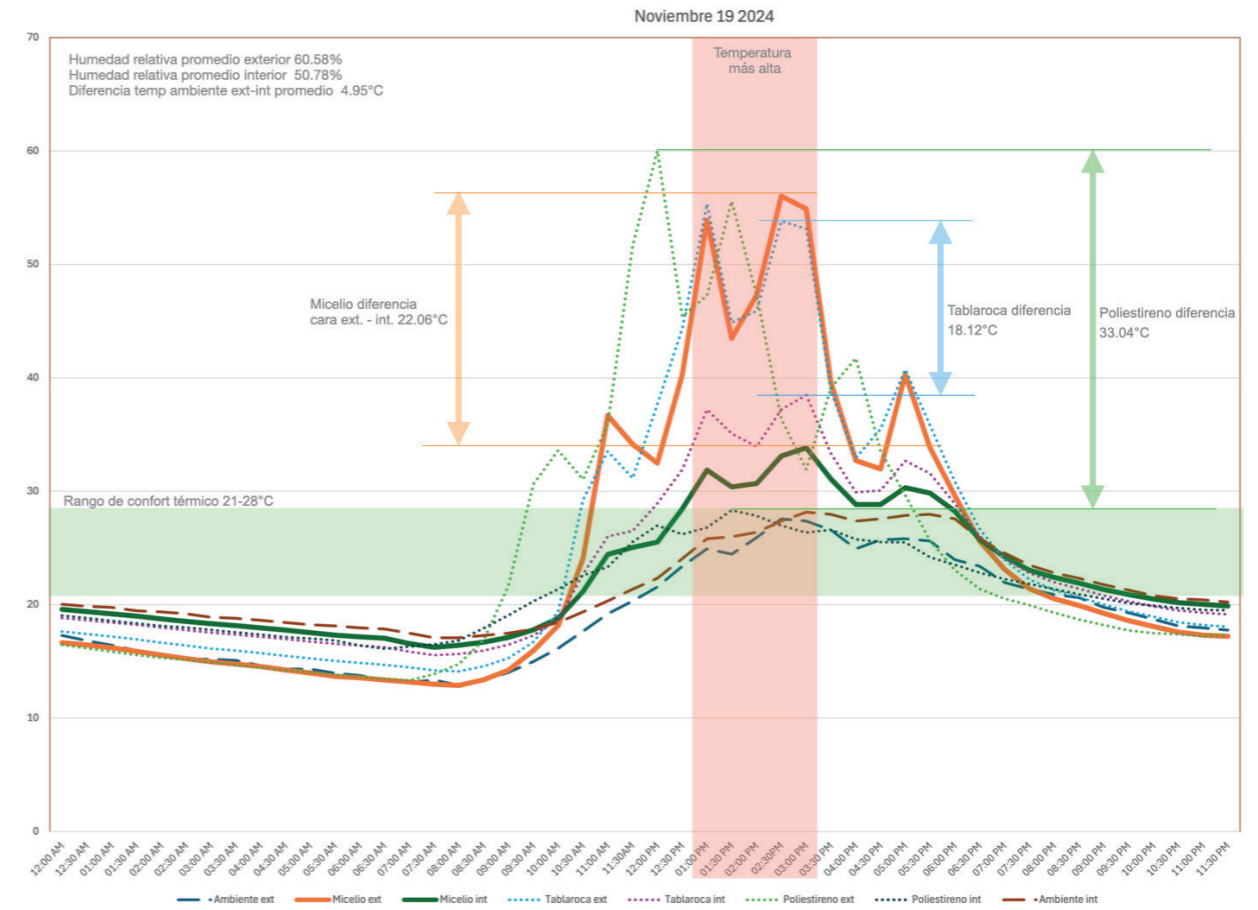
Gráfica 3. Gráfica elaborada por JMPS



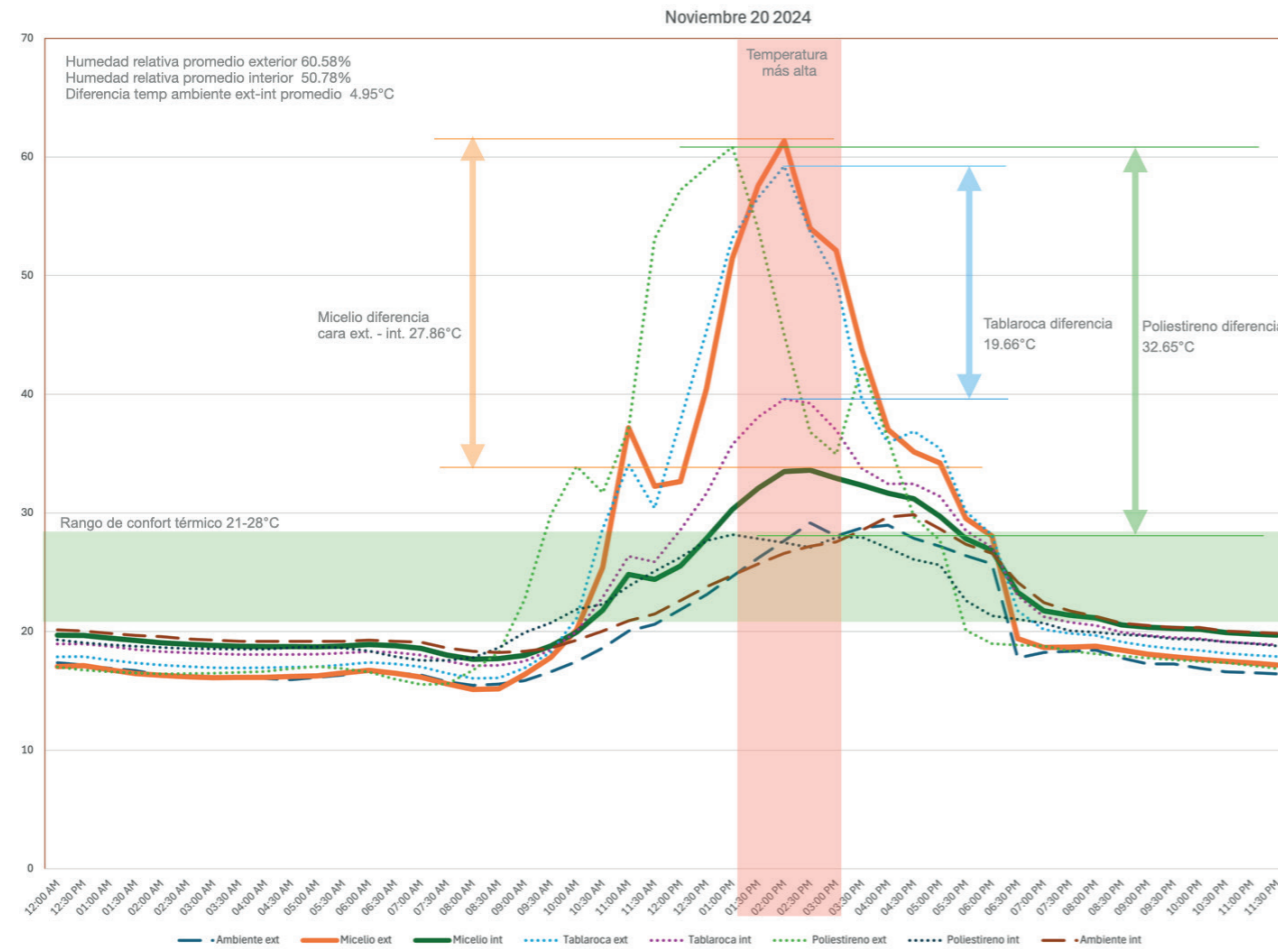
Gráfica 5. Gráfica elaborada por JMPS



Gráfica 4. Gráfica elaborada por JMPS



Gráfica 6. Gráfica elaborada por JMPS



Gráfica 7. Gráfica elaborada por JMPS

destacada del poliestireno fue que, durante el periodo más frío del día, la temperatura en su interior descendía con mayor rapidez, mientras que en el micelio esta variación era menos pronunciada. No obstante, en la cara expuesta a la cámara de aire (o al exterior), las variaciones en las temperaturas mínimas fueron más evidentes en ambos materiales.

Para evaluar el comportamiento térmico de los materiales, se utilizaron valores de factor de decremento, definido como la capacidad de un material para atenuar las fluctuaciones térmicas del exterior al interior a lo largo del día. Este concepto está estrechamente relacionado con la inercia térmica, que se refiere a la capacidad de un material para resistir cambios de temperatura almacenando energía térmica de manera gradual. En la gráfica que se presenta a continuación, se observa que un valor de factor de decremento más cercano a 1 indica una mayor transmisión de las variaciones térmicas hacia el interior.

De los tres materiales analizados, la tablaroca presentó el valor de factor de decremento más cercano a 1, lo que evidencia su menor capacidad para atenuar las fluctuaciones térmicas. Por el contrario, tanto el micelio como el poliestireno expandido mostraron valores de factor de decremento más cercanos a 0, indicando una mayor estabilidad térmica. Cabe destacar que el micelio presentó un comportamiento más consistente y estable, con un factor de decremento que se mantuvo en el rango de 0.3 a 0.4, mientras que el poliestireno mostró mayores oscilaciones a lo largo del día.

Estos resultados sugieren que el micelio, además de ser un material biodegradable, ofrece una capacidad competitiva para regular la transmisión de calor, posicionándolo como una alternativa viable frente a materiales sintéticos como el poliestireno expandido en aplicaciones que requieran control térmico.

De acuerdo con las mediciones presentadas en las gráficas, se corroboró nuevamente la capacidad calorífica del micelio. Las mediciones realizadas con el sensor colocado dentro de la cámara de aire mostraron un incremento significativo en el calor ganado, comparado con la cara no expuesta. En todos los casos, se observaron diferencias térmicas que oscilaron entre los 26 °C y casi 35 °C, en un lapso de dos a tres horas, periodo en el que se alcanzaban los picos de mayor temperatura. De los tres materiales analizados, la tablaroca resultó ser el material que más tiempo tardaba en liberar el calor acumulado.

El micelio y el poliestireno expandido mostraron un comportamiento similar; sin embargo, la absorción de calor en el poliestireno comenzaba aproximadamente una hora antes, lo que incrementaba el tiempo de retención térmica. Otra característica

De los tres materiales analizados, la tablaroca presentó el valor de factor de decremento más cercano a 1, lo que evidencia su menor capacidad para atenuar las fluctuaciones térmicas. Por el contrario, tanto el micelio como el poliestireno expandido mostraron valores de factor de decremento más cercanos a 0, indicando una mayor estabilidad térmica. Cabe destacar que el micelio presentó un comportamiento más consistente y estable, con un factor de decremento que se mantuvo en el rango de 0.3 a 0.4, mientras que el poliestireno mostró mayores oscilaciones a lo largo del día.

Para el cálculo del factor de decremento se utilizó la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{(T_{inmax} - T_{inmin})}{(T_{extmax} - T_{extmin})}$$

Donde:

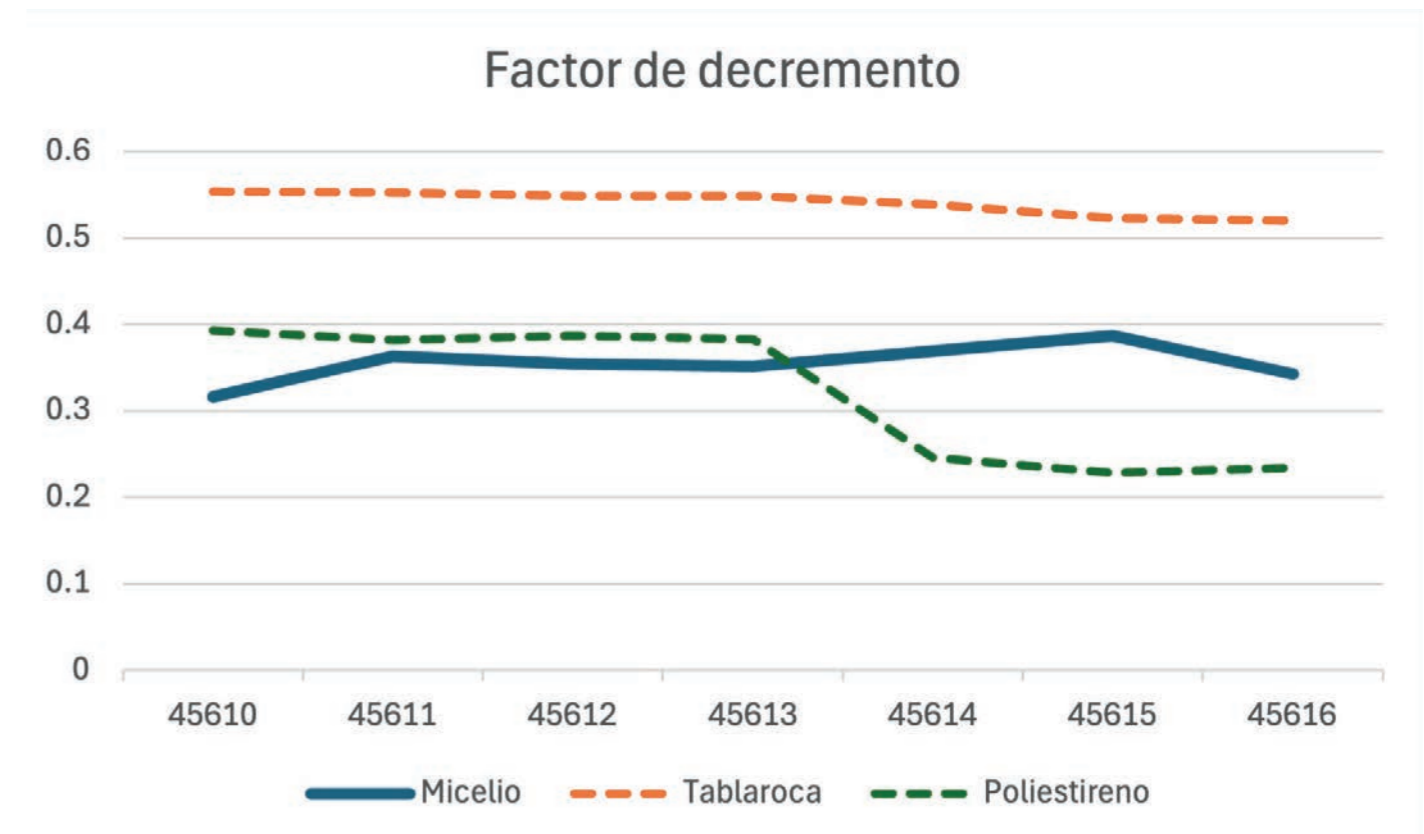
FD= factor de decremento

T_{inmax} = temperatura interior máxima

T_{inmin} = temperatura interior mínima

T_{extmax} = temperatura exterior máxima

T_{extmin} = temp exterior mínima



Gráfica 8. Gráfica elaborada por JMPS

08



CONCLUSIONES FINALES

Respondiendo a la hipótesis:

“Es posible desarrollar un panel biofabricado que proporcione confort térmico en espacios interiores, utilizando residuos vegetales locales como materia prima y organismos vivos, como hongos, en su proceso de fabricación, aprovechando las propiedades aislantes del micelio y las características térmicas de los sustratos lignocelulósicos, con el objetivo de promover soluciones sostenibles y de bajo impacto ambiental en la construcción,”

El desarrollo de este documento confirma su viabilidad. Se logró diseñar y fabricar un panel que contribuye a mitigar el efecto del calor en espacios interiores mediante el uso de un material con baja absorción y retención térmica. La incorporación de organismos vivos permitió aprovechar sus propiedades aglomerantes, además de extender el ciclo de vida de los residuos vegetales utilizados en su fabricación. El resultado es un panel biodegradable con múltiples aplicaciones en el ámbito de la construcción.

Si bien el alcance inicial de este trabajo se limitaba al diseño y la elaboración de piezas biofabricadas en laboratorio, el mayor desafío radicó en controlar el proceso de cultivo y fabricación del micelio. A diferencia de países como los de Europa o Estados Unidos, en México no es sencillo adquirir spawn comercial. Por esta razón, fue necesario desarrollar y controlar las condiciones de reproducción en laboratorio antes de alcanzar el objetivo inicial de diseñar y probar las piezas biofabricadas.

El principal aprendizaje de este proyecto consistió en comprender la composición y el comportamiento de los sustratos disponibles en el territorio, así como analizar las



Fotografías 38. Fotografía de JMPS



Fotografías 39. Fotografía de JMPS



Fotografías 40. Fotografía de JMPS

especies de hongos utilizadas en dichos sustratos. La especie *Pleurotus* demostró ser la más fácil de manipular y adaptar a las condiciones existentes en el laboratorio, como la humedad y la temperatura. La segunda especie con mejor desempeño fue *Ganoderma*, especialmente cuando se obtuvo comercialmente en grano inoculado; sin embargo, solo se lograron moldear piezas pequeñas con esta especie, y las experimentaciones no continuaron.

De los materiales utilizados para los sustratos lignocelulósicos, las muestras SV4, SV5 y SV6 (ver fichas), que contenían viruta de pino y rastrojo de trigo, resultaron ser la mejor fuente de nutrientes para la reproducción de las especies, ya que se cubrieron con la capa blanca característica en un menor tiempo de incubación. Estos materiales no solo eran una buena fuente de nutrientes, sino que también proporcionaban una granulometría media al sustrato, lo que otorgaba mayor resistencia a las piezas y bordes menos ásperos, en comparación con las primeras muestras. Las muestras finales, denominadas SV7 y SV8 (ver fichas), cumplieron con estas características.

Adicionalmente, en las últimas pruebas se utilizó un inóculo esterilizado compuesto de agua destilada, harina integral y glucosa. Este procedimiento permitió acortar el tiempo de incubación y generó una capa blanca más densa dentro de las bolsas de spawn, lo que se reflejó en una mayor densidad del material.

Los moldes de acrílico de tres milímetros, cortados con láser, demostraron ser la mejor opción. Ofrecen mayor variación en el diseño, menor adherencia al micelio y un desmolde más sencillo, minimizando los daños en las piezas. Para aplicar presión al final del moldeado, se utilizó un marco de madera adicional que sostenía el molde, permitiendo aplicar presión adecuada sin riesgo de romperlo. Otra ventaja de estos moldes es que facilitan una mejor esterilización con alcohol antes de cada uso. Todo el proceso de moldeado se optimizó significativamente gracias a estas características.

Durante el proceso, se empleó un mechero de alcohol encendido, y los moldes se cubrieron con plástico para mantener la humedad original del sustrato hasta la formación de la capa blanca característica. El acceso al área del laboratorio donde se realizaron las incubaciones estuvo restringido, permitiéndose únicamente el ingreso con cubre bocas y guantes. Las piezas solo fueron manipuladas sin guantes durante la etapa final de secado.

En la última etapa de incubación de spawn y moldeado, se utilizó un calentador casero automático que mantuvo la temperatura constante a 22°C, así como un humidificador casero. Esto permitió mantener la humedad al 60% para el spawn y al 80% durante el secado final de las piezas moldeadas, evitando contracción y deformación. El secado se prolongó bajo estas condiciones controladas, sin someter las piezas a horneado o deshidratado, para conservar la capa blanca con fines estéticos.

El panel final se fabricó uniendo piezas de 20x50 centímetros obtenidas de los moldes, dejando una semana adicional para que las hifas del micelio consolidaran su unión. Durante este proceso, se mantuvo la humedad constante entre el 75% y 80%, y las uniones se rociaron con atomizado de agua oxigenada al 10%.

Adicionalmente, se fabricaron seis piezas de 40x40 centímetros para realizar mediciones de transmisión y disipación térmica. Estas piezas incluyeron triplay de tres milímetros en ambas caras exteriores y micelio en el interior, utilizando las muestras SV7 y SV8. El espesor se definió con un marco de acrílico cortado con láser de un centímetro de espesor en su perímetro.



Fotografías 41 . Fotografía de JMPS

La primera cara de triplay y acrílico no presentó mayores complicaciones durante la incubación; sin embargo, al girarla para trabajar en la segunda cara, surgieron mayores dificultades debido a la contaminación de las muestras. Fue necesario descartar varias piezas antes de lograr un resultado satisfactorio.

De acuerdo a esto, es necesario para fabricación de futuras piezas las siguientes condiciones en laboratorio:

- Una campana de flujo laminar o en su defecto una still air box para inoculación.
- Un área con flujo restringido de aire que además de contaminación, pueda mantener condiciones de temperatura y humedad estable. También reducción de luz natural es necesaria en lo posible dentro de esta área.
- Mobiliario y moldes de fácil limpieza resistentes al alcohol.
- Mecheros de alcohol cuando se manipulen muestras fuera de la campana de flujo laminar.
- Un calentador automático que mantenga temperatura estable cuando esta baje de los 20°C y evitar ralentizar su crecimiento en spawn o moldeado.
- Un humidificador que mantenga humedad al 60% mientras se cultivan cajas petri, frascos de grano o sustrato en spawn, y humedad del 80%-90% cuando se haga el moldeado y secado de piezas.
- Un horno o deshidratador de gran capacidad que permita el secado de piezas de mayor tamaño y la inactivación del crecimiento del micelio

Fotografías 34 . Fotografía de JMPS



DISCUSIÓN FINAL DE RESULTADOS

La fabricación del FNG Panel ha sido un trabajo que ha respondido a muchas preguntas, aunque también ha dejado otras por resolver. La limitación de tiempo propia del desarrollo de la Maestría en Diseño Avanzado ha generado variables y puntos pendientes que deberán abordarse en futuras investigaciones:

El diseño del FNG Panel debe partir del enfoque de Diseño Regenerativo propuesto al inicio de este documento. Esto implica que el diseño contemple una propuesta integral que abarque desde el lugar donde se obtienen los sustratos vegetales hasta su reintegración al finalizar el ciclo de uso, con el fin de crear un ecosistema resiliente capaz de convertirse nuevamente en fuente de extracción.

Aunque la especie Fungi Pleurotus mostró mejores resultados en las condiciones de trabajo, es necesario continuar investigando la especie Ganoderma. En muestras externas analizadas, se observó que la capa blanca formada por Ganoderma era siempre más densa, lo que sugiere que su capacidad aglomerante podría aportar mayor resistencia tanto a los sustratos como al material final.

Con ambas especies de hongos (Pleurotus y Ganoderma, las que ofrecieron mejores resultados), debe continuarse la investigación utilizando sustratos abundantes en el territorio. Por ejemplo, descartes de maguey y bagazo de caña podrían ser opciones prometedoras al aportar cantidades adecuadas de lignina y celulosa, esenciales para el desarrollo de las hifas del micelio.

El uso de soportes de madera como complemento al FNG Panel o al propio micelio debe investigarse a mayor profundidad. Esta combinación podría permitir el

desarrollo de piezas con mayor resistencia estructural para la construcción, manteniendo las propiedades aislantes que ofrecen los materiales derivados de hidrocarburos, pero con la ventaja añadida de ser compostables.

Aunque se intentó evaluar la capacidad térmica del FNG Panel en un espacio confinado, por falta de tiempo esta medición se realizó únicamente en laboratorio. En investigaciones futuras será necesario fabricar una cantidad suficiente de FNG Panel o un producto similar para medir su rendimiento térmico en un espacio cerrado, bajo condiciones mejor planificadas, y durante un periodo de tiempo extendido, con el objetivo de comprobar su capacidad de generar confort térmico.

El estudio de la capacidad ignífuga del FNG Panel tampoco se abordó en profundidad. Si bien no era el objetivo principal de este documento, una prueba aislada con MDF como material de referencia evidenció que el FNG Panel es cinco veces más resistente al fuego. Ampliar este análisis en líneas futuras de investigación permitirá aprovechar esta propiedad frente a materiales derivados de minerales o hidrocarburos, que suelen carecer de biodegradabilidad.

Quizá unos de los aspectos más importantes a considerar en futuras investigaciones tenga que ver con el mejoramiento de la resistencia, en este trabajo se buscó mejorarla por medio de materiales de granulometría media como la paja de trigo, esto mismo se puede seguir explorando sustituyendo los materiales de descarte y sumando soporte con madera, también debe seguir explorándose su compactación con medios mecánicos que aumenten la densidad del material sin comprometer su capacidad térmica.

DISCUSIÓN FINAL DE RESULTADOS

Es fundamental que el espacio y las herramientas para abordar estas líneas pendientes se desarrollen bajo mejores condiciones científicas y tecnológicas. Existe un vasto campo de oportunidades en el estudio del micelio y de estos biomateriales emergentes, los cuales tienen el potencial de revolucionar nuestra manera de transformar descartes en productos cotidianos. Asimismo, ofrecen la posibilidad de extender los ciclos de vida de los materiales sin contribuir al deterioro constante de nuestros ecosistemas.

Los resultados de la medición térmica sugieren que el micelio, además de ser un material biodegradable, ofrece una alternativa sustentable para regular la transmisión de calor frente a materiales sintéticos como el poliestireno expandido, en aplicaciones que requieran control térmico. Es importante recordar el valor agregado de los biomateriales: su capacidad de reintegrarse a los ecosistemas y permitir ciclos más largos de extracción con un daño menor. De acuerdo con el marco de referencia emergente desarrollado por la Fundación Ellen MacArthur, muchos países buscan integrar los desechos de alimentos y residuos vegetales en una economía circular. El micelio ofrece precisamente esta oportunidad, con la ventaja de convertirse en un aliado de la construcción con cero residuos y un impacto ambiental mínimo o nulo.

Otra ventaja adicional es el costo de fabricación. Aunque inicialmente puede parecer alto, este disminuye a medida que se incrementa el número de paneles construidos. Sin embargo, su valor más importante radica en su bajo impacto ambiental, tanto por la generación mínima de residuos como por su capacidad para regenerar sus propias fuentes de extracción.

Costo FNG Panel 20X50 cm

MATERIAL	CANTIDAD		SUBTOTAL
Rastrojo de trigo	1.5 kg	$2.75 \times 1.5 = 4.125$	\$4.13
Viruta de pino	0.5 kg	1	\$1.00
Grano inoculado	0.200 kg	$66.5 \times 0.2 = 13.30$	\$13.30
Cal	0.020 kg	$118 \times 0.002 = 0.236$	\$0.24
Alcohol	200 ml	$50 \times 0.2 = 10$	\$10.00
Inóculo (agua, glucosa, harina)	50 ml	0.64	\$0.56
Bolsa	1 pieza	12	\$12.00

	\$41.22
Electricidad, agua y gas 5%	\$2.06
Mano de obra 6 pzas/hr	\$38.66
	\$81.94

ANALISIS DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	TIEMPO EN HORAS	COSTO POR HORA	COSTO TOTAL
Preparación del sustrato	2	\$34.85	\$69.70
Preparación del inóculo	1	\$57.85	\$57.85
Moldeado	0.5	\$34.85	\$17.43
Incubación (supervisión)	1.5	\$34.85	\$52.28
Secado y acabado	1	\$34.85	\$34.85
			\$232.10

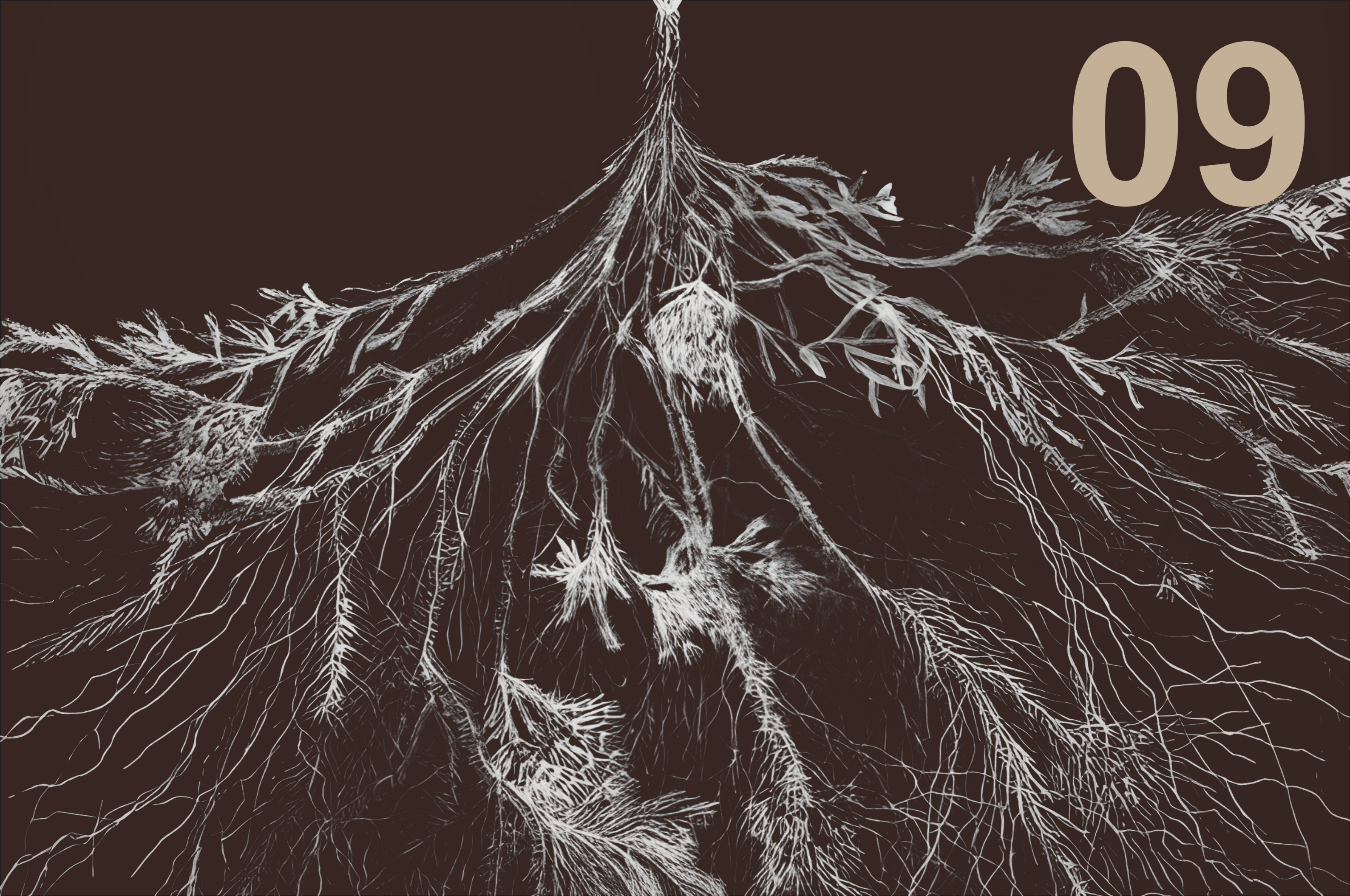
Cada pieza tiene dimensiones de 0.5X0.2X0.025 m y un volumen de 0.0025 m³
Es necesaria una bolsa de 2.200 kg para cada pieza

El costo por pieza incluyendo mano de obra es de \$81.94

Considerar que al aumentar el número de piezas fabricadas, el costo de mano de obra baja y el costo total por panel disminuye

Tabla 10. Tabla elaborada por JMPS

09



REFERENCIAS

Abad, F., & Rodríguez, C. (2022). Biofabricación: cultivo de material biológico a partir de micelio del hongo *Ganoderma lucidum* y cáñamo [Tesis de grado, Universidad de la República, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Escuela Universitaria Centro de Diseño]. Udelar. Disponible en línea.

Aedo Venegas, B. M. (2021). Centro de visitantes construido con bloques perforados fabricados con micelio de hongo: Proyecto de construcción de centro de investigación ambiental y turístico en Puerto Grosse [Tesis de grado]. Institución no especificada.

Ávila-López, A., & Yáñez, P. (2020). Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos.

Becerra-Santacruz, H., & Lawrence, R. (2016). Evaluation of the thermal performance of an industrialised housing construction system in a warm-temperate climate: Morelia, Mexico. *Building and Environment*, 107, 10.1016/j.buildenv.2016.07.029

Becerra-Santacruz, H., Patlakas, P., & Altan, H. (2018). Evaluation and visualisation of mass housing thermal performance. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 172, 1–53. <https://doi.org/10.1680/jensu.16.00040>

Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022). Challenges and opportunities in scaling up architectural applications of mycelium-based materials with digital fabrication. *Biomimetics*, 7, 10.3390/biomimetics7010011

Bracco, A. (2018). *Biological Re: Evolution: The resilient science of mycelium design*. Elección de sustratos y hongos para fabricación del biocomposite.

Camere, S., & Karana, E. (2018). Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. *Journal of Cleaner Production*, 186, 570–584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081>

Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118–163. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>

Conde Santiago, Í. (2021). *Biocompuestos de micelio y sus posibles aplicaciones en la arquitectura* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid, España]. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50464>

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *El gran rediseño de los alimentos* [Documento PDF]. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/recursos/rediseño-de-alimentos/vision-general>

Elsacker, E. (2021). *Mycelium matters: An interdisciplinary exploration of the fabrication and properties of mycelium-based materials*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23578.77764>

Espinosa Negrín, A. M., Casdelo Gutiérrez, N., & López González, L. M. (2021). Pretratamiento de biomásas lignocelulósicas: Breve revisión de los principales métodos utilizados.

Ghazvinian, A., & Gursoy, B. (2022). Basics of building with mycelium-based bio-composites. *Journal of Green Building*.

Fuentes-Cantillana Monereo, I. (2020). Bio Fabricación: Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustratos lignocelulósicos [Proyecto Fin de Carrera/Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid].

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54.

Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E.-J., & Camere, S. (2018). When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. *International Journal of Design*, 12(2), 119–136.

Lee, S., Congdon, A., Parker, G., & Borst, C. (2020). Understanding “bio” material innovations: A primer for the fashion industry. *Biofabricate and Fashion for Good*. https://fashionforgood.com/our_news/understanding-bio-material-innovations-a-primer-for-the-fashion-industry/

Illana, C. (2016). Hifas de hongos como material de construcción II. *Yesca*, 28, 19–24.

Itria, R., Bezazian, A., & Majul, L. (2021). Economía circular y biomateriales fúngicos. *Perspectivas*.

Lira Gómez, C. F. (2022). Micelio. Recuperado el 4 de abril de 2024, de <https://www.lifeder.com/micelio/>

López, A. (2014). El género *Pleurotus* y su diversificación taxonómica en especies. *Fungicultura*, 14, 1–19.

Muñoz Castillo, F. A. (2020). Sistematización de pruebas de crecimiento en medios de cultivo sólido para hongos silvestres descomponedores de madera en el contexto del desarrollo de biomateriales de micelio. Caso de estudio: Monumento Abierto.

Previti, I. S., & Sachs, H. Mycelion: A wood-mycelium composite-based, experimental pavilion with multiple growth phases.

Soledad, S., Duarte Poblete, S. S., & García, R. (2020). Materiales biológicos: Materiales y sustentabilidad a través del diseño. *Tableros*, 11. <https://doi.org/10.24215/25251589e010>

Weiss Münchmeyer, A. J., & Besoain Narvaez, M. J. (2022). Biomateriales basados en el territorio: Metodología para la creación de una paleta biomaterial situada / Territory-based biomaterials: Methodology to create a situated biomaterial palette.

INDICE DE IMÁGENES

- Pág. 04 / Fotografía 1. Fotografía de JMPS
- Pág. 07 / Fotografía 2. Fotografía de JMPS
- Pág. 19 / Fotografía 3. Fotografía de JMPS
- Pág. 21 / Fotografía 4. Fotografía de JMPS
- Pág. 25 / Fotografía 5. Fotografía de JMPS
- Pág. 34 / Fotografía 6. Fotografía de JMPS
- Pág. 52-53 / Fotografía 7. Fotografía de JMPS
- Pág. 59 / Fotografía 8. Fotografía de JMPS
- Pág. 61 / Fotografía 9. Fotografía de JMPS
- Pág. 62 / Fotografía 10. Fotografía de JMPS
- Pág. 62 / Fotografía 11. Fotografía de JMPS
- Pág. 63 / Fotografía 12. Fotografía de JMPS
- Pág. 63 / Fotografía 13. Fotografía de JMPS
- Pág. 63 / Fotografía 14. Fotografía de JMPS
- Pág. 63 / Fotografía 15. Fotografía de JMPS
- Pág. 64 / Fotografía 16. Fotografía de JMPS
- Pág. 64 / Fotografía 17. Fotografía de JMPS
- Pág. 65 / Fotografía 18. Fotografía de JMPS
- Pág. 65 / Fotografía 19. Fotografía de JMPS
- Pág. 68 / Fotografía 20. Fotografía de JMPS
- Pág. 68 / Fotografía 21. Fotografía de JMPS
- Pág. 69 / Fotografía 22. Fotografía de JMPS
- Pág. 69 / Fotografía 23. Fotografía de JMPS
- Pág. 76 / Fotografía 24. Fotografía de JMPS
- Pág. 76 / Fotografía 25. Fotografía de JMPS

Zamora Espinoza, F. (2021). Material biobasado: Residuos de la fibra textil vegetal de algodón más residuos de posconsumo domiciliario aglomerados con micelio de hongos *Pleurotus ostreatus*. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181125>

Precedence Research. (n.d.). Biomaterials Market. Recuperado de <https://www.precedenceresearch.com/biomaterials-market>

UNAM. (n.d.). Reino Fungi: Características generales. Recuperado de <https://portalacademico.cch.unam.mx/biologia2/caracteristicas-generales-dominios-y-reinos/reino-fungi>

Quadratín. (n.d.). Solo se separa en Morelia el 2% de la basura que se genera a diario. Recuperado de <https://www.quadratin.com.mx/principal/solo-se-separa-en-morelia-el-2-de-la-basura-que-se-genera-a-diario/>

- Pág. 77 / Fotografía 26. Fotografía de JMPS
- Pág. 77 / Fotografía 27. Fotografía de JMPS
- Pág. 78 / Fotografía 28. Fotografía de JMPS
- Pág. 78 / Fotografía 29. Fotografía de JMPS
- Pág. 102 / Fotografía 30. Fotografía de JMPS
- Pág. 106 / Fotografía 31. Fotografía de JMPS
- Pág. 106 / Fotografía 32. Fotografía de JMPS
- Pág. 107 / Fotografía 33. Fotografía de JMPS
- Pág. 107 / Fotografía 34. Fotografía de JMPS
- Pág. 111 / Fotografía 35. Fotografía de JMPS
- Pág. 112 / Fotografía 36. Fotografía de JMPS
- Pág. 112 / Fotografía 37. Fotografía de JMPS
- Pág. 127 / Fotografía 38. Fotografía de JMPS
- Pág. 128 / Fotografía 39. Fotografía de JMPS
- Pág. 128 / Fotografía 40. Fotografía de JMPS
- Pág. 131 / Fotografía 41. Fotografía de JMPS
- Pág. 132 / Fotografía 42. Fotografía de JMPS
- Pág. 16 / Gráfico 1. Gráfico de JMPS
- Pág. 45 / Gráfico 2. Gráfico de JMPS
- Pág. 46-47 / Gráfico 3. Gráfico de JMPS
- Pág. 48-49 / Gráfico 4. Gráfico de JMPS
- Pág. 50-51 / Gráfico 5. Imágenes generadas desde copilot
- Pág. 54 / Gráfico 6. Gráfico de JMPS
- Pág. 98-99 / Gráfico 7. Gráfico de JMPS
- Pág. 100 / Gráfico 8. Gráfico de JMPS
- Pág. 101 / Gráfico 9. Gráfico de JMPS
- Pág. 104 / Gráfico 10. Gráfico de JMPS
- Pág. 105 / Gráfico 11. Gráfico de JMPS
- Pág. 114 / Gráfico 12. Gráfico de JMPS
- Pág. 115 / Gráfico 13. Gráfico de JMPS
- Pág. 41/Tabla 1. Tabla de emprendimientos JMPS
- Pág. 80-81/Tabla 2. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 82-83/Tabla 3. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 84-85/Tabla 4. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 86-87/Tabla 5. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 88-89/Tabla 6. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 90-91/Tabla 7. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 92-93/Tabla 8. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 94-95/Tabla 9. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 137/Tabla 10. Tabla elaborada por JMPS
- Pág. 117 / Gráfica 1. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 117 / Gráfica 2. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 118 / Gráfica 3. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 118 / Gráfica 4. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 119 / Gráfica 5. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 119 / Gráfica 6. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 120 / Gráfica 7. Gráfica elaborada por JMPS
- Pág. 123 / Gráfica 8. Gráfica elaborada por JMPS



José Manuel Patiño Soto

FNG Panel, confort térmico por medio de micelio_pdf

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:414605858

Fecha de entrega

10 dic 2024, 8:52 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

10 dic 2024, 10:02 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

FNG Panel, confort térmico por medio de micelio..pdf

Tamaño de archivo

42.7 MB

75 Páginas




14,856 Palabras

80,083 Caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Diseño Avanzado	
Título del trabajo	FNG Panel, confort térmico por medio de micelio.	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	José Manuel Patiño Soto	8202173b@umich.mx
Director	Dra. Erika Elizabeth Pérez Múzquiz	erika.muzquiz@umich.mx
Codirector	Dr. Habid Becerra Santacruz	hbecerra@umich.mx
Coordinador del programa	Dr. Habid Becerra Santacruz	hbecerra@umich.mx


Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	Si	Traducción de resumen o abstract
Revisión y corrección de estilo	Si	Varios capítulos revisados con este fin
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	Si	Revisión de correcta citación de referencias
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	 José Manuel Patiño Soto.
Lugar y fecha	9 de diciembre de 2024