



FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
Y URBANISMO

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

Estudio sobre la evaluación y análisis  
de las características físico-mecánicas  
y apreciativas de un biopolímero  
conformado de micelio de hongo ostra  
y desechos de mimbre.

Memoria para optar a Título de Diseñadora Industrial

Natalia Ochoa  
Autor

Pablo Domínguez  
Profesor Guía

Marzo, 2017



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia, que durante todos estos años y todo este proceso han estado ahí con su enorme apoyo incondicional.

A mi profesor guía, Pablo Domínguez, gracias por la paciencia, el ánimo, la fuerza y la confianza que me dio hasta concluir mi trabajo.

A Don Rubén Mella, artesano mimbbrero, quien desinteresadamente me ayudó a recolectar el material aplicado a este trabajo.

A la profesora Carla Badani de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile, quien, con toda disposición, colaboró en el ensayo de sonido. Al igual que el Laboratorio de Tecnología Mecánica de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), donde pude realizar los ensayos mecánicos.

Y finalmente, pero no menos importante, a mis amigas y amigos, presentes y pasados, quienes compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas, sin esperar nada a cambio.



## ABSTRACT

El presente estudio aborda una indagación de los grown material o materiales cultivados, aterrizando el trabajo a la exploración en un bio material compuesto del micelio del hongo *pleurotus ostreatus* y el desecho de mimbre para aplicaciones en áreas del diseño, construcción o fabricación. Mediante la mezcla de semillas de trigo inoculadas con el hongo en un desecho orgánico rico en lignocelulosa, el micelio crece y forma un material similar a algunos termoplásticos y espumas, en cuanto a características físico-mecánicas y de apariencia.

El trabajo investiga el resultado en diferentes substratos, hasta llegar a uno que cumpla con la característica de desecho local, fácil de conseguir, que no se haya probado para producir este material y para eso se acude a un desecho producido en la artesanía chilena: la merma de mimbre. Durante este proceso se definen las variables de cultivo, donde se propone un procedimiento de cultivo para lograr formar el material de hongo o mushroom material. Y para determinar las propiedades del material se realizan pruebas y ensayos de mecanizado, coloración, pruebas físicas, térmica, mecánicas y de biodegradación, además de aplicar un deferencial semántico para tener una noción de lo que la gente percibe del material. Luego de esto, a través de diferentes moldes se define la capacidad que el material tiene de adaptarse a formas simples y complejas.

Proponiendo una nueva versión del mushroom material o material de hongo de la familia de los materiales cultivados o grown materials, utilizando un desecho que sólo se

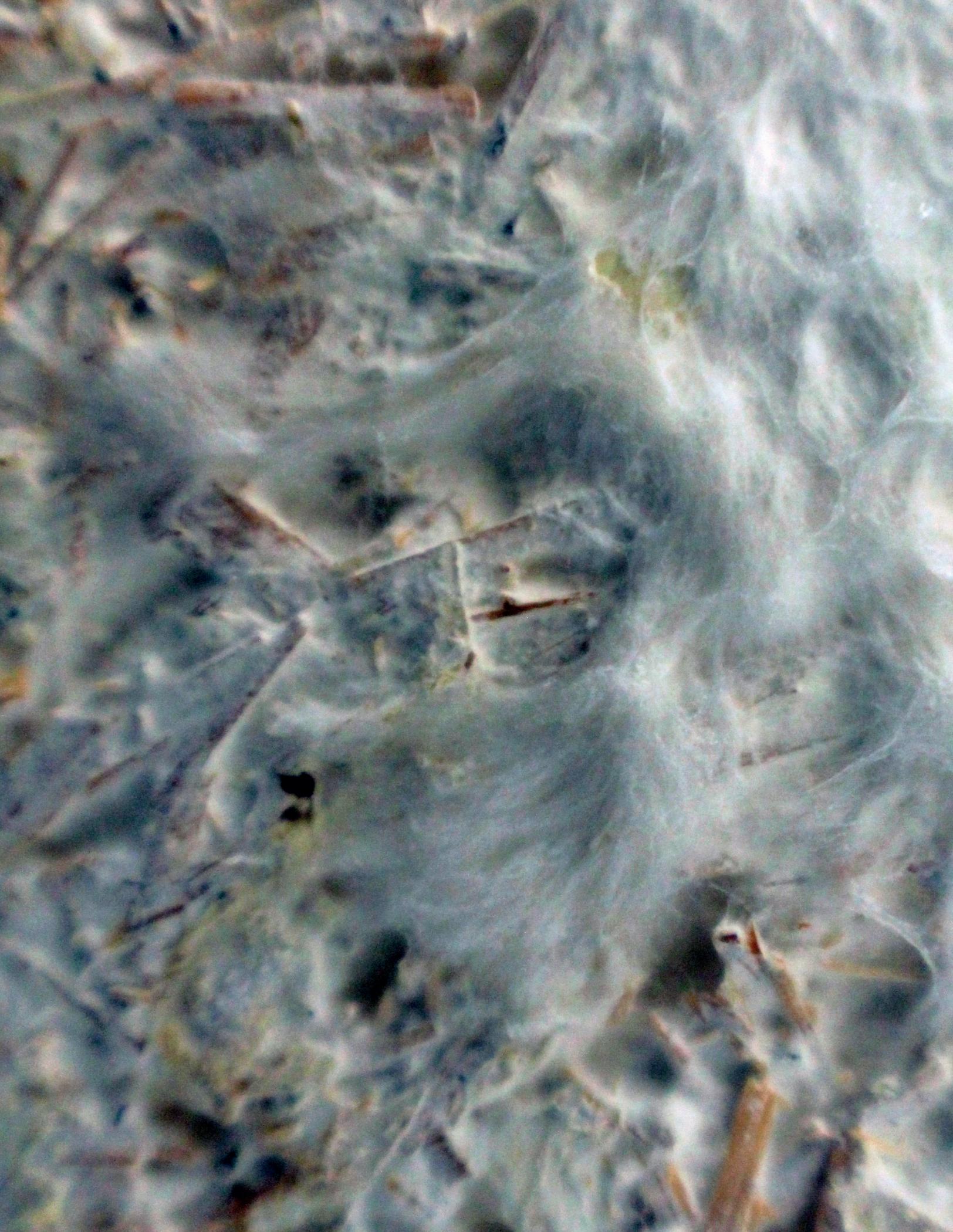
produce en el país, como lo es la merma de mimbre, con propiedades y atributos únicos relacionados al proceso de cultivo o fabricación y al substrato utilizado.

Palabras Claves: Grown material, Mushroom material, micelio, residuos de mimbre.

## INDICE

Introducción	p.9	2.3 Estado del arte	p.23
Contexto	p.9	2.3.1 Mushroom materials (materiales de setas u hongos)	p.23
Problema-Oportunidad	p.10	2.3.2 Materiales de celulosa bacteriana	p.29
Objetivos	p.10	2.3.3 Materiales fortificados por bacterias	p.30
Metodología de trabajo	p.11	2.4 Definición de un área a trabajar	p.31
Alcances (Finalidades/límites)	p.11		
<b>Capítulo I “Principios teóricos para la conformación de un material biodegradable”</b>	p.13	<b>Capítulo III “Antecedentes del mushroom material (material de hongo)”</b>	p.33
1.1 Diseño para la sostenibilidad (DFS)	p.14	3.1 Hongo	p.34
1.2 Ecología industrial	p.15	3.1.1 Mushroom material: posibles hongos a utilizar, hongos utilizados para la creación del material	p.34
1.3 Materiales renovables y biodegradabilidad	p.16	3.1.2 Pleurotus ostreatus	p.34
1.4 Residuos destinados al diseño	p.17	3.2 Substrato	p.35
		3.2.1 Substratos utilizados para la creación de material	p.35
		3.2.2. Substratos utilizados en el cultivo	p.35
<b>Capítulo II “Grown Materials (Materiales Cultivados)”</b>	p.19	3.3 Etapas/condiciones del cultivo	p. 37
2.1 Grown materials/Materiales cultivados	p.20	<b>Capítulo IV “Experimentación: estudio de la conformación del material”</b>	p.41
2.2 Clasificación dentro de los bioplásticos	p.20	4.1 Metodología de la experimentación	p.42

4.2 Etapa 1: Experimentación	p.43	<b>Conclusiones y Proyecciones</b>	p.81
4.2.1 Fase a: Experimentación previa	p. 43	Criterios para una posible aplicación	p.82
4.2.2 Fase b: Experimentación definitiva	p.45	Conclusiones del informe	p.83
4.2.3 Fase c: Experimentación final	p.50	Proyecciones	p.84
4.3 Conclusiones de la etapa 1: Experimentación	p.53	Propuestas de desarrollo futuro	p.85
<b>Capítulo V “Caracterización del material”</b>	p. 55	<b>Bibliografía</b>	p.86
 		<b>Anexos</b>	p.90
5.1 Etapa 2: Pruebas y ensayos	p.56		
5.1.1 Pruebas de mecanizado	p.56		
5.1.2 Pruebas de aplicación de color	p.61		
5.1.3 Ensayos físicos y mecánicos	p.63		
5.1.3.1 % de contracción	p.63		
5.1.3.2 Densidad	p.63		
5.1.3.3 Ensayo de Absorción de Agua	p.63		
5.1.3.4 Ensayo de Absorción Acústica	p.65		
5.1.3.5 Ensayo de Combustión	p.67		
5.1.3.6 Ensayo de Compresión	p.68		
5.1.3.7 Ensayo de Flexión	p.69		
5.1.3.8 Análisis de los ensayos físicos y mecánicos	p.71		
5.1.4 Ensayo de biodegradación del material	p.73		
5.1.5 Diferencial Semántico	p.74		
5.2 Etapa 3: Posibilidades constructivas	p.76		



## Introducción

### Contexto

El contexto de esta investigación se enmarca en un problema ambiental actual, en donde el principal responsable ha sido el plástico, material que se utiliza en todo tipo de industrias como construcción, transporte, agricultura, ganadería, empaques de alimentos y muebles, etc; objetos que a diario se ocupan en distintos aparatos domésticos. Este uso se ha masificado gracias a las características funcionales que tiene este material, como la alta resistencia a la tracción, buenas propiedades térmicas y mecánicas, bajo costo y la capacidad de sellado térmico, entre otras. (Bejarano, N., 2015)

La demanda de estos materiales aumenta progresivamente con los años y por consecuencia de esto, la acumulación de desechos sólidos también ha ido en aumento, debido a su baja o nula degradación. Frente a esto existen alternativas para la eliminación de los plásticos provenientes de hidrocarburos, como la incineración, pero esta técnica genera problemas ambientales por la producción de gases tóxicos. Por otra parte, el reciclaje conlleva costos de separación y procesamiento, aspectos que generan una amplia discusión sobre si es una solución real al problema de los plásticos. (Navia, D., & Bejarano, N., 2014).

Es aquí donde los bioplásticos vienen a disminuir el impacto ambiental, mediante una degradación más rápida, lo que les permite una reincorporación a la naturaleza en un menor tiempo. (Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A., 2013). Por parte de la sociedad, existe una demanda que ha ido creciendo, por la fabricación de nuevos productos que sustituyan a los plásticos derivados del petróleo, siendo ésta la principal motivación para la presente investigación, ya que, si bien los plásticos suplen una gran cantidad de necesidades a la población, dejan a su paso impactos ambientales que perduran cientos de años. (Meneses, J., Corrales, M., & Valencia, M., 2007).

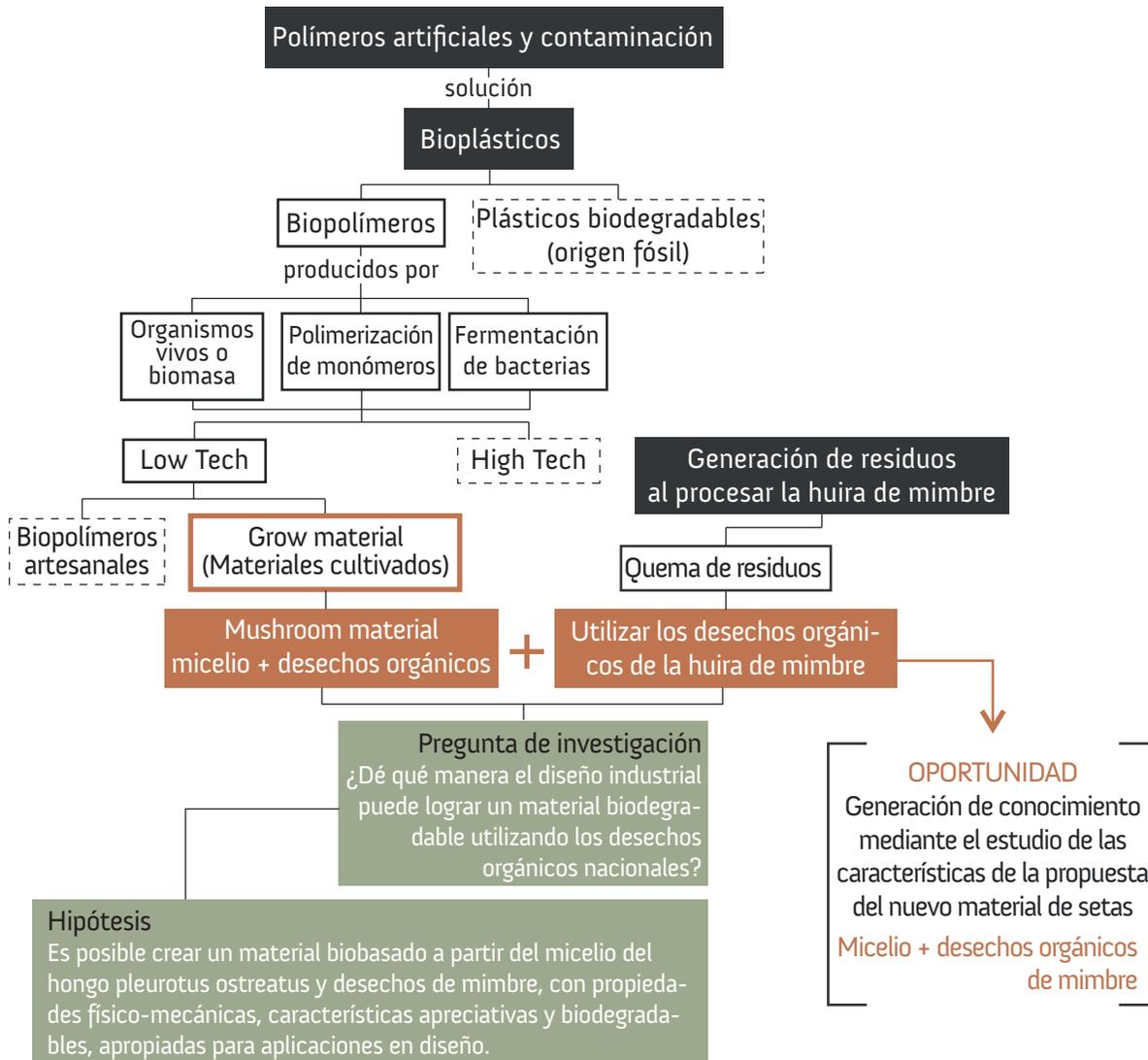
En muchos países del mundo los polímeros de origen fósil se están reemplazando gradualmente por bioplásticos, específicamente de fuentes naturales,

como los polímeros de origen vegetal (almidón, celulosa), animal (colágenos, gelatina) y/o microbiano (ácido poliláctico (PLA)) (Ayala, A., Navia, D., & Villada, H., 2014). Convirtiéndose en un proyecto ambicioso de desarrollar productos innovadores y de menor impacto ambiental para la sociedad actual.

Como la preocupación por el impacto a largo plazo de los procesos de extracción de recursos en bruto y fabricación de material sobre el medio ambiente siguen aumentando, los profesionales de ingeniería, diseño, entre otros, están buscando en la ciencia soluciones viables. Mediante el uso de los mecanismos que se producen en la naturaleza; creativos, científicos y tecnólogos están experimentando con el cultivo de bacterias, proteínas y he incluso minerales, para producir materiales, estos corresponden a la familia de los *grown materials* (materiales cultivados), siendo una nueva tendencia a nivel internacional, que promete superar la era del plástico con tejidos y polímeros “vivos”, que crecen en lugar de ser fabricados (Montalti, M., 2017a). El aprovechar la gran cantidad de residuos que generan las industrias de agricultura, para utilizarlos en la producción del material es el objetivo de estos materiales.

En el caso de Chile, la irrupción de los bioplásticos como materiales alternativos es un hecho y en el mediano y largo plazo se prevé un crecimiento importante en el sector de envases y embalajes. La producción de bioplásticos a pesar de una caída en los precios de producción, todavía es entre 40 a 50% más cara que para la elaboración de plásticos tradicionales. Si bien la producción de bioplásticos en Chile es algo limitada, esto puede cambiar gracias a la gran cantidad de materias primas vegetales, animales y bacterianas que cuenta el país (Torres, F., 2013).

## Problema-Oportunidad



10

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un biopolímero basado en el cultivo del hongo pleurotus ostreatus, sobre residuos de mimbre, a través de un trabajo experimental, para la determinación de propiedades y usos posibles en el área del diseño.

### Objetivos Específicos

1. Analizar los antecedentes del cultivo del hongo pleurotus ostreatus, mediante una investigación bi-

biográfica, con la finalidad de definir la información importante para el desarrollo posterior del material.

2. Determinar el desarrollo del cultivo del material, mediante una experimentación, con el fin de elaborar un procedimiento estándar de producción del material.

3. Evaluar las características físico-mecánicas y perceptuales del material, a través de ensayos y pruebas, caracterizando el material a estudiar.

4. Evaluar las posibilidades constructivas del material, mediante moldes, determinando las formas con las cuales se puede trabajar el material.

## Metodología de trabajo

En general el informe abarca un trabajo exploratorio donde se busca generar una versión local del material de hongo o *mushroom material*, el estudio se divide en dos partes (imagen 1), la primera una investigación bibliográfica en la etapa cero, para definir antecedentes y recopilar la información necesaria para aplicarla en la siguiente etapa y en el informe se encuentra en los capítulos I, II y III.

Y la segunda parte es el estudio experimental, comprendiendo las etapas 1 de experimentación, la 2 de ensayos y pruebas, y finalmente la etapa 3 donde se analizan las posibilidades constructivas, todo este trabajo se encuentra en los capítulos IV y V.

Fases	
Etapa 0 Investigación bibliográfica	Grown material
	Estado del arte
	Cultivo
ESTUDIO INVESTIGATIVO	
Etapa 1 Experimentación	Exp. previa
	Exp. definitoria
	Exp. final
Etapa 2 Ensayos y pruebas	Mecanizado
	Coloración
	Físicos
	Mecánicos
	Biodegradabilidad
Perceptuales	
Etapa 3 Posibilidades constructivas	Figuras geométricas
	Curvas simples y complejas
ESTUDIO EXPERIMENTAL	

Imagen 1 Metodología de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

## Alcances (Finalidades/límites)

La finalidad principal del presente estudio es experimentar una versión local de un material ideado en E.E.U.U., el cual consta en aglutinar desechos orgánicos a través del crecimiento del micelio de un hongo, teniendo esta propuesta, se busca explorar las propiedades, ventajas y desventajas de un material nuevo. Y así, llegar a alternativas de uso en el diseño, construcción o decoración, diferentes áreas donde el material sea una innovación y una solución al problema de los materiales no degradables y con un gran impacto ambiental. De esta forma se espera contribuir en una metodología de trabajo experimental, además del estudio y diseño de un bio material.

El trabajo llega hasta un planteamiento de uso e ideas de como poder aplicar el material, no se llega a productos, con definición de usuario o contexto, ya que el tiempo es utilizado para el cultivo del material y su posterior análisis de características. Se aplican pruebas y ensayos basados en normas, para ser desarrollados de forma casera, por lo que se asume un porcentaje de error en los resultados, excepto los ensayos mecánicos y de sonido los cuales son realizados fuera de las dependencias de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la universidad, con mecanismos especializados. Se asegura un buen resultado en el cultivo del material final, sólo si se realiza bajo las condiciones establecidas en el informe.



# Capítulo I “Principios teóricos para la conformación de un material biodegradable”

## Capítulo I “Principios teóricos para la conformación de un material biodegradable”

En este capítulo se aborda la base teórica para desarrollar un biomaterial, planteando temas desde la sostenibilidad, incluyendo el aporte que el diseño realiza en esta área a través del Diseño para la Sostenibilidad (DFS), dentro de este término se encuentran conceptos como diseño verde, eco diseño, de la cuna a la cuna, entre otros, los cuales explican ciertos criterios que deben cumplirse a la hora de diseñar un producto o un servicio, siempre con una mirada sistémica del problema de la sostenibilidad.

Pasando por el concepto de ecología industrial, que imita los procesos naturales para llevarlos a la producción industrial, definiendo términos de materiales renovables y biodegradables y analizando el uso de residuos para la elaboración de nuevas materias primas a través del *upcycling*.

### 14 1.1 Diseño para la sostenibilidad (DFS)

El origen del término sostenibilidad nace a principios de la década de los 80`s, bajo la relación entre el medioambiente y la sociedad. La palabra en sí no tiene una definición única, como menciona la CEPAL en el artículo “Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico”, relaciona la sostenibilidad con otros términos como del sistema humano únicamente, donde los recursos naturales y los servicios pudieran sustituirse, considerando la sostenibilidad solo para el componente humano; La sostenibilidad del sistema ecológico principalmente, desplazando el componente humano, afirmando que los recursos pueden agotarse afectado el bienestar social; Y la sostenibilidad del sistema sociológico total, vinculando la sociedad y la naturaleza, asumiendo que los recursos naturales son insumos esenciales de la producción económica y no pueden ser sustituidos por el capital físico o humano. Cualquiera de estas definiciones, corresponden al hablar de sostenibilidad bajo el enfoque sistémico. (Gallopín, G., 2003).

Otro concepto importante es el de desarrollo sostenible, el cual, en la Declaración de Tokio de 1987 fue definida como el “progreso que afronte las necesi-

dades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para afrontar sus propias necesidades” (WCED, 1987). Con el tiempo, los estudios han demostrado que nuestra comprensión teórica del concepto ha ido evolucionando, desde una visión que percibe la sostenibilidad como un objetivo estático, a un objetivo dinámico, respondiendo a una creciente comprensión de las interdependencias entre los sistemas sociales y ecológicos, donde el conocimiento actual propone que la sostenibilidad es una propiedad del sistema y no de los elementos individuales. (Ceschin, F., & Gaziulusoy, I., 2016).

El diseño, como una herramienta primordial de la innovación dentro de las unidades de organización social, ha dedicado diferentes discursos sobre la sostenibilidad desde mediados del siglo XX, gracias a pioneros como Buckminster Fuller y Victor Papanek, pero dentro de la industria, desde 1980 el interés por temas ambientales y sociales se activa en la industria (Consejo, 2007, Gruber et al., 2015, Meroni de 2007 y Ryan, 2008. Citado en Ceschin, F., & Gaziulusoy, I., 2016)

Bajo esta mirada, nace el Diseño para la sostenibilidad (*Design for Sustainability*, DFS), donde sus principales estrategias están relacionadas con la selección de materiales: minimizar el consumo de materiales, seleccionar materiales no tóxicos e inoocuos, materiales renovables y biocompatibles y extender la vida útil de los materiales, a través del reciclaje y compostaje. Requisitos ambientales relacionados con los efectos ambientales, como el calentamiento global, debilitamiento de la capa de Ozono, acidificación de suelos, el smog, las emisiones tóxicas y la acumulación de desechos, asociando la solución a estos problemas a través de productos o materiales. (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013). En la tabla 1, se muestran las principales características de las propuestas del DFS. (Para más detalles revisar anexo 1)

Propuesta	Enfoque
Diseño verde	Reducir el impacto medioambiental mediante el rediseño de las cualidades individuales de cada producto.
Eco diseño	Disminuir el impacto ambiental centrándose en todo el ciclo de vida de los productos desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final.
Diseño emocionalmente duradero (EDD)	Fortalecer y extender en el tiempo la vinculación emocional entre el usuario y el producto.
Diseño para un comportamiento sostenible (DfSB)	Hacer que la gente adopte un comportamiento sostenible deseado y abandone un comportamiento insostenible no deseado.
Diseño de la cuna a la cuna (CTC)	Énfasis en un enfoque regenerativo por parte de la industria; Se centran en las especies no humanas y las generaciones futuras.
Diseño biomimético (BM)	Imitación de la naturaleza en el diseño de formas, productos y sistemas utilizando la naturaleza como modelo, medida y mentor.
Diseño para la base de la pirámide (DfBoP)	Mejorar las vidas de las personas que viven en la base de la pirámide a través de soluciones basadas en el mercado.

Tabla 1 Principales características de las propuestas del DFS.  
Fuente: Ceschin, F., & Gaziulusoy, I., 2016.

## 1.2 Ecología industrial

En el texto “Ecología industrial y desarrollo sustentable” el concepto de Ecología industrial (EI) es definido como:

Un área de conocimiento que busca que los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando el modelo lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, impulsando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales. (Erkman, 2003. Citado en Cervantes, G., et al 2009).

Una manera de evaluar los procesos de la E.I. es a través del análisis del ciclo de vida. El concepto de ciclo de vida, se refiere a una metodología que evalúa el impacto ambiental de productos o servicios, y desde el diseño, contempla todas las etapas

necesarias para producir un producto, distribuir, utilizar y finalmente deshacerse de él, incluyendo todos los procesos asociados al diseño. Dentro del ciclo de vida se identifican cinco fases, como muestra la imagen 2. (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013).

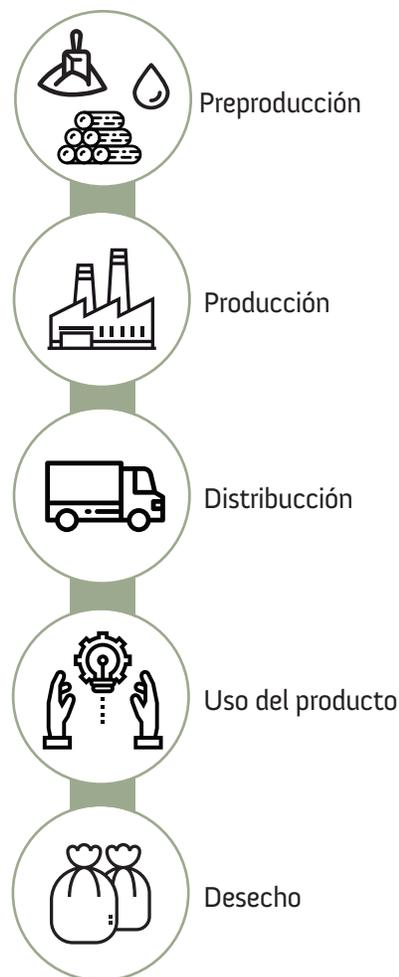


Imagen 2 Ciclo de vida. Fuente: Elaborado a partir de Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013.

Sin embargo, el análisis del ciclo de vida, originalmente fue diseñado para un ciclo de vida lineal, como se muestra en la imagen 2, bajo esta mirada, el diseño industrial no aprecia una interconexión entre las personas y la naturaleza o la relación entre la economía y la ecología, pensando en los sistemas naturales de la tierra, y puede que no sea apropiado para los intereses del presente informe dentro de un contexto circular. (Poppelaars, F., 2014)

En cambio, hoy en día, con mayores conocimientos de la tierra, empleando la inteligencia ecológica, el diseño puede implementar un análisis de ciclo de vida sustentable, a través De la Cuna a la Cuna (Cradle to Cradle, C2C). Una metodología que in-

corpora esta nueva conciencia en todos los niveles y sus principios se basan en los sistemas naturales, como se muestra en la imagen 3, en flujos perpetuos de energía y nutrientes que alimentan la biodiversidad.

La intención principal de esta filosofía, es aplicar la inteligencia y eficacia al diseño de productos y servicios, esto significa desarrollar materiales, productos, cadenas de suministros y procesos de fabricación ecológicos, donde cualquier desecho se convierta en alimento, logrando crear un sistema cerrado, proporcionando después de la vida útil nuevos productos, eliminando el concepto de residuo. (Braungart, M. & McDonough, W., 2002)



Imagen 3 Ciclo de vida circular. Fuente: Elaboración propia.

### 1.3 Materiales renovables y biodegradabilidad

Si bien los términos descritos anteriormente, se relacionan más con el diseño de productos, es posible relacionar estos conceptos al diseño de materiales renovables y biocompatibles con la naturaleza.

Durante años las fibras naturales han sido desplazadas por materiales sintéticos como el poliéster, acrílico o nylon, estos materiales son muy baratos de hacer y fáciles de fabricar, con una mayor facilidad de adherencia de colores, mayor moldeabilidad y resistencias que se pueden ajustar de acuerdo a los requisitos. Áreas en donde existió un dominio en el

uso de fibras y materiales naturales, los materiales sintéticos han tenido un gran éxito. Sin embargo, la producción de estos materiales contribuye fuertemente a mayores emisiones y residuos de carbono. Y según la "Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, se estima que cada persona en el mundo es responsable de 19,8 toneladas de emisiones de dióxido de carbono en su vida, simplemente porque la ropa incluye fibras sintéticas" (Stone, 2010. Citado en Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013).

Es aquí donde las alternativas de materiales de origen natural han vuelto a surgir, bajo el concepto de materiales renovables o biodegradables. Un recurso o material renovable es aquel que puede restaurarse bajo procesos naturales, este no tiene por qué agotarse, ya que es capaz de regenerarse, sin embargo, esta capacidad de regeneración no evita que se pueda agotar, dependiendo de cómo se gestione y esto depende del ritmo de crecimiento del recurso, para así determinar el ritmo de explotación y que éste sea sostenible. (Riera, P., 2005). Sin embargo, si los materiales de recursos renovables son bien analizados y conseguidos de una manera que impacte lo menos posible el medio ambiente, cumpliendo con lo anterior, estos pueden contribuir al desarrollo sostenible.

Por otra parte, están los materiales biodegradables, son aquellos que no representan un peligro para los sistemas vivos en que puedan ser utilizados y pueden ser devueltos al medio ambiente para alimentar procesos biológicos. Estos pueden ser materiales naturales o vegetales, pero hoy también hay un desarrollo de materiales como biopolímeros y otras sustancias sintéticas que son seguras para los seres humanos y los sistemas naturales. (Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A., 2007).

Estos materiales naturales, están siendo redescubiertos para aplicaciones en el diseño de productos, fibras agrícolas como el lino, cáñamo, etc., están recibiendo un interés en el campo de las aplicaciones industriales, como materias primas para fabricar compuestos. Beneficios asociados como el costo y la reducción del peso son motivaciones para seguir investigando e innovando en aplicaciones con estos materiales, además de la preocupación ambiental que existe hoy en día por disminuir los sistemas insostenibles de producción y consumo. (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013)

## 1.4 Residuos destinados al diseño

El consumo de recursos hoy en día, está peligrando la disponibilidad de estos, debido a una creciente demanda, la tierra hoy en día está en los límites de la sostenibilidad, donde el agotamiento de los recursos se convierte en un asunto urgente. Los conceptos “Reducir, reutilizar y reciclar” suenan como alternativas predominantes a la dependencia de materias primas vírgenes. (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013). Bajo estos conceptos, nace el “*upcycling*” o supra-reciclaje, combinando las erres del ecologismo, a través de la reducción del consumo de nuevos productos y materias primas, llevándolas a una reutilización y reciclaje, logrando una segunda vida, ya sea diferente o mejor a la original. (Fernández, A., 2009). Considerando este fenómeno de producción en masa, los diseñadores son los encargados de aplicarlos en sus decisiones de diseño y así influenciar en el uso sostenible de los recursos.

En conjunto con lo términos asociados explicados anteriormente, es que en la presente investigación se plantea una metodología de producción de un material biodegradable y sostenible, a través del uso de residuos orgánicos producidos localmente, siguiendo la línea del diseño por la sostenibilidad, considerando un material con un ciclo de vida circular y con un bajo impacto ambiental en su producción.



## Capítulo II “*Grown Materials* (Materiales Cultivados)”

## Capítulo II “*Grown Materials* (Materiales Cultivados)”

El siguiente capítulo, presenta el término grown material o material cultivado, una tendencia en aumento impulsada por un desarrollo ecológico de materiales, tendencia que puede ser aplicada en cualquier país ya que las materias primas y la tecnología de procesamiento, son de fácil acceso, como se explica en la clasificación de estos nuevos materiales. .

### 2.1 *Grown materials*/Materiales cultivados

¿Por qué molestarse en fabricar materiales si pueden crecer orgánicamente?

El cultivo, la cosecha y el uso eficaz de los materiales cultivados ha sido un sello distintivo de la civilización humana durante los últimos 12 milenios, pero nunca ha sido más importante para el futuro de la especie. Más allá de la producción necesaria de alimentos, el crecimiento de las cosas tiene el potencial para resolver muchos de los desafíos del siglo 21, desde la construcción, hasta fabricación de prendas de vestir y productos de consumo. (Sandow, 2015).

Se ha sabido desde hace mucho tiempo, que los microorganismos pueden ser utilizados para procesos industriales, como cultivos de levaduras para la producción de pan, alcohol o queso. *Grown materials* o “materiales cultivados”, son una tendencia emergente relacionada con el mundo de los materiales y su fabricación, que reúne distintas áreas de trabajo como los plásticos bacterianos, nuevos biopolímeros y soluciones a materiales proporcionadas por organismos crecientes. El término “*grown*” se define como cualquier materia prima, producto tecnológico y/o proceso que se basa en ciclos de cultivo naturales de animales, hongos y reinos bacterianos. Esta tendencia de innovación, está siendo estudiada, pero ya existen proyectos que han elaborado prendas de vestir y objetos que se comercializan como sustitutos del poliestireno proporcionados por materiales naturales (Dexigner, 2015). Los materiales vivos “fabrican” el producto, esto a partir de instrucciones genéti-

cas o condiciones del entorno que promueven un “cultivo” controlado; En la naturaleza este proceso es espontáneo, sin embargo, los creadores de estos materiales, mediante la manipulación de cultivos, pueden personalizar propiedades como la fuerza, la textura, el peso y la elasticidad de los materiales. (Boullosa, N., 2014) Otra ventaja es la degradación natural que tienen estos materiales ya que es posible tirarlo al suelo del jardín sin provocar algún impacto negativo, ya que las materias primas serán biodegradables (como el organismo vivo), retornando al entorno sin propiciar gastos derivados de su tratamiento de degradación o reciclaje. (Grushkin, D., 2015)

### 2.2 Clasificación dentro de los bioplásticos

Para entender mejor esta tendencia, es que se agrupan en familias ya conocidas de materiales como lo son los biopolímeros, provenientes de los bioplásticos. Los bioplásticos no constituyen una única clase de polímero, sino una familia, hechos de materiales renovables y/o biodegradables que poseen una amplia gama de propiedades y aplicaciones, las clasificaciones más “estrictas”, separan los bioplásticos únicamente en función de su procedencia, ya sea a partir de fuentes fósiles (derivados del petróleo) o de materias primas naturales, denominándose entonces biopolímero (Remar, p. 5, 2011). Como lo muestra la imagen 4.

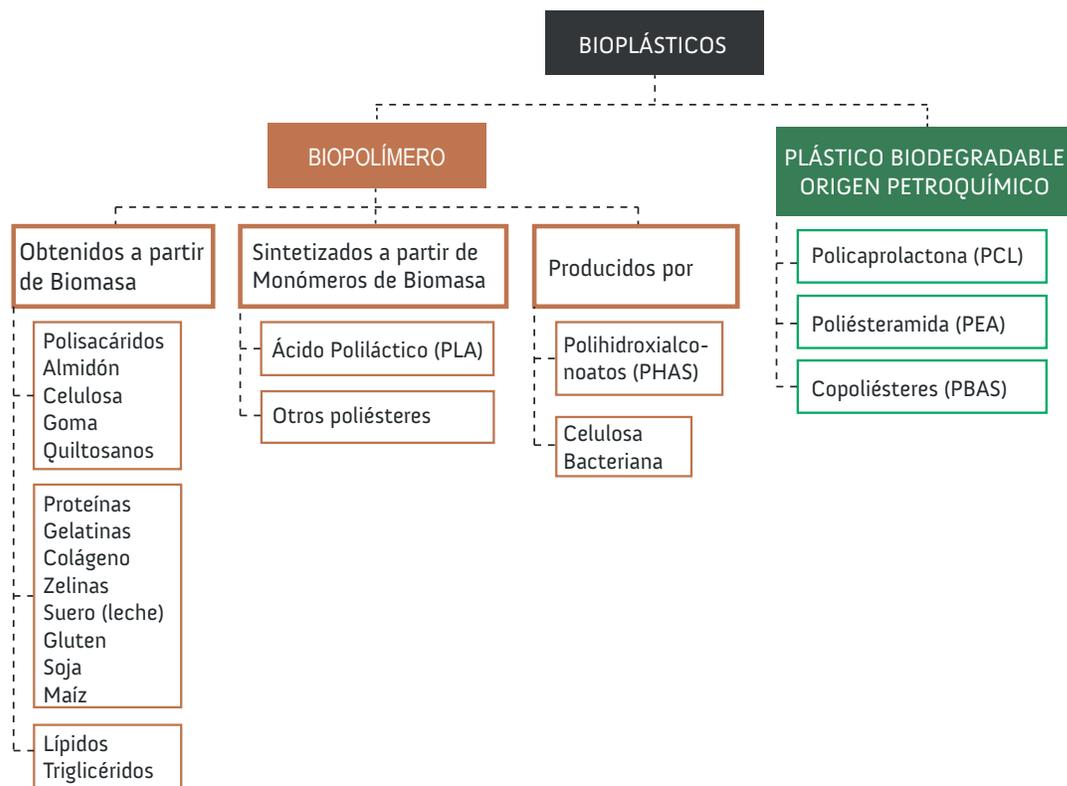


Imagen 4 En la imagen se muestra la clasificación de los bioplásticos. Fuente: Remar, P. 6, 2011.

Según la imagen anterior, la clasificación que será considerada en este informe es la del origen de los bioplásticos, considerando como foco de investigación los biopolímeros, procedentes de fuentes renovables.

### Biopolímeros

Los biopolímeros son definidos como “variedad de macromoléculas, producidas por sistemas biológicos, como animales, plantas o microorganismos”. Estos pueden ser sintetizados químicamente, sin embargo, como requisito fundamental sus unidades poliméricas deben ser derivadas de sistemas biológicos. (UNAD, s.f.)

Los biopolímeros representan los componentes orgánicos más abundantes en la naturaleza. Hoy en día, son considerados importantes para la vida cotidiana y sus propiedades otorgan una variedad de aplicaciones. Los biopolímeros logran biodegradarse en productos como el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, convirtiéndose posteriormente, en abono orgánico (Gómez, J., 2013). Los biopolímeros se clasifican en tres grupos, de acuerdo a su fuente de obtención, como lo muestra la imagen 4:

1. Biopolímeros producidos directamente por organismos vivos o biomasa: Dentro de este grupo se encuentran los polisacáridos como el almidón, celulosa o la goma, entre otras, las proteínas como la gelatina, gluten, suero, soja, maíz, etc. y los lípidos como los triglicéridos.

2. Biopolímeros producidos mediante polimerización de monómeros: En este grupo están los polímeros constituidos por monómeros que existen en la naturaleza o son derivados de materiales existentes en la naturaleza, por ejemplo: el ácido poliláctico (PLA) y otros poliésteres. (Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A., 2013)

3. Biopolímeros producidos por fermentación de bacterias: En este grupo se encuentran poliésteres producidos mediante la fermentación de bacterias, como el PHA y la celulosa bacteriana. (Gómez, J., 2013).

A continuación, se muestra una tabla (tabla 2) con los principales biopolímeros, organizados en base a la clasificación anterior, además de otorgarles otros ítems que describen aspectos como el tipo de polímero que se forma, la obtención del material, el grado de comercialización y la tecnología que se ocupa en su procesado, esto con la finalidad de

identificar el lugar de los *grown materials* dentro de los biopolímeros.

En la tabla se presentan ciertos biopolímeros, algunos más conocidos como el PLA, un poliéster que se obtienen de la polimerización química del monómero de ácido láctico, el cual se comercializa a gran escala en la industria actual, al igual que los polímeros basados en almidón, que mediante la modificación del polímero natural se obtiene el biopolímero, para ambos casos se utiliza una alta tecnología en su proceso de fabricación, como el soplado, inyección, termoformado y extrusión, procesos convencionales para todo tipo de plástico, implicando un uso de maquinaria industrial (Aponte, R., 2015). En el caso de los polímeros de celulosa, los que según su método de obtención, pueden ser agrupados en el primer grupo, en donde el polímero se obtiene directamente de organismos vivos o en el tercero en donde existe una fermentación por parte de bacte-

rias, están en un grado de comercialización madura, es decir, existe un amplio conocimiento sobre su obtención y pueden encontrarse muchos productos en los cuales se ocupa este biopolímero, utilizando los métodos convencionales de procesado, considerando que es el polímero natural más abundante en la tierra (Gallur, M., 2011). En la tabla también están considerados polímeros que se encuentran en etapa de investigación, como el Nylon 6 y 66, los cuales se obtienen mediante la fermentación, sin embargo, la tecnología de procesado sigue siendo alta, o sea, utilizan los procesos industriales de procesado de termoplásticos. Estos biopolímeros son fabricados por la industria, como respuesta a la necesidad de crear nuevos materiales que sustituyan a los plásticos convencionales.

Ahora bien, también existen personas y empresas que se han preocupado por el problema que han generado los plásticos y han querido ir más allá, no

22

Tipo de bioplástico	Tipo de polímero	Grupo	Método de obtención	Grado de comercialización	Tecnología de procesado
Polímero basado en almidón	Polisacárido	1	Obtenidos por modificación de polímero natural	Comercializado a gran escala	High tech
Ácido Poliláctico (PLA)	Poliéster	2	Se obtiene por polimerización química del monómero de ácido láctico (LA)	Comercializado a gran escala	High tech
Polihidroxialcanoatos (PHA): PHB, PHV y copolímeros	Poliéster	3	Polímero obtenido directamente por fermentación o cosechas genéticamente modificadas	Comercializado a menor escala o escala piloto	High tech
Nylon 6	Poliamidas	3	Caprolactama obtenida por fermentación	En investigación	High tech
Nylon 66	Poliamidas	3	Ácido adipídico obtenido por fermentación	En investigación	High tech
Polímeros de celulosa vegetal	Polisacáridos	1 / 3	Modificación polímero natural	Tecnología madura	High tech
Polímero de micelio	Polisacáridos	1	Obtenido del crecimiento del micelio del hongo	Comercializado a menor escala o escala piloto	Low tech
Polímero celulosa bacteriana	Polisacáridos	3	Obtenido de la fermentación bacteriana	En investigación	Low tech
Polímero de bacteria	Calcita	3	Polímero que se obtiene del cultivo de la bacteria <i>Bacillus Pasteurii</i>	En investigación	Low tech

Tabla 2 En la tabla se muestra la clasificación de algunos biopolímeros según la agrupación descrita anteriormente, además se consideran biopolímeros conocidos como materiales cultivados. Fuente: Balanta, D., Grande, C., & Zuluaga, F., 2010 - Remar, p. 8-9, 2011 - Elaboración propia.

sólo descubriendo un nuevo material que no contamine en su uso, sino a la vez, un material que en todo su ciclo de vida genere la menor contaminación posible, a través de un proceso productivo que casi no contamina, gracias a la nula utilización de maquinaria compleja y escaso empleo de combustibles fósiles.

Casos como los que se muestran en las últimas tres casillas de la tabla 2 en donde se pueden encontrar polímeros del grupo uno y tres, los cuales uno de ellos es comercializado a una baja escala y los otros dos están en etapa de investigación y lo que los diferencia principalmente de los otros biopolímeros es la baja o poca tecnología usada para crearlos, ya que el proceso principal para concebir estos materiales es el crecimiento durante un tiempo determinado, mediante moldes para rellenar o líquidos que fermentan, ya sea del micelio, de la celulosa bacteriana o de la fermentación de bacterias, procesos que no necesitan de una mayor tecnología, otorgando la facilidad de ser accesibles a las personas que quieran replicar estos materiales, ya que también, muchos creadores ofrecen su trabajo bajo la licencia Creative Commons, permitiendo que se genere un mayor conocimiento sobre estos materiales, los cuales son conocidos como *Grown Materials* o “Materiales Cultivados” (Ecovative, 2017a. - Franklin, D., & Cass, G., 2007 - Lee, S., 2011).

### 2.3 Estado del arte

Los *grown materials* (materiales cultivados), son una tendencia que ha ido emergiendo en los últimos años, agrupaciones y personas han elegido investigar y desarrollar distintos materiales que siguen la línea del cultivo, observando distintos elementos y sucesos que se encuentran y ocurren en la naturaleza, aplicándolos en un proceso para crear un material biodegradable. Existen varios proyectos a nivel mundial que ocupan materiales que nunca antes habían sido considerados para esta aplicación ya que generalmente son utilizados como alimentos o productos medicinales, como el caso de las setas (hongos) o de la celulosa bacteriana (hongo kombucha).

Los proyectos han sido clasificados según la materia prima con la que se trabaja, puesto que durante la búsqueda se identificaron líneas de trabajo, considerando tres principales: mushroom materials,

materiales de celulosa producidos por una bacteria y material aglutinado por una bacteria.

#### 2.3.1 *Mushroom materials* (materiales de setas u hongos)

Los *grown materials* (materiales cultivados), son una tendencia que ha ido emergiendo en los últimos años, agrupaciones y personas han elegido investigar y desarrollar distintos materiales que siguen la línea del cultivo, observando distintos elementos y sucesos que se encuentran y ocurren en la naturaleza, aplicándolos en un proceso para crear un material biodegradable. Existen varios proyectos a nivel mundial que ocupan materiales que nunca antes habían sido considerados para esta aplicación ya que generalmente son utilizados como alimentos o productos medicinales, como el caso de las setas (hongos).

Este material tiene origen en una actividad de agricultura en donde se cultivan hongos comestibles, medicinales e incluso alucinógenos y se aprovechan los desperdicios agrícolas o forestales, pero no como un material como tal, sino como una fuente de alimento para países subdesarrollados, en donde existe una deficiencia proteica en sus habitantes. Aquí nacen las granjas de cultivo de hongos comestibles, en donde la población junta residuos agrícolas, la mezcla con otros nutrientes, en donde se cultiva el hongo en unas especies de bloques, para su posterior consumo o comercialización (Bonilla, M., et al, 2007). Sin embargo, esta actividad ahora es aplicada a la fabricación de materiales biodegradables.

Los *mushroom materials* o materiales de setas u hongos, son el material más desarrollado a nivel mundial, dentro de la categoría de “*grown materials*”, se utiliza el micelio del hongo, siendo el principal elemento en este material y cumple la función de ser el aglutinante natural que unifica los elementos involucrados. El organismo natural fúngico (hongo), se emplea como agente de cohesión y transformación de elementos orgánicos, como fibras naturales y desechos agrícolas, principalmente. Al alimentar directamente con nutrientes y compuestos en dichos elementos, los hongos se desarrollan en una intrincada red de filamentos -el llamado micelio-, que actúa tanto como aglutinante natural y como un material puro para la creación de materia, algunos proyectos difieren en los

ingredientes y en las condiciones de crecimiento, pero el proceso en términos generales es el mismo. (Montalti, M., 2017a).

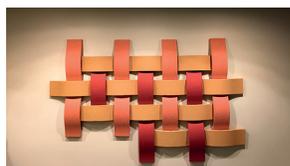
Uno de los proyectos más reconocidos en el mundo que comercializa este material es de Ecovative. una empresa norteamericana liderada por Eben Bayer y Gavin McIntyre, un ingeniero y un científico respectivamente, quienes en el año 2006 se juntaron para inventar una nueva forma de utilizar hongos, viendo el proyecto como una ayuda para el planeta. El material que crean lo nombran Ecovative Interiors, MycoFoam, Myco Make y Mycoboard (según su aplicación), hechos de residuos agrícolas y micelio de hongo, mediante un proceso muy parecido al que realiza la gente para cultivar el hongo comestible, sin embargo, Ecovative ha ido mejorando la técnica a lo largo de sus años de investigación. Las primeras muestras se centran en el aislamiento de edificios, creando paneles rígidos con la idea de reemplazar las espumas plásticas, pero luego de este primer

acercamiento, deciden fijar sus esfuerzos y creaciones en objetos que reemplacen el poliestireno expandido, principalmente en packaging y envases que normalmente ocupan este material. Ya en el 2010 logran reemplazar muchas piezas de plástico convencional, gracias al bajo costo de producción y al alto rendimiento del material, lo que atrae a clientes como Fortune 500, DELL, Create and Barrel, PUMA, Stanhope Seta y Ikea, quienes actualmente ofrecen sus productos embalados y protegidos con el material de seta de hongo (como se observa en la tabla 3). Hoy en día la empresa busca aplicar el material en áreas distintas al embalaje, a través del área de I+D en sus dependencias y de proyectos a nivel mundial en donde ofrecen la materia prima y la gente es quien busca una alternativa para el material resultante. (Ecovative, 2017b).

24

MycoFoam - Mycoboard	
Nombre	Ecovative
País	E.E.U.U.
Creador(es)	Eben Bayer - Gavin McIntyre - Empresa Ecovative
Año	Desde 2006
Motivación	Empresa comprometida a trabajar con la industria y los consumidores para librar al mundo de materiales tóxicos e insostenibles.
Organismo creciente	Micelio (hongo "raíces")
Otros materiales	Residuos agrícolas: tales como lino, canola, cáñamo, maderas duras y blandas
Tiempo	10 días promedio
Resultado/textura	Material tipo espuma (alternativa a los plásticos blandos como espuma de poliestireno)
Color original	Blanco
Aplicación de tintes	Color negro para aplicaciones en la industrial automotriz
Aplicaciones	Packaging de setas, ladrillos, material de construcción de mobiliario, tablas de surf, paneles aislantes, protección en autos

Material/Productos



Ecovative Interiors

Mycoboard

Myco Foam

Myco Make

Tabla 3 Ficha del material de seta diseñado por Ecovative. Fuente: Elaboración propia.

## Proceso de trabajo

Si bien la empresa no declara abiertamente el cómo se puede lograr un material similar al que ellos producen, en su página de ventas, ofrecen un kit que trae la mezcla del sustrato y micelio lista, y sólo permite la creación en diferentes moldes. El kit se llama “*Grow It Yourself Material*” (Ecovative, 2017c) y contiene unas instrucciones para el llenado de moldes que se muestra a continuación en la imagen 5.



Imagen 5. Pasos para utilizar el kit de Ecovative. Fuente: Elaborado en base al original en Ecovative, 2017c.

## Propiedades del material

La empresa Ecovative, al momento de comenzar a ofrecer a distintas empresas sus productos, realizó una investigación en base a pruebas del material, para definir sus propiedades físicas. La siguiente tabla, reúne los resultados de las pruebas, junto a las normas que sustentan dichos ensayos. (tabla 4)

25

Tabla 4 En la tabla se observan las especificaciones técnicas del material de setas según las pruebas realizadas por Ecovative, considerando propiedades mecánicas, caloríficas, hídricas, acústicas, entre otras. Fuente: Ecovative, 2017d

Especificaciones del Material		
	Norma	Ecovative
Densidad	—	80-130 g/L
Resistencia termica	ASTM D2844	R 3.6 Per Inch
Fuerza de compresión (10%)	ASTM D695	55-100 kPa
Módulo Elástico (10%)	ASTM D695	690-1034 kPa
Resistencia a la flexión	ASTM D1037	413-1000 kPa
Inflamabilidad	TGA Test	Estable hasta 340°C
Resistencia al fuego	ASTM E84	Clase de cortafuego
Propagación superficial de llama	—	20
Desarrollo de humo	—	50
Aldehídos y emisiones de COV	ASTM E1333	< 0.01 – 0.03 ppm
Transmisión de Vapor de Agua	ASTM E96	30 US perm, Clase 1 Vapor Retardador
Resistencia al moho	ASTM C1338	Pass
Absorción de agua	ASTM C1134	7%
Transmisión de Sonido	ASTM E1050	0 – 6300 Hz

Otro proyecto que ha avanzado estos últimos años, en el ámbito de la investigación y desarrollo de materiales, es el realizado por MycoWorks, empresa liderada por Phill Ross, un artista estadounidense que al igual que Ecovative, se vio motivado por utilizar este “material orgánico autoextinguible”. Ha trabajado creando ladrillos para construcción de hábitats humanos, como objetivo prioritario, aunque también ha realizado mobiliario (ver tabla 5). El artista además ha incursionado en la técnica de procesado del material realizando cambios en la temperatura, el tamaño y la forma del recipiente y otros factores durante el crecimiento, lo que produce variaciones en la textura, color y consistencia del material, al que bautiza como Mycotecture. Phil Ross actualmente, comercializa sus productos con el material de setas en diferentes exposiciones. (Thomas, 2012) Hoy en día Phill Ross junto a otros profesionales trabaja en MycoWorks, una empresa estadounidense dedicada al diseño e ingeniería de materiales. (MycoWorks, 2016a).

Tabla 5 Ficha de Mycotecture, material diseñado por Phil Ross.  
Fuente: Elaboración propia

### Mycotecture

Nombre	Mycotecture
País	E.E.U.U.
Creador(es)	Phil Ross - Empresa Mycoworks
Año	2009
Motivación	Proponer un uso a los elementos proporcionados por la naturaleza como los hongos y reducir los efectos contaminantes de la industria del plástico. Crear un material tan resistente como lo es el concreto, pero de origen orgánico y completamente biodegradable.
Organismo creciente	Micelio (Hongo reichi)
Otros materiales	Desechos orgánicos
Tiempo	10-11 días
Resultado/textura	Material resistente, con semejanza a un poliestireno
Color original	Blanco y café
Aplicación de tintes	Diferentes colores aplicados al textil
Aplicaciones	Sillas, taburetes, ladrillos para construcción, textiles.

#### Material/Productos





Paso 1

Recoger una muestra del hongo



Paso 2

Preparar el agar



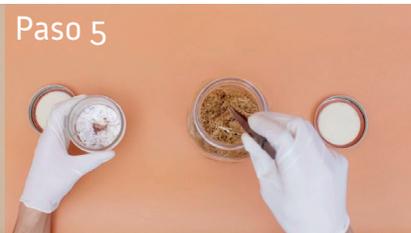
Paso 3

Poner la muestra del hongo en el agar para que comience el crecimiento del micelio



Paso 4

Preparar el sustrato para la experimentación, se necesita el residuo agrícola, y a este se le pueden adicionar azúcar, comida de gato o bebidas energéticas para su enriquecimiento.



Paso 5

Poner el hongo en el sustrato, para que comience a crecer el micelio, entre 3 a 7 días



Paso 6

Remover la mezcla anterior, separándola en piezas y ponerla en un molde del tamaño deseado



Paso 7

Remover el ladrillo del molde y dejarlo al aire para que respire por una semana y así el hongo crezca con más libertad



Paso 8

Poner el ladrillo en un horno para matar el organismo

## Proceso de trabajo

Mycoworks en su pag web, realiza un video titulado “*How to make a mycelium brick in 8 easy steps*”, donde explican de manera sencilla como elaborar un ladrillo de micelio, considerando todas las etapas de trabajo, imagen 6 (Mycoworks, 2014b).

Imagen 6. Pasos para elaborar un ladrillo de micelio según Mycoworks. Fuente: Elaboración el base a un video, MycoWorks, 2016b.

Siguiendo con los proyectos que han incursionado con el material de setas, está MYX material (ver tabla 5) de Jonas Edvard Nielsen, un diseñador industrial de Dinamarca, quien ocupa desechos para el desarrollo del micelio, pero esta vez residuos de la industria textil y de la confección de cuerdas, este trabajo enmarcado en el proyecto final de la Escuela de Diseño en Dinamarca el año 2013. El material resultante, luego de dos semanas de cultivo, es de una apariencia flexible y robusta, material con el que el diseñador desarrolla una pantalla de lámpara y un textil de micelio. Como diseñador, Jonas Edvard, enfoca su trabajo en crear una nueva experiencia para los usuarios a través de un material conformado por residuos y hongos (Hormann, M., 2013).

## MYX Material

Nombre	MYX material (MYX textil - MYX lámpara)
País	Dinamarca
Creador(es)	Jonas Edvard Nielsen
Año	2013
Motivación	Proyecto que se dirige a la industria y la sociedad, al desafiar el método de producción de productos de diseño. Al combinar la creación de productos funcionales con la producción de alimentos siendo un problema en el desarrollo de diseño de producto sostenibles, el problema de los residuos.
Organismo creciente	Micelio (hongo "raíces")
Otros materiales	Residuos textiles
Tiempo	14 días
Resultado/textura	Material tipo espuma ligero, flexible y robusto
Color original	Blanco
Aplicación de tintes	Se aplica tinte al residuo textil, color que se mantiene luego del cultivo
Aplicaciones	Pantalla de lámpara colgante y textil de micelio

### Material/Productos



Tabla 6 Ficha de MYX material, material que ocupa principalmente residuos textiles. Fuente: [Elaboración propia](#)

28

Y por último un proyecto que no sólo trabaja con el material y la técnica del cultivo de hongos comestibles, sino que también utiliza la tecnología para desarrollar un material que podría utilizarse en la construcción de cualquier cosa, incluso una casa, es el trabajo de Eric Klarenbeek, un diseñador holandés, quien en el año 2013 junto a científicos de la Universidad de Wageningen en Holanda, utilizaron la técnica de la impresión 3d para reunir la tecnología y la naturaleza en una silla de bioplástico y setas (ver tabla 7). El proyecto de Klarenbeek, llamado "Mycelium Chair" (Silla de Micelio) explora lo que sucede cuando se combina la tecnología de impresión 3d, con la técnica de producción de bloques biológicos de hongos. Logra crear un material flexible gracias al material de hongo y rígido, ya que utiliza un bioplástico orgánico para crear las paredes de una silla escultórica, inspirada en el crecimiento natural de los hongos y las formas orgánicas de la naturaleza. El futuro del proyecto es seguir desarrollando objetos utilizando esta técnica, superando la limitante del tamaño de impresión que pueden entregar las máquinas 3d, para poder crear objetos más grandes. (Klarenbeek, s.f.)

### Proceso de trabajo

Eric Klarenbeek diseña un sistema automatizado para producir el material de hongo, al mismo tiempo que elabora productos terminados, como sillas y taburetes. Esto gracias a una impresora 3D, donde abre posibilidades infinitas de desarrollo de productos. Luego de recolectar los residuos de industrias agrícolas, estos son triturados en el proceso de molienda, para ser mezclados junto al micelio y ser procesados junto a un bioplástico en la impresora 3D, de esta forma el cultivo del material se realiza en la forma impresa, como se observa en la imagen 7 y con las semanas el material va tomando rigidez hasta poder soportar el peso de una persona. (Flaherty, J, 2013)

## Mycelium chair

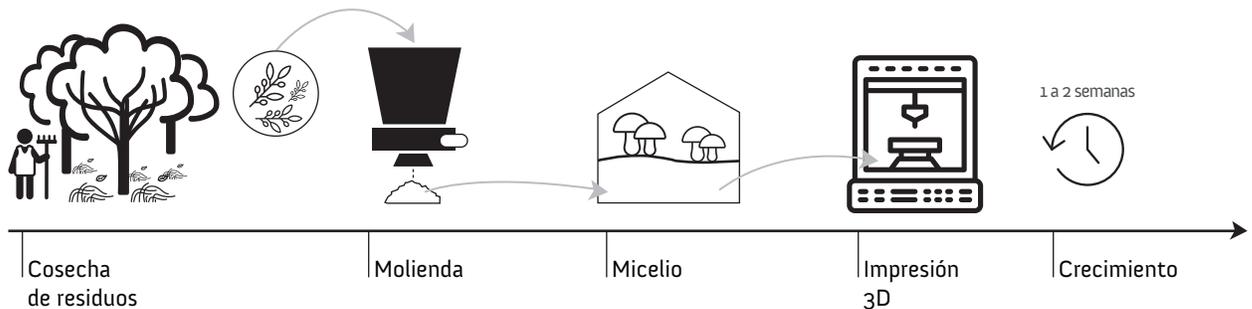
Nombre	Mycelium chair
País	Holanda
Creador(es)	Eric Klarenbeek
Año	2013
Motivación	Proyecto se inspira en el crecimiento del micelio y refleja la libertad de la impresión 3D. El material vegetal produce oxígeno durante su ciclo de vida, eliminando la necesidad de materiales de calefacción en el proceso de impresión, reduciendo así el uso de la energía.
Organismo creciente	Micelio
Otros materiales	Bioplástico y desechos agrícolas
Tiempo	1 a 2 semanas
Resultado/textura	Silla resistente gracias a la mezcla de bioplásticos y micelio
Color original	Blanco
Aplicación de tintes	No hay registros
Aplicaciones	Silla y taburete

### Material/Productos



Imagen 7. Proceso de trabajo para la elaboración del proyecto Mycelium Chair. Fuente: Flaherty, J, 2013.

Tabla 7 Ficha del proyecto Mycelium Chair de Eric Klarenbeek. Fuente: Elaboración propia



### 2.3.2 Materiales de celulosa bacteriana

Los materiales de celulosa bacteriana, gracias a sus características particulares, se han convertido en una fuente alterna al uso de celulosa vegetal para la creación de biopolímeros, llevando esta bacteria a una aplicación dentro de los *grown materials* (materiales cultivados).

La bacteria que produce celulosa tiene como nombre científico *Gluconacetobacter Xylinum*, bacteria que realiza una fermentación oxidativa en diversos azúcares o alcoholes, donde es capaz de producir

una “película” o “nata” sobre medios líquidos o sólidos, funcionando como mecanismo de “flotación” al estar en la interface aire/líquido para obtener el O<sub>2</sub> necesario para su crecimiento. Su rango óptimo de t° para su cultivo es de 28-30° C y el ph del medio de cultivo puede variar de 4.0 a 6.0. La composición del medio de cultivo puede variar acorde con la cepa utilizada, aunque las fuentes de carbono adecuadas para el crecimiento de celulosa bacteriana las pueden proporcionar los carbohidratos, la sacarosa, la glucosa, la fructosa y la lactosa. Los períodos de incubación pueden variar según el sistema de cultivo,

es decir si el cultivo es agitado los lapsos de tiempo para la producción son entre 24 a 72 hrs, en cambio el cultivo estático se caracteriza por largos períodos de cultivo que van de una a cuatro semanas. (Chávez, L., Martínez, S., Contreras, M. & Escamilla, E., 2004).

Un proyecto emblemático que ha utilizado la celulosa bacteriana es Biocouture de Suzanne Lee, una diseñadora textil británica quien desarrolló un proyecto ecológico para crear ropa a partir de la fermentación de azúcar, levadura, té verde y bacterias. El acercamiento de Suzanne con la microbiología nace en su búsqueda creativa en el área de la indumentaria en el año 2005, cuando el biólogo escocés David Hepworth le introduce el concepto de materiales vivos, en donde organismos como bacterias eran capaces de producir celulosa. La diseñadora, aplicó la receta que se utiliza para hacer té de kombucha (celulosa bacteriana), una bebida milenaria con sabor a sidra, en donde el organismo crea un cuerpo gelatinoso que va creciendo a medida que se alimenta del azúcar, el que luego deja secar, obteniendo una membrana rígida parecida a un cuero vegetal. (Grushkin, D., 2015) Con este material, Suzanne ha creado distintos tipos de chaquetas y zapatos (Ver tabla 8).

### 2.3.3 Materiales fortificados por bacterias

En esta última categoría se considera una bacteria y su orina, como fuente principal para crear un material tan resistente como el concreto, la bacteria es la que se cultiva, dejándola trabajar por unos días para que realice la tarea de compactación, siendo parte del material que va formando.

La bacteria en cuestión es llamada científicamente bacteria *bacillus pasteurii*, que mezclada con arena, provoca una reacción biológica que convierte la arena en piedra arenisca sólida, esto en un corto período de tiempo, ya que las reacciones iniciales finalizan en el plazo de 24 hrs, aunque se necesita alrededor de una semana para saturar la arena lo suficientemente firme. Estas bacterias no son patógenas y mueren en el proceso de solidificación de la arena. La *bacillus pasteurii* es una bacteria aeróbica infiltrada en depósitos naturales de suelos húmedos y pantanosos que origina calcita, una forma cristalina y estable del carbonato de cálcico y la deposita alrededor de los granos de arena sueltos, pegándolos unos con otros. (Civantos, D. 2010).

Tabla 8. Ficha del proyecto de Suzanne Lee, utilizando celulosa bacteriana. Fuente: Elaboración propia.

Biocouture	
Nombre	Biocouture
País	Inglaterra
Creador(es)	Suzanne Lee
Año	2003
Motivación	Complemento inteligente y sostenible a los materiales textiles que hoy se usan, como el cuero, algodón, seda, etc.
Organismo creciente	Celulosa bacteriana: Kombucha
Otros materiales	Té verde, azúcar, vinagre de sidra
Tiempo	Dos a tres semanas
Resultado/textura	Cuero vegetal semi traslúcido flexible
Color original	Rosado una vez seco- café claro húmedo: color que obtiene del té verde
Aplicación de tintes	Mediante frutas y vegetales, mediante oxidación ferrosa, agregando índigo (tinte natural)
Aplicaciones	Indumentaria

#### Material/Productos







Capítulo III “Antecedentes y  
Componentes del *Mushroom*  
*Material* (Material de hongo)”

### 3.1 Hongo

#### 3.1.1 *Mushroom material*: posibles hongos a utilizar, hongos utilizados para la creación del material

El *mushroom material* o material de hongo se compone principalmente de dos elementos: hongo y sustrato. En este capítulo se abordarán los antecedentes del material considerando su origen en el área de la agricultura, las etapas y procesos dentro del trabajo del cultivo de hongos comestibles, y los sustratos que se han utilizado para esta actividad, además de entender el proceso biológico que se produce durante el crecimiento del micelio.

En el texto “The mechanical possibilities of mycelium materials”, de Robert Lelivelt, se mencionan una serie de hongos que sus características son adecuadas para un *mushroom material* (material de hongo). Considerando un micelio denso, de rápido crecimiento y relativamente fácil de cultivar. Dentro de los hongos de la lista, según fuentes del estudio de Lelivelt, las mejores cepas para cultivar el material son *Coriolus Versicolor* y *Pleurotus Ostreatus*, imagen 8. (Lelivelt, R., 2015).

Con esta información, sumada con la de los capítulos anteriores, se llega a la generación y apropiación en base al proceso de cultivo de hongos comestibles, para llevarlo al desarrollo del material de hongo (*mushroom material*), con nuevas variables, consideraciones, tiempos, nuevos sustratos, etc, según se considere pertinente.

34

En este capítulo se menciona el cultivo de hongo *pleurotus ostreatus* como procedencia al material de hongo o *mushroom material*, ya que las etapas, las consideraciones ambientales y físicas, los tiempos y cuidados son similares, o pueden replicarse para el cultivo del material. Sin embargo, para esta investigación se tomarán en cuenta ciertos elementos, y otros serán parte de la experimentación, ya que no todo lo mencionado en este capítulo sirve en un 100% para el cultivo del material de hongo, siendo necesaria la experimentación para obtener un material que pueda utilizarse.

Para poder comenzar la elaboración del material es necesario distinguir estos dos cultivos en conjunto y por separado, identificando las similitudes y diferencias para establecer las variables que se mantienen y las que se modifican a través de la experimentación.

	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Hongo Ostra)	Usado por el diseñador Maurizio Montalti
	<i>Coriolus Versicolor</i> (Cola de Pavo)	Usado por el diseñador R.J.J. Lelivelt
	<i>Ganoderma Lucidum</i> (Homgo Reishi)	Usado por el artista Phill Ross
	<i>Polyporus squamosus</i> (Silla de Dryad)	Usado en el packaging de Ecovative

Imagen 8. Listado de cepas utilizadas para crear el *mushroom material* (material de hongo). Fuente: Lelivelt, R., 2015.

#### 3.1.2 *Pleurotus ostreatus*

El hongo ostra pertenece a la familia del género *Pleurotus*, término que deriva del griego pleurá o pleurón, costado o lado y del latín otus, oreja (Gaitán, R., et al, 2006). *Pleurotus* pertenece al orden Agaricales, subdivisión Basidiomycetes, donde se encuentran importantes géneros de hongos superiores. Esta cepa tiene dos características importantes que las hace ideales para la creación del *mushroom*

material (material de hongo), la primera es que el micelio tiene una gran solidez, al tener una hifa que autorepara las rupturas durante su crecimiento, y la segunda característica es la anastomosis (imagen 9), que es la capacidad de fusionar dos hifas cuando estas se encuentran, lo que permite la creación de grandes redes, éstas transportan nutrientes desde las zonas con altos contenidos a las zonas bajas en nutrientes, logrando un crecimiento más homogéneo y un micelio más fuerte (Lelivelt, R., 2015).

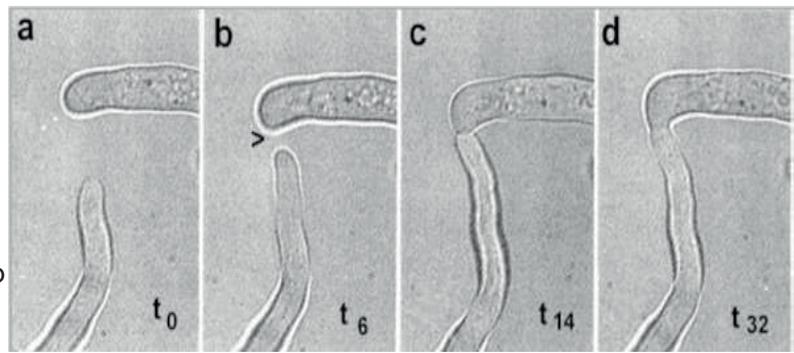


Imagen 9. Anastomosis, proceso de unión de dos hifas. Fuente: Lelivelt, R., 2015

El pleurotus caracteriza por presentar un gran carpóforo o píleo carnoso, con forma de abanico semicircular, desplazado hacia el estirpe (pie), de diferentes colores: blanco, gris, azuloso o café; las laminillas blancas a amarillas, gruesas y descendientes por el estirpe. El pie cuando está presente es grueso, curvado, corto y blanco (Ver imagen 10). Dentro de esta especie se han descrito 20 especies de pleurotus, siendo la mayoría de ellas comestibles, sin embargo, desde el punto de vista de especies domesticadas, las más cultivadas son *P. abalonus*, *P. cornucopiae*, *P. eryngii*, *P. opuntiae*, *P. pulmonaris* y *P. ostreatus*, (Cañumir, J., Cortéz, M. & France, A., 2000) siendo esta última especie elegida para trabajar en esta investigación.

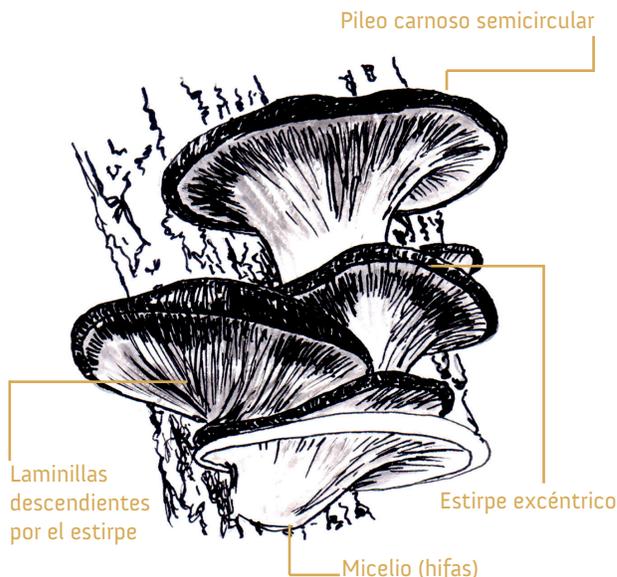


Imagen 10. Características morfológicas del cuerpo frutal del *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Substrato

#### 3.2.1 Substratos utilizados para la creación de material

Al seleccionar el sustrato algunos factores son importantes. En primer lugar, el sustrato tiene que tener alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. La nutrición de un hongo consiste en la glucosa, la cual consiguen transformando la celulosa en glucosa, una diferencia fundamental entre hongos y otros organismos. Esto significa que en ambientes ricos en celulosa los hongos pueden crecer rápidamente, mientras que otros organismos no pueden. Otra ventaja de utilizar materiales ricos en lignocelulosa es que, la mayoría de los desechos agrícolas, la celulosa, hemicelulosa y lignina están presente como un compuesto estructural.

35

En segundo lugar, tiene que estar disponible a nivel local. Sería contraproducente crear un material totalmente de base biológica y sostenible, y tener que trasladar grandes distancias el desecho orgánico, mientras que soluciones similares pueden estar disponibles localmente. Y, en tercer lugar, tiene que ser compatible con los hongos, ya que algunas plantas tienen compuestos especiales para evitar el crecimiento de hongos dentro de ellos. (Lelivelt, R., 2015).

#### 3.2.2. Substratos utilizados en el cultivo

En este capítulo, se hace referencia al cultivo del *pleurotus ostreatus* para su consumo, como referencia para la experimentación. Siguiendo con esto, es que se analizan los substratos en los cuales se ha cultivado en pleurotus, con dos propósitos: primero, para tener una noción de los materiales en los cuales el hongo ha tenido un desarrollo eficaz y segundo, para no utilizar estos desechos que ya

se han ocupado variando los resultados.

Se realiza un catastro en investigaciones donde se cultivó el hongo *pleurotus ostreatus*, trabajos que en su mayoría son de Latinoamérica y los substratos provienen generalmente de la industria agrícola. En la tabla 10, se muestran los substratos utilizados para cultivar *pleurotus ostreatus*, el país donde se realizó la investigación, la procedencia del desecho, ya sea agrícola, forestal o urbano, y el resultado, positivo o negativo del cultivo del hongo.

El substrato ideal para *pleurotus*, son las pajas de cereales como trigo, avena y cebada. (Biomielios, 2017b.) Sin embargo, se han probado diferentes desechos orgánicos para el cultivo del hongo, los que se caracterizan por ser desechos locales del país donde se realiza el trabajo, siendo fáciles de obtener debido a su abundancia, incentivando el uso de estos desechos que en su mayoría se acumulan, como en el caso de Colombia donde los residuos de café son característicos, o los restos de ají en México. Los países donde se han realizado este tipo de investigación, son en su mayoría en Latinoamérica.

La procedencia de los desechos orgánicos utilizados para el cultivo del *pleurotus ostreatus*, provienen generalmente del sector agrícola, aunque lo importante para la elección es que el substrato sea un elemento vegetal y por ende que tenga un porcentaje importante de lignocelulosa. En algunas investigaciones se analiza el contenido de celulosa y lignocelulosa de los desechos, sin embargo, en otros trabajos se asume que el material tiene algún porcentaje de lignocelulosa y se compara con

Desecho orgánico	País	Tipo de desecho	Resultado	
			Positivo	Negativo
Astillas de álamo	Chile	Forestal		x
Astillas de eucalipto	Chile	Forestal	x	
Aserrín álamo	Chile	Forestal		x
Aserrín + caña de azúcar	Venezuela	Agrícola	x	
Aserrín + tusa de maíz	Venezuela	Agrícola	x	
Bagazo de caña	Colombia	Agrícola	x	
Bagazo de maguey mezcalero	México	Agrícola	x	
Caña de azúcar	Venezuela	Agrícola	x	
Caña de azúcar + mosto de cerveza	Venezuela	Agrícola	x	
Caña de azúcar + tusa de maíz	Venezuela	Agrícola	x	
Capacho de uchuva	Colombia	Agrícola	x	
Cáscara de arveja	Colombia	Agrícola	x	
Cáscara de cacao	Colombia	Agrícola	x	
Cáscara de maracuyá	Colombia	Agrícola		x
Cáscara de papa	Colombia	Urbano		x
Cáscara de plátano	Colombia	Urbano	x	
Fibra de coco	Venezuela	Agrícola	x	
Fibra de coco + tusa de maíz	Venezuela	Agrícola	x	
Granos de sorgo	Venezuela	Agrícola	x	
Granos de sorgo + borra de café	Venezuela	Agrícola	x	
Hojas de roble	Colombia	Forestal		x
Hojas de canela	México	Agrícola	x	
Hojas de pimienta negra	México	Agrícola	x	
Hojas de plátano (árbol)	Bangladesh	Urbano	x	
Hojas de plátano + borra de café	Venezuela	Agrícola	x	
Hojas de zacate de limón	México	Agrícola	x	
Paja de arroz	Bangladesh	Agrícola	x	
Paja y cáscara de arroz	Venezuela	Agrícola	x	
Paja y cáscara de arroz + caña de azúcar	Venezuela	Agrícola	x	
Paja y cáscara de arroz + fibra de coco	Venezuela	Agrícola	x	
Paja y cáscara de arroz + tusa de maíz	Venezuela	Agrícola	x	
Paja de cebada	México	Agrícola	x	
Paja de trigo	México	Agrícola	x	
Pajilla de frijol	México	Agrícola		x
Pañal desechable	México	Urbano		x
Pasto	México	Urbano	x	
Pulpa de café	Colombia	Urbano	x	
Rastrojo de jícama	México	Agrícola	x	
Rastrojo de maíz	México	Agrícola	x	
Rastrojo de tomate	México	Agrícola	x	
Residuos de ají	Colombia	Agrícola		x
Tallos secos de jamaica	México	Agrícola	x	
Tusa de maíz	Venezuela	Agrícola	x	
Tusa de maíz + borra de café	Venezuela	Agrícola	x	
Viruta de pino	México	Agrícola	x	

Tabla 10. Listado de substratos utilizados para el cultivo de *pleurotus ostreatus*. Fuente: Adhikary, S., et al, 2010 - Bazante, W., et al, 2007 - Borrero, M., et al, 2013 - Córdova, A., et al, 2008 - Damián, M. et al., 2010 - Guzmán, G., et al, 1986 - Henríquez, R., 2000 - Infante, D., et al, 2002 - Mata, G., et al, 2005.

una probeta de control utilizando un desecho en donde se sabe con certeza que el hongo crecerá sin problemas, como es el caso de la paja de trigo.

El resultado positivo, tiene en cuenta que el hongo logra superar las etapas de crecimiento del micelio y la fructificación de hongos, explicadas en el siguiente ítem, otorgando una eficiencia biológica alta, esto quiere decir que el substrato es un desecho con alto porcentaje lignocelulosico, por lo que el cultivo asegura un buen resultado. En cambio, en los casos donde el resultado se define como negativo, es cuando el substrato no logra pasar la etapa de crecimiento del micelio o de fructificación, ya sea porque el micelio no logra desarrollarse, porque se produce la formación de otros hongos que compiten con el hongo *pleurotus ostreatus* o porque la fructificación del hongo no se origina.

### 3.3 Etapas/condiciones del cultivo

Los hongos ostra (*pleurotus ostreatus*), es una especie degradadora que puede crecer en un amplio rango de residuos vegetales.

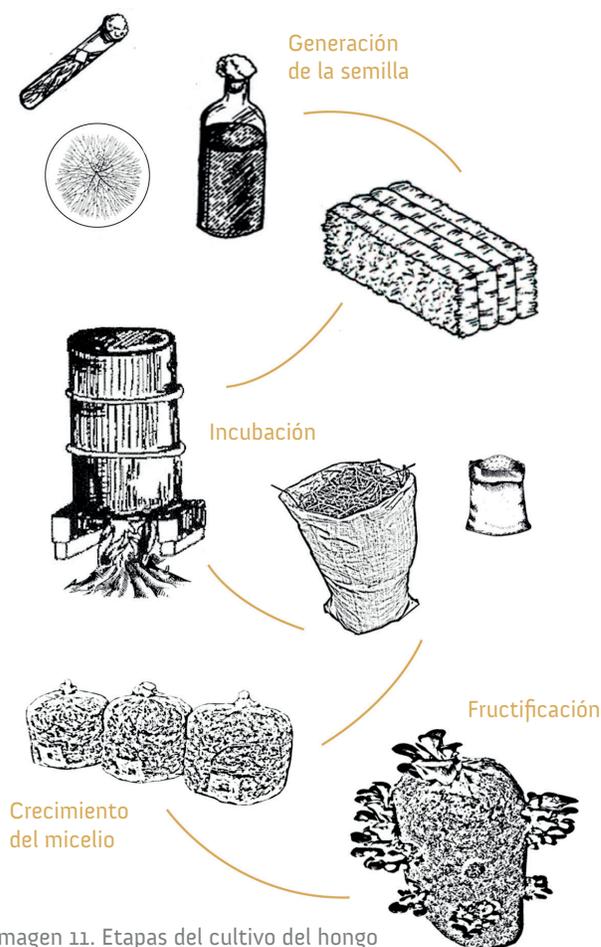


Imagen 11. Etapas del cultivo del hongo ostra (*pleurotus ostreatus*). Fuente: Elaboración propia.

El cultivo puede dividirse en cuatro etapas principales: generación de la semilla, incubación, el crecimiento del micelio y la fructificación, como muestra la imagen 11, el tiempo que toman estas etapas es de alrededor de dos meses y medio aproximadamente.

1. Generación de la semilla: ésta etapa puede estar o no considerada dentro del cultivo de hongos comestibles, ya que es posible conseguir la semilla con el hongo ya inoculado.

La preparación del inóculo o semilla se realiza en dos sub etapas:

Inóculo primario: es la propagación del micelio en semillas a partir de una cepa crecida en medio de cultivo.

Inóculo secundario: es la propagación del micelio en semillas a partir del inóculo primario, es decir, es la multiplicación del micelio para disponer de una mayor cantidad para su siembra en el substrato elegido para la producción de hongos.

En la primera sub etapa, para la elaboración del inóculo primario, es necesario aislar una cepa nativa, la cual se puede obtener de hongos que se hayan desarrollado en troncos de árboles, preferentemente en el sur del país en época otoñal. Para el desarrollo del micelio, se extrae una muestra del carpóforo para cultivarla dentro de una placa petri con un medio de cultivo ideal para su crecimiento. Existen diferentes medios artificiales de cultivo, siendo los más frecuentes para el desarrollo del *pleurotus ostreatus*, los medios de agar extracto de malta, agar papa dextrosa y agar extracto de trigo, paja y malta. Una vez que se incuba el micelio en el medio artificial, este debe ser guardado de forma permanente a una temperatura entre los 25-28°C, en oscuridad total, hasta que el micelio colonice completamente la placa petri, por al menos unos 15 días, constituyendo la cepa madre que dará origen a las semillas. Luego se da paso al desarrollo del inóculo secundario o semilla, el cual se usará para la siembra y fructificación del hongo. Se extrae el micelio anteriormente cultivado en la placa petri, y se deposita en granos de cereales como el maíz, previamente esterilizados en autoclave, guardados en frascos o bolsas. Se introduce una parte de la colonia de hongo y se deja por aproximadamente 15 días, hasta que el micelio haya colonizado completamente los granos. (Ver imagen 12)



Imagen 12. La imagen muestra la producción de semillas de pleurotus ostreatus en granos de cereales.

Fuente: Cañumir, J., Cortéz, M. & France, A., 2000

2. Incubación: esta etapa considera el proceso de siembra de la semilla, ya sea previamente cultivada o comprada, en el sustrato orgánico.

Los hongos del género pleurotus toman, tales como los esquilmos agrícolas (pajas, rastrojos), desechos agroindustriales (bagazos) y/o forestales (aserrín y viruta de diversas maderas). Durante esta etapa es importante considerar un lugar cerrado y limpio, provisto de una mesa o cubierta desinfectada con alcohol comercial.

Para utilizar los sustratos en el cultivo del hongo ostra, es necesario someterlos a un tratamiento de pasteurización o esterilización, que consiste en aplicarles calor para disminuir la flora microbiana nociva que está presente en ellos, y de esta manera evitar que los microorganismos compitan por espacio y nutrientes con el micelio del pleurotus ostreatus. Si se utilizan pajas o rastrojos, estos deben ser cortados en segmentos de 5 a 10 cm antes de la pasteurización, a través de una picadora, licuadora u otro, esto permitirá una mejor retención de humedad en el sustrato y que el micelio del hongo invada el sustrato con mayor facilidad. Luego de esto, se pasa a proceso de pasteurización del sustrato, el cual puede realizarse de distintas formas, la más común es el uso de agua caliente (90°C), donde el sustrato se sumerge entre 30 y 45 min en agua caliente a 90°C. Aunque también puede ser pasteurizada a través de vapor, utilizando un autoclave, o remojando el sustrato con en agua con alcohol o cloro. (Mushroom appreciation, 2013). Teniendo el sustrato cortado (en caso de ser necesario) y pasteurizado, se procede a la siembra

del micelio preparado en la etapa anterior. La siembra consiste en inocular el sustrato con la semilla, para esto generalmente se utilizan bolsas plásticas, al sustrato se le pueden añadir estructurantes como la cal, el yeso o la harina, entre un 5 a un 30% del peso húmedo del sustrato, aunque su efectividad no está comprobada.

3. Crecimiento del micelio: El objetivo de esta etapa es proporcionar al hongo las condiciones para que invada el sustrato lo más rápido posible, ya que normalmente demora unas tres semanas dependiendo de la temperatura de incubación y el término es cuando se observa que el micelio logra desarrollarse en toda la bolsa, apreciándose un color blanco general. Dentro de las condiciones se destacan las siguientes:

**Humedad:** es necesario que el sustrato se utilice mientras esté húmedo, luego de su pasteurización, para así conservar la humedad durante la inoculación.

**Temperatura:** para el desarrollo óptimo del hongo, se debe conservar una temperatura de 24°C en el ambiente.

**Luminosidad:** durante esta etapa el hongo no necesita luz, por lo que se debe acondicionar una sala en total oscuridad

**Aireación:** esta puede ser mínima, ya que el hongo soporta altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

4. Fructificación: es en esta etapa donde se inducen los sombreros, conocidos también como carpóforos o basidiocarpos. Para que ocurra esto es necesario entregar estímulos al hongo (cambios bruscos de luz, temperatura y aireación) lo que desencadena un proceso de inducción de botones, que posteriormente se transformarán en el hongo ostra. En esta etapa también hay que prestar atención a las condiciones ambientales para una correcta fructificación:

**Humedad:** la humedad ambiental es importante en esta etapa, ya que los sombreros están expuesto al medio y son fáciles de deshidratar, para ello la humedad de la sala debe estar entre un 85 a 95%.

**Temperatura:** en esta fase se estimula al hongo



Imagen 13 Hongo ostra (*pleurotus ostreatus*) en la etapa final de fructificación y posterior cosecha. Fuente: Biomicelios (2017a)

bajando la temperatura ambiente a un rango entre los 15 a 18 °C.

**Luminosidad:** este factor tiene una directa incidencia en la coloración de los sombreros y el tamaño del pie, ya que, a mayor luminosidad, la intensidad del color del carpóforo aumenta y la relación sombrero/pie disminuye. El óptimo de luminosidad se logra con la luz de ventanas abiertas, evitando que los rayos del sol no entren en forma directa

**Aireación:** la sala donde se mantienen las bolsas sembradas, en esta etapa, deben disponer de una buena aireación, además de remover o realizar grandes perforaciones en las bolsas para favorecer la inducción.

Para finalizar la etapa y el cultivo de hongos ostras, se realiza la cosecha de hongos que han fructificado de las bolsas, el criterio de cosecha va a depender del uso que se le dé al hongo, es decir, un buen tamaño de los sombreros para ser cosechados es de un diámetro de unos 7 a 10 cm (ver imagen 13), sin embargo, los sombreros más pequeños pueden utilizarse de igual forma para otros fines. (Cañumir, J., Cortéz, M. & France, A., 2000) (Gaitán, R., Mata, G. Rosalía, M., & Salmones, D., 2006).

#### Biodegradación del contenido lignocelulósico

Uno de los aspectos importantes a la hora de realizar el cultivo, es la selección del sustrato a utilizar, ya que el crecimiento del micelio y posterior fructificación del hongo se produce en residuos ricos en celulosa y lignina. Elementos que se encuentran mayormente en el reino vegetal, ya que la pared celular de las plantas está formada por lignocelulosa, un complejo que está conformado por polímeros de

celulosa, hemicelulosa y lignina, como muestra la imagen 14. (De la Fuente, D, 2012).

El principal componente estructural es la celulosa, el cual está formado por monómeros de glucosa unidos de manera lineal. Miles de moléculas de glucosa se disponen paralelas entre sí y se unen por puentes de hidrógeno, formando microfibrillas. (González, A., 2007). El segundo componente

más abundante en los órganos vegetales es la lignina, la cual está constituida por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos. Es una estructura altamente compleja, siendo responsable de la dureza de la pared celular y ayuda en el transporte de agua, constituyendo un material adherente que sostiene las fibras celulósicas. (Niklitschek, T., 2010). Los organismos capaces de degradar la celulosa son principalmente hongos y bacterias, los cuales tienen la habilidad de producir enzimas celulasas, amilasas, proteasas y peptidasas. (Aguilar, R., et al, 2014).

Permitiendo el proceso de deslignificación, donde el hongo actúa dejando un residuo suave y fibroso, gracias a sus agentes oxidantes que rompen los enlaces entre las diferentes subunidades y causan la despolimerización gradual de las moléculas produciendo una gran variedad de fenoles ácidos aromáticos y alcoholes aromáticos. (García, E., 2015).

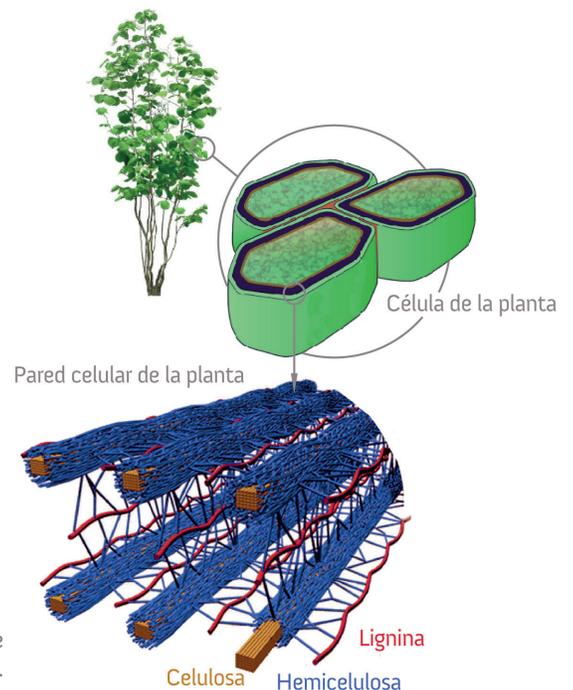


Imagen 14. En la imagen se muestra la composición de la pared celular de las plantas.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes de internet.



## Capítulo IV “Experimentación: Estudio de la conformación del Material”

#### 4.1 Metodología de la experimentación

El presente capítulo comprende el desarrollo de la experimentación del cultivo del hongo pleurotus ostreatus y el residuo del mimbre, con el fin de obtener la “fórmula” ideal para lograr un material compuesto biodegradable, para luego caracterizarlo mediante diferentes ensayos y pruebas, en los siguientes capítulos. La metodología es resumida en la imagen 15. La primera etapa es de experimentación, explicada en el capítulo IV, ahí el objetivo es establecer el desarrollo del cultivo del material, mediante una experimentación, con el fin de definir las variables a trabajar, para lograr esto se establecieron tres fases de experimentación, dentro de esta etapa

a. Experimentación previa: donde se realiza una prueba básica de cultivo, utilizando cáscaras de nuez y hojas de damasco secas como sustrato, elegido al azar, para analizar las consideraciones generales del proceso de trabajo.

b. Experimentación definitoria: aquí se trabaja con paja de trigo, un sustrato muy utilizado para el cultivo del pleurotus ostreatus, para definir variables más específicas del trabajo, como las proporciones de sustrato vs semillas de hongo, la necesidad de

estructurantes o enriquecedores en las mezclas, las consideraciones ambientales, los tiempos de cultivo y de inhibición del hongo en el horno, etc.

c. Experimentación final: en esta fase se define el sustrato final con el cual se trabajará, dependiendo del crecimiento del micelio y considerando las variables establecidas en la fase anterior, se desarrollan las probetas para realizar los diferentes ensayos y pruebas

La etapa dos, capítulo V, se divide en seis fases que nombran los diferentes ensayos y pruebas al material desarrollado anteriormente: mecanizado, coloración, físicos, mecánicos, biodegradabilidad y perceptuales, en donde el objetivo es evaluar las características físico-mecánicas del material, a través de ensayos y pruebas, caracterizando el material a estudiar.

La etapa tres, capítulo V, analiza las posibilidades constructivas en dos fases, considerando las diferentes configuraciones que se quieren lograr con el material: figuras geométricas y curvas u otros, el objetivo de esta etapa es evaluar las posibilidades constructivas del material, mediante moldes a rellenar, determinando las formas con las cuales se puede trabajar el material.

42

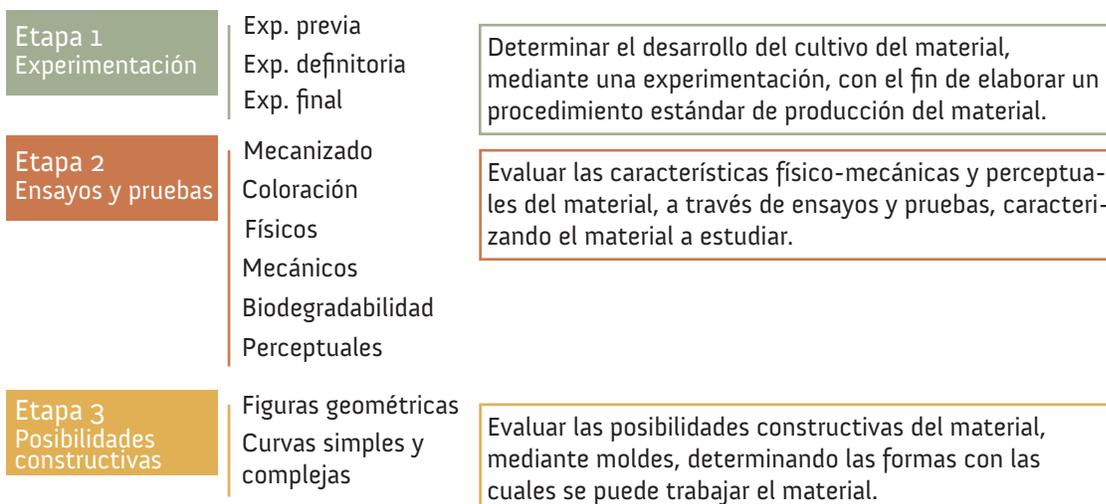


Imagen 14. Metodología de la experimentación. Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Etapa 1: Experimentación

La primera etapa del estudio experimental se divide en tres fases de trabajo, donde cada una se diferencia en el sustrato utilizado y en las conclusiones que se obtienen, a medida que el proceso de cultivo se va especificando; la fase de experimentación previa, experimentación definitiva y la experimentación final. El proceso toma aproximadamente un año, comenzando el primer cultivo en enero del año 2016 en la primera fase, la segunda fase comprende los meses de mayo a julio y la fase final se comienza en agosto, finalizando los últimos cultivos en febrero del 2017. Durante este tiempo, en paralelo, se trabaja en la investigación bibliográfica como se menciona en capítulos anteriores.



Imagen 15. Fases de la Etapa 1. Fuente: Elaboración propia.

Para este proceso se realiza una cabina de cultivo a partir de madera y paredes de poliestireno, una estructura con repisas revestidas con tela negra, esto para cuidar las condiciones ambientales del cultivo, principalmente proporcionar oscuridad, las cuales a medida que avanza el capítulo se van delimitando y perfeccionando, hasta llegar a las ideales para realizar el trabajo.

Con respecto a los sustratos escogidos en cada fase. Para la primera se acude a desechos orgánicos de fácil acceso. Para la segunda, se elige un desecho del cual se tiene seguridad de que el micelio del hongo *pleurotus ostreatus* crecerá, en base al estudio bibliográfico. Y para la tercera fase se elige un desecho local, con la finalidad de experimentar con un sustrato no utilizado previamente y que posea una identidad al encontrarse en el país.

En el caso del cultivo de hongos comestibles, los tiempos, como se menciona en el capítulo anterior, pueden llegar a dos meses y medio, un punto en contra a la hora de querer producir un material a gran escala. A pesar de poder coordinar los procesos, es necesario delimitar los tiempos a través de tres elementos principalmente, porcentaje de semilla de hongo vs sustrato, un enriquecedor que ayude a la productividad del hongo (eficiencia biológica) y la granulometría del sustrato.

### 4.2.1 Fase a: Experimentación previa

Primera fase se la etapa 1, aquí se hace la primera experimentación utilizando el hongo como aglutinante, luego de elegir este material como foco de la presente investigación. Para los primeros ensayos experimentales se acude a la empresa Biomicelios, ubicada en Talca, Región del Maule, Chile, la cual comercializa semillas de diferentes cepas de hongos, ya sean comestibles o medicinales, sobre granos de cereales o tarugos de madera. (Biomicelios, 2017) Se compra una bolsa de dos kilos de semillas de maíz inoculadas con el hongo cepa *pleurotus ostreatus*. Cabe mencionar que sólo se trabaja con esa cepa durante todas las fases de la experimentación, debido a que fue una de las primeras cepas identificadas para producir el material, además de su bajo costo. Como sustrato escogido para esta primera experimentación, se utilizan cascaras de nueces y hojas de damasco secas (imagen 16-17). Desechos que se tenían a mano, y según la bibliografía, podían funcionar para el cultivo, ya que eran organismos vegetales que contenían algún porcentaje de lignocelulosa.



Imagen 16. Sustrato, cascara de nuez, utilizado en la primera fase de experimentaciones. Fuente: Elaboración propia



Imagen 17. Sustrato, hojas de damasco secas, utilizado en la primera fase de experimentaciones. Fuente: Elaboración propia

En esta fase se definen las primeras etapas y procesos de trabajo, todo en base a videos y bibliografía, por lo que era necesario elaborar un primer acercamiento al cultivo del material.

Se definen tres etapas para realizar el primer cultivo: Pre-cultivo, cultivo e inhibición. (imagen 18). Estas etapas se ponen a prueba, utilizando ambos sustratos mencionados anteriormente, realizando 6 cultivos en paralelo.

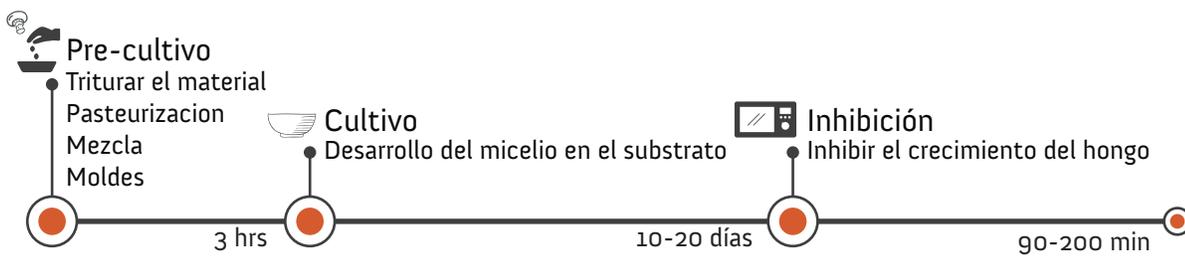


Imagen 18. Etapas del cultivo identificadas en la primera fase. Fuente: Elaboración propia.

1. Pre-cultivo: durante esta etapa se realizan los preparativos para el posterior cultivo, los trabajos a realizar dentro de esta etapa incluyen el triturado de los residuos orgánicos, utilizando elementos de cocina como una mini pymer (imagen 19). El pasteurizado del sustrato, donde utilizando una olla de cocina, se introduce el material en agua caliente durante media hora, para eliminar cualquier agente externo que pueda contaminar el cultivo (imagen 20). El siguiente trabajo es realizar la mezcla, según las fuentes bibliográficas, era necesario aplicar harina y agua a la mezcla, la harina como un estructurante y el agua para tener más humedad, sin embargo esto se descarta más adelante con más experimentaciones, y en cuanto al porcentaje de micelio v/s sustrato, en esta etapa se utiliza un 40-60% respectivamente en la mezcla. Y para terminar esta etapa, se rellenan los moldes elegidos para el cultivo.

no se trabaja mucho con la figura que se obtendrá, utilizando moldes rectangulares y tubulares), se deja durante dos semanas. No se presta mucha atención a las condiciones ambientales del cultivo, sin embargo los moldes se dejan en un lugar oscuro, ventilado a t° ambiente (imagen 21)

3. Inhibición: en esta etapa el hongo es inhibido de su crecimiento, para esto el material es tratado térmicamente, utilizando un horno eléctrico. Se deja por alrededor de 120 min a una temperatura de 100°C. (imagen 22)

44 2. Cultivo: luego de que el material mezclado es acomodado en recipientes que serán los moldes de las figuras resultantes (por ser una experimentación



Imagen 19. Triturado de las cáscaras de nuez. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 21. Moldes con la mezcla del hongo y sustrato en la cabina de cultivo. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 20. Pasteurización del sustrato. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 22. Etapa de inhibición. Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

El proceso resulta ser positivo, se logra un material similar a lo estudiado, con ambos sustratos, obteniendo piezas rectangulares y circulares, imagen 23

Durante esta fase, se pone en práctica el estudio bibliográfico, siguiendo los pasos del cultivo del material de hongo (mushroom material) y del cultivo del hongo comestible. Acomodando esta información en un proceso casero y con los elementos a disposición. En general el proceso resulta ser exitoso, se logra formar un material a partir de desechos orgánicos aglutinados con un hongo, algo totalmente desconocido. Se infiere que el sustrato escogido aporta con un porcentaje alto de lignocelulosa, ya que el hongo logra crecer sin problemas y de una forma uniforme. Sin embargo, es necesario realizar más pruebas para definir de manera segura un proceso estándar de cultivo, examinando las variables importantes y trascendentales dentro de este proceso, para proponer una “receta” la cual pueda replicarse con otros sustratos, es por eso que se trabaja en la fase b dentro de la etapa 1 de experimentación.



Imagen 23. Resultado del cultivo dentro de la fase a.  
Fuente: Elaboración propia.

## 4.2.2 Fase b: Experimentación definitiva

Luego de realizar las primeras pruebas, se decide ahondar en los detalles del cultivo, ya que bibliográficamente hay muchas formas y mezclas para cultivar el hongo.

La finalidad de esta fase es definir las variables finales del cultivo del hongo, para llevar las consideraciones a un cultivo final con un sustrato local, evitando errores y demoras de tiempo, proponiendo una nueva versión del mushroom material (material del hongo), como objetivo general del presente informe, para luego estudiarlo a través de una caracterización como se verá en el próximo capítulo.

Para obtener mejores resultados, se utiliza paja de trigo (imagen 24) como sustrato en todas las pruebas de esta fase, ya que es uno de los más utilizados para el cultivo del hongo, teniendo certeza de que el micelio crecerá. (Hernández, R. & López, C., 2008).



Imagen 24. Sustrato, paja de trigo, utilizado en la segunda fase de experimentaciones.  
Fuente: Elaboración propia

45

### Criterios a evaluar y definición de variables

En esta fase se trabaja en dos criterios principales a evaluar dentro del proceso de formación del material: las proporciones y mezclas del compuesto y los pasos y consideraciones dentro del desarrollo cultivo, estos dos puntos son esenciales para un cultivo del material exitoso. Cabe mencionar que tomando en cuenta las etapas de cultivo analizadas en la fase anterior, los criterios de proporciones y mezclas del compuesto corresponden al trabajo realizado durante la etapa de pre-cultivo y los pasos y consideraciones dentro del desarrollo del cultivo, son apreciaciones que se evaluarán durante todas las etapas de cultivo.

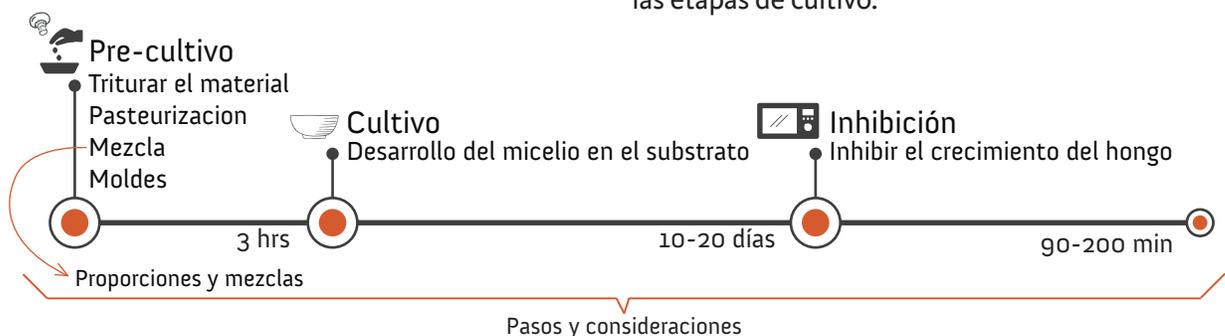


Imagen 25. Criterios a evaluar durante esta fase definitiva. Fuente: Elaboración propia.

## Prueba nº1

En primer lugar, para conocer cuáles son las proporciones indicadas y lograr que el micelio crezca efectiva y eficazmente, se trabaja en la relación semilla de hongo vs sustrato, además se agrega en algunas probetas un porcentaje de suplementos, utilizando dos variedades orgánicas, que son la harina y el yeso y uno inorgánico, que es el nitrógeno líquido.

Se realiza una primera prueba. En la tabla 11, se resumen las 21 combinaciones realizadas, donde por una parte se modifica el porcentaje de micelio vs sustrato, además del porcentaje de enriquecedor. Considerando que el peso húmedo del sustrato es el 100% y los porcentajes de semillas de hongo o de enriquecedor se obtienen en base a esa referencia; ej: si el peso húmedo de la paja es de 20 gr, si se le agrega un 10% de micelio, la mezcla sumaría 22 gr, además del 10% de harina se agregan 2 gr más, obteniendo un total de 24 gr. Para las pruebas se utilizan pocillos de plástico de 250 ml como moldes, imagen 26.

Enriquecedor/ proporción micelio	5%	10%	15%	
Yeso +5%	■	■	■	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #8B4513; margin-bottom: 2px;"></div> malo           </div> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #2F4F4F; margin-bottom: 2px;"></div> medio <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #D2B48C; margin-bottom: 2px;"></div> bueno <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #228B22; margin-bottom: 2px;"></div> óptimo
Yeso +10%	■	■	■	
Yeso +15%	■	■	■	
Harina +5%	■	■	■	
Harina +10%	■	■	■	
Harina +15%	■	■	■	
Sin enriquecedor	■	■	■	

Tabla 11. Primer paso dentro de la experimentación definitiva.  
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de estas primeras pruebas, se observa que las mezclas con harina se contaminan con un hongo externo, ver imagen 27 por lo que son eliminadas de las próximas pruebas, se descarta la opción de una contaminación por un mal higiene, ya que no todas las pruebas se contaminan, siendo que el

proceso de pasteurización del sustrato y el trabajo durante el pre-cultivo es el mismo para las demás probetas. El resto de las pruebas no se contaminan, por lo que se siguen explorando, aunque en general el crecimiento del micelio no es óptimo, como se analiza en la tabla 11. Las pruebas con yeso no resultan del todo positivas, a pesar de que el hongo crece, no logra aglutinar el material por completo y el yeso da una apariencia seca, imagen 28. Y las pruebas sin enriquecedor funcionan mejor que el resto de las pruebas, donde el micelio crece en mayor cantidad, aglutinando mejor la paja de trigo, como se observa en la imagen 29. De todas formas, es necesario realizar más pruebas para tener un resultado positivo.



Arriba.Imagen 27. Probeta contaminada con un hongo externo.  
Fuente: Elaboración propia.



Arriba-derecha.Imagen 28. Pruebas con enriquecedor de yeso.  
Fuente: Elaboración propia



Costado. Imagen 29. Probeta sin enriquecedor.  
Fuente: Elaboración propia.

En paralelo se definen las variables del proceso de cultivo, para la primera prueba, el proceso de cultivo es similar al realizado en la fase uno de esta etapa e inspirado en el trabajo que propone Mycoworks desde el paso 4, imagen 6. Considerando esas referencias, las variaciones se realizan en los tiempos, condiciones ambientales y cuidados en esterilidad. En esta primera prueba se trabaja con luz durante todo el proceso de cultivo, dejando las probetas a la luz ambiente, no luz del sol directa, esto para

observar el crecimiento de micelio bajo esta condición, además se mantiene una temperatura de entre 20 y 24 °C. Y se rocía todas las superficies de trabajo, guantes y moldes con una solución al 50-50 de agua y alcohol de 95°.

Como resultado de este cultivo, se decide seguir trabajando con pasos dentro de las etapas

Imagen 26 Primeras pruebas de la fase b.  
Fuente: Elaboración propia.



definidas, esto, para detallar mejor cada proceso de trabajo dentro de cada actividad y determinar mejor las falencias. En cuanto a la luz, se observa que evita que el hongo crezca en los primeros días, también se observa que debido a esto el substrato se seca e inhibe el crecimiento del hongo, por lo que se decide hacer unas próximas pruebas sin luz.

### Prueba n°2

La segunda prueba dentro de esta fase elimina la harina como enriquecedor y como se muestra en la tabla 12, las opciones disminuyen a 12 experimentaciones, como se ve en la imagen 30. Donde se vuel-

Enriquecedor/ proporción micelio	5%	10%	15%	
Yeso +5%	■	■	■	■ malo ■ medio ■ bueno ■ óptimo
Yeso +10%	■	■	■	
Yeso +15%	■	■	■	
Sin enriquecedor	■	■	■	

Tabla 12. Segundo paso dentro de la experimentación definitiva. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 30. Segundas pruebas realizadas en la fase definitiva. Fuente: Elaboración propia.



ven a considerar los mismos porcentajes, de semillas de micelio y enriquecedor, esta vez solo con yeso. realiza limpiando con la misma mezcla de agua y alcohol que se utiliza en la primera prueba, esto para desinfectar todas las superficies que se utilizan y así evitar cualquier contaminante externo, dejando este elemento como permanente para todas las pruebas. Para esta prueba se utiliza un sistema Arduino modelo Arduino uno (Imagen 33), una herramienta para captar y almacenar datos a bajo costo. Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto (open-source) compuesto de hardware y software, la finalidad es crear objetos o entornos interactivos. Una placa Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de datos mediante una variedad de sensores (Arduino, s.f.), que en este caso se utilizan sensores de temperatura ambiente y de humedad de las probetas, para supervisar de manera objetiva las condiciones ambientales, en el anexo 2 se muestran los datos obtenidos en dos meses de cultivo, ya que en las dos pruebas restantes también se utiliza el sistema.

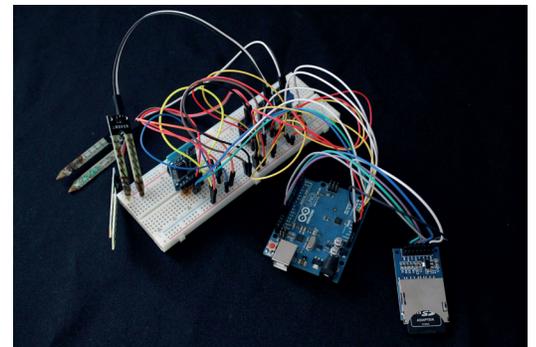


Imagen 33. Sistema arduino utilizado durante las fases de experimentación. Fuente: Elaboración propia

En relación a las condiciones durante el cultivo, este se realiza en total oscuridad, tal como se recomienda bibliográficamente, lo que otorga un mejor resultado, sin embargo, en necesario probar una combinación de días con y sin luz.

El resultado es prometedor, pero falta aplicar el suplemento inorgánico, para tener una mayor cantidad de pruebas y evitar errores.

Izquierda. Imagen 31 Pruebas con enriquecedor de yeso. Fuente: Elaboración propia.

Derecha. Imagen 32 Pruebas sin enriquecedor. Fuente: Elaboración propia.

### Prueba nº3

En esta prueba se aplica nitrógeno líquido al substrato luego de su pasteurización, en los textos estudiados se menciona el nitrógeno como el nutriente ideal para el cultivo de hongos, para ciertas cepas el cultivo se realiza en guano de caballo o hummus, ambos con altas concentraciones de nitrógeno, pero para este proceso de trabajo se descarta por completo el fortificar el substrato con esos elementos, por lo que se busca una alternativa líquida, utilizada para apoyar el crecimiento de plantas y vegetales. Una vez que el nitrógeno se agrega al substrato, se comienzan a hacer las mismas mezclas que la prueba anterior, con un total de 12 probetas, como muestra la imagen 34.



Imagen 34. Tercera prueba dentro de la fase 2.  
Fuente: Elaboración propia.

El resultado de esta prueba es mejor a los anteriores, como se observa en la tabla 13, hay un resultado óptimo, donde el micelio logra aglutinar por completo en substrato, imagen 36, este tiene un 15% de semillas de hongo y no tiene un enriquecedor orgánico. Se observa que los resultados con un 5% de micelio a lo largo de todas las pruebas a tenido resultados medianamente buenos, por lo que el porcentaje ideal está entre el 10 y el 15. En esta prueba la paja se corta en trozos más pequeños, como nueva intervención.

Enriquecedor/ proporción micelio	5%	10%	15%	
Yeso +5%	■	■	■	■ malo ■ medio ■ bueno ■ óptimo
Yeso +10%	■	■	■	
Yeso +15%	■	■	■	
Sin enriquecedor	■	■	■	
	paja con nitrógeno líquido			

Tabla 13. Tercer paso dentro de la experimentación definitiva.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 35. Prueba con yeso como enriquecedor, además del nitrógeno líquido.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 36. Prueba sin enriquecedor, además del nitrógeno líquido.  
Fuente: Elaboración propia.

En esta prueba se sigue utilizando la placa Arduino. Aquí se realiza una combinación de los primeros días sin luz y los últimos con luz, además de agregar humedad extra en el ambiente mediante un humidificador.

Considerando estos cambios durante el cultivo y el adicionar nitrógeno líquido a la mezcla, se obtiene un resultado mejor evaluado que el resto, dando indicios de que la combinación de factores ideal está cerca. Pero para verificarlo, se realiza una última prueba dentro de esta fase, donde se utilizan los porcentajes de micelio de 10 y 15%, con probetas con adición de nitrógeno y otras sin nitrógeno y con el material con un menor tamaño, para lograr comprobar los resultados.

## Prueba nº4

Para concluir la fase definitiva se realiza una última prueba, repitiendo las experimentaciones dos y tres, pero solo con los porcentajes 10 y 15% de micelio, y utilizando en la mitad de las probetas nitrógeno líquido y la otra mitad solo pasteurizadas. Teniendo un total de 16 probetas a examinar.

En esta última prueba, se logran tres resultados positivos, uno de ellos tiene nitrógeno líquido como parte de la mezcla, en cambio los otros dos no. En la imagen 37, se ve el resultado de la probeta con nitrógeno, donde se observa que el micelio logra aglutinar el material quedando completamente blanco. Y en la imagen 38, se ve la prueba con 15% de micelio y sin enriquecedor o nitrógeno como parte de la mezcla. Considerando ésta y las demás pruebas, se analiza que un enriquecedor ayuda al crecimiento del hongo, ya que, analizando en general el aporte de este elemento, ayuda principalmente en el tiempo de cultivo, aunque la diferencia fue de un promedio de dos días en comparación con aquella probeta que no fue mezclada con ningún tipo de suplemento, por lo que se recomienda utilizar un pequeño porcentaje, en este caso un 5%, como muestra la imagen 39, sin embargo, el uso de estos enriquecedores debe ser mejor estudiado en un futuro proyecto.

Enriquecedor/ proporción micelio	10%	15%	10%	15%	
Yeso +5%					<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #d2b48c; margin-bottom: 5px;"></div> malo           </div> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #333; margin-bottom: 5px;"></div> medio <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #d2b48c; margin-bottom: 5px;"></div> bueno <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #38a83d; margin-bottom: 5px;"></div> óptimo
Yeso +10%					
Yeso +15%					
Sin enriquecedor					
	paja con nitrógeno líquido				

Tabla 14. Último paso dentro de la experimentación definitiva. Fuente: Elaboración propia.

Imagen 39. Porcentajes de micelio y enriquecedor definido en esta fase. Fuente: Elaboración propia.

En general, y revisando las tablas anteriores se puede observar que las pruebas con mayor % de semillas con micelio tienen un mejor resultado de crecimiento final del hongo, por lo que finalmente se decide que esta proporción será la final. En la imagen 41, se resumen las consideraciones finales para el cultivo del material de hongo, donde se da la opción de cultivar el micelio en placas Petri y con este micelio realizar el material, trabajo que realiza MycoWorks, o utilizar las semillas de maíz inoculadas con el hongo que vende Biomicelios, proceso que se realiza en este informe.



Imagen 37. Prueba sin enriquecedor, pero con nitrógeno líquido. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 38. Prueba sin enriquecedor y sin nitrógeno líquido. Fuente: Elaboración propia.



**15% de semillas de micelio en base al peso húmedo del sustrato**



**5% de enriquecedor en base al peso húmedo del sustrato**

### Opción 1



Cultivo del micelio en placa petri (aprox. 1 mes antes del cultivo del material)

### Opción 2



Comprar semillas de maíz inoculadas con el micelio del hongo escogido.

Etapa de pre-cultivo

#### Paso 1



Preparación del sustrato

#### Paso 2



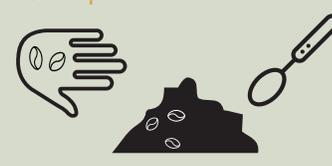
Pasteurización

#### Paso 3



Enriquecimiento

#### Paso 4



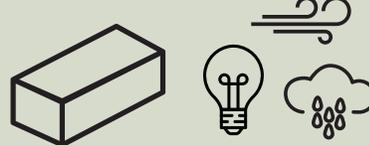
Mezcla del sustrato con el micelio

#### Paso 5



Poner la mezcla en el molde seleccionado. Condiciones ambientales: t° 20-24 °C, oscuridad, lugar cerrado para evitar contaminaciones externas  
Tiempo: 2-3,5 semanas.

#### Paso 6



Sacar la pieza del molde y dejarla en un lugar cerrado pero con entrada de aire, con luz natural o artificial con 120 lux min. y una humedad relativa superior al 70%.  
Tiempo: 3 días a 1 semana

#### Paso 7



Poner la pieza en un horno a 120°C por 40 min. Revisar cada 20 min si es necesario más tiempo, pesando la pieza, hasta que pierda un 60-70% del peso inicial.

Etapa de inhibición

Imagen 40. Consideraciones finales para el cultivo del material, contemplando las etapas de pre-cultivo, cultivo e inhibición.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.3 Fase c: Experimentación final

En esta última fase de experimentación, se realizan las pruebas finales para producir una versión local del mushroom material o material de hongo, para lograr esto último, se realiza una búsqueda de residuos producidos en el país y que no hayan sido utilizados previamente para el cultivo del hongo o del material, como se revisó en el capítulo anterior. Durante esta investigación aparecen dos desechos interesantes: las cáscaras de piñón y la merma de mimbre.

El primer residuo se escoge considerando se desecha del fruto de un árbol nativo conocido comúnmente como Araucaria, este desecho es común en la 8va y 9na región, donde se encuentra la mayor vegetación

(Chilebosque, 2016), se recolecta luego de utilizar el fruto para comidas típicas de la comunidad Mapuche y de las semillas que no contienen fruto dentro del cono (imagen 41).



Imagen 41. Cáscaras de piñón de Araucaria.  
Fuente: Elaboración propia.

El segundo residuo se obtiene del descostillado y desmedulado de la huira de mimbre, imagen 42, que se prepara para ser tejida o trenzada para elaborar diferentes productos, una artesanía que proviene principalmente de la comuna de Chimbarongo, en la 6ta región (Abalos R., Marta I., 2001)



Imagen 42. Residuo de la huira de mimbre.  
Fuente: Elaboración propia.

Con estos dos residuos escogidos, se procede a realizar las primeras pruebas para conocer la efectividad de estos desechos al utilizarlos como “alimento” para el pleurotus ostreatus y así conformar el material. Se siguen los pasos del cultivo que se definen en la etapa anterior, además de las proporciones. En esta etapa se varían las mezclas entre materiales y las granulometrías de las fibras.

En una primera fase se tienen tres desechos, considerando la cascara de piñón, el descostillado y el desmedulado de la huira de mimbre, se separan estos últimos en dos desechos diferentes, ya que el descostillado es más rígido y quebradizo al tener más corteza de la huira de mimbre y el desmedulado es más flexible y suave al tacto al provenir de la medula, por lo que se asume que su estructura y contenidos lignocelulósicos son distintos. Estos materiales son cortados en trozos de no más de 1cm y son combinados entre sí, obteniendo siete mezclas, como se observa en la tabla 15.

Mezcla	Inicio	Término	Crecimiento del micelio	Imagen
dm	5-ago	19-ago	Blanco y homogéneo, logra aglutinar todo el material, formando una pieza compacta	
dc	5-ago	19-ago	No se observa un crecimiento del micelio, sólo hifas muy débiles como una especie de tela de araña	
cp	5-ago	19-ago	Blanco en el centro, el desecho logra aglutinarse, sin embargo se desprenden partes del material	
dm+dc+cp	5-ago	19-ago	Blanco en ciertas partes, une a penas la mezcla de substrato y con la manipulación la pieza comienza a desarmarse	
dm+dc	5-ago	19-ago	Blanco en gran parte de la mezcla, pero logra verse el substrato, sin embargo la pieza se mantiene compacta	
dm+cp	5-ago	19-ago	El micelio crece blanco y une las partes del material, pero las cascara de piñón no logran sostenerse del todo	
dc+cp	5-ago	19-ago	Blanco en ciertas partes, une a penas la mezcla de substrato y la superficie es muy áspera y desagradable al manipular	

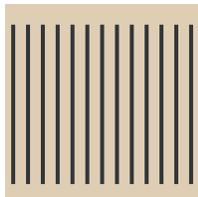
dc: descostillado / dm: desmedulado / cp: cáscara piñón

Tabla 15 Resultados de las mezclas con los residuos de cascara de piñón y mimbre.  
Fuente: Elaboración propia. Para más detalle revisar anexo 3.

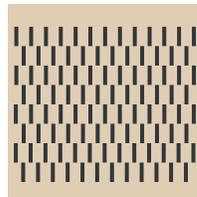
En general, las probetas con mimbre tienen mejores resultados, ya la cascara de piñón no logra aglutinarse por completo, desprendiendo partes de la pieza, por lo que se decide trabajar el material local utilizando la merma de mimbre. Se continúa analizando por separado y aprovechando la característica de ser una fibra, se estudian los compuestos reforzados por fibras, definiendo morfologías según la orientación, como se observa en la imagen 43. De esta forma se disponen los residuos de mimbre en los moldes, como se observa en la imagen 44 y los tejidos se realizan a mano, donde las diferencias estaban en la separación de las tramas y urdimbres, imagen 45, estos se disponen en bolsas transparentes para su cultivo.



Imagen 44. Disposición del residuo de mimbre desmedulado en el molde de cultivo. Fuente: Elaboración propia.



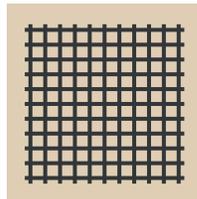
Continúa direccional (cd)



Discontinua direccional (dd)



Discontinua al azar (da)



Tejido (t)

Imagen 43. Distintas orientaciones de compuestos reforzados por fibras. Fuente: Elaboración propia.

52

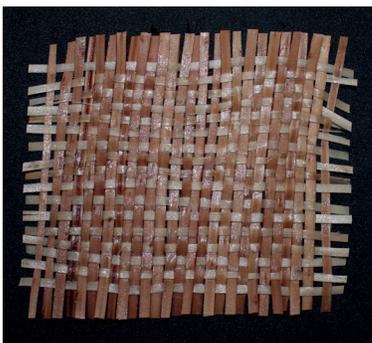
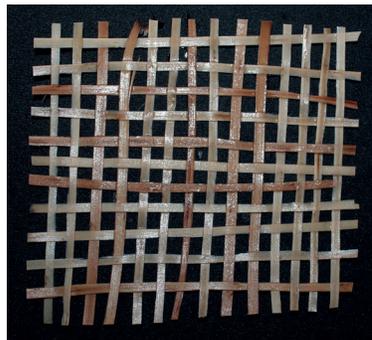
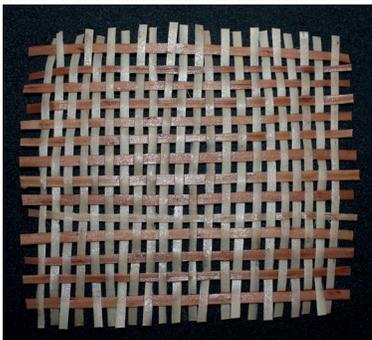


Imagen 45 Tejidos realizado con el desmedulado. Fuente: Elaboración propia.



En la tabla 16, se observan los resultados de las mezclas realizadas solo con los desechos de mimbre, éstas se elaboran bajo las consideraciones de los materiales reforzados por fibras, el crecimiento del micelio en general es bueno, sin embargo, las mejores piezas se obtienen del descostillado continuo direccional y discontinuo direccional y del continuo direccional del desmedulado, sin embargo, el trabajo previo para realizar estas probetas es engorroso, aumentando el tiempo de trabajo previo, además de lo complejo que resulta acomodar las fibras. Por lo que se deja como opción para conformar un material bajo estas condiciones, pero para términos del presente informe se acude a la molienda y mezcla del desmedulado y descostillado, decisión que se toma sabiendo que el micelio crece bien en ambos sustratos y para agilizar el proceso de conformación.

El caso de las probetas tejidas, se analizan como una buena opción, ya que el micelio logra crecer en el tejido más compacto y se visualiza como una opción para lograr un material de hongo flexible, sin embargo, estas se secan durante el cultivo, lo que impide un estudio mayor, dejándolo como opción para una investigación futura.

Luego de estas experimentaciones se comienzan a realizar las probetas para las siguientes pruebas y ensayos, además de las figuras y así caracterizar el material en base a sus características físico-mecánicas.

Mezcla	Inicio	Término	Crecimiento del micelio	Imagen
dm/cd	2-sept	5-oct	El micelio crece en el interior de la probeta, logrando aglutinar el material, pero en el exterior no es tan visible	
dm/dd	2-sept	5-oct	Blanco, pero insuficiente, al manipular la pieza esta comienza a desgranarse	
dm/da	2-sept	5-oct	Blanco, pero insuficiente, al sacar la pieza del molde esta comienza a separarse y dividirse en dos	
dc/cd	4-sept	23-sept	Blanco y homogéneo, el material logra aglutinarse bien y la textura es suave	
dc/dd	4-sept	30-sept	Blanco y homogéneo, las partes quedan compactas y el material suave	
dc/da	4-sept	5-oct	Micelio blanco, pero poco homogéneo, hay partes del material que quedan sin aglutinante	
dm/t1	3-sept	23-sept	El micelio no logra crecer en toda la superficie, dejando gran parte del material a la vista, luego de un tiempo este se seca inhibiendo el crecimiento del hongo	
dm/t2	3-sept	23-sept	El micelio crece en mayor parte de la superficie, sin embargo no logra unir el tejido, luego de un tiempo este se seca inhibiendo el crecimiento del hongo	
dm/t3	3-sept	23-sept	El micelio logra crecer en gran parte del tejido, pero al igual que los anteriores este se seca inhibiendo el crecimiento del hongo	

dc: descostillado / dm: desmedulado / cp: cáscara piñón

Tabla 16 Resultados de las combinaciones realizadas con los residuos de mimbre.  
Fuente: Elaboración propia. Para más detalle revisar anexo 4.

### 4.3 Conclusiones de la etapa 1: Experimentación

Durante esta primera etapa de experimentación, se propone un método de cultivo del material de hongo, procedimiento que puede ser replicado a partir de cualquier residuo vegetal como substrato, siguiendo los pasos y consideraciones definidas.

Se decide trabajar con el desecho de mimbre ya que se obtienen buenos resultados en varias granulometrías y disposiciones de la fibra y para la elaboración final del material de hongo o mushroom material se determina el uso del mimbre molido, mezclando el desmedulado y descostillado.

Al utilizar las semillas de hongo inoculadas, el peso de estas para propagar el crecimiento del hongo en el substrato debe ser de un 15% en relación al peso húmedo del material y para ayudar a agilizar este crecimiento se recomienda utilizar un 5% de enriquecedor, este último debe ser idóneo para el hongo *Pleurotus ostreatus*, como el nitrógeno líquido que se utiliza en los cultivos. Las condiciones ambientales durante el cultivo deben ser las recomendadas en el informe, ya que el hongo crece mejor en condiciones controladas de humedad, oscuridad, ventilación y ajeno a insectos que puedan contaminar las muestras.

Las superficies, instrumentos y moldes deben encontrarse en condiciones de asepsia para prevenir el ingreso de hongos contaminantes, para esto se recomienda utilizar una mezcla de alcohol de 95° y agua para limpiar lo necesario.



## Capítulo V “Caracterización del Material”

5.1 Etapa 2: Pruebas y ensayos

Esta etapa comprende el estudio a través de ensayos y pruebas del material, el objetivo es evaluar las características físico-mecánicas y perceptuales del material, a través de ensayos y pruebas, caracterizando el material a estudiar, en la imagen 46 se detallan las fases de trabajo.

Partiendo el capítulo, con pruebas de mecanizado donde se aplican tres técnicas: corte, lijado y perforación, para lograr esto se utilizan distintas máquinas y herramientas disponibles y así definir que trabajos se pueden realizar en el material. Luego se realizan las pruebas de coloración, para esto se ocupan tintes vegetales elaborados artesanalmente y tintes convencionales como la anilina se tiñen muestras del material, determinando si el material es capaz de absorber y conservar el color. Se continúa con las pruebas y ensayos físicos, analizando la densidad, el % de contracción, la absorción de agua, la absorción acústica y velocidad de combustión del material, basados en normas ASTM e ISO para guiar el trabajo. Al igual que los ensayos mecánicos, donde se analiza la compresión y flexión. Siguiendo con una prueba de biodegradabilidad, donde el material es depositado a la intemperie, definiendo el envejecimiento del material. Y para terminar se desarrolla el test perceptual, a través de un diferencial semántico, se examina la visión que tiene la gente del material.

56

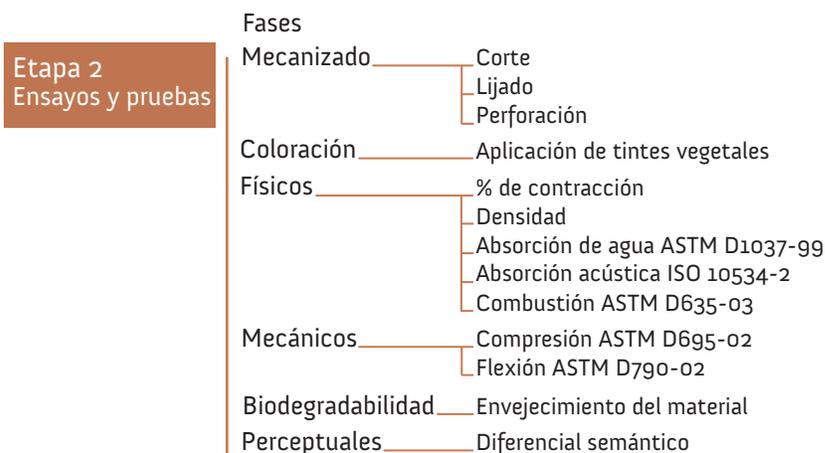


Imagen 46. Fases de la Etapa 2, correspondiente a ensayos y pruebas del material. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Pruebas de mecanizado

Para conocer las oportunidades de trabajo del material, se realizan pruebas de mecanizado, basadas en tres procesos principales, el corte, lijado y perforado del material (Imagen 47). El motivo de este proceso es conocer el comportamiento que tiene el material al ser procesado en distintas máquinas y herramientas.

El trabajo se realiza en el Laboratorio de Maquetas y Prototipos ubicado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Se utilizan 10 probetas, de diferentes dimensiones, las cuales son sometidas a diferentes procesos, utilizando distintas máquinas o herramientas.

Corte	corta cartón sierra de huincha taladro manual corte láser
Lijado	esmeril taladro manual
Perforado	taladro pedestal taladro manual

Imagen 47. Procesos de las pruebas de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

Máquinas y herramientas utilizadas



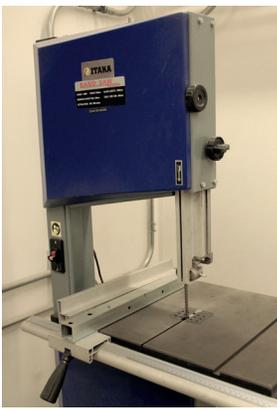


Imagen 48. En las imágenes se muestran las herramientas y maquinas utilizadas para las pruebas de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

Para analizar el resultado de las pruebas, se realizan observaciones cualitativas, donde el criterio de evaluación examina tres aspectos: el astillamiento, donde se analiza cómo quedan las partes y piezas luego de ser trabajadas, la desarticulación del material, donde se considera si las partes o piezas conservan su forma y los defectos en el resultado, donde se evalúa si el resultado es útil o no. Para estos tres aspectos, la evaluación es baja, media o alta, dependiendo de las observaciones, a cada ítem se le asigna un valor, Bajo/3, Medio/2 y Alto/1, con el fin de evaluar cuantitativamente cada observación. (ver tabla 17) El mejor resultado tendrá un valor de 9 pts. y el peor resultado 3 pts., considerando la media de 6 pts. un trabajo positivo, y de 6 pts. para abajo un resultado negativo.

y las piezas finales no tienen mucha utilidad, quedando irregulares, ya que la fuerza que se aplica al cortar el material es mucha y se pierde la línea de seguimiento de corte, como muestra la imagen 50.



57

Criterio de evaluación	Bajo/3	Medio/2	Alto/1
Astillamiento			
Desarticulación del material			
Defectos en el resultado			

Tabla 17. Criterios de evaluación de las pruebas de mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

Arriba. Imagen 49. Corte utilizando corta cartón. Fuente: Elaboración propia.

Derecha. Imagen 50. Resultado del corte realizado con corta cartón. Fuente: Elaboración propia.



## Resultados

### Corte

Se analizan los resultados de corte, considerando los cuatro elementos para realizar el mecanizado. En general el resultado es positivo y mejor al esperado, el único resultado negativo es el trabajado con corta cartón.

Al utilizar el corta cartón se observa que las piezas quedan astilladas, se pierde mucho material al cortar

El resto de los cortes obtiene un resultado positivo. La sierra de huincha, a pesar de que desgrana el material con el movimiento, se logran dos piezas con un corte parejo, imagen 52, asimilando el proceso al corte de madera donde se pierde un poco de material como aserrín. El espacio de corte que deja entre las piezas cortadas es de unos 2 mm aprox.



Imagen 51. Proceso de corte utilizando sierra de huincha.  
Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el taladro manual, Dremel, con el accesorio de corte, se obtiene un resultado positivo, sin embargo, las piezas finales obtenidas luego de este proceso no tienen un corte parejo, imagen 54 y el espacio de corte entre ambas piezas cortadas es de unos 3 mm. Cabe mencionar que el corte con dremel debe ser en piezas de un espesor que no supere los 20 mm, ya que el accesorio de corte es pequeño y no logra cortar el interior de una pieza más grande.

58



Imagen 53. Proceso de corte utilizando dremel.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 54. Resultado del corte utilizando dremel.  
Fuente: Elaboración propia.

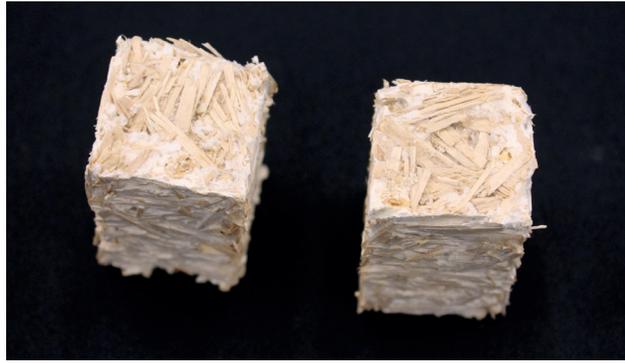


Imagen 52. Resultado del corte utilizando sierra de huincha.  
Fuente: Elaboración propia.

Y finalmente, el corte láser, a pesar de obtener una puntuación igual a la sierra de huincha, la evaluación cualitativa es la mejor dentro del mecanizado de corte. Ya que es posible lograr un corte perfecto, donde no hay pérdida de material, no hay señales de astillamiento y las piezas finales quedan con un corte preciso en ambas partes, como muestra la imagen 55. Y en cuanto a las terminaciones, al igual que muchos materiales, los bordes quedan de un color café oscuro, al quemarse con el láser (imagen 56), lo que no afecta el resultado final. Al utilizar la máquina de corte laser se asegura que se pueden idear muchas formas, simples y complejas sin problemas. También se prueba la modalidad de grabado en el material con la máquina, y el resultado es igual de positivo, dejando un resultado limpio y claro, como se muestra en la imagen 57.



Imagen 55. Resultado del corte realizando con la máquina de corte laser.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 56. Resultado de la terminación en el material utilizando corte laser. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 57. Resultado del grabado realizado con la máquina de corte laser. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18, se muestra el resumen del análisis cuantitativo del proceso de corte mediante diferentes procesos.

		B/3	M/2	A/1	
corta cartón	Criterio de evaluación				
	Astillamiento			×	
	Desarticulación del material			×	total
	Defectos en el resultado			×	3pts
		B/3	M/2	A/1	
sierra huincha	Criterio de evaluación				
	Astillamiento	×			
	Desarticulación del material	×			total
	Defectos en el resultado	×			9pts
		B/3	M/2	A/1	
taladro manual (corte)	Criterio de evaluación				
	Astillamiento	×			
	Desarticulación del material		×		total
	Defectos en el resultado		×		7pts
		B/3	M/2	A/1	
corte láser	Criterio de evaluación				
	Astillamiento	×			
	Desarticulación del material	×			total
	Defectos en el resultado	×			9pts

Tabla 18. Análisis del proceso de corte. Fuente: Elaboración propia.

## Lijado

En cuanto a los resultados en el proceso de lijado considerando los dos elementos escogidos, se obtiene un rendimiento positivo y uno negativo.

El primero, utilizando el esmeril, como se observa en la imagen 58, se logra un buen lijado, teniendo en cuenta los criterios de evaluación, el astillamiento es el mínimo, el material no se desarticula, conservando el aglutinamiento inicial y el resultado es positivo, visualizando un trabajo prolijo y bien definido, ver imagen 59. Como observación, el proceso de lijado con esmeril debe ser un trabajo superficial, es decir, para mejorar superficies, redondear esquinas, o definir pequeños detalles, no para tallar formas ni crear muchas modificaciones a la forma original.

59



Imagen 58. Proceso de lijado utilizando esmeril. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 59. Resultado del lijado utilizando esmeril. Fuente: Elaboración propia.

En cambio, el lijado utilizando el taladro manual (imagen 60), dremel, el resultado se considera negativo, ya que el material se astilla y comienza a desarticulándose en los bordes que se van lijando, criterio de evaluación peor valorado, ya que, si el trabajo continuara, el material terminaría descomponiéndose. Y en general, el resultado no es óptimo, como para trabajar el material utilizando la dremel, ver imagen 61.



Imagen 60. Proceso de lijado utilizando dremel.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 61. Resultado del lijado utilizando dremel.  
Fuente: Elaboración propia.

60

En la tabla 19, se muestra el análisis cuantitativo del proceso de lijado utilizando el esmeril y el taladro manual.

Criterio de evaluación	B/3	M/2	A/1	total
	Astillamiento	×		
Desarticulación del material	×			
Defectos en el resultado	×			9pts

esmeril

Criterio de evaluación	B/3	M/2	A/1	total
	Astillamiento		×	
Desarticulación del material			×	
Defectos en el resultado		×		5pts

taladro manual (lijado)

Tabla 19. Resultados del proceso de lijado.  
Fuente: Elaboración propia.

### Perforado

Finalmente, el proceso de perforado es calificado como positivo, utilizando los dos elementos escogidos, el trabajo resulta ser útil para aplicarlo al material.

En el taladro de pedestal, imagen 62, se utilizan dos brocas, una de 3mm y otra de 8mm. La broca pequeña logra atravesar el material sin dificultades, sin necesidad de aplicar mucha fuerza, durante el trabajo se aprecia que el material se astilla, sin embargo, no desarma el bloque trabajado, pero el resultado no es un agujero parejo, ya que la superficie queda dispareja. Y utilizando la broca más grande, sucede algo similar, donde es fácil atravesar el material y lograr un agujero, pero su terminación superficial no es la mejor ya que la fuerza ejercida rompe el material, dejando muchas astillas, al momento en que la broca comienza a perforar el material, como se observa en la imagen 63.



Imagen 62. Proceso de perforado utilizando el taladro de pedestal. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 63. Resultado del perforado mediante el taladro de pedestal. Fuente: Elaboración propia.

La tabla 20, muestra los resultados cuantitativos de la evaluación durante el proceso de perforado.

Criterio de evaluación		B/3	M/2	A/1	
taladro pedestal	Astillamiento		X		
	Desarticulación del material	X			
	Defectos en el resultado		X		7pts
		total			
Criterio de evaluación		B/3	M/2	A/1	
taladro manual (perforado)	Astillamiento	X			
	Desarticulación del material	X			
	Defectos en el resultado	X			9pts
		total			

Tabla 20 Resultados del proceso de perforado. Fuente: Elaboración propia.

Y, por último, el proceso de perforado utilizando un taladro manual (imagen 64), dremel, utilizando una broca de 6mm, se considera una mejor opción al momento de realizar este trabajo en el material. Ya que es posible controlar la fuerza ejercida al perforar, gracias a las velocidades de la herramienta y a la presión que realiza la persona, permitiendo trabajar con más detalle. El resultado es un agujero que tiene ciertas grietas, pero son las mínimas y el material no se desarma, como se observa en la imagen 65.



Imagen 64. Proceso de perforado utilizando dremel. Fuente: Elaboración propia



Imagen 65. Resultado del perforado utilizando dremel. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Pruebas de aplicación de color

Para realizar pruebas de coloración al material, se escogen tintes naturales. Dentro de los tintes naturales se recurre a las plantas tintóreas, específicamente al maqui. Ya que dentro del texto Plantas Tintóreas de Araucanía (Joseph, C.,1929) y en el artículo de Jorge Campos “Productos Forestales No Madereros en Chile” (1998), el maqui destaca como uno de los principales frutos tintóreas que han sido utilizados a través del tiempo en el país. Tomando esta planta tintórea, se realiza un colorante natural, siguiendo el proceso de elaboración descrito en el texto “Paquete Tecnológico del maqui” (Valdebenito, 2006), considerando las etapas de molienda, remojo, hervido y colado.

Además de utiliza un tinte químico conocido como anilina, elegido ya que el mimbre comúnmente se tiñe con este colorante (INFOR, 2002) y es necesario probar si en el material tiene un mismo efecto.

## Resultados

Luego de realizar el tinte vegetal, imagen 66, se tiñen 4 probetas, dos de ellas se tiñen antes de pasar por la etapa de inhibición y las otras dos piezas ya secas, esto para visualizar las diferencias en el resultado.

En cuanto al resultado de la coloración con el tinte vegetal, no es lo esperado, ya que al añadir mordientes al líquido este cambia de color y al momento de teñir, deja un tono café en ambos casos. En la imagen 67, se observa la probeta antes de teñirla, a la izquierda y después de la coloración, a la derecha. Se observa que los cambios no son tan notorios, pero el proceso resulta ser positivo, ya que la probeta no se desarma y conserva su forma original. En la imagen 68, se ve a la izquierda la probeta teñida antes de la etapa de inhibición y a la derecha la probeta después del teñido, como se observa, la primera probeta queda con una tonalidad café rojiza y la segunda una tonalidad más amarilla. Ambas piezas se secan en un horno luego del teñido.

62



Imagen 66. Elaboración del tinte vegetal.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 68. Izquierda, probeta sin inhibición del hongo y a la derecha la probeta con inhibición del hongo.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego del teñido con tinte vegetal, se realizan pruebas con anilina, se ensayan dos probetas, al igual que el proceso anterior, una muestra no termina el proceso de inhibición y la segunda es una muestra que ya pasó por las etapas de elaboración del material. El proceso consta en sumergir la pieza durante 30 min, según las indicaciones del envase. La primera probeta no toma el color parejo, quedando partes donde el micelio continua blanco y la segunda toma un color más intenso y parejo, como se ve en la imagen 69. Luego de teñir las piezas, ambas son secadas en un horno.

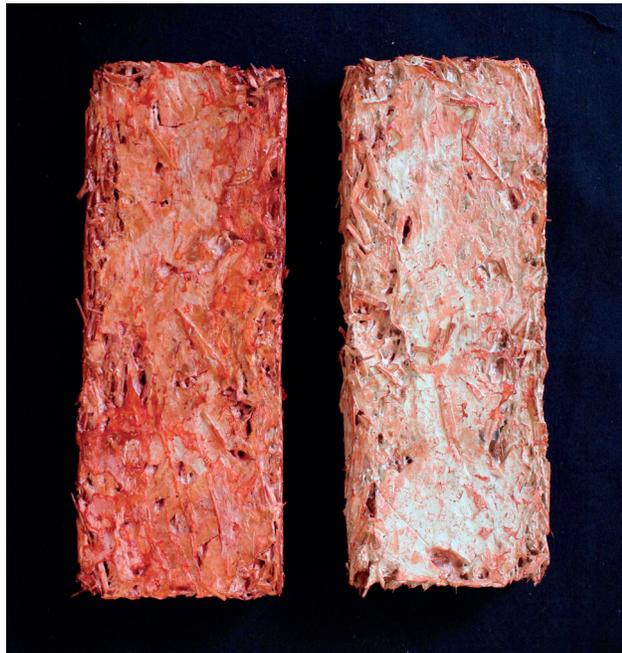


Imagen 69. Izquierda, la probeta teñida sin inhibir y a la derecha, imagen teñida después de la inhibición.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 67. Probeta antes del teñido con el tinte vegetal y después de la coloración. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3 Ensayos físicos y mecánicos

#### 5.1.3.1 % de contracción

Se calcula el % de contracción que tiene el material, ya que, durante la etapa de cultivo, específicamente al momento de inhibir el crecimiento del hongo en el horno, se observa que las piezas tienden a reducir su tamaño en relación al volumen del molde. Para calcular esta diferencia, se mide el volumen de 6 moldes de diferentes dimensiones y 12 piezas resultantes de esos moldes. Se calcula la diferencia en los volúmenes, en donde se confirma que las piezas tienen un tamaño menor. La mayor diferencia es de un 24,1% y la menor en de un 0% donde la pieza final es idéntica al molde. Se promedian las diferencias, y se obtiene un porcentaje de contracción de un **9,2%**.

#### 5.1.3.2 Densidad

Para realizar los ensayos mecánicos y físicos, se calcula la densidad del material, la cual se calcula se acuerdo a la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \text{ Densidad}$$

Se miden 5 probetas, y se obtiene una densidad entre **150-170 kg/m<sup>3</sup>**.

#### 5.1.3.3 Ensayo de Absorción de Agua

Para evaluar la absorción de agua del material, se toma como referencia la norma ASTM D1037-99 "Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials" (2012). Considerando el apartado de Absorción de Agua y Determinación de la Hinchazón del Espesor, específicamente el método A: Período de sumersión de 2 mas 22hrs. El tamaño de las muestras es de 305x305 mm o de 152x152 mm, sin embargo, las muestras utilizadas son de menor dimension al determinado en la norma, sin embargo, se utilizan 5 probetas de un tamaño proporcionalmente menor, por temas de tiempo para la preparación de las muestras. (imagen 70)

El ensayo consiste en registrar el peso inicial de las probetas, luego sumergirlas horizontalmente a 25 mm del borde del agua destilada, mantenida a 20°C. Luego de una inmersión de 2hrs, la muestra se deja drenar por 10 min, y se pesa. Y luego de 22hrs más se repite el proceso.

Se calcula la cantidad de agua absorbida mediante el aumento de peso de la probeta.



Imagen 70. Probetas para ensayo de Absorción de Agua. Fuente: Elaboración propia.

#### Resultados

El proceso de sumersión de la probeta en el agua destilada, se realiza en base a lo descrito en la norma. Sin embargo, se sabe que la densidad del material es menor a la densidad del agua, por lo que la muestra flotaría en el agua y para cumplir lo indicado en la norma, el material es sumergido hasta el fondo del recipiente gracias a la ayuda de un frasco de vidrio que le otorga peso, como se muestra en la imagen 71.



Imagen 71. Muestras del material sumergidas en el agua gracias a el frasco de vidrio. Fuente: Elaboración propia.

Luego de las 2 hrs de sumergir el material, se observa que el agua toma un color amarillento, como se muestra en la imagen 72. Antes de pesar las piezas, se dejan escurriendo en una malla para votar el exceso de agua (imagen 73). Y finalmente se pesan todas las muestras (imagen 74).



Imagen 72. Muestras luego de 2hrs de sumersión.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 73. Probetas escurriendo antes de ser pesadas.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 74. Pesado de la pieza n°4 luego de 2 hrs de sumersión. Fuente: Elaboración propia.

Luego de 22 hrs del primer pesaje se repite el proceso, el agua toma nuevamente un tono amarillento, esta vez es más oscuro, como muestra la imagen 75. Y se pesan las muestras ensayadas (Imagen



Imagen 75. Muestras luego de 2+22 hrs de sumersión.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 76. Pesado de la pieza n°4 luego de 2+ 22hrs de sumersión. Fuente: Elaboración propia.

76). La La absorción de agua del material es relativamente alta luego de 2 hrs de sumersión, ya que como muestra la tabla 21, después de ese tiempo, el material logra absorber tres veces su peso seco. Logrando un promedio de **196,6%** de absorción de agua.

Pero luego de las 22 horas restantes de sumergido el material, no absorbe de igual forma que las primeras dos horas, sin embargo, hay un incremento en el peso, aumentando en un 50% más en relación al último pesaje. Y logrando un resultado final de un **245,8%** de absorción de agua.

El material logra permanecer aglutinado, a pesar de que la apariencia blanca que tiene en un principio desaparece y se logra observar solo el mimbre. Aproximadamente 10 hrs después del ensayo el material vuelve a un peso muy similar al inicial.

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio
Masa inicial [gr]	3,24	2,84	2,92	3,12	2,98	3,02 gr
Masa final 2hrs [gr]	9,80	8,85	8,61	9,13	8,43	8,96 gr
% absorción de agua 2hrs	202,5	211,6	194,9	192,6	182,9	196,9 %
Masa final 24hrs [gr]	11,41	9,99	10,20	10,58	10,04	10,44 gr
% absorción de agua 24hrs	252,2	251,8	249,3	239,1	236,9	245,8 %

Tabla 21. Resultados ensayo de Absorción de Agua.  
Fuente: Elaboración propia.

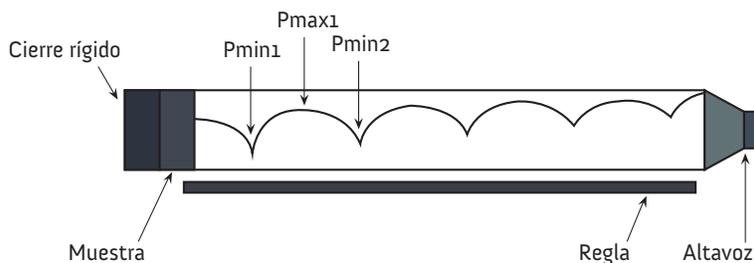
### 5.1.3.4 Ensayo de Absorción Acústica

Para conocer la absorción acústica que tiene el material, se realiza un ensayo utilizando la técnica de Tubo de Impedancia de Kundt o de onda plana, realizado en la Facultad de Artes, en el Departamento de Música y Sonología de la Universidad de Chile, con el apoyo de la profesora Carla Badani.

El ensayo se realiza en base a la norma ISO 10.534-02 "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia". Y se utiliza el método de rango de onda estacionaria.

Para llevarlo a cabo se realizan seis probetas cilíndricas, de dos diámetros: 100mm y 30mm, y de espesores de 25mm, 50mm y 75mm. Medidas provenientes de las características de los tubos, los cuales miden diferentes frecuencias según el largo y el diámetro. (ISO, 2015)

El ensayo parte colocando la muestra de material en uno de los extremos del tubo y en el otro extremo se sitúa el altavoz. Se generan ondas planas captadas por un micrófono, con un tono en una



frecuencia determinada, ya sea baja o alta frecuencia y la vibración es analizada a través del osciloscopio y mediante una sonda móvil que recorre el tubo, se mide la presión máxima Pmax y la mínima Pmin (imagen 77). A partir de estos valores se obtiene la "relación de onda estacionaria". Tomando la ecuación de onda estacionaria, se puede obtener el valor del "coeficiente de absorción de energía sonora". (Alba, J., et al, 2013).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

Relación de onda estacionaria

$$\alpha = \frac{4\eta}{(\eta+1)^2}$$

Coficiente de absorción de energía sonora

Cuando una onda acústica incide sobre un material, parte de la energía sonora incidente (Ei) es reflejada (Er), otra parte es absorbida en energía calorífica en el material (Ea) y una parte restante traspasa el material (Et), aquí se cumple que Ei=Er+Ea+Et. (Arnay, H., 2014). (Imagen 78). La relación que existe entre la energía acústica absorbida y la incidente sobre un material, se le conoce como coeficiente de absorción. Este coeficiente oscila entre 0 (reflexión total) y 1 (absorción total) (Acusticaysonido, 2014)

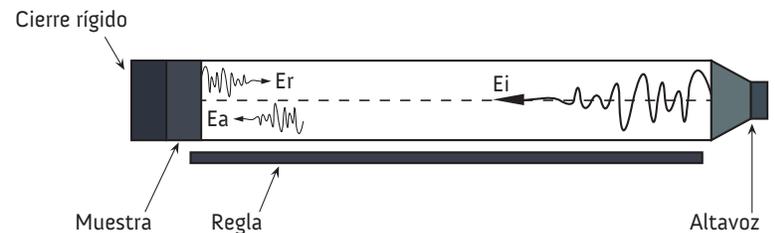
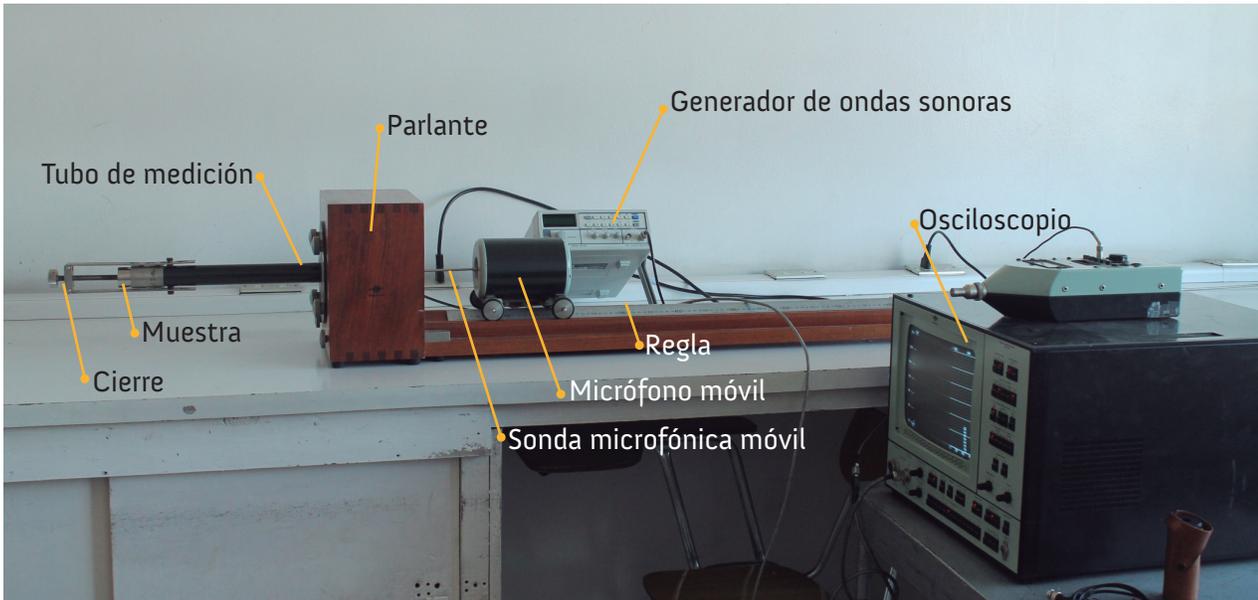


Imagen 78. Absorción del sonido.  
Fuente: Arnay, H., 2014

Imagen 77. Pmax, Pmin de la onda sonora dentro del Tubo de Kundt.  
Fuente: Arnay, H., 2014



Tubo de Kundt.

Imagen 79. Componentes del Tubo de impedancia de Kundt. Fuente: Elaboración propia.

El tubo de Kundt consta de cinco elementos principales (imagen 79), el osciloscopio: el cual muestra las ondas sonoras generadas en el tubo; un generador de ondas sonoras: el cual emite el sonido a medir; el micrófono móvil: que reparte el sonido generado a través del tubo; el parlante: que vibra con amplitud constante y frecuencia variable; y el tubo de medición: por donde se reparte el sonido, en un extremo está conectado al parlante y al otro la muestra de material a medir. El instrumento de medición utilizado es de los años 80's y para tomar las mediciones se realiza un trabajo manual.

Probeta/ Coeficiente	Baja frecuencia			Alta frecuencia			Promedio
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Altura 25mm	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,6	0,4
Altura 50mm	0,2	0,3	0,6	0,3	0,4	0,7	0,4
Altura 75mm	0,3	0,3	0,5	0,4	0,8	0,8	0,5
	Diámetro 100 mm			Diámetro 30 mm			

Tabla 22. Resultados del ensayo de sonido. Fuente: Elaboración propia.

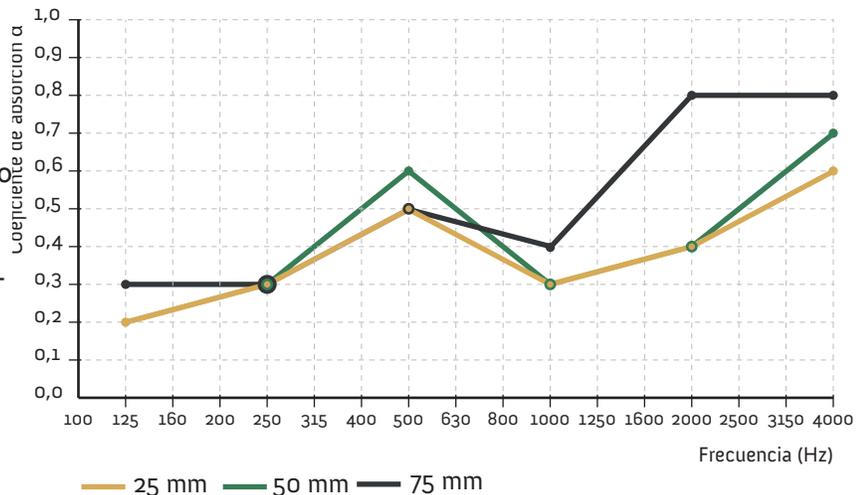
Resultados

Los resultados obtenidos luego de realizar los cálculos matemáticos, son los que se muestran en la tabla 22. Donde se observa que el mejor resultado lo tiene la probeta de 75 mm de altura con un coeficiente de absorción de energía sonora de 0,5, considerando que los valores varían entre 0 y 1, el resultado se analiza como óptimo. Sin embargo, los espesores restantes, tienen un coeficiente de 0,4, lo que es positivo para el ensayo en general.

Durante el ensayo, la profesora Carla Badani, menciona que en general los materiales responden mejor en frecuencias altas, esto ya que la

absorción aumenta con la frecuencia., algo que también sucede con el material estudiado donde los mayores coeficientes son los obtenidos en frecuencias de sonido altas, como muestra la imagen 80.

Imagen 80. Variación de la absorción en función de la frecuencia para diferentes espesores del material. Fuente: Elaboración propia



### 5.1.3.5 Ensayo de Combustión

Para determinar la velocidad de combustión del material, se realiza un ensayo basado en la norma ASTM D635-03 "Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position". (2003)

El ensayo se realiza en el Laboratorio de Maquetas y Prototipos, ubicado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Se utiliza una prensa rápida para sostener las probetas y un soplete con gas butano/propano.

Para realizar el ensayo, se utilizan 6 probetas de  $125 \pm 5$  mm de largo, por  $13 \pm 0,5$  mm de ancho y un mínimo de 0.3 mm y un máximo de 13 mm para el grosor. El ensayo consiste en hacer una marca a 25 mm y a 75 mm de un extremo de la probeta, ésta se sostiene horizontalmente en el otro extremo, el extremo marcado se expone a una llama a  $45^\circ$ , durante 30 segundos. La velocidad de combustión ( $V$ ) se mide en milímetros por minuto, para cada muestra en que la llama alcanza la marca de referencia de 100 mm, usando la siguiente ecuación.

$$V = \frac{L}{t} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{seg}} \right]$$

Velocidad de combustión

#### Resultados

De las 6 probetas analizadas, la primera es descartada para los cálculos finales, ya que la llama no alcanza a superar la marca de 25mm. (imagen 81)

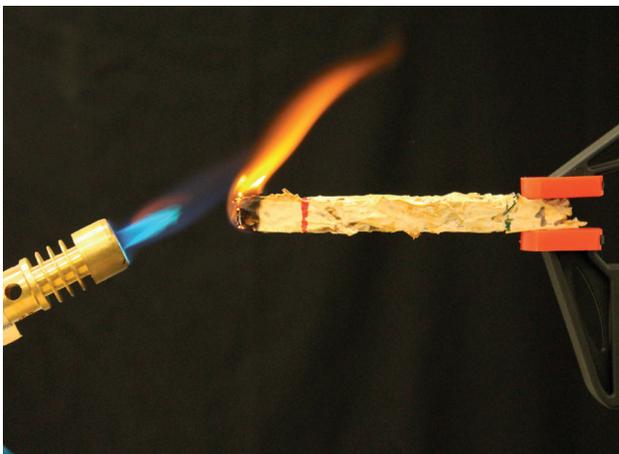


Imagen 81. Ensayo probeta n°1.  
Fuente: Elaboración propia.

En general, la llama en las probetas logra superar la marca de 25mm, sin embargo, se reconoce un fallo en la manipulación del soplete, donde la llama no es controlada, y en algunas pruebas la llama es mayor a la indicada en la norma y quema en mayor proporción la probeta ensayada. Por lo que los resultados podrían variar en un nuevo procedimiento. (imagen 82)

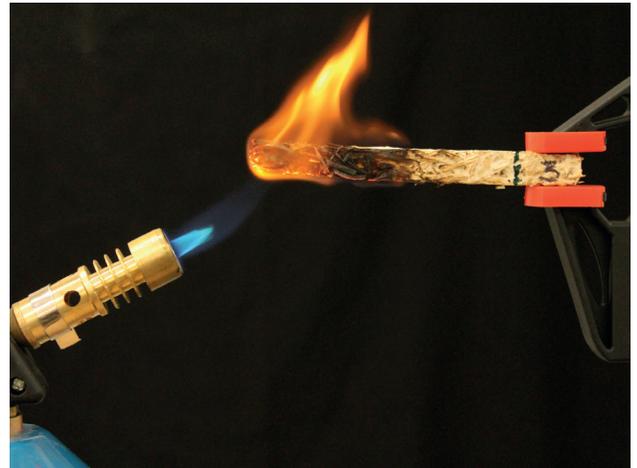


Imagen 82. Ensayo probeta n° 3, donde la llama del soplete es mayor a la indicada en la norma. Fuente: Elaboración propia.

El valor de la velocidad de combustión del material en este ensayo es de *48,8 mm/min*.

A pesar de lo anterior y de los resultados obtenidos, se observó que el material tiene una baja velocidad de combustión y tiene muy poca propagación de la llama. Ya que, al momento de encender y mantener el fuego directo al material, este se enciende rápidamente (imagen 83), sin embargo, al momento de alejar la llama luego de los 30 seg., la llama se mantiene por alrededor de unos 30 segundos, luego de esto se apaga completamente y el avance de la quema del material es de unos pocos milímetros, auto extinguiéndose. (imagen 84).

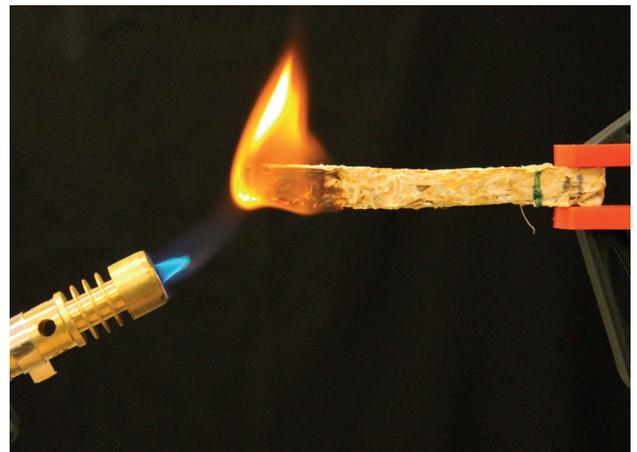


Imagen 83. Ensayo de la probeta n° 4, momento en que la llama se aplica directamente. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 84. Ensayo de la probeta n°4, momento en que la llama se apaga luego de retirar el fuego directo.  
Fuente: Elaboración propia.

El resultado de cómo quedan las probetas se observa en la imagen 85.



Imagen 85. Resultados de las probetas ensayadas.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3.6 Ensayo de Compresión

Los ensayos mecánicos de compresión y flexión, se realizan en el Laboratorio de Tecnología Mecánica de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM).

Para conocer las propiedades de compresión del material, se realiza un ensayo, basado en la norma ASTM D695-02 “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics” (2002).

Se utilizan 9 probetas de 12,7 x 12,7 x 24,4 mm cada una y son ensayadas a una velocidad de 1,3 mm/mm. La muestra es colocada en un soporte y comprimida desde el extremo superior, como lo muestra la imagen 86.

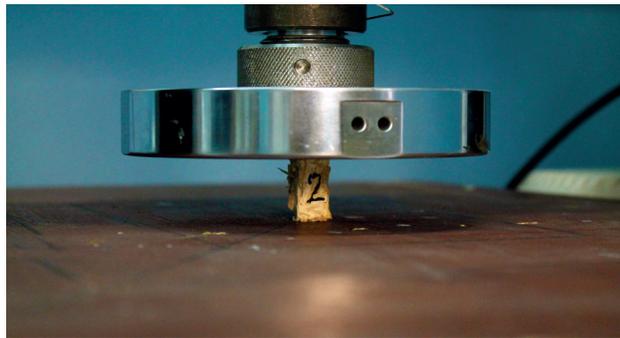


Imagen 86. Ensayo de compresión de la muestra n°2.  
Fuente: Elaboración propia

### Resultados

En el siguiente gráfico, imagen 87, se muestra, las curvas esfuerzo-deformación unitaria obtenidas de las nueve muestras ensayadas. En ellas se puede apreciar a simple vista las diferencias obtenidas, como por ejemplo la resistencia máxima a la compresión es distinta entre las muestras, específicamente la muestra 2 escapa de la tendencia general de las otras muestras. Esto se le atribuye a que no existe un proceso de fabricación estándar, por lo que la uniformidad de las probetas varía.

Además, se debe notar que el largo de las curvas es distinto entre muestras, esto porque hubieron muestras que estuvieron más tiempo siendo ensayadas, ya que el criterio de detención del ensayo fue que este se frenaría una vez que la muestra presentaba síntomas de fractura (por una parte, la muestra crujía y consecuentemente en la pantalla de visualización del ensayo, presentaba un decaimiento de la curva).

Debido a lo anterior, la muestra dos se elimina de los resultados finales, ya que esta se aleja del comportamiento promedio del resto de las muestras. Además, para lograr visualizar una mayor uniformidad de los resultados (curva promedio), se decide tomar el número de datos de la muestra más pequeña como el tamaño de observación de todas muestras. Lo que se muestra en el gráfico, en la imagen 88, donde evidentemente, se puede notar una mayor uniformidad de la zona elástica de la curva esfuerzo-deformación (pendiente similar).

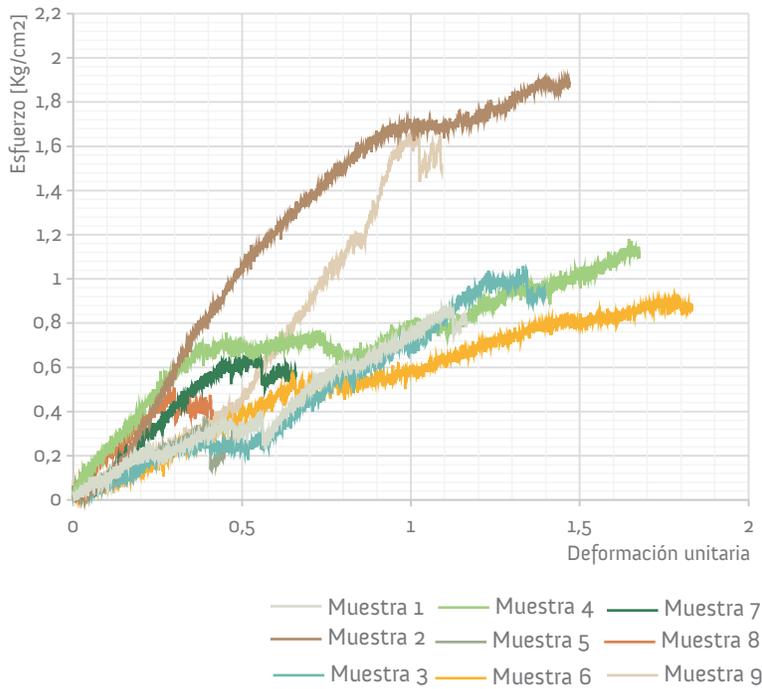


Imagen 87. Resultados de ensayo de compresión a nueve muestras.  
Fuente: Elaboración propia.

cada muestra ensayada. En ella se puede observar que el esfuerzo de fluencia y el módulo de elasticidad promedio del material en estudio es de  $0,377 \text{ kgf/cm}^2$  y  $0,863 \text{ kgf/cm}^2$  respectivamente (esto sin considerar la muestra 2 la cual se encuentra destacada)

Muestra	$\sigma_f \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$	$E \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$
1	0,301	0,607
2	1,514	1,589
3	0,251	0,657
4	0,604	1,360
5	0,225	0,723
6	0,518	0,613
7	0,478	0,935
8	0,331	1,297
9	0,309	0,712
Promedio	0,377	0,863

Tabla 23. Resultados del ensayo de compresión: Esfuerzo de fluencia y Módulo de elasticidad.  
Fuente: Elaboración propia.

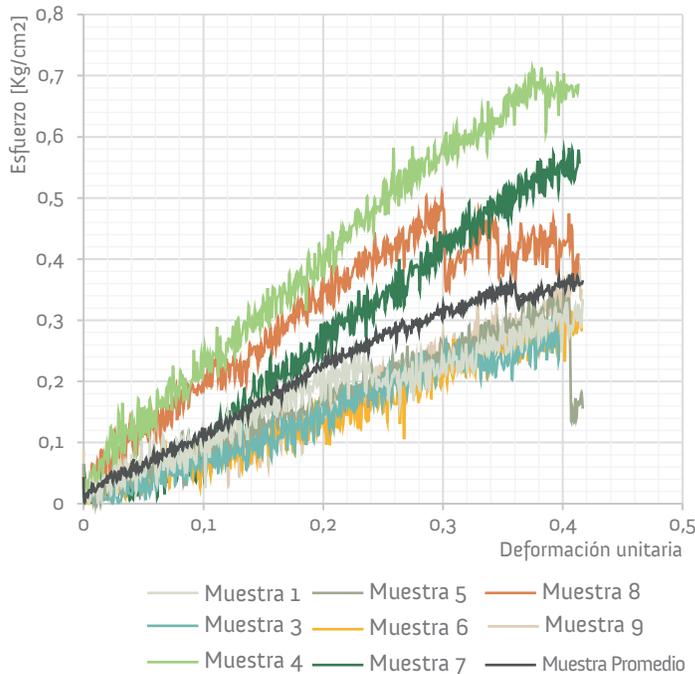


Imagen 88. Ensayo de compresión sin considerar la muestra 2 y con el número de registros de la muestra más pequeña. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3.7 Ensayo de Flexión

Para averiguar las propiedades bajo una fuerza de flexión, el material se ensaya en base a la norma ASTM D790-02 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials” (2015)

Se ensayan 6 muestras de  $74 \times 19 \times 0,8 \text{ mm}$ , 5 de ellas a una velocidad de  $1 \text{ mm/mm}$  y la número 6 se le aumenta la velocidad a  $5 \text{ mm/mm}$ , esto para lograr fracturar la pieza en menos tiempo y con un resultado más notorio. El ensayo consta en colocar la muestra posicionada en dos puntos de apoyo a  $64 \text{ mm}$  de distancia, y un tercer punto de apoyo presiona desde el centro superior la muestra, como indican las imágenes 89-90.

Finalmente, en la tabla 23, se indica el Esfuerzo de Fluencia (esfuerzo que se debe aplicar sobre la muestra para iniciar su deformación permanente) y el módulo de Elasticidad (pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva), de

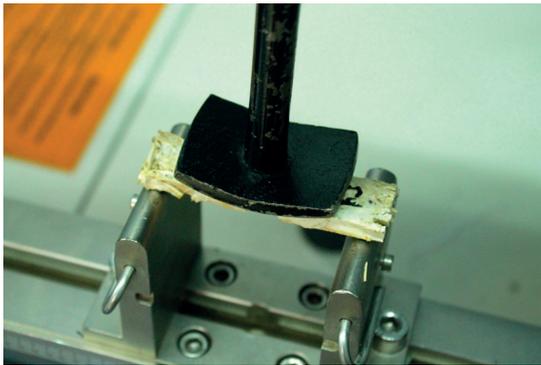


Imagen 89. Ensayo de Flexión.  
Fuente: Elaboración propia

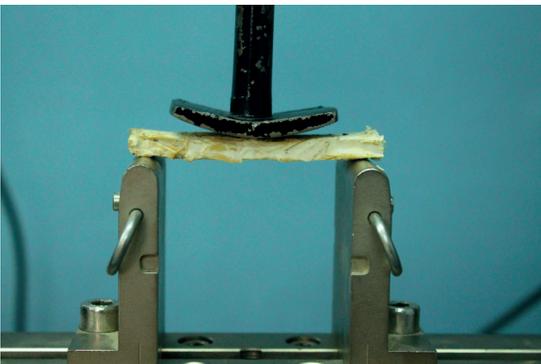


Imagen 90. Posicionamiento de la probeta durante el ensayo de Flexión. Fuente: Elaboración propia.

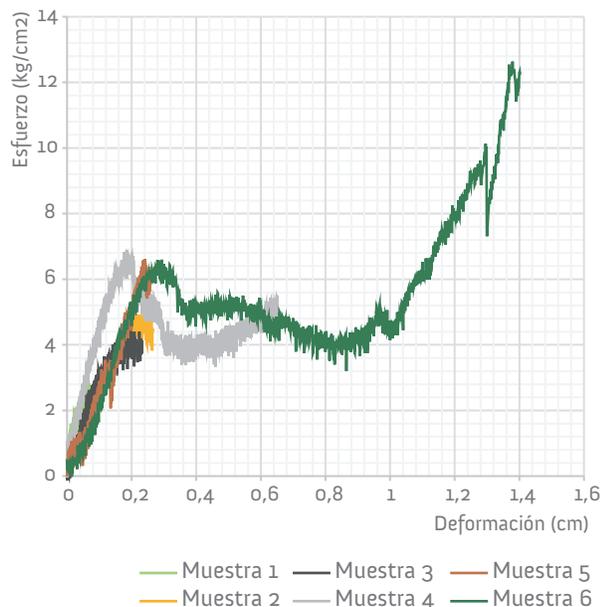


Imagen 91. Resultados de ensayo de flexión a seis muestras.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego de esto, se repite el proceso de tomar los datos de la muestra más pequeña como límite de observación de todas las muestras. Donde se analiza que las muestras elegidas tienen una pendiente similar, imagen 92.

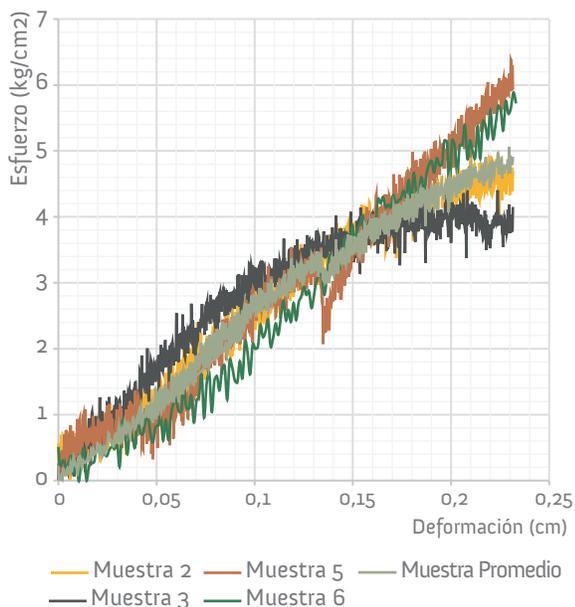


Imagen 88. Ensayo de compresión sin considerar la muestra 2 y con el número de registros de la muestra más pequeña.  
Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

En el gráfico, imagen 91, se muestran las curvas esfuerzo-deformación unitaria obtenidas de las seis muestras ensayadas. Similar al ensayo de compresión, se puede observar que existen diferencias que alteran del resto de las muestras ensayadas. Como lo son el caso de la muestra uno, la cual no logra obtener los datos suficientes para compararla con el resto, y la muestra número cuatro, la cual tiene una pendiente diferente al resto, por lo que ambas muestras son eliminadas de los cálculos finales.

En este ensayo también se puede observar que el largo de las curvas varía entre las muestras, ya que el criterio de detención del ensayo fue el mismo que en compresión.

En la tabla 24, se indica el módulo de Elasticidad de cada muestra, incluyendo las probetas nº1 y nº4, que no son consideradas en el resultado final. En la tabla se puede observar que el módulo de Elasticidad promedio de las muestras es de *208,06 kgf/cm<sup>2</sup>*.

Muestra	E $\left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right]$
1	387,31
2	188,65
3	260,23
4	353,31
5	192,19
6	191,13
Promedio	208,06

Tabla 24. Resultados ensayo de Flexión: Módulo de Elasticidad de Flexión.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3.8 Análisis de los ensayos físicos y mecánicos

Luego de realizar los ensayos, en general, se puede decir que fueron exitosos, ya que se logra tener una noción general de las características físico mecánicas del material y un resumen de esto se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Resumen de los resultados de los ensayos físicos y mecánicos.  
Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones del Material		
	Norma	
% de contracción	—	9,2%
Densidad	—	150-170 kg/m <sup>3</sup>
Combustión	ASTM D635-03	48,8 mm/min
Absorción de agua	ASTM D1037-99	254,8%
Transmisión de Sonido	ISO 10.534-02	25mm-0,4/50mm-0,5 75mm-0,5
Esfuerzo de Fluencia	ASTM D695-02	0,377 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo Elástico Compresión	ASTM D695-02	0,863 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo Elástico Flexión	ASTM D790-02	208,06 kgf/cm <sup>2</sup>

Para tener una mejor idea sobre que significan los valores finales obtenidos luego de cada ensayo, es necesario comparar algunos de ellos con los valores de otros materiales más conocidos.

En cuando a la densidad de 150-170 kg/m<sup>3</sup>, ésta es similar al corcho expandido de 120 kg/m<sup>3</sup>, la perlita expandida, un material mineral, de 130 kg/m<sup>3</sup>, de la madera balsa de 150 kg/m<sup>3</sup> y al vidrio celular con una densidad de 150-160 kg/m<sup>3</sup>, (Monroy, M., 1995)

Para entender los coeficientes de absorción de energía acústica, se elabora una tabla comparativa con otros materiales absorbentes conocidos para tener una relación del valor de los coeficientes de energía acústica. En la tabla 26, se observan diferentes materiales, con menores y mayores coeficientes según la frecuencia, esto último se debe tener en cuenta ya que el material logra un buen indicador de absorción de energía acústica en frecuencias altas, en el espesor de 75mm, similar a las espumas de poliuretano como se muestra en la tabla. El material puede catalogarse como buen absorbente de energía acústica, ya que al ser un material poroso, las ondas sonoras son capaces de atravesar la multitud de canales o cavidades que tiene el material y según la clasificación del texto “Materiales Absorbentes ecológicos para pantallas acústicas”, sería un material fibroso, formando una serie de túneles en los intersticios de las fibras. (Alba, J, et al., 2013).

Material	Frecuencia [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Material de hongo 25mm	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,6
Material de hongo 50mm	0,2	0,3	0,6	0,3	0,4	0,7
Material de hongo 75mm	0,3	0,3	0,5	0,4	0,8	0,8
Aglomerado de corcho	0,12	0,28	0,85	0,72	0,88	-
Alfombra de goma 50mm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,1
Hormigón poroso	0,3	0,45	0,3	0,25	0,4	-
Corcho 30mm	0,08	0,08	0,3	0,3	0,28	0,28
Espuma poliuretano 35mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,9	0,97
Espuma poliuretano 50mm	0,15	0,25	0,5	0,9	0,9	0,9
Espuma poliuretano 75mm	0,17	0,4	0,9	1	1	1
Fibra de vidrio 30mm	0,3	0,4	0,6	0,7	0,69	-
Fibra de vidrio 50mm	0,38	0,63	0,78	0,87	0,83	-
Fieltro de asbesto 100mm	-	-	0,35	0,3	0,23	-
Fieltro de pelo y asbestos	-	-	0,38	0,55	0,46	-
Lana de vidrio 50mm	0,25	0,45	0,7	0,8	0,85	0,85

Tabla 26. Comparación del coeficiente de absorción de energía sonora del material.

Fuente: Budde, L et al, 2013, Elaboración propia.

En el caso la velocidad de combustión, se realiza una tabla con otros materiales, al igual que en el caso anterior, para comparar la reacción al fuego que tienen distintos materiales, en relación al material de hongo. En la tabla 27, se observan distintos materiales, todos polímeros, incluyendo el EcoBlock, el cual es un ladrillo fabricado de restos de polímeros reciclados, en general la velocidad de propagación de los plásticos es rápida, donde el material se quema rápidamente al estar presente a una llama directa. Se estimaba que el material fuera inflamable, al tener paja de mimbre seca como componente principal, sin embargo, el material no solo mantiene una llama pequeña, sino que también tiende a auto extinguir el fuego, aunque si la pieza se quema por completo, esta queda completamente inutilizable.

Tabla 27. Tabla comparativa de velocidad de combustión. Fuente: Moxiesurfaces (s.f.), ETC (s.f.), Exova (2012), Elaboración propia.

Material	Velocidad de combustión $\left[\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right]$
Material de hongo	48,8
EcoBlock	14,3
AIR-board® Makustik	4,9
AIR-board® UV PC	4,7
AIR-board® UV satin	11,4
clear-PEP® UV PC	10
clear-PEP® UV PC satin	11,4
Polipropileno web	12,3
Fox blocks plastic web	17,7
Polibutileno	16,5
PVC	24,5

Para tener una noción de los valores obtenidos en los ensayos mecánicos, se realiza una búsqueda relacionando la densidad vs el esfuerzo de fluencia, para compresión y densidad vs módulo de Young, considerando los valores de compresión y flexión. Para esto se utiliza el software CES EduPack (2013), un programa que proporciona información sobre materiales y procesos en base a una enorme base de datos.

Como se observa en la tabla 28, en relación a la densidad vs esfuerzo de fluencia, el mushroom material o material de hongo estudiado tiene una similitud con la espuma flexible de polímero de densidad intermedia, que pertenece a la familia de las espumas, un material altamente contaminante ya que su composición son los hidrocarburos, utilizado principalmente para cojines, colchones, envases y relleno de poliuretano. Material que también tiene una semejanza con respecto a la densidad vs módulo de Young; en este punto aparece el corcho, de la familia de los materiales naturales, un material ligero pero resistente, utilizando principalmente como tapón para recipientes de vidrio. (CES EduPack, 2013)

	Densidad	Esfuerzo de Fluencia	Módulo de Young
Material de hongo	150-170 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	0,022-0,06 Mp	5 e-5 - 0,025 Gp
Espumas: • Espuma flexible de polímero de densidad intermedia	70-115 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	0,048-0,7Mp	0,04- 0,012 Gp
Materiales naturales: • Corcho	120-240 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	0,03-1,5Mp	0,013 - 0,05 Gp

Tabla 28. Materiales similares en relación a la Densidad vs Esfuerzo de fluencia y densidad vs módulo de Young. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.4 Ensayo de biodegradación del material

En el segundo capítulo se considera al mushroom material (material de hongo) como un biopolímero, según la clasificación general. En base a esto se realiza un ensayo de biodegradación, el cual consiste en la descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos como bacterias, hongos o algas, bajo condiciones normales del medio ambiente. (Ecoplas, s.f)

El ensayo consiste en depositar dos probetas de 95 x 55 x 20 mm y una probeta de las mismas dimensiones, pero trozada, sobre tierra de hoja, durante tres semanas a partir del 1 de febrero hasta el 22 de febrero. Esto con el fin de determinar el envejecimiento del material a la intemperie.

#### Resultados

En la 1ra semana al material le comienzan a aparecer hongos, se ve que no pierde su forma, en cambio las piezas trozadas si, comienzan a desgranarse al moverlas para ver su estado. Para la segunda semana, no se ven muchos cambios, el hongo sigue colonizando las muestras, se observan insectos que entran y salen de los poros del material. Al igual que en la tercera semana, donde la humedad no fue tanta, el hongo permanece sobre la superficie del material.

Durante estas tres semanas se ve que el material no invade negativamente en el pequeño ecosistema que fue alojado, sin embargo, es necesario realizar una prueba con mayor tiempo a la intemperie, para determinar el tiempo real de biodegradación del material.



Imagen 93. En las imágenes se ve el proceso de degradación del material durante tres semanas. Las primeras imágenes corresponden al primer día, las segundas a la primera semana, las terceras a la segunda semana y finalmente la cuarta línea contiene las imágenes de la tercera semana de ensayo. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5 Diferencial semántico

Las propiedades de los materiales pueden dividirse en intrínsecas y extrínsecas (Addington y Schodek, 2005; Fernández, 2006) citado en (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013). Dentro de las propiedades intrínsecas, están las propiedades mecánicas, térmicas y físicas; éstas características son inherentes al material y no cambian bajo condiciones ambientales y este análisis se realiza en las secciones superiores. En cambio, las propiedades extrínsecas son independientes de la estructura atómica molecular del material, se definen más bien por la macro estructura del material, dependiendo del ambiente o contexto, relacionándose con los atributos sensoriales, los cuales no tienen una relación con medidas objetivas (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013).

Debido a lo anterior, es que en este apartado se aplica el test de diferencial semántico al material, una técnica que ayuda a percibir el grado y significado afectivo, subjetivo o connotativo de conceptos, objetos, materiales (Madrid, J., 2007). Donde el objetivo es “proveer un sustento cuantitativo que permita obtener una medida objetiva del significado psicológico” (Aros, M., Aros, N & Narváez, G., 2009).

El diferencial semántico es aplicado a treinta personas, la mitad de ellos tienen conocimientos acerca de los materiales y la otra mitad puede o no estar familiarizado con el tema, esto para tener diversas opiniones del material.

El proceso consiste en evaluar la percepción de cada persona con respecto al material en base a una lista de adjetivos bipolares previamente seleccionados (anexo 5). Los adjetivos se miden en una escala entre 3 y -3, donde los individuos designan el grado afectivo que tiene del material con respecto al adjetivo, una vez que el grupo es encuestado, se analizan sus decisiones en gráficos y cálculos estadísticos. (Madrid, J., 2007). Además, se agregan cuatro preguntas para profundizar acerca del material y sus similitudes con otros materiales.

### Resultados

Luego de aplicar el diferencial semántico a treinta personas, los resultados en la imagen 95, apoyan y ayudan a identificar ciertas cualidades que se pensaban y otras que no estaban en mente. Los conceptos a evaluar tenían que ser analizados a través los sentidos, para esto, se muestran diferentes formas del material, como muestra la imagen 94) las cuales no solo debían ser vistas, sino también tocadas, olidas y escuchadas.



Imagen 94. Formas del material presentadas para responder el diferencial semántico. Fuente: Elaboración propia.

Algunos conceptos como liviano, creativo, interesante, biodegradable, rugoso y moderno, fueron términos que concordaron en las personas y las opiniones fueron similares, por lo que los índices se muestran en los extremos

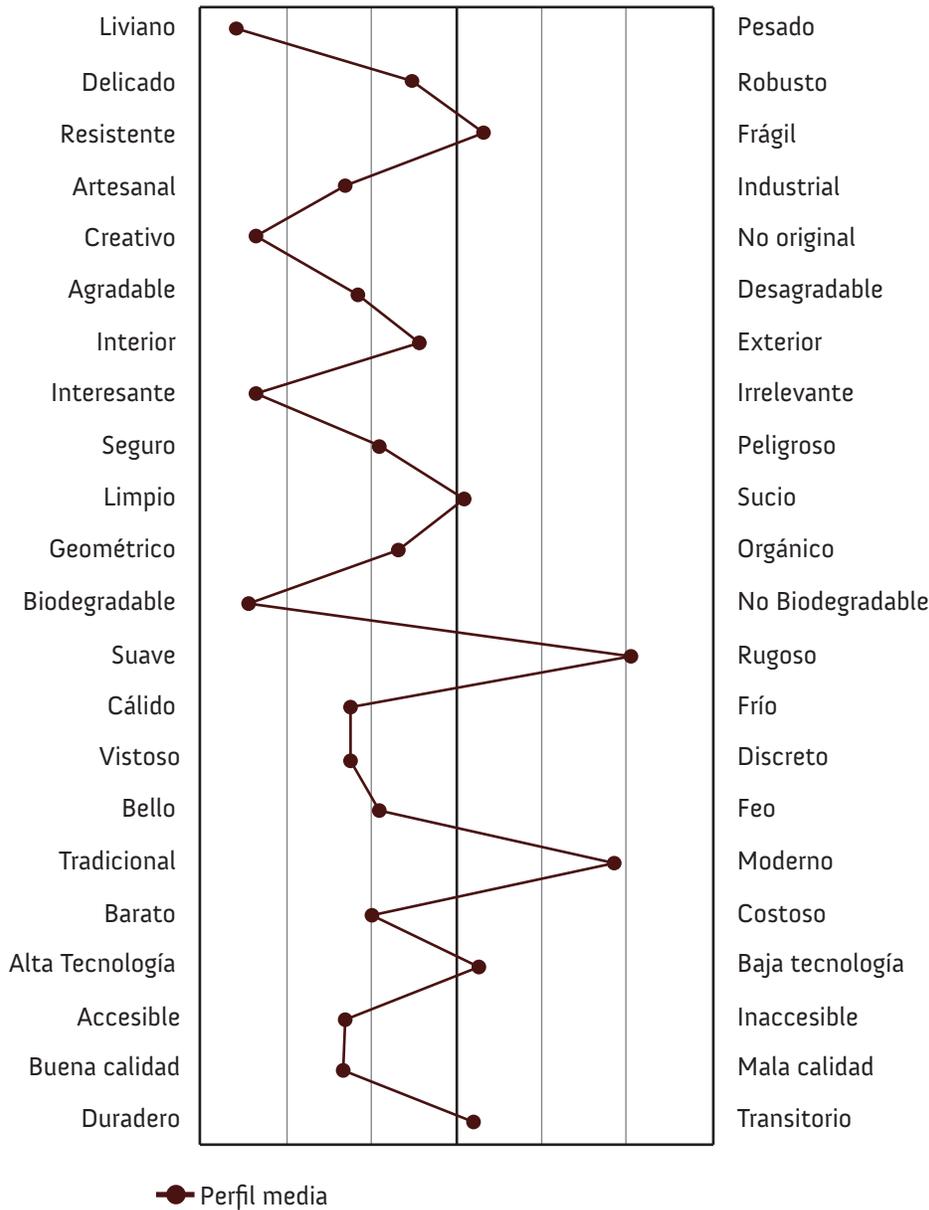
Según el texto *Materials Experience: fundamentals of materials and design*, cuando un material es áspero la gente lo percibe como más natural y los materiales blandos se consideran materiales vivos (Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V., 2013). Al ver los resultados obtenidos, este fenómeno ocurre con el material, ya que el material es percibido rugoso y biodegradable con amplia mayoría.

Hay otros términos que dividen opiniones y se grafican cercanos a la línea interior, se analiza que muchos de estos términos corresponden a información que no se tiene del material, como si es peligroso, de alta o baja tecnología.

En general el material fue bien percibido, causo una curiosidad y un interés por saber lo que era, a pesar de que las personas no contaban con esa información.

puede reemplazar al poliestireno/plumavit u otras espumas? ¿Por qué?, la respuesta en general fue si, por el peso, el color y poque parecía ser un buen aislante. La tercera pregunta: ¿Qué elementos positivos ves en el material? y,

¿Qué elementos negativos? (textura, olor, apariencia, peso, sonido, color, etc.), las características positivas fueron la liviandad, la textura y apariencia natural y la capacidad de adaptar diferentes formas y los dentro de los aspectos negativos se encontraba el olor, la fragilidad y las terminaciones. Y por último en las sugerencias de uso, el material es asociado a un aislante térmico, a objetos donde el poliestireno u otras espumas puedan ser sustituidas, como maceteros o elementos para la jardinería, como packaging y objeto de decoración en revestimientos y objetos.



En general, las respuestas ayudan a visualizar de una manera distinta lo analizado hasta el momento, bajo la mirada de distintas personas, es posible abrir paso a diferentes ideas.

Imagen 95. Diferencial semántico, aplicado al material. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las preguntas realizadas, se obtienen buenas respuestas y ayudan a encaminar una idea de uso del material.

De la primera pregunta: ¿Conoces un material con alguna similitud a los presentado? ¿Cuál?, la gente respondió en su mayoría que parecía plumavit o alguna espuma similar, madera aglomerada y corcho. De la segunda pregunta: ¿Crees que este material

## 5.2 Etapa 3: Posibilidades constructivas

Para definir las posibilidades constructivas del material, se elaboran diversas morfologías, entre ellas figuras geométricas y curvas simples y complejas. (Ver imagen 96).

Las primeras formas son figuras geométricas simples, como paralelepípedos de diferentes dimensiones, muchos de ellos son utilizados para realizar los ensayos del ítem anterior, como se muestra en la imagen 97.

Se continúa con figuras geométricas, como esferas, conos y cilindros, imagen 98. Pasando a formas un poco más complejas, imagen 99, creando formas con curvatura simple y doble curvatura. Se desarrollan tres tipos de moldes, todos ellos rellenables:

1. Moldes de acrílico: específicamente cajas de acrílico de diferentes dimensiones, las cuales otorgan una pieza con todas sus caras bien definidas y de una dimensión definida, imagen 100.
2. Moldes con mdf de 3mm y mica: moldes desechables, realizados para hacer formas que incluían curvas, aquí se realiza un molde de la forma más simple y rápida posible, imagen 101.
3. Molde bloque mdf + cnc: utilizando tecnologías control numérico computarizado (CNC), se elaboran archivos computacionales, para luego replicarlos en un bloque de madera de mdf, previamente construido, imagen 102.

Arriba. Imagen 97. En la imagen se muestran los paralelepípedos.  
Fuente: Elaboración propia.

Abajo. Imagen 98. Figuras geométricas.  
Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 3 Posibilidades constructivas

#### Fases



Imagen 96. Fases de la etapa 3: Posibilidades constructivas.  
Fuente: Elaboración propia





Imagen 99. Figura de doble curvatura.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 100. Molde de acrílico y la figura resultante.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 101. Molde de mica y mdf desechable.  
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 101. Molde mdf y cnc y su figura resultante  
Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

78 El desarrollo de distintas formas se evalúa de manera positiva, considerando que en los tres tipos de moldes construidos el material logra cultivarse de buena forma, alcanzando el color blanco deseado.

En cuanto tamaño de los moldes, no se observa diferencia en el resultado de la pieza, entre las formas con mayor tamaño y en comparación con las de menor tamaño. El cultivo logra desarrollarse sin problemas, y el resultado es positivo para todos los moldes desarrollados. Por lo que es posible realizar distintos tamaños, ya sean formas simples o complejas. Sin embargo, es necesario mencionar que las piezas más pequeñas son un poco más frágiles, y un poco más complejas de desmoldar, por esta razón, es necesario trabajar con delicadeza.

Los moldes del tipo 3, si bien son reutilizables, y la forma resultante es positiva, para este tipo de material, es necesario observar el crecimiento del micelio, es decir, visualizar que el material tome el color blanco deseado, y para eso es necesario que el molde sea traslucido o transparente. O de lo contrario, el tiempo de cultivo puede que no sea suficiente y se desmolde antes de tiempo perdiendo la pieza. Por lo que para mejorar esto y utilizar el molde, se

propone termoformarlo con una mica transparente y obtener la misma forma en un molde donde su relleno es visible.

La idea de la elaboración de moldes, es que estos sean reutilizables, como los primeros y los últimos, donde puedan ser útiles en muchos cultivos, con el fin de disminuir el impacto ambiental. Sin embargo, los segundos moldes, no pueden ser utilizados en una segunda ocasión, ya que al desmoldarlos es necesario romperlos, para sacar la pieza. Por lo que es necesario replantearse el diseño de los moldes para lograr las formas deseadas.





## Conclusiones y Proyecciones

## Conclusiones

### Criterios para una posible aplicación

En base al estudio experimental y de acuerdo a la metodología de trabajo establecido, se decide definir criterios de evaluación para buscar posibles aplicaciones al material, según sus propiedades físico-mecánicas, a los resultados del proceso de moldeo, sus características de mecanizado, a la aplicación de color y a los resultados del diferencial semántico. Los criterios buscan a potenciar las cualidades y evitar las debilidades del material encontradas en base a lo mencionado anteriormente.

En base a estas consideraciones, identificadas en este estudio, es que se deben tomar decisiones futuras con respecto a posibles aplicaciones del material en un objeto. Actualmente versiones extranjeras del material se utilizan en packaging principalmente, maceteros, aislación térmica y acústica, e incluso como mobiliario, aplicaciones donde el material ha tenido excelentes resultados. Sin embargo, las diferentes versiones del material tienen características distintas, ya que al utilizar diferentes sustratos, estos modifican la estructura interna del material, por lo que se estima que nuevas aplicaciones pueden surgir en base a estos estudios.

82

Apariencia	Destacar y potenciar la apariencia rústica
Bajo roce	Evitar que la pieza se desgrane
Color	Aplicación donde destaque su color natural y/o combinar la coloración
Ligereza	Aprovechar la liviandad y la baja densidad
Constructivo	Potenciar la propiedad de aislación de sonido y la hipótesis de una buena aislación térmica.
Morfología	Acentuar la capacidad de conformación de formas simples y complejas
Residuos	Aplicación que no genere residuos o sean casi nulos
Cargas pesadas	Aplicación que evite soportar cargas pesadas en compresión, flexión y tracción
Decorativo	Aprovechar lo innovador en formas nuevas de decoración
Biodegradable	Utilizar en elementos que sea necesaria la degradación natural
Auto ensamble	Potenciar la característica que tiene el material de auto ensamblarse en sí mismo, a través de formas complejas.
Absorción	Impulsar el desarrollo de propuestas donde la absorción de agua del material sea estimulada
Flotabilidad	Potenciar el buen comportamiento que tiene el material al flotar en el agua.
Humedad	Si se utiliza en interiores, evitar lugares con alto contenido de humedad ya que el material puede producir hongos. En exteriores este ítem no es un problema.



## Conclusiones del informe

La presente investigación permitió establecer un método experimental basado en el estudio, desarrollo, caracterización y aplicación de un material compuesto que se elabora a partir del micelio del hongo ostra o pleurotus ostretus que aglutina el desecho vegetal orgánico, que en este caso es el desecho de mimbre, que se obtiene a partir de la preparación de la fibra para su aplicación en artesanía en la comuna de Chimbarongo principalmente.

Para efectos de la experimentación, se desarrollan probetas con diferentes sustratos, según las fases dentro de la etapa de experimentación, utilizando siempre el micelio del hongo ostra, y variando las proporciones, el uso de enriquecedores y las condiciones de cultivo del material. El cultivo en sí, a lo largo de todas las fases, siempre resultó positivo, desde la primera experimentación se logra conformar un material donde su proceso productivo es el cultivo. El estudio estuvo enfocado mejorar el resultado, en estandarizar un procedimiento que sirviera de guía para futuras experimentaciones, rescatando un residuo de mimbre generado por la artesanía, otorgando una vida útil y haciéndolo participe de un material compuesto biodegradable.

De esto se obtiene que la relación hongo vs sustrato ideal es de un 15% de semillas de hongo en base al peso húmedo del sustrato y en caso de elegir

utilizar enriquecedores para potenciar y acelerar el crecimiento del hongo, se recomienda un 5% del peso en base al peso húmedo del sustrato. El cultivo en total puede durar hasta tres semanas, trabajo que se realiza tres etapas identificadas: pre-cultivo, cultivo e inhibición.

Al tener la “formula” ideal del material, utilizando el residuo vegetal escogido, se logran determinar las características principales del material, lo que permite conocer algunas características físico-mecánicas. El resultado es un material liviano, con características similares a un material isotrópico, estéticamente es blanco, color que es otorgado por el micelio, opaco y con una textura rugosa. Durante el trabajo de mecanizado, el material puede ser trabajado por diversas herramientas, aunque se recomienda para obtener un buen resultado, el uso de la sierra de huincha y corte laser para corte, el uso de esmeril para el lijado y un taladro manual para la perforación, el trabajo puede realizarse con diferentes grosores y tamaños de piezas del material. Como prueba, la coloración logra tener éxito, ya que es posible cambiar el color original del material, a través de tintes naturales y químicos, sin embargo, el mejor resultado lo entrega el tinte químico o anilina, el cual logra un color brillante y parejo, dejando la opción de modificar el color blanco del material otorgado por el micelio.

En cuanto a las características físicas, el material tiene una densidad baja, similar a las espumas o corcho. Al momento de sacar la pieza del molde, esta reduce su tamaño en un 9,2%, porcentaje que se debe tener en cuenta a la hora de realizar un molde. Absorbe una gran cantidad de agua, más del doble de su peso original y logra volver a su peso inicial en unas cuantas horas. Acústicamente el material logra absorber un 50% de la energía acústica y en altas frecuencias logra absorber hasta un 80%, esto, gracias a que es un material poroso donde las ondas sonoras pueden entrar a través de sus cavidades. En cuanto a su comportamiento ante el fuego, este no se incendia, tendiendo a la auto extinción, con una baja velocidad de combustión, donde la llama no permanece por más de 30 segundos. Y las características mecánicas del material. éste es frágil, con una carga superior a 2kg el material comienza a colapsar, comportándose similar a una espuma.

La biodegradabilidad del material no pudo ser comprobada, ya que el tiempo de degradación del material es mayor a lo ensayado, el cual se realiza en tres semanas, tiempo insuficiente. Durante este lapso se visualiza la aparición de hongos en la superficie del material ante la presencia de humedad, aparecen bichos como hormigas que interactúan con el bloque de material expuesto haciendo orificios donde transitan. Las piezas trozadas comienzan a desgranarse y separar las fibras. Se estima que el material podrá desaparecer, dentro de seis meses, sin provocar efectos negativos en la superficie donde fue expuesta.

La percepción es medida a través de un diferencial semántico, se aplica a treinta personas, quince de ellos diseñadores. El resultado ayudó a identificar virtudes y falencias del material, que no fueron visualizadas previamente. El diferencial semántico apoya también, a eliminar o confirmar ideas previas que se tenían del material, eliminando la visión sesgada de una persona sobre la percepción del material, al igual que las preguntas posteriores, las cuales respaldar a través de la percepción, la similitud del material a las espumas de poliestireno u otras.

En el informe se trabaja en las formas de conformar en material a través de moldes, donde se evidencia que es posible realizar cualquier tipo de forma, simples y complejas, donde el resultado es una forma similar a la original del molde, mediante este proceso es posible evitar la generación de desperdicios al momento de crear una forma.

Todas las propiedades y características mencionadas otorgan ventajas claves para innovar y establecer aplicaciones, e incluso reemplazar materiales existentes más contaminantes y desarrollar productos biodegradables

## Proyecciones

En cuanto al substrato utilizado, es necesario ahondar más en el tamaño de la partícula del desecho de mimbre, ya que solo se trabaja con una granulometría la cual no es tamizada ni medida y el resultado es una textura rugosa y en algunas pruebas resulta desagradable al tacto y a la vista. Se estima que al moler más la fibra, hasta lograr una especie de aserrín de mimbre, es posible obtener resultados de mejor calidad, ideal para productos que soliciten una mejor terminación y detalle.

El estudio da la posibilidad de seguir caracterizando el material, realizando pruebas y ensayos que definan en un mayor detalle las propiedades del material, como la aislación térmica, impacto, absorción de hidrocarburos o empuje. En cuanto al color, es necesario realizar más pruebas con diferentes tintes naturales o químicos, para identificar el mejor colorante para variar el color natural del material. Además de intervenir en formas que exijan una mayor complejidad en los moldes.

Para definir el uso a largo plazo, es necesario realizar un análisis de vida útil, considerando el deterioro del material en interiores, considerando un estudio de al menos un año, donde la muestra deba ser observada y evaluada, esto para determinar el uso como por ejemplo aislante de sonido o revestimiento térmico en paredes, donde no sería conveniente que el material tuviera una duración corta y comenzara a deteriorarse en el corto plazo. Aunque se estima que podría ser utilizado durante dos años bajo condiciones normales de interior, es necesario comprobar esta hipótesis.

Es indispensable realizar un análisis de ciclo de vida, al producto, una vez que se defina donde aplicar el material, ya que, a pesar de ser un material biode-

gradable, no se conoce el verdadero impacto que este tiene en la naturaleza, considerando las etapas de cultivo, principalmente la etapa de inhibición, donde se calcula una mayor huella. De esta forma, se pueden identificar las etapas que tengan un mayor impacto y corregirlas.

En general el informe otorga características generales del material, las que pueden ser aprovechadas para múltiples aplicaciones, por ej. en el área de packaging o aislación acústica, diseño de productos o reemplazo de materiales similares que tengan un mayor impacto ambiental.

## Propuestas de desarrollo futuro

El desarrollo de los Grown Materials (materiales cultivados) es una tendencia en desarrollo con un gran futuro, no sólo se puede trabajar con materiales aglutinados por el micelio del hongo, existen variadas opciones, donde organismos vivos son capaces de crear nuevos materiales sustentables. Además, es posible trabajar en el proceso de conformación de los materiales, mejorando el proceso para elaborar del material o diseñando “maquinas” de cultivo, aprovechando las tecnologías que hoy en día están disponibles y cada vez más al alcance de los estudiantes interesados en esta área. De cualquier forma, es indispensable contar apoyo monetario, financiado por entidades públicas o privadas que quieran apoyar el desarrollo de materiales o herramientas sustentables en el país.



## Bibliografía

Acusticaysonido (2014) Medición del coeficiente de absorción de un material. Recuperado de <http://acusticaysonido.com/?p=269>

Adhikary, S., Mondal, S., Noman, M., & Rehana, J (2010). Comparative study on growth and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on different substrates. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 8(2), 213-220.

Aguilar, R., Cedeño, A., Laurencio, M., Pérez, M. Rivera, R., Rondón, A., & Zambrano, D. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 177-189.

Alba, J., Arenas, J., Del Rey, R., Ramis, J., & Suárez, E. (2013). Materiales absorbentes ecológicos para pantallas acústicas. *Universidad de Alicante-Universidad Austral, España-Chile*.

Aponte, R. (2015). Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bioplásticos a partir de papa en contra de la contaminación en Colombia.

86 Arduino (s.f.) ¿Qué es Arduino?. Recuperado de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

Aros, M., Aros, N & Narváez, G. (2009). El Diferencial Semántico para la Disciplina del Diseño una Herramienta para la Evaluación de Productos. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos

Arnay, H. (2014). Estudio de la precisión en la determinación del coeficiente de absorción acústica en tubo de impedancia. Tesis Máster en Ingeniería Acústica de la Edificación y Medio Ambiente, ETSIS\_Telecomunicacion.

ASTM (2003) D635-03 Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

ASTM (2002) D695-02 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

ASTM (2015) D790-02 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

ASTM (2012) D1037-99 "Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials International.

Ayala, A., Navia, D., & Villada, H. (2014). Adsorción de Vapor de Agua de Bioplásticos Elaborados con Harina de dos Variedades de Yuca (Adsorción *Manihot esculenta* Crantz). *Información tecnológica*, 25(6), 23-32.

Balanta, D., Grande, C., & Zuluaga, F. (2010). Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de *Aspergillus Niger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(5), 297-316.

Bazante, W., Forero, C., & Hoyos, O. (2007). Evaluación de residuos de ají (*Capsicum* spp.) como sustrato en la producción de setas comestibles (*Pleurotus ostreatus*). Trabajo de grado Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Popayán, 41-43.

Bejarano, N. (2015). Evaluación de las propiedades fisico-químicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada.

Bernabé, T., & Cayetano, M. (2008). Cultivo de *Pleurotus* sobre residuos de las cosechas de jamaica (*Hibiscus sabbdariffa*) y plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista mexicana de micología*, 26, 57-60.

Biomicelios (2017a) Inicio-Micelios. Recuperado de <http://biomicelios.com/>

Biomicelios (2017b) CCL11. Recuperado de <http://biomicelios.com/ccl11/>

Borrero, M., Hernández, R., López, C. & Suárez, C. (2013). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus Ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137.

Boullosa, N. (2014) Materiales "Vivos": Cultivar Productos en Vez de Hacerlos. Recuperado de <http://www.faircompanies.com/blogs/view/materiales-vivos-cultivar-productos-en-vez-hacerlos/>

Bonilla, M., Martínez, D., Martínez, W., Morales, P. & Sobal, M. (2007) México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. El cultivo de setas *Pleurotus* spp. en México.

Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of cleaner production*, 15(13), 1337-1348.

Braungart, M. & McDonough, W. (2002). Design for the triple top line: new tools for sustainable commerce. *Corporate Environmental Strategy*, 9(3), 251-258.

- Budde, L et al (2013). Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales. *Mecánica Computacional*, 31, 2901-2908.
- Campos, J. (1998). Productos Forestales no Madereros en Chile. FAO - Serie Forestal N° 10.
- Cañumir, J., Cortéz, M. & France, A. (2000) Producción de Hongos Ostras. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA n° 23, 32 p.
- Cervantes, G., Sosa, R., Rodríguez, G., & Robles, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Revista Académica de la FI-UADY*, 13, 1, 63-70.
- 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.
- Civantos, D. (2010) Bacillus Pasteurii, una bacteria para un mundo lleno de... ¿carreteras de arena? Recuperado de <http://www.cookingideas.es/bacillus-pasteurii-una-bacteria-para-un-mundo-lleno-de-%C2%BFcarreteras-de-arena-20101009.html>
- Córdova, A., Coronado, M., Esqueda, M., Gaitán-Hernández, R., & Sánchez, A. (2008). Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Revista mexicana de micología*, 28(spe), 17-24.
- Chávez, L., Martínez, S., Contreras, M. & Escamilla, E. (2004). Celulosa bacteriana en gluconacetobacter xylinum: biosíntesis y aplicaciones. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 7(1) 18-25. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43270103>
- Chilebosque. (2016) Ficha de descripción de *Araucaria araucana*. Recuperado de [http://www.chilebosque.cl/flora/araucaria\\_araucana.html](http://www.chilebosque.cl/flora/araucaria_araucana.html)
- Damián, M., Huerta, M., Juárez, J., Macías, A., Parraguire, J. F., Romero, O., & Tapia, A. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus Ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos Agrícolas. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 53-63.
- De la Fuente, D (2012). Estudio de la factibilidad de producción de etanol a partir de residuos de *Chusquea Culeou*. Memoria Ingeniero Civil en Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Dexigner (2015) Material (R)evolution: Grown Materials. Recuperado de <http://www.dexigner.com/news/27864>
- Ecoplas (s.f). Biblioteca informativa: Degradación de los materiales plásticos. Recuperado de <http://www.ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>
- Ecovative (2017a) Mushroom Materials. Recuperado de <http://www.ecovatedesign.com/mushroom-materials/>
- Ecovative (2017b) About Ecovative. Recuperado de <http://www.ecovatedesign.com/about/>
- Ecovative (2017c) Grow It Yourself Material. Recuperado de <http://shop.ecovatedesign.com/collections/all/products/grow-it-yourself-material>
- Ecovative (2017d) Myco Make. Recuperado de <http://www.ecovatedesign.com/myco-make>
- ETC (s.f.) Self ignition temperatura, rate of burn, smoke density and mechanical property test of plastic materials. Recuperado de [http://www.floridabuilding.org/upload/PR\\_Tech\\_Docs/FL8114\\_R1\\_TR\\_Weathering%20report.pdf](http://www.floridabuilding.org/upload/PR_Tech_Docs/FL8114_R1_TR_Weathering%20report.pdf)
- Exova (2012) Test method for rate of burning and extent and time of burning of plastics in a horizontal position. Recuperado de <http://www.noblestree.com/ar/images/pdf/pb/approvals-certificates/test%20certificates/DNV%20fire%20certificate%20aocording%20to%20ASTM%20D635-10%20pdf%201.pdf>
- Fernández, A. (2009) Upcycling: transformar residuos en objetos de valor. Recuperado de [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2009/12/17/189900.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2009/12/17/189900.php)
- Flaherty, J. (2013). No Shiitake, This Chair Is Made of Mushrooms. Recuperado de <http://www.wired.com/2013/12/mushroom-chair/>
- Gaitán, R., Mata, G. Rosalía, M., & Salmones, D. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción.
- Gallopín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Países Bajos.
- Gallur, M. (2011) Biopolímeros Como Material de Envase, Caso Práctico: Sector Cosmético. ITENE. Recuperado de [www.easyfairs.com/uploads/tx\\_ef/m.gallur\\_itene.pdf](http://www.easyfairs.com/uploads/tx_ef/m.gallur_itene.pdf)
- García, E. (2015). Obtención de bioetanol a partir de la cascara de la piña "Ananas sativus (Lindl) schult" de la zona de Cerritos-Pereira utilizando un bioreactor agitado tipo Batch, diseñado y construido en la escuela de Química-UTP. Universidad Tecnológica de Pereira
- Gómez, J. (2013). Producción y caracterización de polihidroxialcanoatos, sintetizados por microorganismos nativos a partir de residuos grasos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín).
- González, A. (2007) Célula Vegetal. Recuperado de [http://www.biologia.edu.ar/plantas/cell\\_vegetal.htm](http://www.biologia.edu.ar/plantas/cell_vegetal.htm)
- Guzmán, G., Martínez, D., Morales P., Murrieta, M., & Soto, C. (1986). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre hojas usadas en la extracción de aceites esenciales. *Revista Mexicana de Micología*, 2, 119-124.
- Grushkin, D. (2015). Meet the Woman Who Wants To Grow Clothing In a Lab. Recuperado de <http://www.pops-ci.com/meet-woman-who-wants-growing-clothing-lab>

- Henríquez, R. (2000). Rendimiento y periodos de cultivo de cepas de champinon ostras (*Pleurotus ostreatus*) en distintos sustratos de cultivo. Memoria para optar a título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Chile
- Hernández, R. & López, C. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137.
- Hormann, M. (2013). MYX material-Creating food and design from waste using oyster mushroom. Recuperado de <http://hellomaterialsblog.com/2013/09/02/myx-material-creating-food-and-design-from-waste-using-oyster-mushroom/>
- Infante, D., Grodzínskaya, A., & Piven, N. (2002). Cultivo de hongos comestibles utilizando desechos agrícolas e industriales. *Agronomía tropical*, 52(4), 427-447.
- INFOR (2002) Silvicultura y producción. Sauce mimbre *Salix spp.* Instituto Forestal (Santiago, Chile). Santiago: Marta, I. 456 p.
- ISO (2015) ISO 10534-2:1998 Acoustics -- Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method. Recuperado de [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=22851](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22851)
- Joseph, C. (1929). Plantas tintóreas de Araucanía. *Revista Chilena de Historia Natural*, 33, 364-74.
- Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2013). *Materials Experience: fundamentals of materials and design*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Klarenbeek (s.f) Designer of the VNVSVL. Recuperado de <http://www.ericklarenbeek.com/>.
- Kuang, C. (2010) Printable Brick Could Cut World's Carbon Emissions by "At Least" 800 Million Tons a Year [UPDATED]. Recuperado de <http://www.fastcompany.com/1645295/printable-brick-could-cut-worlds-carbon-emissions-least-800-million-tons-year-updated>
- Lee, S. (2011) Grow your own clothes. TED conferences. Recuperado de [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_grow\\_your\\_own\\_clothes](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_grow_your_own_clothes)
- Lelivelt, R. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials
- Madrid, J. (2017) Aplicación del diferencial semántico para la evaluación de calculadoras. *Actas de Diseño*. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. ISSN, 1850, 2032.
- Mata, G., & Merlo, R. (2005). Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. *Revista mexicana de micología*, (020), 53-59.
- Meneses, J., Corrales, M., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, (8), 57-67.
- Monroy, M. (1995). Comportamiento térmico de cerramientos soleados: un modelo de simulación por diferencias finitas. Tesis Doctoral, Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Montalti, M. (2017a) Mycelium Design. Recuperado de <http://www.corpuscoli.com/projects/mycelium-design/>
- Montalti, M. (2017b) The Future Of Plastic. Recuperado de <http://www.corpuscoli.com/projects/the-future-of-plastic/>
- Mushroom appreciation (2013) How to Pasteurize straw for Growing Mushroom. Recuperado de <http://www.mushroom-appreciation.com/pasteurize.html#sthash.LQ4J51DK.JTa5q8Os.dpbs>.
- Moxiesurfaces (s.f) Flammability test results & building code approvals. Recuperado de <http://www.moxiesurfaces.com/resources/moxie-surfaces-flammability.pdf>
- MycoWorks. (2016a) Company. Recuperado de <http://www.mycoworks.com/#>
- MycoWorks (2016b) How to make a Mycelium brick in 8 easy steps. Recuperado de <http://www.mycoworks.com/page/2/>
- Navia, D., & Bejerano, N. (2014). Evaluation of Physical Properties Ofthermopressing Bioplastics made from Cassava Flour. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 40-48
- Niklitschek, T. (2010). Selección de Condiciones de fermentación de residuos de lenga para la producción de bioetanol. Memoria Ingeniero Civil en Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Poppelaars, F. (2014) Designing for a Circular Economy. The conceptual design of a circular mobile device. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Floras-CEIP-report-Designing-for-a-Circular-Economy.pdf>
- Remar (2011) Bioplásticos. Recuperado de <http://www.modernanavarra.com/wp-content/uploads/Bioplásticos.pdf>.
- Riera, P. (2005). Manual de economía ambiental y de los recursos naturales. Editorial Paraninfo.
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Información tecnológica*, 24(2), 47-56.
- Sandow (2015) ThinkLAB, The Consulting Division Of Material Connexion, Releases "Material (R)evolution: Grown Materials". Recuperado de <http://www.sandow.com/thinklab-the-consulting-division-of-material-connexion-releases-material-revolution-grown-materials/>

Torres, F. (2013) Aumenta uso de bioplásticos en el planeta. Recuperado de <https://www.veoverde.com/2013/08/aumenta-uso-de-bioplasticos-en-el-planeta/>

Thomas (2012) Phil Ross Grows Furniture with Mushrooms. Recuperado de <http://motherboard.vice.com/blog/houses-of-the-future-grown-out-of-mushrooms>

UNAD (s.f.) Biopolímeros. Recuperado de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/Contenido\\_en\\_linea\\_eXe/leccin\\_29\\_biopolimeros.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/Contenido_en_linea_eXe/leccin_29_biopolimeros.html)

Valdebenito, G. (2006). Paquete Tecnológico del maqui. Productos Forestales No Madereros en Chile. Instituto Forestal

WCED (1987) Declaración de Tokio 1987

### Principales características de las propuestas del DFS

#### Nivel de innovación de productos

Propuesta	Enfoque	Principales limitaciones	Potenciales orientaciones futuras de investigación
Diseño verde	Reducir el impacto medioambiental mediante el rediseño de las cualidades individuales de cada producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carece de profundidad, promueve el consumismo verde</li> <li>- Por lo tanto, se enfoca predominantemente en emisiones individuales, no proporciona beneficio ambiental significativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explorar posibles correlaciones con otros enfoques</li> </ul>
Eco diseño	Disminuir el impacto ambiental centrándose en todo el ciclo de vida de los productos desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carece de complejidad, se centra sólo en los problemas ambientales y no tiene en cuenta los problemas que no pueden ser explicados en el análisis del ciclo de vida.</li> <li>- Las ganancias de eficiencia asociadas no resolvieron el impacto debido al consumo cada vez mayor, tiene una perspectiva técnica con una atención limitada a los aspectos relacionados con el ser humano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explorar posibles correlaciones con otros enfoques</li> <li>- Desarrollar herramientas para apoyar la toma de decisiones a nivel gerencial y estratégico</li> </ul>
Diseño emocionalmente duradero (EDD)	Fortalecer y extender en el tiempo la vinculación emocional entre el usuario y el producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es particularmente difícil estimular eficazmente la inserción de productos: el mismo producto puede generar diferentes significados y diferentes grados de apego en diferentes individuos</li> <li>- Los determinantes de fijación del producto son menos relevantes para algunas categorías de productos (por ejemplo, productos utilitarios)</li> <li>- Para algunas categorías de productos, extender la longevidad más allá de un cierto punto puede no ser beneficioso para el medio ambiente</li> <li>- Los fabricantes podrían ser reacios a implementar estrategias de vinculación de productos porque esto podría conducir a reducir las ventas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo estudios sobre el apego producto durante toda la vida útil de un producto</li> <li>- Comprobar la eficacia de las estrategias EDD en las diferentes categorías de productos</li> <li>- Investigar el papel de la cultura y los valores de los usuarios en el producto adjunto</li> </ul>
Diseño para un comportamiento sostenible (DfSB)	Hacer que la gente adopte un comportamiento sostenible deseado y abandone un comportamiento insostenible no deseado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implicaciones éticas de la aplicación de DfSB (¿quién tiene derecho a conducir el comportamiento del usuario?)</li> <li>- Falta de métricas para medir el efecto de las estrategias DfSB y la falta de ejemplos basados en pruebas</li> <li>- La implementación de DfSB podría requerir el uso de materiales y recursos adicionales</li> <li>- Los actores empresariales podrían no estar incentivados en la implementación de estrategias DfSB porque esto podría no ser compensado por ganancias financieras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de parámetros y técnicas de evaluación para el análisis y la evaluación de los casos DfSB</li> <li>- Prueba de la eficacia de las estrategias DfSB</li> <li>- Desarrollar un lenguaje más accesible y herramientas para los profesionales</li> <li>- Ampliar el alcance de los comportamientos, los contextos y grupos de usuarios en la investigación</li> <li>- Identificar el DfSB más efectivo dependiendo de situaciones particulares</li> </ul>
Diseño de la cuna a la cuna (CTC)	Énfasis en un enfoque regenerativo por parte de la industria; Se centran en las especies no humanas y las generaciones futuras	Estos énfasis se mantienen en un nivel retórico y, a pesar de su visión inspiradora, el diseño del CTC técnicamente no está bien justificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar sus supuestos subyacentes</li> <li>- Explorar correlaciones con otros enfoques</li> </ul>

Diseño biomimético (BM)

Imitación de la naturaleza en el diseño de formas, productos y sistemas utilizando la naturaleza como modelo, medida y mentor

- Afirmar que la innovación resultante de la imitación de la naturaleza es sostenible es engañosa para aislar un principio, una estructura o un proceso de la naturaleza e imitarlo no se cede necesariamente a la sostenibilidad  
- Optimista tecnológicamente

- Mejorar sus supuestos subyacentes  
- Explorar correlaciones con otros enfoques

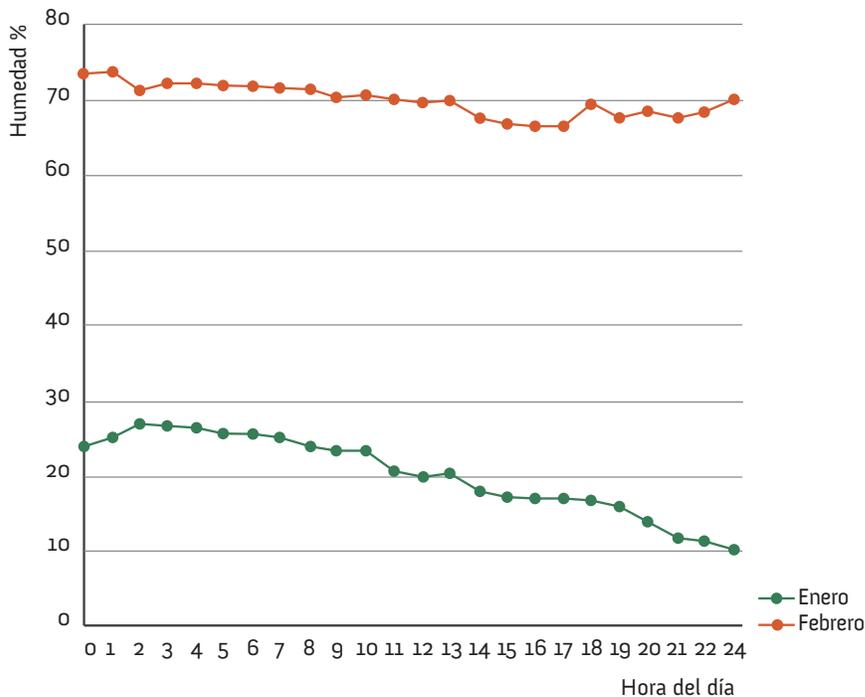
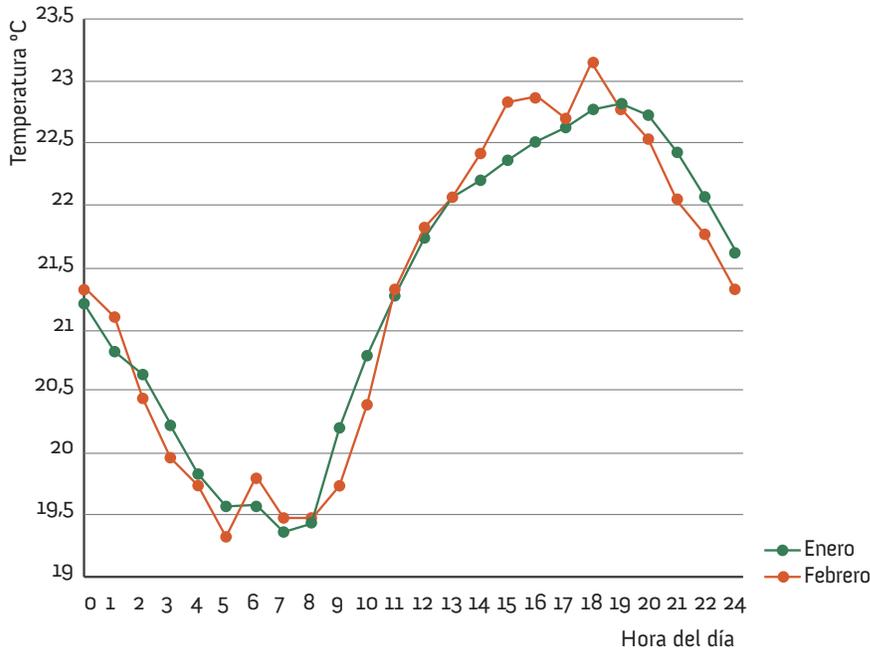
Diseño para la base de la pirámide (DfBoP)

Mejorar las vidas de las personas que viven en la base de la pirámide a través de soluciones basadas en el mercado

Dirigirse a los pobres como consumidores ha levantado las críticas: en particular, dilema moral que los enfoques de la balanza de pagos no diferencian entre las necesidades esenciales satisfactorias y que ofrecen bienes no esenciales

Mejor explorar la aplicación de diseño y diseño de producto-servicio del sistema de Innovación Social de la balanza de pagos

## Anexo 2



Mezcla	Inicio	Termino	Crecimiento del micelio	Total cobertura del substrato	Textura de la superficie	Otras notas	Imagen
dm	5-ago	19-ago	Blanco y homogéneo, logra aglutinar todo el material, formando una pieza compacta	Si	Suave en las caras en contacto con el molde y áspera en la cara superior	Se aprecian los cortes de mimbre sin embargo la mezcla es compacta y no se desgrana	
dc	5-ago	19-ago	No se observa un crecimiento del micelio, sólo hifas muy débiles como una especie de tela de araña	No	Áspero, se toca el desecho de mimbre, no un material compuesto	No hubo un crecimiento del micelio, si se manipula mucho el material se desarma	
cp	5-ago	19-ago	Blanco en el centro, el desecho logra aglutinarse, sin embargo se desprenden partes del material	No total, pero si en gran mayoría	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	
dm+dc+cp	5-ago	19-ago	Blanco en ciertas partes, une a penas la mezcla de substrato y con la manipulación la pieza comienza a desarmarse	No	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	
dm+dc	5-ago	19-ago	Blanco en gran parte de la mezcla, pero logra verse el substrato, sin embargo la pieza se mantiene compacta	Si	Suave en las caras en contacto con el molde y áspera en la cara superior	El crecimiento del micelio es compacto y logra aglutinar el material	

Mezcla	Inicio	Término	Crecimiento del micelio	Total cobertura del sustrato	Textura de la superficie	Otras notas	Imagen
dm+cp	5-ago	19-ago	El micelio crece blanco y une las partes del material, pero las cascaras de piñón no logran sostenerse del todo	No	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	
dc+cp	5-ago	19-ago	Blanco en ciertas partes, une a penas la mezcla de sustrato y la superficie es muy áspera y desagradable al manipular	No	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	

Mezcla	Inicio	Termino	Crecimiento del micelio	Total cobertura del substrato	Textura de la superficie	Otras notas	Imagen
dm/cd	2-sept	5-oct	Blanco, se logra ver el substrato	Si	Suave en las caras, al tocar el micelio y el substrato	El substrato logra ser aglutinado y forma una pieza compacta.	
dm/dd	2-sept	5-oct	Blanco, pero insuficiente	No	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	
dm/da	2-sept	5-oct	Blanco, pero insuficiente	No	Áspero, se tocan los cortes del material	El crecimiento del micelio no alcanza a juntar por completo los desechos y se desgrana con la manipulación	
dc/cd	4-sept	23-sept	Blanco y homogéneo	Si	Suave en todas las caras	El material se aglutinó bien y no se desgrana. Hubo un crecimiento posterior del micelio luego de sacar la pieza del molde lo que mejoró el resultado	
dc/dd	4-sept	30-sept	Blanco y homogéneo	Si	Suave en todas las caras	El material se aglutinó bien y no se desgrana. Hubo un crecimiento posterior del micelio luego de sacar la pieza del molde lo que mejoró el resultado	
dc/da	4-sept	5-oct	Blanco pero poco homogéneo	No total, pero si en gran mayoría	Suave en sectores donde el micelio creció, pero en partes se toca el substrato	El material se aglutina en partes con el micelio, sin embargo, no crece en su totalidad	

Mezcla	Inicio	Término	Crecimiento del micelio	Total cobertura del sustrato	Textura de la superficie	Otras notas	Imagen
dm/t1	3 -sept	23-sept	El micelio crece pero no logra cubrir toda la superficie	No	Suave, ya que el mimbre esta tejido	El material no logra ser cubierto con el micelio y la prueba se seca matando el hongo	
dm/t2	3 -sept	23-sept	El micelio crece pero no logra cubrir toda la superficie	No	Suave, ya que el mimbre esta tejido	El material no logra ser cubierto con el micelio y la prueba se seca matando el hongo	
dm/t3	3 -sept	23-sept	El micelio logra cubrir gran parte de la superficie	No total, pero si en gran mayoría	Suave, en esta probeta es posible tocar la suavidad del micelio y la suavidad del mimbre tejido	El material no logra ser cubierto con el micelio y la prueba se seca matando el hongo	

Anexo 5

Nombre:  
Ocupación y/o Profesión:

Edad:

Sexo: F  M

	ALTO	MEDIO	BAJO	NEUTRO	BAJO	MEDIO	ALTO	
<b>ATRIBUTO +</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>	<b>-2</b>	<b>-3</b>	<b>ATRIBUTO -</b>
Liviano								Pesado
Delicado								Robusto
Resistente								Frágil
Artesanal								Industrial
Creativo								No original
Agradable								Desagradable
Interior								Exterior
Interesante								Irrelevante
Seguro								Peligroso
Limpio								Sucio
Geométrico								Orgánico
Biodegradable								No Biodegradable
Suave								Rugoso
Cálido								Frío
Vistoso								Discreto
Bello								Feo
Tradicional								Moderno
Barato								Costoso
Alta tecnología								Baja tecnología
Accesible								Inaccesible
Buena calidad								Mala calidad
Duradero								Transitorio

96

¿Conoces algún material con alguna similitud a lo presentado? ¿Cuál?

---



---

¿Crees que este material puede reemplazar al poliestireno/plumavit u otras espumas? ¿Por qué?

---



---

¿Qué elementos positivos ves en el material? y, ¿Qué elementos negativos? (textura, olor, apariencia, peso, sonido, color, etc.)

---



---