



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Diseño



Mycelium

Material biobasado, compuesto del micelio del hongo
Trametes Versicolor y cáscaras de nuez *Juglans Regia*

Informe de proyecto para optar al título de Diseñador Industrial
de la Universidad de Chile.

Abstract

La presente investigación se enmarca en la exploración y experimentación de un nuevo material biobasado, compuesto a partir de la utilización micelio de hongo y subproductos de la industria agrícola.

La industria agrícola y forestal genera una gran cantidad de residuos. Según informó CONAF sólo en la Región Metropolitana se quemaron 2.501 hectáreas de desechos agrícolas en el periodo 2014-2015. Estos residuos, ya sean agrícolas o forestales, crean un problema tanto para la actividad que los genera como para el medio ambiente y el destino final de estos no está del todo resuelto ya que es más fácil y económico desechos que aprovechar de una manera más eficiente esta materia prima, dándole un nuevo uso.

Este proyecto plantea reutilizar estos residuos mediante la fabricación de un nuevo material, sustentable, económico, con un bajo impacto ambiental, considerando su ciclo de vida, donde en su etapa final este material se reintegra al ecosistema mediante la descomposición total de sus componentes.

La investigación es de carácter exploratorio por lo cual se evaluó el proceso de conformación y composición del material biobasado. De esta manera se estableció un método constructivo de este material y se realizaron pruebas en laboratorio que permitieron caracterizar físicamente y mecánicamente el material.

Para ello se identificaron especies de hongos del tipo Basidiomycota y subproductos de la industria agrícola a utilizar en la experimentación. Se determinaron dos tipos de hongos, Pleurotus Ostreatus y Trametes Versicolor y subproductos de la industria agrícola, rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos. Se caracterizaron y evaluaron las propiedades físicas y mecánicas del material así como también su comportamiento a agentes externos.

En base a lo anterior se investigan posibles áreas del diseño donde se pudiese proyectar y desarrollar el uso de este material compuesto

Palabras clave: **Material biobasado, residuos agrícolas, micelio de hongo, ecología industrial**

Índice de contenidos

Índice de contenido	10
Agradecimientos	7
Abstract	9
Capítulo 1 Introducción	: 14
Objetivo	18
Estrategia metodológica	20
Capítulo 2 : Antecedentes	22
2.1 Desarrollo Sostenible	24
2.2 Empresas que usan subproductos agrícolas como materia prima para el desarrollo de productos	26
2.3 Reino Fungí	28
2.4 Empresas que usan el micelio del hongo como aglomerante para el desarrollo de productos	30
2.5 Subproductos Agrícolas y Frutícolas	35
Capítulo 3: Experimentación	42
3.1 Experimentación	44
3.2 Justificación	46
3.3 Experimentaciones	46
3.4 Experimentacion I	48
3.5 Tipos de esterilización	54
3.6 Experimentación II	55
3.7 Experimentación III	59
3.8 Experimentación IV	72
3.9 Conclusiones	81

Capítulo 4: Caracterización física, mecánica y de resitencia a agentes externos	83
4.1 Caracterización física, mecánica y de resitencia a agentes externos	84
4.2 Pruebas a las que se sometio el material micelio	86
4.3 Resumen de ensayos	86
Capítulo 5: Aplicación Demostrativa	91
5.1 Aplicación demostrativa	92
5.2 Ejercicio I	92
5.3 Ejercicio II	95
5.4 Ejercicio III	95
5.5 Ejercicio IV	100
Capítulo 6: Conclusiones, recomendaciones y proyecciones	105
6.1 Conclusiones	106
6.2 Proyecciones	107
Capítulo 7: Anexos	109
7.1 Anexos	110
7.2 Postulación a proyectos de investigación y desarrollo	111
7.3 Postulación a congreso intersecciones	112
7.4 Colaborador workshop biodesing	113
7.5 Colaborador Museo delHongo	112
Índice de imágenes y esquemas	119
Índice de imágenes	120
Índice de esquemas	124
Bibliografía	127

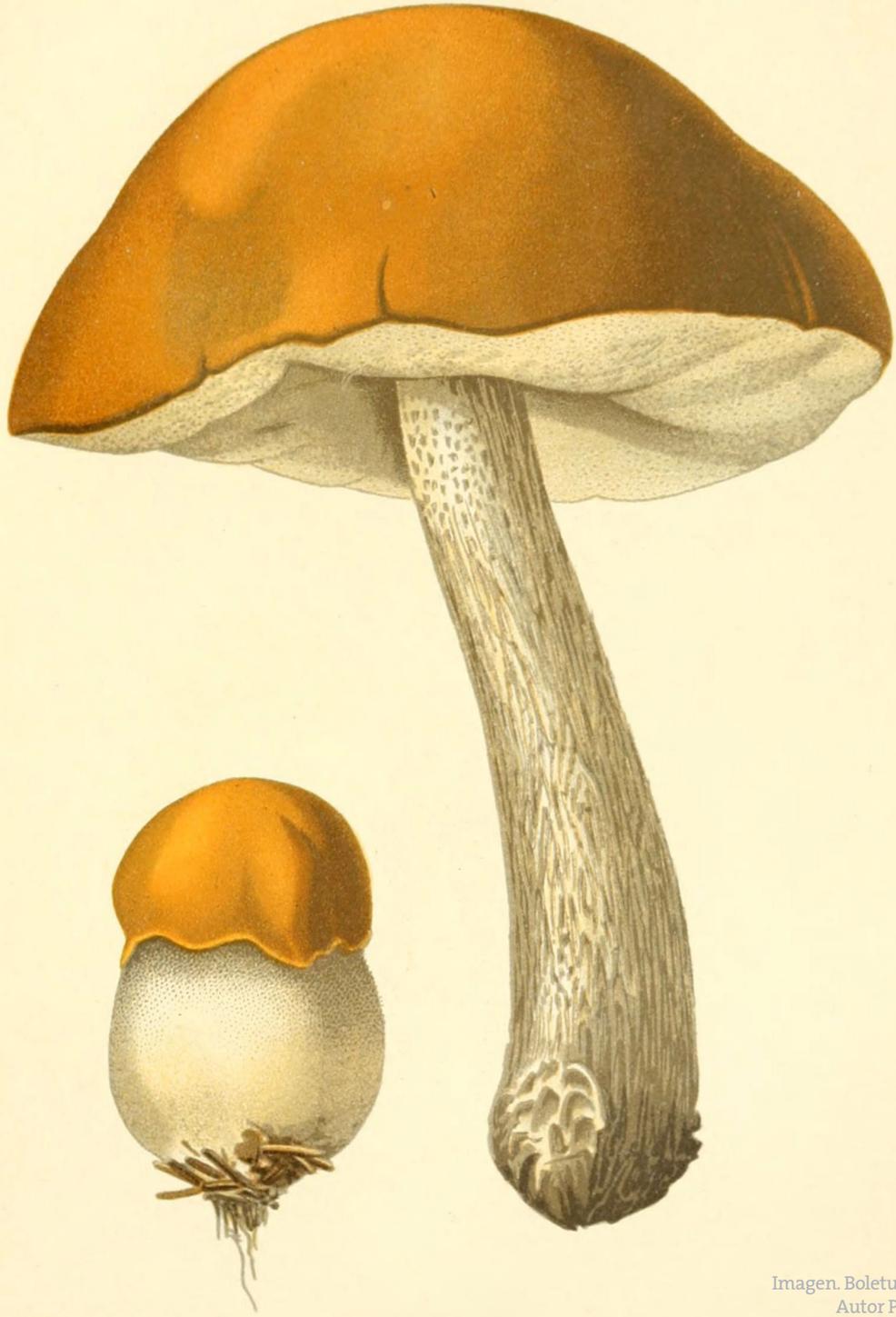


Imagen. *Boletus versipellis*.
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 1_ Introducción

La investigación que se presenta a continuación se origina a partir de dos aristas. Por un lado la investigación y desarrollo de nuevos materiales desde el punto de vista del diseñador industrial y por otro lado el no-uso de desechos originados por la industria agrícola y frutícola que pudiesen ser una alternativa de materia prima para el desarrollo e investigación de materiales.

El nivel de disponibilidad que el ser humano ha tenido de materiales y procesos de manufactura ha ido en aumento progresivo a lo largo de su historia. En la actualidad un diseñador industrial puede tener a su disposición cientos de miles de materiales y cientos de variaciones de las actividades básicas que regulan los procesos de manufactura (Escobar, Hernando. 2008).

Dentro del desarrollo de materiales, está la posibilidad de que el diseñador pueda ser participe en el proceso de desarrollo de estos, dándoles características, propiedades, usos, entre otras. Este desarrollo puede ser parte de una investigación teórica-práctica, a partir de desarrollos experimentales y prototipos, lo que conlleva, si esta investigación es exitosa, a proponer la posibilidad de un nuevo material para el desarrollo de productos.

Estamos en un momento de la historia donde el desarrollo sostenible nos guía a añadir atributos a los materiales que no necesariamente son de desempeño físico mecánico. Por ejemplo, que sea un

material donde esté pensado su ciclo de vida, que sea reutilizable, biodegradable, compostable, que su manufactura tenga un bajo impacto ambiental en el ecosistema, que los materiales con los que se fabrica sea de origen local, entre otros. Estas características tienen que ser consideradas desde el punto de vista del diseño.

Por lo mismo esta investigación de carácter experimental busca desarrollar un material que combine la utilización de desechos que generan la industria agrícola y frutícola, con un aglutinante natural, que permita a este material dotarlo de características sostenibles, en todo el desarrollo y vida útil de este.

Tipo de investigación: Investigación exploratoria, experimental



Imagen. Sustratos , (arriba) Hojas de Parra
(abajo) Cáscara de maní
Elaboración propia.





Imagen. Sustratos ,Rastrojos de Alfalfa
Elaboración propia.

Tema

Material biobasado a partir del micelio del hongo *Trametes Versicolor* y subproductos de la industria frutícola, cáscara de nuez del tipo *Juglans Regia* para el uso y aplicación en áreas del diseño.

Preguntas de investigación

¿Es posible la aplicación en áreas del diseño de un material conformado por micelio de hongo (*Trametes Versicolor* y *Pleurotus Ostreatus*) y subproductos de la industria agrícola y frutícola (rastros de cereales y cáscaras de frutos secos)?.

Objetivo general

Desarrollar y caracterizar un nuevo material biobasado compuesto de micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola y frutícola para su posible uso en áreas del diseño.

Objetivos específicos

1. Identificar los micelios de hongos usados como aglomerante y los subproductos agrícolas y frutícolas más apropiados para el desarrollo de un material biobasado

Hipótesis

Las propiedades mecánicas del material biobasado a partir del micelio de un hongo (*Trametes Versicolor* y *Pleurotus Ostreatus*) y subproductos de la industria agrícola y frutícola (rastros de cereales y cáscaras de frutos secos) son insumos aptos para el desarrollo de un material con aplicaciones en diseño.



2. Determinar en laboratorio el procedimiento para el cultivo de hongos. Diferentes métodos y aplicaciones.
3. Desarrollar un material biobasado con el micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola y frutícola.
4. Caracterizar y evaluar las propiedades mecánicas y físicas del material biobasado y de biodegradabilidad.
5. Proponer aplicaciones del material desarrollado en áreas el diseño.

Estrategia metodológica

La investigación es de carácter exploratorio por lo cual se evaluó el proceso de conformación y composición del material biobasado. Se fabricaron muestras las que fueron ensayadas física y mecánicamente en laboratorio.

Para ello se identificaron especies de hongos del tipo basidiomicetos y subproductos de la industria agrícola y frutícola a utilizar en la experimentación. Se determinaron dos tipos de hongos (*Pleurotus Ostreatus* y *Trametes Versicolor*), subproductos de la industria agrícola (rastros de cereales) y subproductos de la industria frutícola (cáscaras de frutos secos). Se determinó el método constructivo y se fabricaron muestras en laboratorio.

Resumen de contenido y Plan de Trabajo

El plan de trabajo corresponde a cómo se llevó a cabo la investigación y está desglosado en los siguientes ítems:

Capítulo 2: Antecedentes

- Aproximación al tema de investigación
- Determinación del tipo de investigación
- Desarrollo del marco teórico
- Contextualización acerca del uso de los subproductos de la industria agrícola
- Recopilación y análisis bibliográfico sobre el reino Fungi y características específicas sobre el tipo de Hongo utilizado
- Reuniones con informantes clave

Capítulo 3: Experimentación co-Mecánicos

- Estructura de los ensayos y normas.
- Desarrollo de los ensayos
- Análisis y discusión de resultados

Capítulo 5: Aplicación Demostrativa

- Alcances del material biobasado en áreas del diseño
- Propuesta, desarrollo y fabricación de una aplicación demostrativa del material biobasado

Capítulo 6: Conclusiones, proyecciones y recomendaciones

- Conclusiones, recomendaciones y proyecciones



Alcances y limitaciones de la investigación

La investigación busca establecer un método para la conformación de un material biobasado a partir de micelio de un tipo de hongo y subproductos de la industria agrícola.

Los alcances esperados pretenden reutilizar desechos de la industria agrícola y frutícola como materia prima, para de esta manera darle un nuevo uso y prolongar su vida útil como un subproducto. Se espera insertar en el ámbito de la investigación y desarrollo un nuevo tipo de material, de bajo costo, sustentable y con bajo impacto ambiental. Los ensayos físico-mecánicos nos darán un marco para establecer proyecciones y aplicaciones en el ámbito del diseño.

Las limitaciones de la investigación están relacionadas al tiempo,

la infraestructura y los costos monetarios. Se construye un laboratorio de bajo costo, que permite el desarrollo y conformación del material, pero debido a que no se cuenta con maquinaria especializada el tiempo de crecimiento del micelio es más largo, así como también el tamaño de las aplicaciones demostrativas tiene un tamaño determinado por las dimensiones del horno con el que se cuenta (proceso de curado del material).

Se espera a futuro realizar esta investigación en laboratorio con un proceso de conformación más estable y seguro.

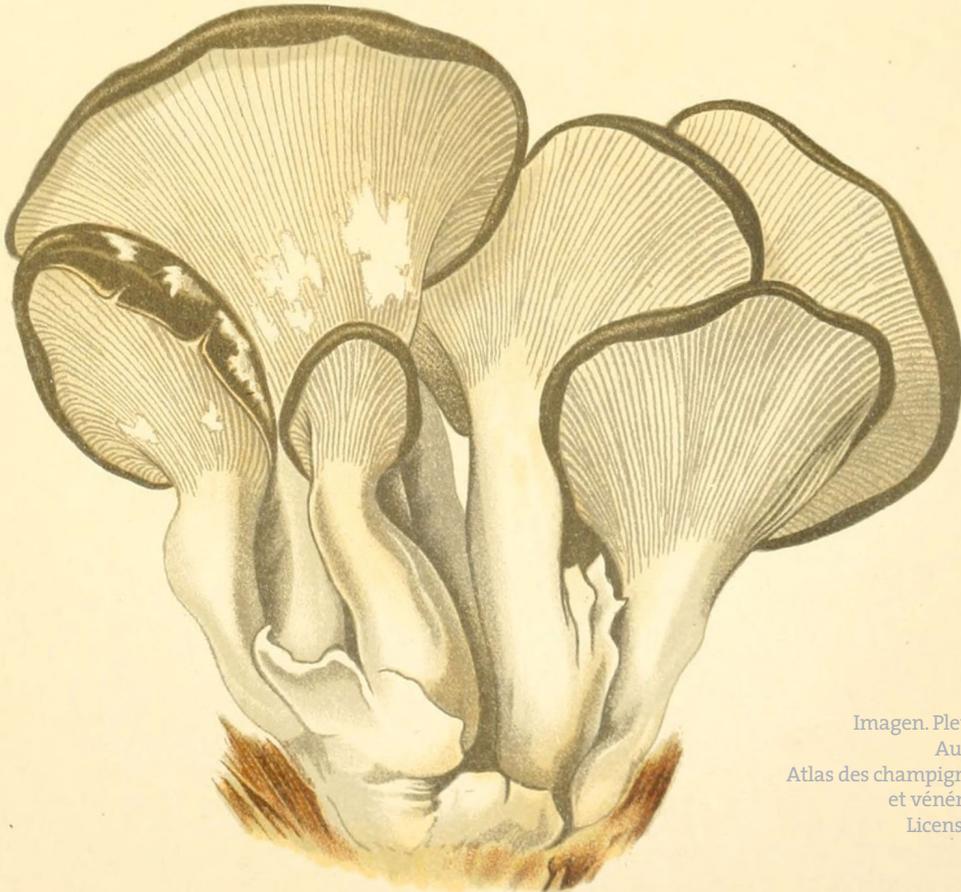


Imagen. Pleurotus Ostreatus
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 2_ Antecedentes

Capítulo 2_ Antecedentes

En este capítulo se presentan los antecedentes que permitieron desarrollar la base teórica para el desarrollo del material biobasado.

Se presentan ideas generales acerca del desarrollo sostenible, y la ecología industrial, conceptos que buscan desarrollar tecnologías y productos, que tengan en consideración los recursos naturales con los que contamos, entender que no podemos seguir fabricando productos infinitos con recursos finitos. Se busca generar una sociedad más participativa, reflexiva y consciente, de lo que consume, produce y genera, no sólo en el presente, sino proyectándose al futuro. Se presentan ejemplos de empresas que están llevando a cabo estas ideas, muchas de las cuales desarrollan productos con desechos de otras industrias.

Algunas de estas investigaciones tienen relación con usar organismos de la naturaleza para el desarrollo de materiales, en este caso es el uso de hongos, específicamente el **micelio** del hongo, que es la parte vegetativa de este. Por lo mismo se da una pequeña reseña del reino de los hongos, su clasificación, la presencia en el país, además se declara cuáles son los

hongos que se utilizan para el desarrollo de materiales y se presentan ejemplos de investigadores y empresas que desarrollan esta tecnología.

Finalmente se presentan los desechos, en este caso agrícolas y frutícolas, generados por otras industrias que se utilizan como materia prima para el desarrollo de materiales. Se verifica la gran cantidad de desechos que genera la industria y como esta no se hace cargo de lo que genera, sino más bien le pasa este problema a la comunidad donde se desarrolla la actividad, al medio ambiente, y al ecosistema en general.

2.1 Desarrollo Sostenible

En el último medio siglo, la humanidad se ha encontrado ante la posibilidad de autodestruirse y la inédita condición de tener conciencia de ello. Es decir, entender que la crisis ambiental que vivimos puede no tan solo desviar el camino de la historia propia y futura, sino incluso representar el final de la propia historia, porque el mañana, el día después ya no habrá humanos que puedan explicarlo (Manzini 2000).

La crisis ambiental es el resultado de nuestro sistema social y productivo, de nuestra manera de existir y funcionar. No distingue entre países generadores de productos o países generadores de materias primas, de alguna u otra manera todos somos parte y culpables de esta crisis.

Sin embargo hacerse cargo de esta realidad, que nos afecta a nosotros y a futuras generaciones ha llevado a parte de la sociedad a replantearse el modelo de producción, el modelo de vivir y relacionarnos con el medio, a través de un modelo más sostenible.

La expresión *Sostenibilidad Ambiental* (Manzini 2000) se refiere a que las actividades humanas no pueden llegar a estresar el ecosistema, más allá del límite que resista y donde estas actividades no desencadenan fenómenos irreversibles de degradación y contaminación. Esto se planteado a escala mundial, regional y local.

El sistema de producción y consumo responde a la demanda de productos y servicios. Un sistema sostenible debe responder a esta demanda sin alterar los ciclos naturales y sin empobrecer el capital natural, debe reducir la utilización de recursos naturales, más

24

Sistema Lineal de Producción



Figura 1. Sistema lineal de producción. Elaboración propia.

bien debe basarse en recursos renovables, garantizando además que estos se renueven y optimizando los recursos no renovables.

2.1.1 Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna)

La infraestructura industrial está diseñada para la generación de crecimiento económico. Lo consigue, pero a expensas de otras necesidades vitales, como la salud humana, el ecosistema, la riqueza natural y cultural, e incluso la diversión y el disfrute. La mayoría de los métodos y materiales industriales son involuntariamente empobrecedores (Braungart, McDonough. 2002).

La basura, la contaminación, los productos de mala factura, son consecuencia de malos diseños, con nula planificación, no considerando su ciclo de vida, solo considerando factores económicos (ver figura 1).

Los esfuerzos por una industria con menor impacto se remontan a los primeros años de la Revolución Industrial, cuando las empresas eran tan destructivas y contaminantes que tenían que ser controladas para que no causaran enfermedades o la muerte. La industria salitrera, la industria que explotaba el carbón, en el norte y sur de Chile respectivamente, son claros ejemplos de destrucción del ecosistema, generación de

pobreza, desigualdad económica, cultural, social y ambiental, entre los grandes empresarios y los empleados.

La respuesta más simple a esta destrucción, de origen industrial, ha sido la de hallar un método menos dañino para el ecosistema. Conceptos como reducir, evitar, minimizar, sostener, limitar, detener, se han usado en la mayoría de las consideraciones ambientales de la industria actual (Braungart, McDonough. 2002).

Durante la primera mitad del siglo 20 muchos ambientalistas, escribieron artículos que denunciaban la destrucción del ecosistema y el medio ambiente, pero siempre desde el punto de vista 'romántico' de la situación, no con hechos con base científica. Sin embargo en 1962 con la publicación del libro "The silent spring" de la científica Rachel Carson, esta valorización de la naturaleza se transformó en preocupación con base científica.

Así también en 1984 el Entomólogo Paul R. Ehrlich publicó "The population explosion" donde en el primer capítulo propone convertir nuestro modelo de producción a uno de sostenibilidad.

2.1.2 Ecología Industrial

La ecología industrial es un área interdisciplinaria que intenta asimilar el funcionamiento de los ecosistemas industriales al de los naturales, con una interrelación entre la industrias, el medio social y natural que tiende a cerrar el ciclo de materia y energía (ver figura 2). El cierre de ciclo de materia se consigue en parte usando los residuos de una industria como

Sistema cerrado

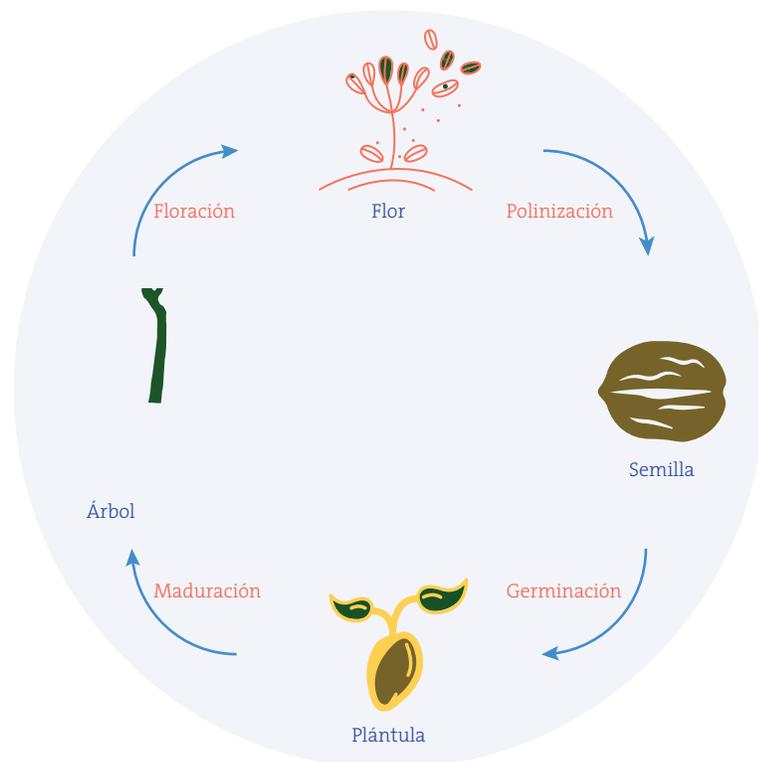


Figura 2. Sistema cerrado en el ecosistema. Elaboración propia.

materia prima de otras (Cervantes 2007).

La ecología industrial busca cerrar el ciclo de los desechos generados por la industria, es decir, obtener un nivel cero de residuos. Esto se consigue usando una parte de los residuos de una industria como materia prima de otras, tal como pasa en los ecosistemas naturales.

La limitación que tiene emular este sistema es la diferencia entre el sistema natural y el sistema desarrollado por los humanos. El sistema que desarrollamos es abierto y funciona lejos del equilibrio, funciona en base a demandas de productos y servicios, muy lejos de cómo funciona el ecosistema. Sin embargo si nuestro sistema industrial, político y social evolucionará a un ecosistema industrial más complejo e interconectado con los otros sistemas esta teoría podría validarse.

La ecología industrial promueve la creación de relaciones, conectando al sistema industrial entre sí, y a éste con la sociedad y el medio natural. Este punto es importante y es la clave para que la ecología industrial contribuya al desarrollo sostenible en sistemas industriales (Cervantes 2007).

Generar un modelo de ecología industrial trae consigo beneficios económicos, medioambientales y sociales. Se ahorran recursos, se minimizan los residuos, que ahora son usados por otra industria, se disminuyen las emisiones contaminantes, se mejora los puestos de trabajo, se generan redes, además de mejorar la imagen de empresas, ciudades y comunida-

des. Además se genera una cooperación entre las industrias lo que trae consigo beneficios para la comunidad (Lowe et al. 1997).

Esta investigación plantea desarrollar un material que tenga principios de la ecología industrial y del desarrollo sostenible (ver figura 3). Donde se considere cuanta es la energía que se necesita para fabricarlo, la obtención de la materia prima, el impacto ambiental que genera, y como este una vez terminado su ciclo se reintegra al ecosistema. A continuación veremos ejemplos de materiales que usan estos principios para el desarrollo de sus productos.

2.2 Empresas que usan subproductos agrícolas como materia prima para el desarrollo de productos

2.2.1 Kokoboard

Empresa Tailandesa que desarrolla tableros a base de subproductos de la industria agrícola. Tales como tableros de rastrojos de arroz, rastrojos de maravilla, cáscara de maní, entre otros. Estos tableros se fabrican con calor y presión y no cuentan con adhesivos del tipo formaldehído como aglomerante.

2.2.2 Linex Pro Grass

Empresa holandesa que desarrolla tableros compuestos por rastrojos de lino y adhesivo biobasado. El lino es una de las fibras textiles más amigables con el me-

dio ambiente, este crece casi sin uso de fertilizantes y pesticidas artificiales, además sus desechos son aprovechados para la fabricación de estos tableros.



Imagen 1. Tablero fabricado en base a rastrojos de arroz, Kokoboard. Fuente materia.nl



Imagen 2. Tablero fabricado en base a cáscaras de maní, Kokoboard. Fuente materia.nl



Imagen 3. Tablero fabricado en base a rastrojos de lino y adhesivo biobasado, Linex Pro Grass. Fuente materia.nl

Sistema que usa conceptos de la Ecología Industrial

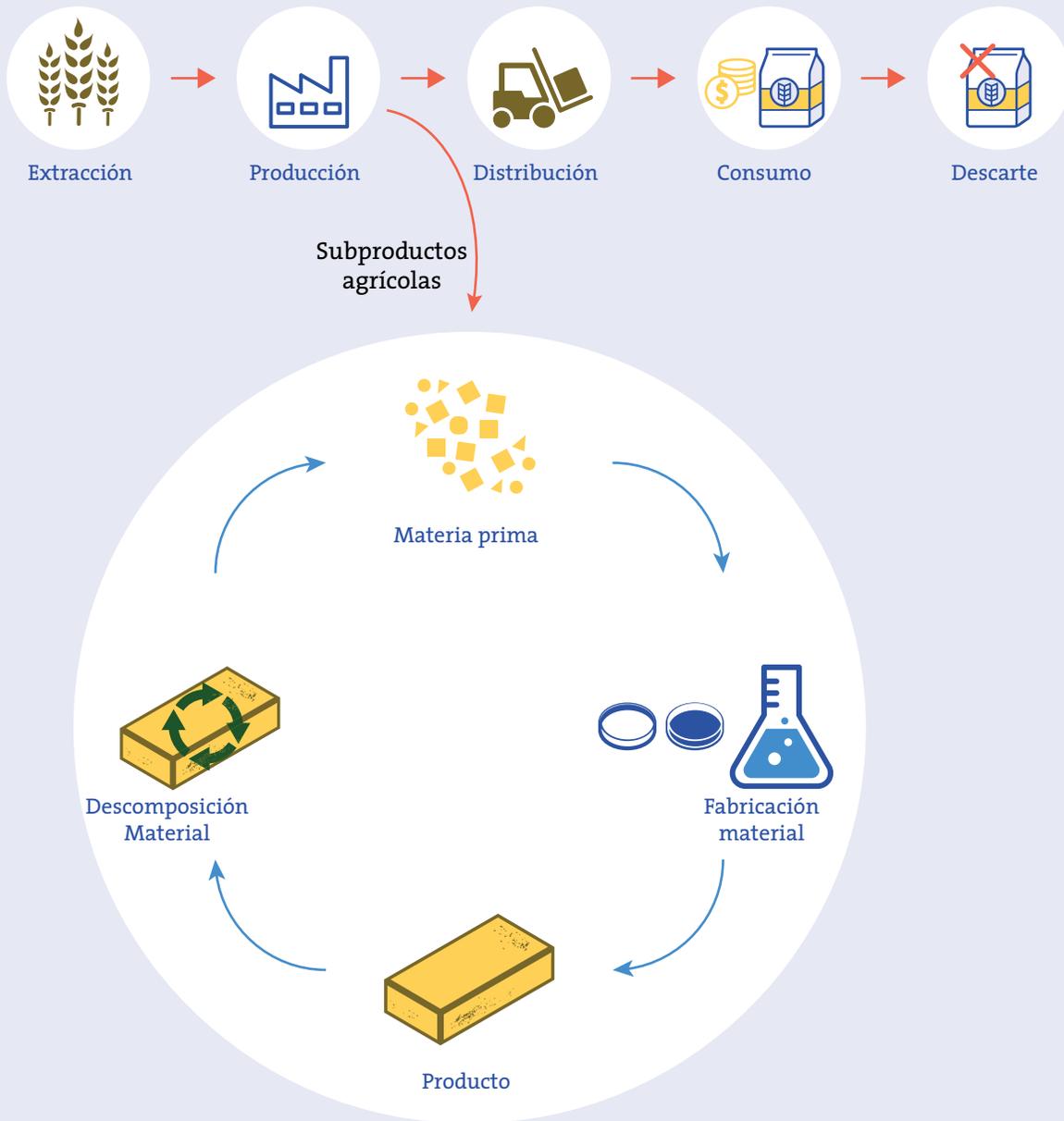


Figura 3. Sistema que usa conceptos de la Ecología Industrial.
Elaboración propia.



2.3 Reino Fungi

Los hongos son organismos agrupados en el reino conocido como Reino Fungi que es el tercer gran Reino de Vida, junto a los Reinos Animalia y Reino Plantae y se estima que existen alrededor de 50 mil especies (Furci 2007). En las últimas décadas hemos sido capaces de comenzar a apreciar su lugar y función en la tierra. Los hongos tienen funciones cruciales en el ecosistema y no es exagerado decir que la vida que conocemos no podría existir sin ellos.

Los hongos son los grandes recicladores de la naturaleza. Descomponen residuos vegetales y animales dejando los nutrientes resultantes al servicio del crecimiento de nuevas plantas, de animales e incluso permiten el desa-

rrollo de la vida humana.

Estos organismos están presentes en todos los medios y ecosistemas; en el agua, en el suelo, en el aire, en los prados, en los bosques, además de encontrarse también en cultivos. Se emplean en la industria alimenticia y farmacéutica, en todo nivel de la cadena productiva. Son seres capaces de vivir prácticamente en cualquier sustrato, desde kerosene, aluminio, pinturas, huesos, piel, pelo, y papel (Furci 2007).

Los hongos generan asociaciones en las raíces a través del **micelio** lo que permite que plantas y árboles se interconecten y formen asociaciones mutuas que mejoran la absorción del agua y los nutrientes. Además realizan otras tareas útiles en beneficio del ecosistema. En forma de líquenes

(hongos asociados con algas), trabajan en conjuntos rompiendo la superficie de las rocas, formando nuevos suelos y uniendo partículas para prevenir la erosión. Otro beneficio de los hongos es que producen sustancias químicas que permiten el desarrollo de antibióticos en el área de la medicina, de hecho la penicilina es un desarrollo derivado del estudio de la micología. También los hongos son alimento para los seres humanos, animales pequeños y grandes, algunos alimentos solo son posibles de existir gracias a la asociación con los hongos, como son las levaduras, que permiten la fabricación del pan, el queso, la cerveza, el vino, entre otros.

Los hongos se desarrollan preferentemente en lugares húmedos y oscuros ya que no necesitan de la

28

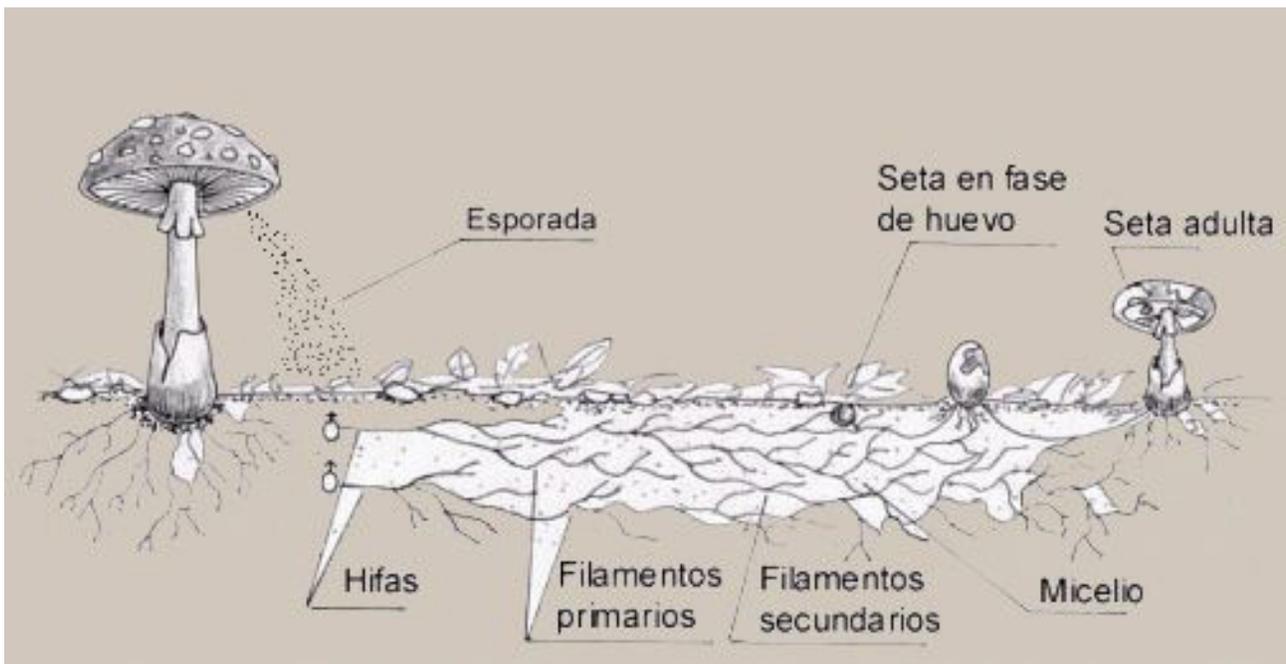


Figura 4. Estructura de un hongo de sombrero. Fuente Guía de Campo, Hongos de Chile.

luz directa del sol para sobrevivir. Los hongos están compuestos por filamentos (hifas), que son células que en algunas especies forman una red o micelio que permanece sobre el sustrato adecuado todo el año (Furci 2007), siendo las setas o ‘callampas’ y otras formas existentes solamente la fructificación del hongo (ver figura 4). Por lo mismo los hongos se encuentran en determinadas épocas del año, bajo ciertas condiciones ambientales, y en la mayoría de los casos viven por periodos de tiempo muy cortos.

2.3.1 El Reino Fungí en Chile

En Chile se han registrado más de 3.000 especies de hongos (Mujica y Vergara, 1980), de las cuales sólo se ha descrito un 10%. Existen alrededor de 50 especies de hongos comestibles en nuestro país, siendo al menos 15 las especies nativas consumidas y recolectadas por el pueblo mapuche en invierno (López y Fuenzalida, 1998).

Estos factores climáticos favorecen el desarrollo de los hongos en Chile, siendo la zona central y sur las que poseen las variables necesarias para la vida de los hongos. Están presentes en hábitat como la tundra, pastizales, la selva valdiviana, el bosque esclerófilo mediterráneo y el desierto entre otros.

Los hongos constituyen una parte importante de las especies presentes en el ecosistema de Chile. La importancia de estos no es conocida por los habitantes, salvo en el aspecto alimenticio donde encontramos hongos como los champiñones, digüeños, trufas, changles, entre muchos otros.



Imagen 4. Detalle del micelio que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo. Fuente [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/), License Public Domain



Imagen 5. Digüeño. Fuente Raimundo del Rio.

Las épocas de recolección varían de región en región. En la zona central que corresponde a las Regiones del Libertador Bernardo O’Higgins, de Valparaíso y la Metropolitana los meses de junio, julio, agosto corresponden para su recolección. En la zona sur desde la Región de los Lagos hasta la Región del Maule se recomienda los meses de febrero a mayo, y en la zona de Magallanes de diciembre a marzo.

Como otros organismos los hongos se desplazan a través de las esporas para crecer en nuevos

ambientes. Por esta razón la microflora está en constante cambio y aumento.

Se hace cada vez más importante y relevante conocer las especies del Reino Fungí con las cuales convivimos y que a la vez son piezas fundamentales de nuestros bosques, costas y praderas, porque también hay una gran cantidad de hongos no comestibles, venenosos, alucinógenos y también mortales (Conama 2008).

Para tener una visión más cercana y empírica del Reino Fungí, se realizó un curso introductorio de micología que fue dictado por la Fundación Fungí. Este se impartió en el Parque privado Altos de Cantillana en la Región Metropolitana. El curso contó una parte teórica donde se vio la importancia de los hongos en el ecosistema, se entendió su composición biológica y además de entender que crecen en diferentes escenarios, como

restos vegetales, maderas, pastos, estiércol entre otros. Además se recorrió el Parque y se aprendió a identificar los hongos, fotografarlos, documentarlos y entender de manera práctica el lugar donde se desenvuelven con el medio ambiente y cómo coexisten.



Imagen 6. Curso de introductorio de micología, Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia



Imagen 8. Curso de introductorio de micología, Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia

2.3.2 Hongos descomponedores de madera

La madera está formada por tres polímeros. Celulosa, que es el elemento constitutivo de la madera, desde el punto de vista químico, la celulosa es un polímero natural formado por unidades de glucosa. La Hemicelulosa que forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal. Y finalmente la Lignina, sustancia química difícil de degradar, cuya función es dar rigidez y brindar protección contra el ataque de los microorganismos.

La manera en cómo se descompone la madera no depende del tipo de árbol, sino de varios factores de los cuales el tipo de hongo implicado es uno de los más importantes, existen tres tipos de descomposición de la madera.

Hongos de podredumbre parda: Se alimentan de celulosa y hemicelulosa, dejando la lignina casi intacta. Son los causantes del color pardo de la madera; de ahí su nombre.

Hongos de podredumbre blanda: Son capaces de modificar la lignina y provocar un ablandamiento de la madera.

Hongos de podredumbre blanca: Los cuales se alimentan de la lignina que deja la madera con un tono blanquecino; es decir, del color de la celulosa.

Por esta razón se decide trabajar con hongos descomponedores de madera, ya que estos hongos son capaces de descomponer un sustrato y aglutinarlo con su micelio, y de esta manera es posible desa-

rollar un material.

Los hongos seleccionados son de la división basidiomicetos del Reino Fungi, y se escogieron dos tipos de esta clase Pleurotus Ostreatus, cultivado como hongo comestible, y Trametes Versicolor el cual se cultiva y se usa con fines medicinales.

En el siguiente subtema veremos algunos ejemplos de empresas, diseñadores y artistas que han desarrollado materiales y productos en base al micelio de un hongo y subproductos agrícolas

2.4 Empresas que usan el micelio de un hongo como aglomerante para el desarrollo de productos

2.4.1 Ecovative

Empresa Estadounidense que desarrolla materiales a partir de subproductos agrícolas y el micelio de un hongo. Principalmente lo desarrolla como un reemplazo a la espuma de poliestireno expandido en el embalaje de productos.



Imagen 9. Packaging a base de micelio de un hongo y subproducto del maíz. Fuente Ecovative



Imagen 7. Curso de introductorio de micología,
Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia

2.4.2 Philip Ross

Artista e inventor, cuya investigación se centra en tecnologías del diseño y fabricación de materiales biobasados. Fabrico instalaciones artísticas y mobiliario a base de micelio y subproductos agrícolas, que presentó en diferentes museos de arte contemporáneo. Además es cofundador de la empresa Micoworks donde investiga si este tipo de materiales es una posibilidad de material para la fabricación de productos.

The Growing Lab 2.4.3

Maurizio Monalti, Diseñador Industrial de la Oficina Corpuscoli está a cargo del laboratorio 'The Growing Lab', proyecto de investigación que explora la aplicación de micelio para una variedad de diferentes objetos. Se desarrollaron de manera exploratoria vasos, contenedores y jarrones. La exposición tuvo por nombre 'El futuro del plástico', y fue presentada en la fundación PLART en Italia.

En esta investigación se plantea desarrollar un material que combine los desechos de la industria

agrícola y frutícola con el micelio de un hongo. Estos subproductos agrícolas y frutícolas son de origen local, lo que ahorra en costos de transporte y reduce los desechos que genera la industria. En el siguiente subtema veremos en mayor amplitud cuanto volumen de desechos se generan y como estos se manejan.



Arriba: Imagen 13. Ejercicios exploratorios en base al micelio de un hongo, Maurizio Montalti. Fuente Oficina Corpuscoli

Medio: Imagen 10. Instalación en base a micelio de hongo, en el Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York, por Philip Ross. Fuente Mycoworks

Izquierda: Imagen 11. Mobiliario en base a micelio de hongo en el museo de Arte Contemporáneo de Nueva York, por Philip Ross. Fuente Mycoworks

2.5 Subproductos Agrícolas y Frutícolas

La industria agrícola genera una gran cantidad de residuos. Según informó CONAF (Ruiz, 2015) sólo en la Región Metropolitana se quemaron 2.501 hectáreas de desechos en el período 2013-2014. Estos residuos, crean un problema para la actividad que los genera como para el medio ambiente (Taladriz 2012) y el final de la cadena de producción no está resuelto. Es más económico desecharlos que aprovechar de una manera más eficiente estos residuos, dándole un nuevo uso en otra industria.

Desde esta parte de la investigación nombraremos a los residuos agrícolas y frutícolas subproductos, ya que como su definición lo indica un subproducto “es el residuo de un proceso que se le puede sacar una segunda utilidad” (FAO, 2016). No es un desecho porque no se elimina sino más bien se usa para otro proceso de la misma industria o de otra.

Es ventajoso encontrar una utilidad para los desechos y convertirlos en subproductos aprovechables de algún modo. Así, en vez de pagar el costo de eliminar el desecho, se creza la posibilidad de obtener un beneficio. Además está la ventaja ambiental de reducir o eliminar los residuos que en otro caso recibiría el entorno, la comunidad y el medio ambiente.

En esta investigación se usaron dos tipos de subproductos: **Agrícolas y Frutícolas**, rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos, respectivamente.

2.5.1 Rastrojos de cereales

En Chile (ODEPA, 2016), la producción de cereales está concentrada en las regiones del Biobío y de la Araucanía, que reúnen el 75% de la producción. El total país (período 2015/2016) alcanzó aproximadamente 566 mil hectáreas, de las cuales un 50% corresponde a trigo, un 18% a maíz y un 20% a avena y un resto de cereales que tienen participaciones inferiores al 5%.

En las últimas décadas (Taladriz 2012), ha existido un constante y significativo aumento en la producción de cereales en el mundo, y Chile no es la excepción. Esto se debe al mejoramiento genético, investigación agronómica, nuevas tecnologías de producción y aplicación intensiva de fertilizantes y agroquímicos, entre otros.

Este aumento de la producción de cereales (ver figura 5) ha incrementado la cantidad de rastrojos

por el aumento de la productividad. Esto ha hecho más complejo el manejo de éstos, en especial al referirnos a los cereales, puesto que son los cultivos que más residuos de cosecha dejan sobre la superficie del suelo y son de difícil degradación.

El rastrojo (ODEPA, 2016) es el conjunto de restos de tallos y hojas que quedan en el terreno tras cortar un cultivo, constituyen entre un 55% y un 75% de toda la biomasa aérea del cultivo (CONAF, 2010). La cantidad de residuos que pueden quedar en el suelo después de la cosecha depende del tipo de cultivo, su Índice de Cosecha (IC) y de su rendimiento.

Los rastrojos sobre el suelo se descomponen lentamente, a una velocidad que está determinada principalmente por tres factores, humedad del rastrojo, temperatura y su relación carbono/nitrógeno (C/N). A menor relación C/N mayor es la tasa de descomposi-

35



Imagen 14. Campo con rastrojos de Cebada.
Fuente wikimedia.org, License Public Domain

Producción Histórica de maíz y trigo, principales cereales cultivados en Chile

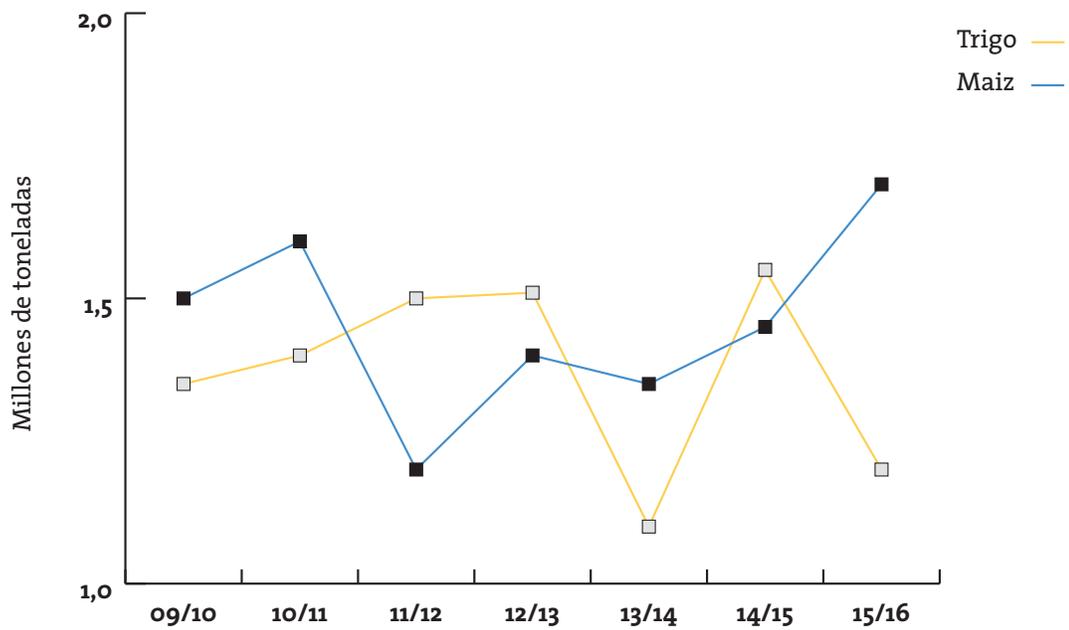


Figura 5. Producción Histórica de maíz y trigo, principales cereales cultivados en Chile. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración Propia.

34

Producción de rastrojos en base a los cultivos históricos de Cereales en Chile

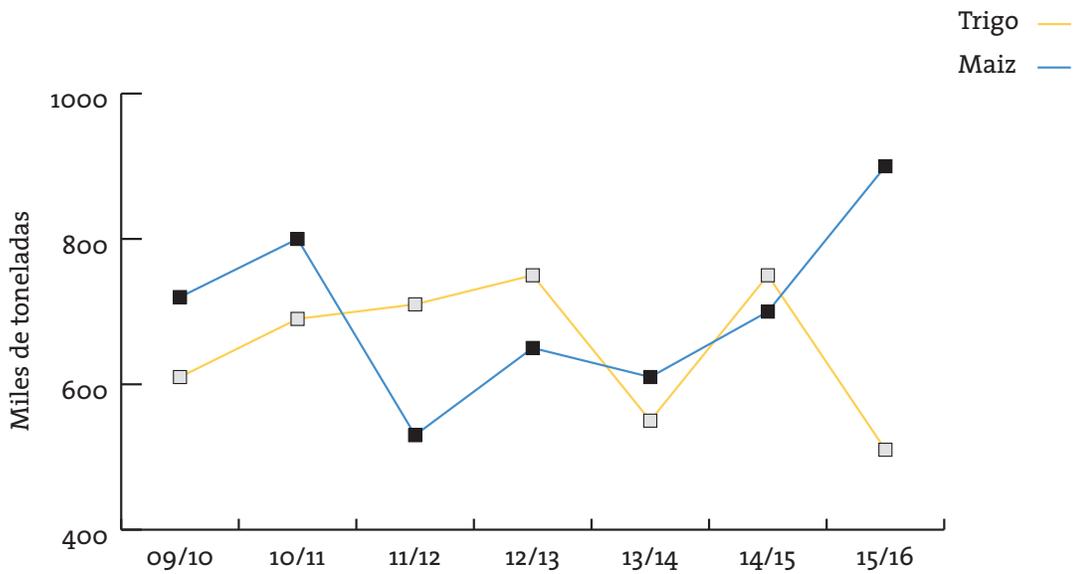


Figura 6. Producción de rastrojos en base a los cultivos históricos de Cereales en Chile. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración propia.

ción. Debido a la alta relación de C/N en los rastrojos de cereales y a los altos volúmenes de producción, sus rastrojos son los de mayor dificultad de descomposición (Ruiz 2015).

Es decir, si en el período 2015/2016 se cosecharon 3.9 millones de toneladas de cereales (ODEPA, 2016), los rastrojos de estos corresponden a 2.1 millones de toneladas de rastrojos si usamos el límite de inferior del 55% (ver figura 6).

La quema de rastrojos es una práctica habitual en el territorio nacional. Se estima que entre el 80% y el 90% de la superficie con rastrojos de trigo de las regiones del Biobío y de la Araucanía es manejada con quema, es decir, cerca de 170 mil hectáreas, mientras que a nivel nacional esa cifra asciende a 228 mil hectáreas quemadas (ODEPA 2016). Existen razones económicas y simplistas para seguir perpetuando esta práctica como es su facilidad de ejecución, falta de alternativa, bajo costo aparente, poco conocimiento de alternativas, eliminación de insectos y malezas, etc. Sin embargo cuando el rastrojo no se quema y se deja en el suelo presenta una serie de beneficios como, una mejor infiltración de las aguas lluvias, evita la erosión del suelo por causa del Sol, retarda la germinación de las malezas, evita la acción erosiva del viento en estaciones secas, mejora el ambiente para el desarrollo de la microfauna del suelo, además incrementa la retención de humedad y por más tiempo.



Imagen 15. Quema de rastrojos de cereales en la Región del Bío-Bío. Fuente CONAF



Imagen 16. Quema de rastrojos de cereales en la Región del Bío Bío. Fuente CONAF

Encontramos consecuencias negativas para el agricultor, sus futuras cosechas, y el medio ambiente en la quema de rastrojos. Sin embargo el factor económico, la poca innovación del sector agrícola, y el poco conocimiento de los agricultores hacen que la solución más rápida y económica sea el quemarlos. Además la legislación vigente en nuestro país permite las quemas controladas (Ministerio de Agricultura 1980), sin embargo no sabemos cuántas hectáreas y toneladas de rastrojos se queman de manera ilegal.

Podemos concluir que existe la real posibilidad de utilizar estos subproductos agrícolas como materia prima para el desarrollo de un nuevo material biobasado, pensando que existe el interés de los agricultores por deshacerse de manera rápida y económica de estos rastrojos, que en nuestra investigación son nuestra materia prima.

En esta investigación se usaron dos tipos de rastrojos de cereales, Alfalfa y Trigo. El rastrojo de Alfalfa fue conseguido en el mercado local de mascotas y el de Trigo fue donado por un productor de la comuna de Paine en la Zona Sur de la Región Metropolitana.

2.5.2 Frutos secos

La industria nacional de frutos secos está conformada por tres principales especies; **nueces, almendras y avellanas** (Bravo 2012). Esta industria ha tenido un desarrollo importante a partir de la segunda parte de la década pasada, a partir de sus ventajas compara-



Imagen 17. Rastrojo de trigo en la región del Bío-Bío. Fuente CONAF

tivas y competitivas a diferencia de otros productores mundiales. Estas ventajas tiene relación con el buen clima del país, con otoños generalmente secos (época de cosecha de los frutos secos), y terrenos planos de cultivo que permiten mecanizar de mejor manera el proceso productivo y facilitan el riego de los campos.

Los principales competidores están en el hemisferio norte, por ende nuestra producción al ser contra estación, tiene ventajas desde el punto de vista de la comercialización de la producción, además de preferencias arancelarias en los principales mercados a los que va, así como alianzas público-privadas que permiten acceder a nuevos mercados (Bravo 2010).

Aparte de las ventajas productivas, los frutos secos han sido destacados en los últimos años por organismos de salud como productos saludables, lo cual ha



Imagen 18. Rastrojos de Alfalfa, mezclados con residuos agrícolas. License Public Domain

incrementado su consumo nacional y mundial, abriendo nuevos mercados y clientes.

En esta investigación se seleccionó la cáscara de la nuez como subproducto de la industria frutícola a investigar, dada su facilidad para obtenerla y también por ser uno de los frutos con mayor producción nacional.

2.5.2.1 La industria de la nuez

El crecimiento productivo, y el aumento de superficie plantada, para los frutos de nuez en los próximos años va a requerir la apertura a nuevos mercados extranjeros ya que más del 90% de la producción está destinada a estos mercados (Bravo 2012).

El potente crecimiento de la industria de la nuez así como un mayor perfeccionamiento de los cultivos, el riego, la cosecha, y la exportación ha sido impulsado tanto por el sector público y privado. El sector privado que permitió un mejor desarrollo de esta industria y que unió a productores es Chilenut (2002), que es la asociación de productores y exportadores de nueces de Chile. Chilenut tiene por objetivo reforzar conocimientos técnicos de la industria a través de seminarios, talleres, cursos, actividades en terreno, publicaciones e informes, traspasar la información del mercado entre los productores y exportadores y promocionar el fruto en mercados extranjeros. Paralelamente se

creó la Chilean Walnut Commission (2009) que reúne a los procesadores y exportadores de nueces de Chile, esta asociación tiene por objetivo promocionar a nivel internacional la nuez, además de generar nuevos mercados, que esta información esté disponible para los productores, establecer estándares para la producción, es decir, optimizar la industria de nueces chilenas a nivel nacional e internacional.

El nogal es el mayor fruto seco que se cultiva en el país, con cerca de 29 mil hectáreas (ODEPA 2016), sólo en la región metropolitana se cultivan cerca de 11 mil hectáreas, es decir el 38% del cultivo nacional se da en esta región. (ver figura 7)

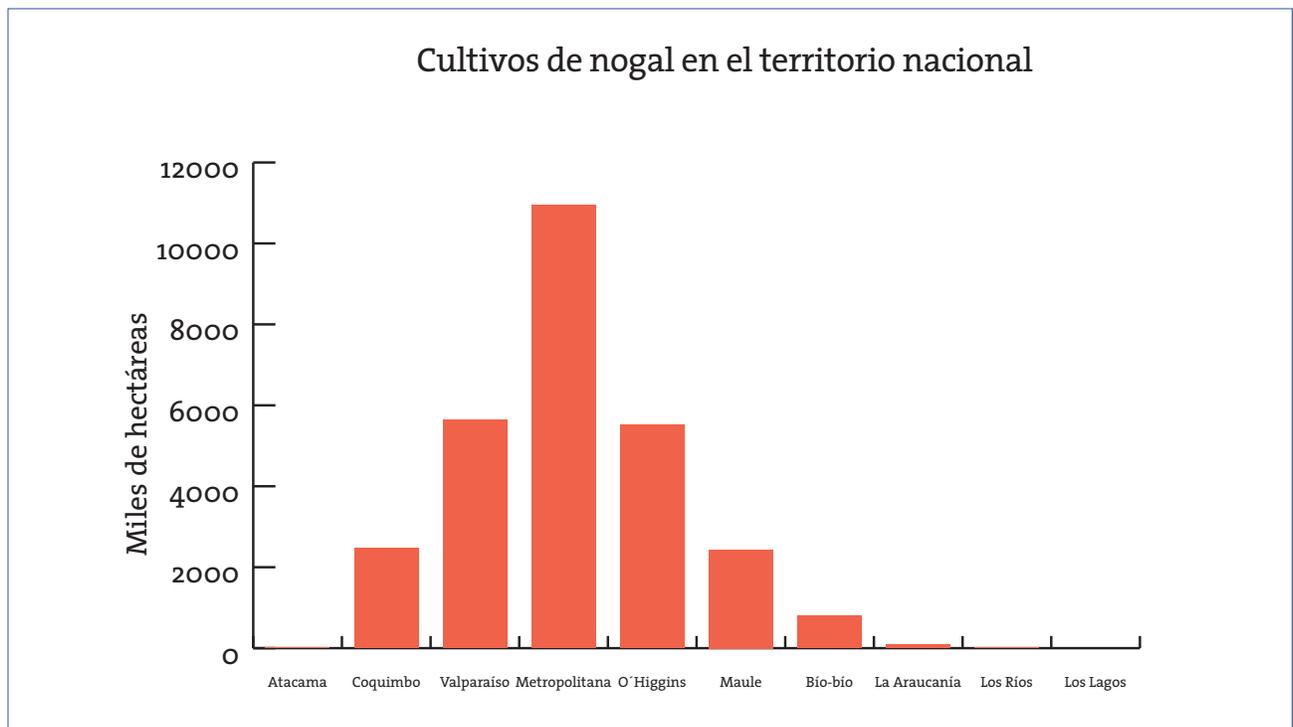


Figura 7. Cultivos de nogal en el territorio nacional. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración Propia

Así también el crecimiento de los cultivos ha ido siempre en aumento y las proyecciones indican que seguirá creciendo. Si en el año 2009 se cultivaron 12.549 hectáreas esa cifra se duplica el año 2015 con una superficie aproximada de 27.941 hectáreas a nivel nacional (ODEPA 2016), (ver figura 8).

En este sentido la Región Metropolitana es la que ha aumentado el cultivo de nogales, en el 2010 el cultivo corresponde 7.896 hectáreas y el año 2015 a 10.948 hectáreas, se ha incrementado un 38% su cultivo (CIREN 2013). Así también la distribución por provincias varía como vemos en el siguiente gráfico (ver figura 9).

De esta manera podemos ver

que existe una gran cantidad de producción de nueces y por ende sus residuos son bastante altos, ya que muchas de estas nueces se comercializan sin cáscara (ODEPA 2014) (ver figura 10). Lo que genera un residuo no menor, que la industria frutícola no se hace cargo. La nuez con cáscara tiene un valor menor de venta que la nuez sin cáscara, sin embargo para productores pequeños tecnificar estos procesos no es posible debido a la alta inversión monetaria. El proceso comienza con una máquina que parte la nuez, y después un segundo proceso donde otra máquina separa la cáscara del fruto, por ende muchos productores prefieren vender la nuez con cáscara. Algunos productores, como los

ubicados en la comuna de Paine ubicada en la Provincia del Maipo de la Región Metropolitana pasan su producción de nueces con cáscara a vecinos de los predios para que ellos partan manualmente las nueces y separan la cáscara del fruto. Este trabajo se les paga por kilo de nuez sin cáscara, los vecinos tienen alrededor de 8 meses de trabajo, desde los meses de Marzo y Abril que comienza la cosecha, hasta mediados de Noviembre y Diciembre.

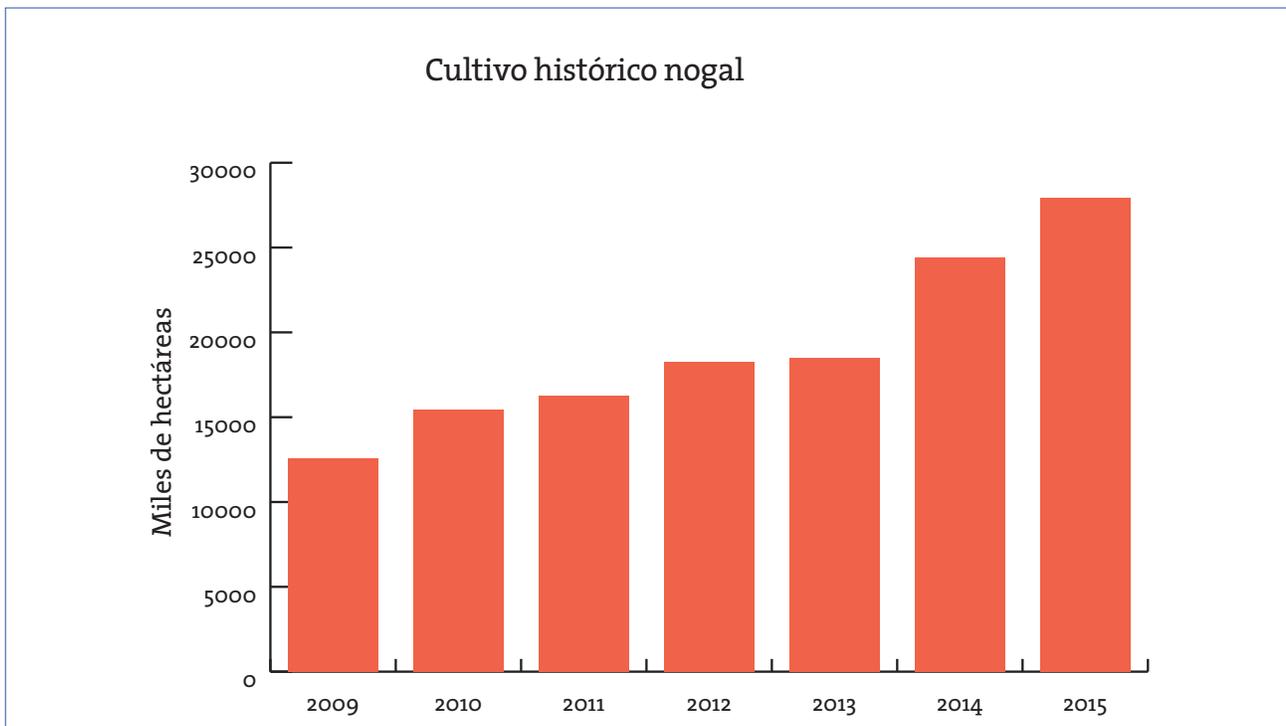


Figura 8. Cultivo Histórico del Nogal.
Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura.
Chile. Elaboración Propia



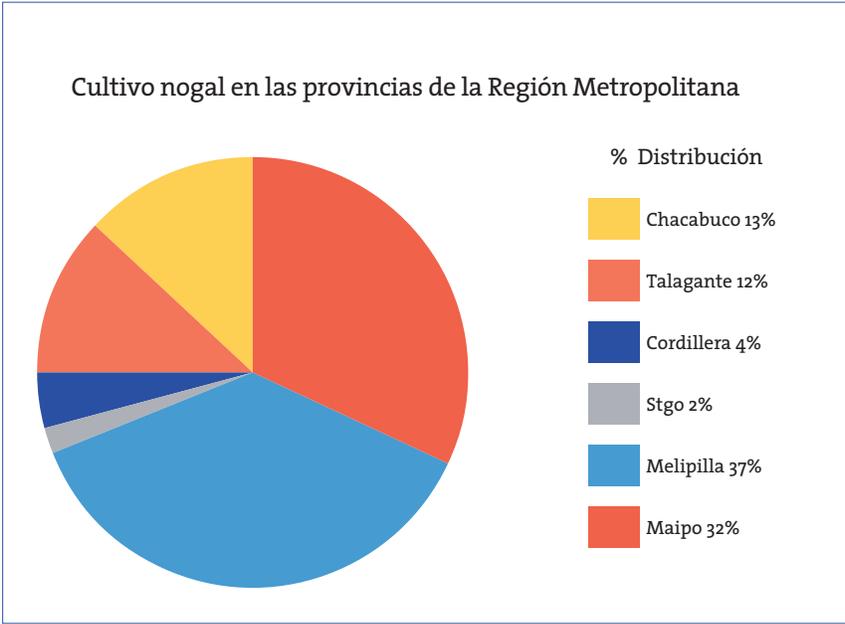


Figura 9. Cultivo del Nogal en las Provincias de la R. M. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración Propia

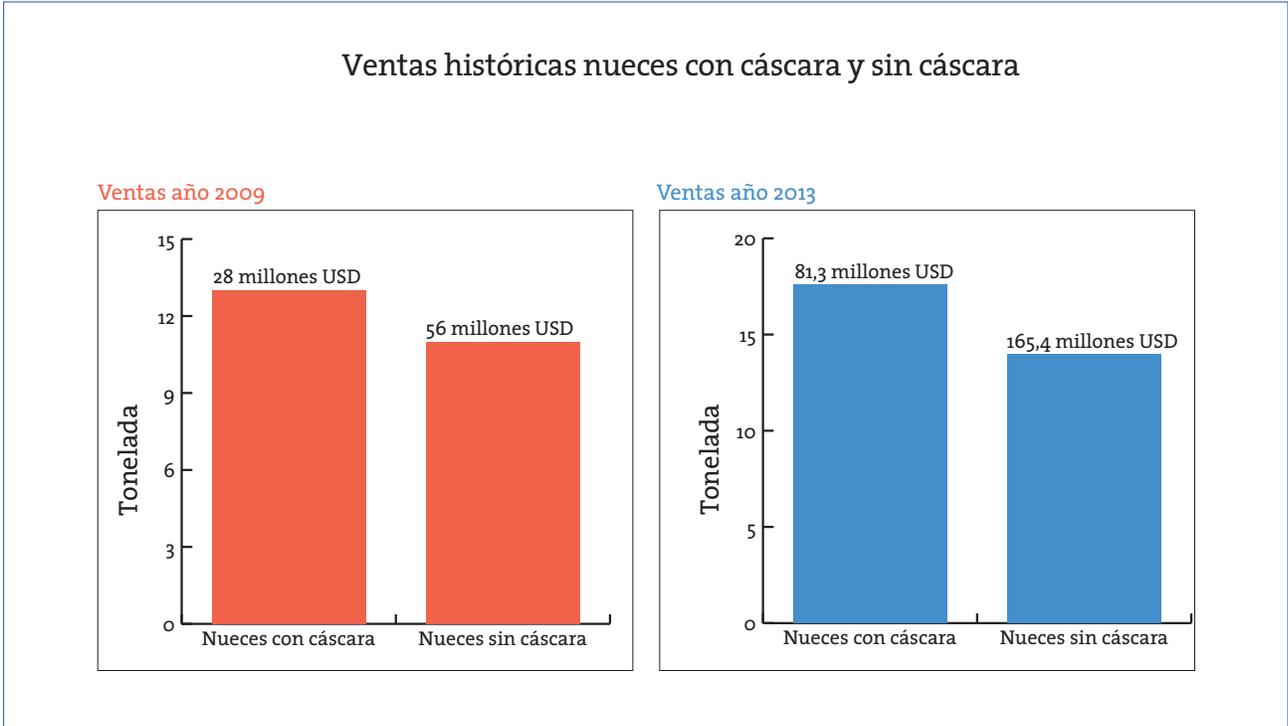


Figura 10. Ventas históricas de nueces con cáscara y sin cáscara. Fuente ODEPA. Elaboración Propia.

El uso de estos desechos para productores más pequeños no está resuelto, muchas de estas cáscaras la usan como calefacción para chimeneas, para uso decorativo en jardines o simplemente se botan.

Podemos concluir que es un problema la gran cantidad de desechos frutícolas que genera la industria de la nuez, sin embargo es una oportunidad para esta investigación utilizar estos desechos como materia prima para la conformación de nuestro material.



Imagen 19. Saco con cáscaras de nuez para realizar las experimentaciones.
Elaboración Propia

40



Abajo: Imagen 20. Cáscaras de Nuez acumuladas por vecinos que trabajan separando el fruto de la cáscara de nueces en la Comuna de Paine, en la Región Metropolitana.
Elaboración propia.

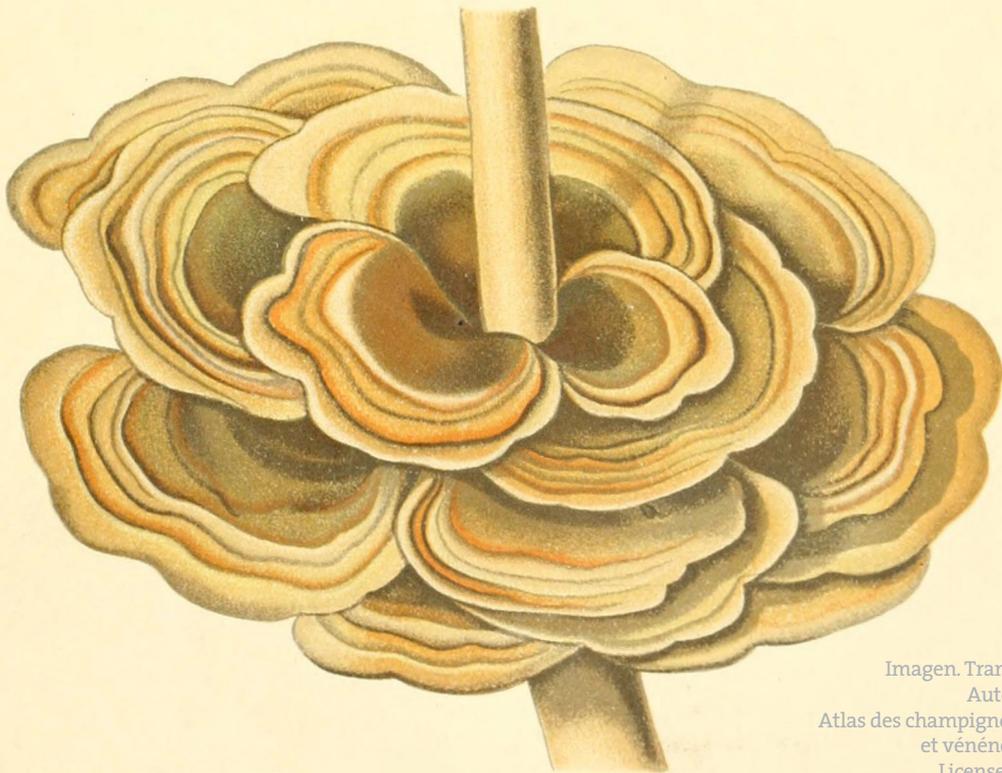
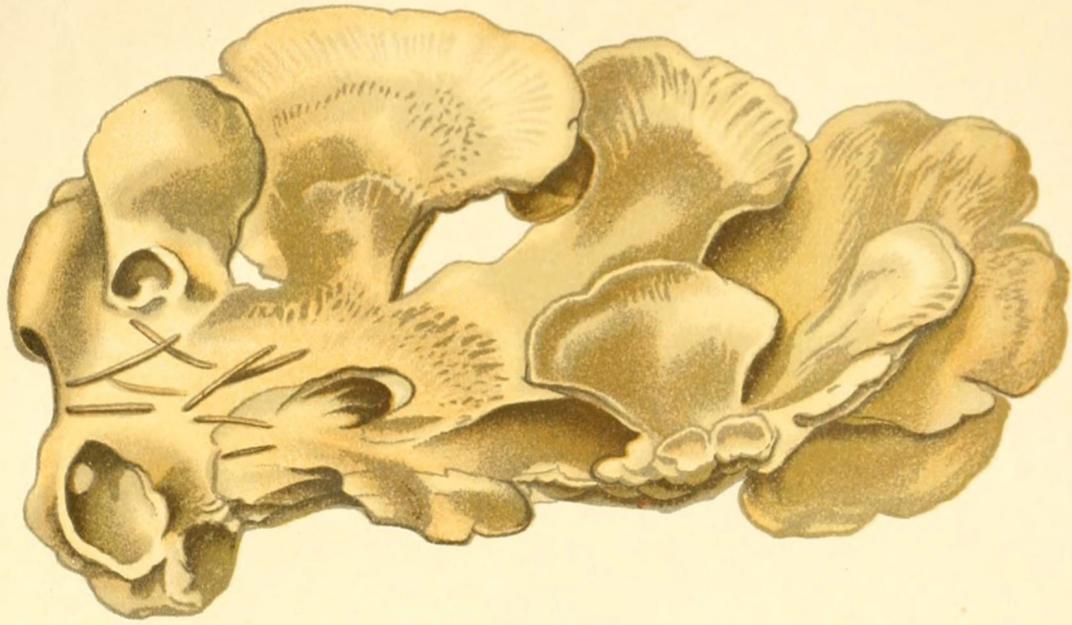


Imagen. *Trametes Versicolor*
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 3_ Experimentación

Capítulo 3_

Experimentación

3.1 Experimentación

En este capítulo se describe la parte experimental del proyecto. Se presenta el proceso de composición del material biobasado, que está conformado por el micelio de un hongo y subproductos agrícolas y frutícolas. Finalmente se presentan los métodos utilizados para poner a prueba las muestras.

Desde este punto se identifica al material biobasado como **materias micelio** y al subproducto agrícola y frutícola como **sustrato**. Un material micelio está compuesto por dos elementos, el **micelio del hongo** y el **sustrato**. En este capítulo identificamos y categorizamos tanto a los tipos de hongos, como a los sustratos que usamos en las muestras experimentales.

44 Con el fin de establecer un método para la conformación del material micelio, se utilizaron técnicas del cultivo de hongos comestibles, además de emular técnicas de la conformación de este material declaradas por diferentes investigadores, pero que no son de conocimiento público por estar patentadas, por lo mismo se generó un nuevo método para la generación de este material micelio.

Se realizaron cuatro experimentaciones, más una experimentación anexa debido a la participación en el workshop Bio Design organizado por la Universidad Católica.

Cada una de las experimentaciones entregaron datos de cómo mejorar el proceso para la fabricación del material micelio así como

también evitar ciertos procesos que contaminaban las muestras y detenían el proceso del crecimiento del micelio.

Se trabajó en el Centro de Innovación de la Universidad Católica, ubicado en la Facultad de San Joaquín y se montó un laboratorio de baja complejidad en las dependencias del investigador.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los objetivos y las actividades que permitieron desarrollar la fase experimental de esta investigación

Objetivo General

Desarrollar y caracterizar un nuevo material biobasado compuesto de micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola y frutícola para su posible uso en áreas del diseño

Objetivo Específicos

Identificar los micelios de hongos usados como aglomerante y los subproductos agrícolas y frutícolas más apropiados para el desarrollo de un material biobasado

Determinar en laboratorio el procedimiento para el cultivo hongos. Diferentes métodos y aplicaciones

Desarrollar un material biobasado en el micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola

Caracterizar y evaluar las propiedades mecánicas y físicas del material compuesto y de biodegradabilidad

Proponer aplicaciones del material desarrollado en áreas del diseño

Actividades

Recopilación y análisis bibliográfico sobre el Reino Fungi y características específicas del hongo utilizado

Recopilación y análisis bibliográfico sobre los residuos agrícolas, frutícolas y sus usos

Identificar diferentes materiales biobasados que se están desarrollando

Encuentro con informantes clave

Identificación de la estructura de la experimentación

Experimentación práctica de esterilización, pruebas de sustratos, diferentes formas de inoculación, crecimiento del micelio.

Definición del tipo de hongo utilizado y cultivo del hongo seleccionado

Definición del tipo de sustrato utilizado y pruebas de tamizado del sustrato triturado

Definición de tipos de esterilización y variables de crecimiento

Definir 'receta' para el desarrollo del material micelio

Identificar el tipo de norma usado en los experimentos

Identificar los ensayos que se realizaron

Identificar el número de probetas y las dimensiones de estas

Realizar las pruebas en laboratorio según las normas seleccionadas

Análisis de los resultados de los ensayos

Identificación del estado del arte

Definir las principales propiedades y calidades del material

Bosquejar aplicaciones del material

3.2 Justificación

3.2.1 Tipo de sustrato seleccionado

A partir de la revisión bibliográfica que indica cuales son los tipos de subproductos que más genera la industria agrícola y frutícola se escogen dos tipos de sustratos, rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos.

De esta manera se seleccionan los rastrojos de alfalfa y la cáscara de nuez. Se selecciona el rastrojo de alfalfa por sobre el de trigo (siendo el del trigo el que más residuos genera) por su facilidad para adquirirlo. Como esta investigación se llevó a cabo post-cosecha del trigo fue difícil encontrar el rastrojo de este.

Dentro de los frutos secos se seleccionó la cáscara de nuez. Según lo mencionado en el capítulo dos el criterio para seleccionar la cáscara de nuez es que su uso post-cosecha es casi nulo. Comunidades aledañas a los cultivos de nogales dedican gran parte del año a 'partir' la nuez, separar la semilla (fruto) de la cáscara. Esto genera una gran acumulación de cáscaras de nuez que las utilizan en calefacción por chimenea, o simplemente se desecha a la basura.

3.2.2 Tipos de hongo seleccionado

Los hongos seleccionados son de la división basidiomicetos del Reino Fungi, y se escogieron dos tipos de esta clase. *Pleurotus Ostreatus*, cultivado como hongo comestible, y *Trametes Versicolor* el cual se cultiva y se usa con fines medicinales.

Para poder desarrollar un material con un micelio denso, que crezca rápidamente (Lelivelt 2015) y que sea relativamente fácil de cultivar (France 2000) se consultó a expertos, se revisó bibliografía de cultivo de hongos, y fuentes de investigación relacionada al desarrollo de material micelio. Por ejemplo el micelio del *Pleurotus Ostreatus* crece en condiciones relativamente simples, mientras que su seta es más difícil de cultivar si no contamos con equipo especial y conocimiento de específicos. Así también el micelio del *Trametes Versicolor* crece en condiciones similares al del *Pleurotus* sumándole que otorga un micelio denso, que crece rápido y en condiciones fáciles de replicar.

Las dos cepas de hongos fueron adquiridas a través del Laborato-

rio Biomicelios (2016), que vende el hongo inoculado en semillas de trigo, lo que permitió tener una cepa más estéril y segura, esto facilitó poder inocular el hongo en el laboratorio de baja complejidad.

3.3 Experimentaciones

En este subtema se presentan las cuatro experimentaciones, más una anexa, realizadas para desarrollar el material micelio. Cada una de las diferentes experimentaciones nos dio pautas para fabricar de mejor manera el material. Se iban añadiendo nuevos procesos en las sucesivas experimentaciones así como también se quitaban métodos que entorpecían o contaminaban el material. Además se seleccionó un tipo de hongo y un tipo de sustrato para desarrollar las aplicaciones demostrativas.

Diferentes tipos de hongos utilizados por investigadores

Hongo utilizado

Fuente



Pleurotus Ostreatus

Usado por el diseñador Maurizio Monalti



Trametes Versicolor

Usado por el diseñador R.J.J. Lelivelt



Ganoderma Lucidum

Usado por el artista Philip Ross



Polyporus Squamosus

Usado por la empresa Ecovative

3.4 Experimentación I: Aproximación al desarrollo de material micelio

Se realizó una primera aproximación para desarrollar el material micelio realizando el siguiente procedimiento.

Se escogieron dos cepas del tipo Pleurotus:

1. Pleurotus Ostreatus (Hongo Ostra)
2. Pleurotus Eryngii (Hongo Ostra Rey)

Se hicieron dos conjuntos diferentes de muestras. El primer conjunto 'A' con la cepa Pleurotus Ostreatus y el conjunto de muestras 'B' con la cepa Pleurotus Eryngii, se usó como sustrato la alfalfa. Se usaron diferentes cantidades de sustrato y de hongo para ver la diferencia de crecimiento (ver figura 12).

No se esterilizó el sustrato, y se usó un método parecido al que utiliza Ecovative en su kit GIY, Grow it Yourself (Ecovative 2016), por lo mismo a las muestras se le añadió agua y harina como estructurante para desarrollar un mejor micelio.

El lugar de trabajo fue el patio del domicilio del investigador, donde la superficie de trabajo, instrumentos, guantes y todo el equipo utilizado en este procedimiento se limpió con una solución de alcohol al 95% para evitar la contaminación de las muestras. Para entender el proceso ver el flujo de trabajo de la Experimentación I en la figura 13.

El propósito de este grupo de muestras era proporcionar resultados exploratorios sobre que método y combinación de sustrato y hongo daba mejores resultados.



Imagen 21. Pleurotus Ostreatus.
Fuente Flickr. Autor Brown D. Bajo licencia Creative Commons.



Imagen 22. Pleurotus Eryngii.
Fuente Flickr. Autor Vicol E. Bajo licencia Creative Commons.

Muestras

Experimentación I

Figura 12. Muestras Experimentación I.
Elaboración Propia.



Muestra A

Tipo Hongo: *Pleurotus Ostroatus*
Sustrato: rastrojos de alfalfa
Esterilización: ninguno

A1

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A2

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 100 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A3

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 150 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A4

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 150 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A5

Cepa: 200 gr
Rastrojo de Alfalfa: 200 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml



Muestra B

Tipo Hongo: *Pleurotus Eryngii*
Sustrato: rastrojos de alfalfa.
Esterilización: ninguno

B1

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 50 gr
Harina: 8 gr
Agua: 500 ml

B2

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 100 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

B3

Cepa: 150 gr
Rastrojo de Alfalfa: 200 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

B4

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 200 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

B5

Cepa: 200 gr
Rastrojo de Alfalfa: 200 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml



Imagen 23. Inoculación de la cepa *Pleurotus Ostreatus* en rastrojos de Trigo. Elaboración propia.



Imagen 24. Crecimiento del Micelio en muestra A1. Elaboración propia.

3.4.1 Flujo de Trabajo Experimentación I.

Materiales Proceso I



Hongos en semillas de trigo



Contenedor



Balanza



Tijeras



Bolsas con cierre



Masking Tape



Cuchara de acero



Harina



Agua



Perro de ropa

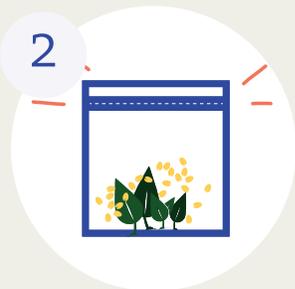


Rastrojos de alfalfa

Proceso I: Inoculación de la semilla en el sustrato



En el contenedor incorporamos 50ml de agua, 20 gr de harina y revolvemos



En la bolsa añadimos la alfalfa, las semillas de trigo y revolvemos.



Vertemos la mezcla de agua con harina y revolvemos los componentes



Esperamos entre 4 y 5 días para que crezca el micelio.

Materiales Proceso II: Crecimiento micelio en molde



Guantes



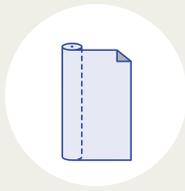
Contenedor



Balanza



Alcohol



Film Plástico



Horno



Moldes



Bolsas con micelio crecido



Masking Tape

Proceso II: Crecimiento del micelio en el molde

1



Limpiar superficie de trabajo

2



Vertemos la mezcla de micelio en el contenedor y revolvemos

3



Añadir 4 cucharadas de harina, 500 ml de agua y revolver

4



Poner el material micelio en los moldes

5



Sellar el molde con papel film

6



Esperar 5-6 días para que el micelio crezca

3.4.2 Aprendizajes de la Experimentación I

Al ser el primer experimento desarrollando el material micelio y debido a la poca experiencia en el cultivo de hongos, protocolos de laboratorio y conocimiento técnico, ocurrieron muchos errores en el proceso y como resultado se contaminaron las muestras.

- Contaminación de las muestras por realizar el experimento en el patio y no en un lugar cerrado y limpio.
- Poca higiene en la inoculación del hongo.

- Contaminación de las muestras por falta de utilización de un método de esterilización.
- Bajo crecimiento del micelio debido a altas temperaturas y baja humedad.
- No se usaron los materiales adecuados para la experimentación.

Debido a estas conclusiones, se realizó una búsqueda bibliográfica y se consultó a expertos sobre métodos esterilización de productos (sustratos) e instrumentos. Se seleccionaron dos tipos de esterilización debido a su capacidad para poder replicarlos por el in-

vestigador.

3.5 Tipos de esterilización

Por lo general un sustrato está habitado por muchos organismos, tales como bacterias, insectos, tierra, u otros hongos que, en este caso, competirán con el hongo que se desea inocular. Por lo mismo es importante limpiar el sustrato antes de utilizarlo. Se escogieron dos métodos de esterilización para ensayar con los sustratos:

- Esterilización
- Pasteurización

54



Imagen 25. Esterilización de instrumentos en autoclave de sobremesa. Elaboración propia.

3.5.1 Esterilización

Este tratamiento de esterilización es el más drástico ya que se requiere una temperatura de 120° C y una presión de 100 kPa (1 bar) durante 20 minutos (Lelivet 2015). La ventaja de este tratamiento es que elimina todos los organismos y se asegura que el sustrato quede completamente inerte. La desventaja de este tratamiento es que se requiere una gran cantidad de energía y equipos especializados, ollas a presión con barómetros o autoclaves. Además por otro lado, algunos microorganismos ayudan a los hongos en su crecimiento y podría ser poco ventajoso no disponer de ellos.

3.5.2 Pasteurización

Este tipo de esterilización consiste en calentar el sustrato sumergido en agua entre 80 a 100° C durante 60 minutos (Cisternas 2002). A esta temperatura organismos peligrosos que compiten con nuestro hongo a inocular morirán, mientras que los organismos que nos ayudan sobreviven. Aunque es menos seguro, la pasteurización es fácil de replicar, usa menos energía y no mata microorganismos positivos.

3.6 Experimentación II: Uso de diferentes sustratos, y pasteurización de los sustratos

Se realizó una segunda experiencia en el desarrollo del material micelio. Se utilizaron las mismas cepas de hongos, *Pleurotus Ostreatus* y *Pleurotus Eryngii*, pero se utilizaron tres diferentes sus-



Imagen 26. Pasteurización de sustratos.
Elaboración propia.

tratos. Rastrojos de alfalfa, cáscara de nuez y como sustrato de control se utilizó viruta de pino.

Se utilizó el método de esterilización por pasteurización, y se le añadió un componente con alto contenido de nitrógeno para que el micelio creciera más rápido y más denso, en este caso se utilizó Humus de Lombriz.

Al igual que la primera experimentación se hicieron dos conjuntos diferentes de muestras. El primer conjunto 'A' con la cepa *Pleurotus Ostreatus* y el conjunto de muestras 'B' con la cepa *Pleurotus Eryngii* (ver figura 14).

Se usaron diferentes cantidades de sustrato, hongo y humus, para ver la diferencia de crecimiento y comportamiento a agentes externos. En esta experimentación se pasteurizó el sustrato hirviéndolo entre 80° y 100° C por 60 minutos.

Se utilizó el mismo método de inoculación que en la Experimentación I.

El lugar de trabajo fue una habitación, donde la superficie de trabajo, instrumentos, guantes y todo el equipo utilizado en este procedimiento se limpió con una solución de alcohol al 95% para evitar la contaminación de las muestras. Para entender el proceso ver el flujo de trabajo de la Experimentación II en la figura 15.

El propósito de este grupo de muestras era proporcionar información acerca de los beneficios de la pasteurización de los sustratos, comprobar el diferente crecimiento del micelio dependiendo del sustrato usado y ver los beneficios de añadir un componente con alto contenido de nitrógeno.

Muestras Experimentación II

Figura 14. Muestras Experimentación II.
Elaboración Propia.



Muestra A

Tipo Hongo: *Pleurotus Ostroatus*
Sustrato: rastrojos de alfalfa, cáscara nuez,
viruta pino.
Fuente Nitrógeno: humus de Lombriz
Esterilización: hervido a 100°C

A1

Cepa: 100 gr
Rastrojo de Alfalfa: 100 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A2

Cepa: 100 gr
Viruta: 100 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

A3

Cepa: 100 gr
Cáscara de nuez: 100 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml



Muestra B

Tipo Hongo: *Pleurotus Eryngii*
Sustrato: rastrojos de alfalfa, cáscara nuez,
viruta pino.
Fuente Nitrógeno: humus de Lombriz
Esterilización: hervido a 100°C

B1

Cepa: 150 gr
Rastrojo de Alfalfa: 200 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

B2

Cepa: 150 gr
Viruta de pino: 200 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml

B3

Cepa: 150 gr
Cáscara de nuez: 200 gr
Humus: 50 gr
Harina: 20 gr
Agua: 500 ml



Imagen 27 Preparación de los diferentes sustratos.
Elaboración propia.



Imagen 28. Inoculación de la cepa *Pleurotus Ostreatus* en diferentes sustratos.
Elaboración propia

3.6.2 Flujo de Trabajo Experimentación II

Materiales Proceso I



Hongos en semillas de trigo



Contenedor



Balanza



Tijeras



Bolsas con cierre



Masking Tape



Viruta de pino



Cuchara de acero



Harina



Agua



Perro de ropa



Rastrojos de alfalfa



Cáscara nuez

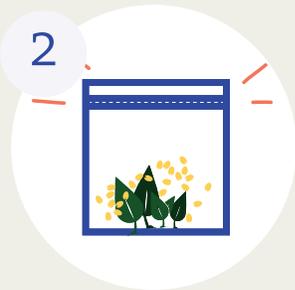


Humus de lombriz

Proceso I: Inoculación de la semilla en el sustrato



En el contenedor incorporamos 50ml de agua, 20 gr de harina y revolvemos



En la bolsa añadimos la alfalfa, las semillas de trigo, el humus de lombriz y revolvemos



Vertemos la mezcla de agua con harina y revolvemos los componentes



Esperamos entre 4 y 5 días para que crezca el micelio.

3.6.3 Aprendizajes de la Experimentación II

- El crecimiento del micelio tuvo mejor resultado en la cáscara de nuez, seguido por el rastrojo de alfalfa. En la viruta de pino no crece el micelio, puede que la razón sea por contaminación de la muestra.
- El micelio del hongo que crece más rápido es el *Pleurotus Ostreatus*, en comparación al *Pleurotus Eryngii*. Elegiremos la cepa *Pleurotus Ostreatus* para las siguientes experimentaciones además de añadir otra cepa, *Trametes Versicolor*, para probar otros tipos de inoculación.
- Por la utilización de humus de lombriz y por desconocimiento del investigador las muestras que contenían esta fuente de nitrógeno se contaminaron, debido a la gran cantidad de microorganismos que contenía, en ellos huevos de lombriz.

Por lo mismo y al ver que las dos primeras experimentaciones no fueron del todo óptimas, se bus-

co en bibliografía otros métodos de inocular hongos y trabajar con sustratos agrícolas de manera más estéril y limpia. Además se buscaron fuentes de optimizar la temperatura.

3.7 Experimentación III: Cultivo de hongos en laboratorio

Debido a la participación como colaborador en el workshop Bio Design organizado por la Universidad Católica y realizado en el Centro de Innovación UC, Anacleto Angelini es que se realizó parte de la experimentación en el Laboratorio de Biología Sintética Ci UC, ubicado en el campus San Joaquín.

Se adquirió conocimiento de trabajar en Laboratorio, como protocolos de higiene, esterilización y cuidado de los materiales, además se conocieron instrumentos para llevar a cabo una mejor inoculación del hongo en el sustrato. Esta capacitación y conocimiento fue otorgado por la Ingeniera en Biotecnología Vegetal Daniela Torres Acuña y el espacio fue cedido por el Director del Laboratorio Fernán Federici Noe.

Se utilizaron dos cepas, *Pleuro-*

tus Ostreatus y *Trametes Versicolor* y se utilizaron como sustrato el rastrojo de alfalfa, la cáscara de nuez, la viruta de pino, y por exploración por parte del Laboratorio se utilizó la hoja de parra.

Al igual que la primera y segunda experimentación se hicieron dos conjuntos diferentes de muestras. El primer conjunto 'A' con la cepa *Pleurotus Ostreatus* y el conjunto de muestras 'B' con la cepa *Trametes Versicolor* (ver figura 16).

Se usaron diferentes cantidades de sustrato y hongo. En esta experimentación se pasteurizó el sustrato hirviéndolo entre 80° y 100° C por 60 minutos.

Muestras Experimentación III

Figura 16. Muestras Experimentación III.
Elaboración Propia.



Muestra A

Tipo Hongo: *Pleurotus Ostroatus*
Sustrato: rastrojos de alfalfa, cáscara nuez, viruta pino.
Esterilización: hervido a 100°C



Muestra B

Tipo Hongo: *Trametes Versicolor*
Sustrato: rastrojos de alfalfa, cáscara nuez, viruta pino.
Esterilización: hervido a 100°C

60

A1

Cepa: Muestra de *Pleurotus Ostroatus*
Rastrojo de Alfalfa: 100 gr

A2

Cepa: Muestra de *Pleurotus Ostroatus*
Cáscara de nuez: 100 gr

A3

Cepa: Muestra de *Pleurotus Ostroatus*
Viruta de pino: 100 gr

B1

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor*
Rastrojo de Alfalfa: 100 gr

B2

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor*
Cáscara de nuez: 100 gr

B3

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor*
Viruta de Pino: 100 gr

3.7.1 Procedimiento

I Preparación del medio de cultivo para el crecimiento del hongo

Para desarrollar la inoculación del hongo en los sustratos se tuvo que aprender formas de trabajar en laboratorio, para así poder replicarlos en experiencias posteriores.

Se escogió como mejor opción para inocular los hongos y evitar contaminación de las muestras hacer crecer el micelio en placas Petri, para después de estas placas sacar una muestra e inocular el sustrato.

Para lograr hacer crecer el micelio del hongo se utilizó un **medio de cultivo**. El medio de cultivo es una mezcla de nutrientes que, en concentraciones adecuadas y en condiciones físicas óptimas, permiten el crecimiento de los microorganismos, células, virus, tejidos vegetales, e incluso pequeñas plantas (Probiotek, 2016).

El medio de cultivo que se utilizó fue el Agar Dextrosa conocido también como PDA (Papa, Dextrosa, Agar). Este medio de cultivo es ideal para el crecimiento de hongos y levaduras. La proporción del medio de cultivo es la siguiente. Por cada 1000 ml de agua destilada corresponden 20 gr. de dextrosa y 15 gr. de agar.

El medio de cultivo se realizó en una matraz del tipo Erlenmeyer, previamente esterilizada así como también se utilizaron placas Petri. Todo este procedimiento es realizado en compañía del mechero tipo Bunsen para tener un ambiente estéril y libre de microorganismos.

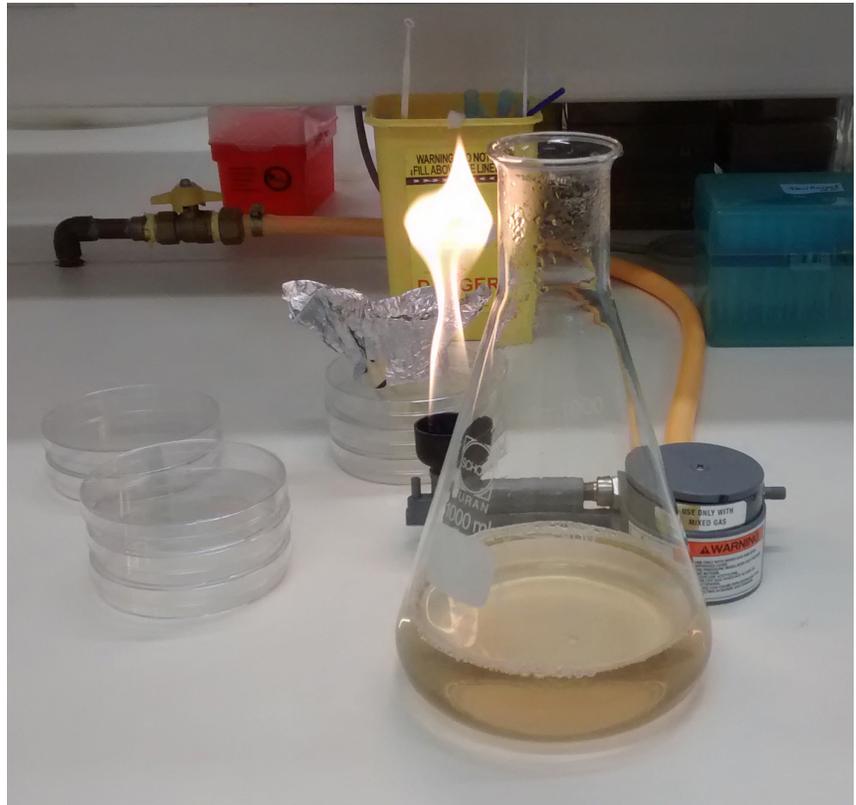


Imagen 29 Medio de cultivo PDA contenido en matraz Erlenmeyer junto con placas Petri y mechero tipo Bunsen. Elaboración propia.

II Inoculación de la cepa en las Placas Petri

Una vez que el medio de cultivo esté preparado y este se distribuya en las placas petri, se inocula cada placa con semillas y otras placas con partes de la seta. Y esperamos entre tres y cuatro días para que crezca el micelio.

III Inoculación del sustrato con muestra del micelio cultivada en placa petri

Para inocular el micelio en el sustrato se dispone el mechero tipo Bunsen al centro del lugar de trabajo y alrededor de este se colocan los frascos que contienen los sustratos y las placas Petri.

Con un bisturí se corta un trozo del micelio, contenido en la placa Petri, de alrededor de 1 a 2 cm y se introduce en el sustrato. Se espera entre 4 a 5 días para que el micelio crezca alimentándose del sustrato.

IV Crecimiento del micelio en los diferentes sustratos, traspaso al molde y curado de la pieza.

Dentro de cuatro 4 a 5 días el hongo comienza a crecer y alimentarse del sustrato, a medida que pasen los días se comenzará a poner de un color blanco todo el sustrato. En ese momento se podrá pasar al molde, y esperar nuevamente entre 4 a 5 días para que el hongo crezca nuevamente y se adapte a la forma del molde. Es entonces cuando se desmolda y pasamos el material a un horno convencional donde se cocina a una temperatura de 170° C por 20 minutos, de esta manera el hongo morirá y la pieza perderá humedad que no es necesaria para la fabricación de nuestro material micelio.

62



Arriba: Imagen 30. Crecimiento del micelio de hongo Trametes Versicolor en el medio de cultivo. Elaboración propia.

Abajo: Imagen 31. Inoculación del micelio en el sustrato. Elaboración propia.



Imagen 32. Inoculación del micelio en los diferentes sustratos y su posterior recubrimiento para evitar la luz directa. Elaboración propia.





Imagen 33. Crecimiento del micelio en diferentes sustratos (cáscara de nuez y viruta de pino).
Elaboración propia.

64



Imagen 34. Detalle de crecimiento del micelio en sustrato de cáscara de nuez.
Elaboración propia.



Imagen 35. Detalle de crecimiento del micelio en sustrato de cáscara de nuez.
Elaboración propia.



Imagen 36. Detalle del micelio del tipo Trametes Versicolor envolviendo la cáscara de nuez.
Elaboración propia.



Imagen 37. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa.
Elaboración propia.



Imagen 38. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa.
Elaboración propia.



Imagen 39. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa.
Elaboración propia.

3.7.2 Flujo de Trabajo Experimentación III

Materiales



Hongos en semillas de trigo



Setas hongo Pleurotus Ostreatus



Cáscara nuez



Hojas de parra



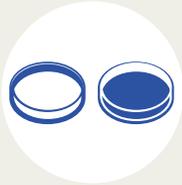
Mechero



Viruta de pino



Matraz Erlenmeyer



Placas Petri



Frasco Conserva



Rastrojos de Alfalfa



Autoclave



Agar-agar



Dextrosa



Agua destilada

Proceso I: Preparación del medio de cultivo



Añadir 600 ml de agua,
12g de dextrosa y 9g de agar-agar



Revolver



Colocar el medio de cultivo en el
autoclave por 2 horas a 120°C y 1 bar (1hPa)

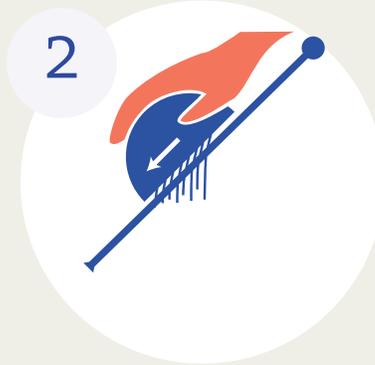
Proceso II: Preparación de los sustratos

1



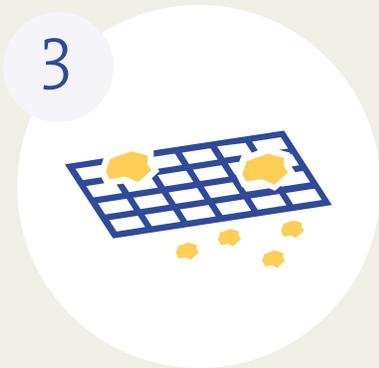
Escogemos los sustratos

2



Granular los diferentes sustratos

3



Tamizar los sustratos triturados

4



Pausterizar los sustratos a 100°C
por 60 minutos

5



Introducir 100g de cada sustrato
en los frascos y cerrarlos

Proceso III: Crecimiento del micelio

1



Disponer el medio de cultivo y las placas petri alrededor del mechero

2



Verter el medio de cultivo en las placas petri

3



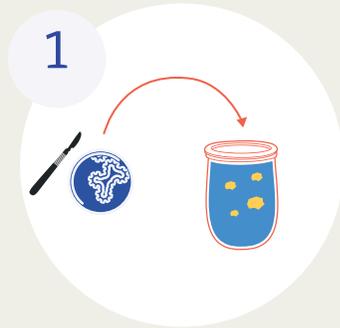
Inocular cada placa petri con semillas de hongo o con un fragmento de la seta del *Pleurotus Ostreatus*. Sellar todas las placas petri y guardarlas en un lugar donde no llegue la luz directa

4



Entre 3 a 4 días el micelio habrá crecido dentro de la placa

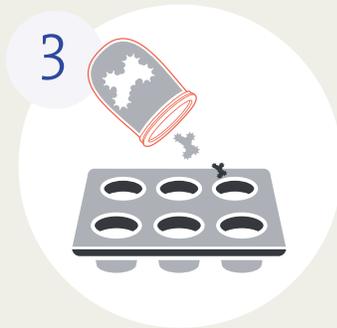
Proceso IV: Inoculación micelio en el sustrato



1
Con un bisturí cortamos una fracción de micelio de aprox. de 12 cm y lo introducimos en el frasco que contiene el sustrato



2
Entre 4 a 5 días el micelio crecerá dentro del frasco. El sustrato se volverá de un color blanco y quedará cubierto por el micelio



3
Rellenamos los moldes con el material micelio



4
Esperar nuevamente entre 4 y 5 días a que crezca el material micelio en el molde



5
Desmoldar el material micelio y ponerlo en un horno a 170°C por 20 min para que el hongo muera y la pieza pierda humedad



6
Nuestro material micelio estará completo

3.7.3 Aprendizajes Experimentación III

- Trabajar en Laboratorio y con protocolos de higiene y limpieza resultó en una excelente experimentación para el desarrollo del material micelio.
- Se seguirá aplicando este método en las siguientes experimentaciones
- Se optó por usar el hongo *Trametes Versicolor* en las siguientes experiencias por su rápido
- crecimiento del micelio en comparación al crecimiento del *Pleurotus Ostreatus*.
- Se escogió como sustrato a trabajar durante la investigación la cáscara de nuez debido a
- la buena combinación con el hongo *Trametes Versicolor* además de un agradable olor que se obtiene, en comparación al fuerte olor que genera el rastrojo de alfalfa una vez crecido el micelio.
- Se investigan posibles maneras de desarrollar un microscopio de baja complejidad para fotografiar el material micelio.
- Es recomendable desarrollar un sistema que permita crear una atmósfera para un crecimiento más rápido, limpio y óptimo del micelio. Se consultará a expertos y se revisa material bibliográfico
- Por lo mismo se buscará la manera de saber la temperatura y humedad del ambiente en tiempo real para ajustar

los parámetros y tener una atmósfera adecuada para su crecimiento.

3.8 Experimentación IV: Definición final del material.

Con los aprendizajes adquiridos en las experimentaciones anteriores se realizó la última experimentación que definió una manera de desarrollar el material micelio.

En esta experimentación sólo se utilizó el hongo del tipo *Trametes Versicolor* y un sólo sustrato, la cáscara de nuez, por la experiencias positivas obtenidas en las experiencias previas.

Se hizo un conjunto de muestras 'A' con la cepa *Trametes Versicolor* (ver figura 18). Se realizaron alrededor de 40 muestras, todas con la mismas cantidades de sustrato y hongo. Estas muestras fueron realizadas para tener material micelio para las probetas que se van a ensayar físico-mecanicamente y para las aplicaciones demostrativas.

Muestras Experimentación IV

Figura 18. Muestras Experimentación IV.
Elaboración Propia.



Muestra A

Tipo Hongo: *Trametes Versicolor*

Cepa: CCL8o

Sustrato: rastrojos de alfalfa, hierba mate, cáscara maní, cáscara nuez, hojas de parra, rastrojos de trigo, viruta de pino

Esterilización: autoclave 120°C -1 bar

A1

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Rastrojo de Alfalfa: 100 gr

A2

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Hierba mate: 100 gr

A3

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Cáscara maní: 100 gr

A4

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Cáscara nuez: 100 gr

A5

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Hojas de parra: 100 gr

A6

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Rastrojos de trigo: 100 gr

A7

Cepa: Muestra de *Trametes Versicolor* crecido en el agar

Viruta de Pino: 100 gr

3.8.1 Preparación del sustrato

La cáscara de nuez usada en esta investigación fue donada. Está provenía de una plantación de nogales en la comuna de Paine, Región Metropolitana. Para poder preparar el sustrato este se trituro en una licuadora doméstica y luego la cáscara triturada se pasó por un tamiz de 5mm. De esta manera se obtuvo un calibre homogéneo del sustrato.

El tamiz fue diseñado en el software de modelamiento Rhinoceros. Se fabricó en MDF de 3mm mediante la tecnología CNC por Corte Láser



Imagen 40. Diseños de tamiz de 3, 5 y 7 mm.
Elaboración propia.

3.8.2 Esterilización del sustrato

74

El sustrato se esterilizó mediante el método de pasteurización. Se sumergió el sustrato en agua y se dejó a fuego alto por 60 minutos para llegar a temperaturas entre 80° y 100° C. Una vez pasteurizado, el sustrato pasó por un colador para quitar el exceso de agua.

De esta manera se obtuvo alrededor de 14 kilos de sustrato húmedo pasteurizado. Este sustrato se dividió en 40 frascos de conserva de un litro donde cada frasco contenía cerca de 350 gr. Estos frascos se cerraron herméticamente para evitar que entraran contaminantes.

Este método para realizar el crecimiento inicial del micelio en frascos de vidrio se realiza por dos motivos. Uno, se tiene más control de la higiene al usar frascos de vidrio (previamente lavado e higienizados) y dos, es posible ver



Imagen 41. Pasteurización del sustrato.
Elaboración propia.

el crecimiento del micelio, de esta manera se puede verificar como va su crecimiento, si está contaminado, y además se puede comparar con otras muestras.

3.8.2 Preparación del hongo inoculado en semillas de trigo

Para poder inocular las muestras se decidió inocular el sustrato con semillas de trigo que tenían inoculado el hongo *Trametes Versicolor*. Esto principalmente se decidió por la cantidad de muestras a inocular y por la capacidad técnica del espacio para poder inocular tantas muestras a través de un medio de cultivo (no se contaba con mechero, ni con las placas petri suficientes para inocular tantas muestras).

La mesa de trabajo así como los instrumentos, manos y brazos se limpiaron con alcohol de 95° para matar la mayor cantidad de microorganismos, se evitó hablar cerca de las muestras, todo esto para asegurar un proceso de inoculación más limpio e higiénico.

La cantidad de semillas que se inoculó en cada muestra corresponde al 10% del peso de cada muestra (Biomielios 2016). Es decir si cada muestra contenía cerca de 350 g se inoculó con 35 g de semillas. Estas semillas fueron obtenidas a través del Laboratorio Biomielios, ubicado en la ciudad de Talca, Chile.

3.8.3 Crecimiento del micelio

Para poder obtener un crecimiento del micelio más rápido se consultó en bibliografía rela-



Imagen 42. Materiales para inocular la semilla de 'hongo' *Trametes Versicolor* en el sustrato cáscara de nuez. Elaboración propia.

cionada al cultivo de hongos comestibles para emular lo mejor posible las condiciones ideales para el crecimiento del micelio (Gaitan-Hernandez 2002)

Según Gaitan-Hernandez (2002) una temperatura óptima para el crecimiento del micelio es entre 20° a 30° C, con una humedad de entre el 30 al 40% y con ausencia de luz directa del sol.

La etapa del crecimiento del micelio puede durar entre 10 a 15 días en condiciones óptimas. Esta etapa puede extenderse más si

existen bajas temperaturas o el sustrato no es el óptimo (Cisternas 2002). Es importante durante la primera semana mover el frasco para permitir la circulación de la humedad

En base a esto se diseñó una 'cámara húmeda' para tener un ambiente controlado de humedad y temperatura, poder disponer de las muestras y clasificarlas de manera ordenada, además se le añadió un humidificador del tipo frío que permite mantener constante la humedad relativa del ambiente

de la cámara húmeda.

Para poder conocer la temperatura y humedad de la cámara húmeda en tiempo real se desarrolló un pequeño programa usando un sensor de temperatura y humedad. Todo esto bajo el hardware y software de Arduino, se utilizó la placa Arduino Uno y el sensor DHT11. el código fue obtenido a través de los desarrolladores ADA-FRUIT (2016).

3.8.4 Contaminación del material micelio

Cerca de 20 muestras se contaminaron. La hipótesis que se maneja es que se debió a una contaminación previa de las semillas inoculadas con el hongo *Trametes Versicolor*. Esto se pudo deber al modo de guardarlas cuando no se estaban usando, lo que generó una baja oxigenación de las semillas y estimuló el crecimiento de un hongo contaminante, el *Trichoderma* (Gaitán-Hernández 2002)

Esto provocó que el material micelio no alcanzara para todas las muestras que se iban a preparar, las probetas para los ensayo físico-mecánicos y las muestras para la aplicación demostrativa del material.

Debido a la menor cantidad de material micelio se decidió preparar este material para las aplicaciones demostrativas, que una vez diseñadas, el material micelio estaría preparado para ser inoculado en los moldes.



Imagen 43. Render de cámara húmeda para disponer de las muestras del material micelio. Elaboración propia.

76

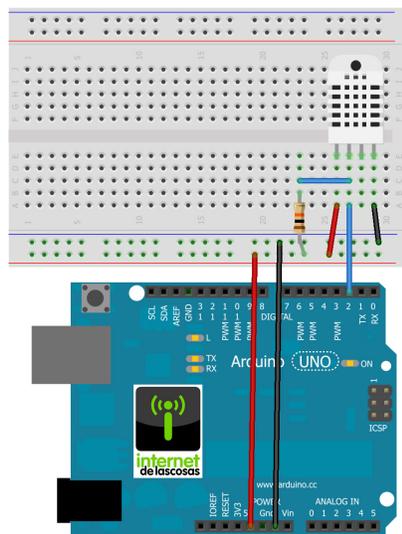


Imagen 44. Circuito para la medición de humedad y temperatura mediante hardware y software Arduino. Elaboración propia.

3.8.5 Aprendizajes experimentación cinco

- Hay que generar un protocolo para conservar las semillas inoculadas con el hongo, para que no exista contaminación de hongos del tipo *Trichoderma*
- Se habilitará un espacio de trabajo esterilizado añadiendo un mechero de tipo Bunsen en las experimentaciones para evitar contaminaciones externas.
- Se decidió hacer una sexta experimentación para tener el material micelio para las probetas físico-mecánicas pero por motivos de tiempo no pudo ser documentada en este informe



Imagen 45. Detalle de la contaminación del material micelio por el hongo Trichoderma.
Elaboración propia.



Imagen 46. Detalle de la contaminación del material micelio por el hongo Trichoderma.
Elaboración propia.

3.8.6 Flujo de Trabajo Experimentación IV

Materiales



Hongos en
semillas de trigo



Cáscara
nuez



Frasco
Conserva



Balanza



Cuchara
de acero



Moldes



Olla a presión



Alcohol

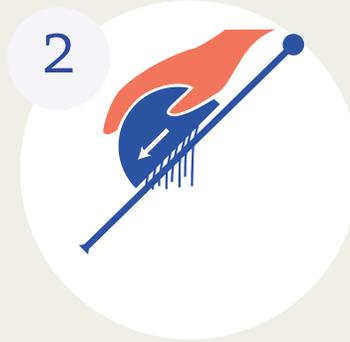


Horno

Proceso II: Preparación sustratos



Escogemos los sustratos



Granular los diferentes sustratos



Tamizar los sustratos triturados

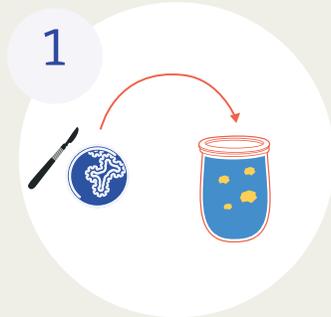


Pausterizar los sustratos a 100°C por 60 minutos



Introducir 100g de cada sustrato en los frascos y cerrarlos

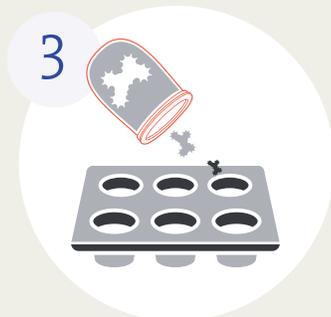
Proceso III: Inoculación de la semilla en el sustrato



1
Añadimos el 10% del peso humedo del sustrato y revolvemos



2
Entre 4 a 5 días el micelio crecerá dentro del frasco. El sustrato se volverá de un color blanco y quedará cubierto por el micelio



3
Rellenamos los moldes con el material micelio



4
Esperar nuevamente entre 4 y 5 días a que crezca el material micelio en el molde



5
Desmoldar el material micelio y ponerlo en un horno a 170°C por 20 min para que el hongo muera y la pieza pierda humedad



6
Nuestro material micelio estará completo

3.9 Conclusiones Capítulo Experimentaciones

El presente capítulo permitió generar un protocolo de desarrollo del material micelio, por lo mismo se tomaron decisiones de cómo replicar en una siguiente experimentación la fabricación de este material, a continuación enumeramos estas decisiones:

- Para las siguientes experimentaciones se decide utilizar el hongo *Trametes Versicolor*, por sobre al *Pleurotus Ostreatus*, esto debido a su rápido crecimiento del micelio.
- También se decide utilizar como sustrato la cáscara de nuez, debido a su buena relación con el *Trametes Versicolor*.
- Se decide también que la manera de inocular el sustrato sea a través de semillas de trigo previamente inoculadas con el hongo. Esta decisión se debe a que aún no se cuenta con el instrumental necesario ni los conocimientos técnicos para realizarlo a través de un medio de cultivo.
- Se añaden medidas preventivas para minimizar el riesgo de contaminación. Se trabaja en un espacio cerrado, se añade una mesa de trabajo, que cada vez que se utiliza se limpia con alcohol de 95°, se limpia todo el instrumental, además de limpiar muy bien manos y brazos, se evita hablar, y se añade un mechero de tipo Bunsen para asegurar un ambiente más estéril.
- Se diseña y se construye una cámara húmeda para aclimatar el espacio y tener una temperatura y humedad controlada, sin embargo por el momento la temperatura del espacio no es posible de modificar, solo la humedad, esto se debe a capacidades técnicas y monetarias para desarrollar una cámara húmeda que permita eso. Para controlar la humedad se adquirió un humidificador de vapor frío y se añadió un temporizador para determinar en qué momentos del día se enciende y apaga el humidificador.



Imagen. *Hypholoma fasciculare* y
Panaeolus papilionaceus
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 4_

Caracterización física, mecánica y de resitencia a agentes externos

Capítulo 4_

Caracterización física, mecánica y de resistencia a agentes externos

4.1 Caracterización física, mecánica y de resistencia a agentes externos

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales se determinan mediante pruebas de carácter destructivas, en probetas o muestras estandarizadas del material, es decir, las muestras se someten a la acción de una fuerza hasta que existe un cambio en su composición, por ejemplo que se fracturen. Este fenómeno se le conoce como propiedad mecánica, y son estas propiedades las que determinan qué tipo de material es, y en qué circunstancias se debe usar (Gomez 2012).

En este capítulo se describe de qué manera el material micelio fue sometido a diferentes ensayos. Revisamos los estándares usados, y bajo qué norma se hicieron. Está descrito el diseño y fabricación de las probetas, además se incluyen pruebas de degradabilidad en interior y en exterior.

Los ensayos físicos, mecánicos y de resistencia a agentes externos se efectúan con el fin de para tener una perspectiva de cómo es el material y como se compara con otros materiales. Uno de los materiales a comparar es la placa de yeso cartón de 12 mm de espesor. Se elige este material debido a la similitud de sus densidades. El otro material con el cual se compara es un tablero de madera aglomerada de 12 mm de espesor, se compara con la este material debido a la similitud de su conformación respecto al material micelio, (partículas aglomeradas por un adhesivo). Estos dos mate-

riales son de uso interior y no son estructurales.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los objetivos y las actividades que permitieron desarrollar los ensayos fisico-mecánicos del material micelio.

Objetivo General

Desarrollar y caracterizar un nuevo material biobasado compuesto de micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola y frutícola para su posible uso en áreas del diseño

Objetivo Específicos

Identificar los micelios de hongos usados como aglomerante y los subproductos agrícolas y frutícolas más apropiados para el desarrollo de un material biobasado

Determinar en laboratorio el procedimiento para el cultivo hongos. Diferentes métodos y aplicaciones

Desarrollar un material biobasado en el micelio de un hongo y subproductos de la industria agrícola

Caracterizar y evaluar las propiedades mecánicas y físicas del material compuesto y de biodegradabilidad

Proponer aplicaciones del material desarrollado en áreas del diseño

Actividades

Recopilación y análisis bibliográfico sobre el Reino Fungi y características específicas del hongo utilizado

Recopilación y análisis bibliográfico sobre los residuos agrícolas, frutícolas y sus usos

Identificar diferentes materiales biobasados que se están desarrollando

Encuentro con informantes clave

identificación de la estructura de la experimentación

Experimentación práctica de esterilización, pruebas de sustratos, diferentes formas de inoculación, crecimiento del micelio.

Definición del tipo de hongo utilizado y cultivo del hongo seleccionado

Definición del tipo de sustrato utilizado y pruebas de tamizado del sustrato triturado

Definición de tipos de esterilización y variables de crecimiento

Definir 'receta' para el desarrollo del material micelio

Identificar el tipo de norma usado en los experimentos

Identificar los ensayos que se realizaron

Identificar el número de probetas y las dimensiones de estas

Realizar las pruebas en laboratorio según las normas seleccionadas

Análisis de los resultados de los ensayos

Identificación del estado del arte

Definir las principales propiedades y calidades del material

Bosquejar aplicaciones del material

4.2 Pruebas a las que se sometió el material micelio

Al material micelio se le realizaron ensayos físico y mecánicos.

Los ensayos físicos fueron resistencia a la humedad (absorción) y resistencia a la humedad (absorción superficial).

Los ensayos mecánicos fueron impacto, compresión y *nail pull*.

Además se realizaron dos ensayos de degradabilidad al material micelio una en interior y otra en exterior, para ver cómo se comportaba en estos escenarios

4.2.1 Estándares utilizados para la realización de las pruebas

El material micelio al ser parte de una investigación de carácter exploratorio no cuenta con normas a la cual acogerse, (no tiene normas propias), por lo mismo se buscó un material que tuviera características similares al material micelio para de esta manera usar su normativa.

La característica en común que se buscó fue la densidad del material, de esta manera se decidió que el material a comparar fuese el yeso cartón. La densidad del material micelio resultó ser de 149.37 kg/m³ y la densidad de la placa de yeso cartón, es de 100 kg/m³. Consultando a un Ingeniero de Procesos que trabaja en la planta que fabrica placas de yeso cartón (Empresa Romeral), esta diferencia no es causa de problemas al momento de realizar las pruebas al material micelio con las normas de las placas de yeso cartón. Además se decidió comparar el

material micelio a otro material, la madera aglomerada, esto debido a las similitudes de su conformación, partículas aglomeradas con un adhesivo.

Las normas que se utilizaron para hacer las pruebas fueron dos. La norma NCh 146/1.Of2000, Planchas o placas de yeso cartón - Parte 1: Requisitos. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las placas de yeso cartón, como las dimensiones, espesores, terminaciones. Además indica cómo es su almacenamiento, transporte y manipulación entre otras características.

La segunda norma es la NCh 146/2.Of2000, Planchas o placas de yeso cartón - Parte 2: Métodos de ensayo. Esta norma establece los métodos de ensayos correspondientes a la comprobación de los requisitos de la norma NCh 146/1. Es decir detalla cómo se preparan las muestras para cada ensayo, especifica su tamaño y cuantas repeticiones deben hacerse. Contiene la resistencia a la flexión, resistencia al impacto, resistencia a la humedad (inmersión al agua y absorción superficial) y la cohesión del núcleo a altas temperaturas.

4.2.1 Preparación del material

Los moldes que contienen las probetas fueron diseñadas en el software Autodesk Inventor. Luego estos moldes fueron maquinados en una CNC de corte laser y se fabricaron en MDF de 3 mm.

Estos moldes fueron llenados con el material micelio previamente crecido y se guardaron en la cámara húmeda por alrededor

de 5 días para que el micelio se adaptara a la forma del molde. Luego esta pieza fue desmoldada y curada en un horno convencional a 170° C por 20 minutos, y luego otros 20 minutos a 100° C para que la pieza perdiera cerca del 20% de humedad.

4.3 Resumen de Ensayos

En el siguiente subtema veremos en más detalle cada ensayo que se preparó y realizó.

4.3.1 Resistencia al impacto

La resistencia al impacto describe la capacidad del material a absorber golpes y energía sin romperse. Es el ensayo donde una bola de acero de aproximadamente 530 gr cae sobre las probetas desde una altura aproximada de 500 mm. Para calcular el resultado de la prueba la bola de acero se deja caer en dos puntos de la probeta, previamente se deja una hoja sobre la probeta, de esta manera cuando la bola caiga dejará marcado un diámetro. El valor determinado es el promedio aritmético de las dos medidas efectuadas. Se fabrican tres probetas porque la bola de acero la hacen caer en la zona norte (n), zona centro (c), y zona sur (s) de la probeta.

4.3.2 Resistencia a la compresión

La resistencia al impacto es el ensayo que determina la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. Esta se calcula dividiendo la carga

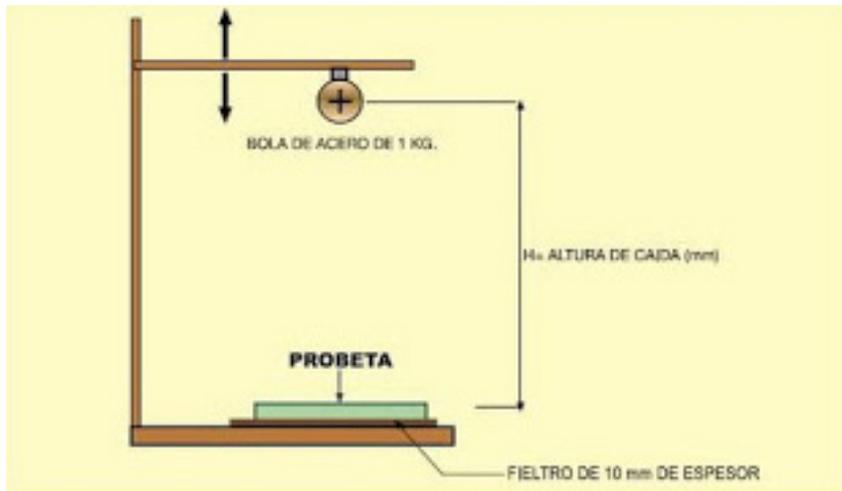


Figura 1. Esquema del ensayo Resistencia al impacto. Elaboración propia



Imagen 47. Ensayo de compresión de una probeta cilíndrica de hormigón. Fuente wikimedia.org, License Public Domain

máxima por el área original de u probeta. Para este ensayo se utilizaron dos probetas de 300 mm por 300 mm.

Para calcular la resistencia al impacto se utiliza la siguiente fórmula $S = P/A$, donde **S** es la resistencia a la compresión, **P** es la carga máxima aplicada al objeto y **A** es el área. El valor se expresa en **kgf/m²**(kilogramo fuerza / metro cuadrado).

4.3.3 Resistencia a la humedad

La resistencia a la humedad contiene dos pruebas. La primera es la **inmersión en agua**. Esta consiste en sumergir la probeta en un baño de agua. Para calcular el porcentaje de agua absorbida por la probeta se realiza el siguiente procedimiento primero se pesa la probeta (m_0) de 300 mm por 300 mm, luego esta se sumerge baño

de agua a 21° C por dos horas. Pasadas las dos horas la probeta se retira se elimina el exceso de agua superficial con papel secante y se pesa nuevamente (m_1). El aumento de masa de la probeta corresponde al agua absorbida, el porcentaje de agua absorbida es el que se determina de la siguiente manera.

$$\% \text{ agua absorbida} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

Para realizar estas prueba se fabricaron dos probetas de 300 mm por 300 mm de la misma manera que en los ejercicios anteriores.

La segunda prueba es la **absorción de humedad**. Este ensayo evalúa la capacidad de la probeta de resistir la penetración de agua mediante el aparato de Cobb. El aparato de Cobb es un cilindro que contiene agua, donde esta agua es

la que está en contacto con la probeta. Para calcular la absorción de humedad se realiza el siguiente procedimiento. Primero se determina la masa de la probeta (m_2), luego sobre la probeta se coloca el aparato de Cobb, este aparato es llenado con agua hasta una altura de una pulgada, esta agua se deja por dos horas a una temperatura de 21° C. Pasado las dos horas se retira la probeta del aparato se elimina el exceso de agua de la probeta con papel secante y se pesa nuevamente la probeta (m_3). La absorción de humedad corresponde a la resta entre el peso final de la probeta (m_3) y el peso inicial de la probeta (m_2). Esta prueba se repite dos veces, con dos probetas diferentes.

$$\text{agua absorbida} = m_3 - m_2$$

4.3.4 Ensayos de degradabilidad

Los ensayos de degradabilidad corresponden a dos pruebas que se realizaron para comprobar de qué manera se degrada el material micelio en diferentes condiciones, en exterior y en interior. Es decir una probeta estuvo por 10 días al aire libre y otra estuvo 10 días al interior las dependencias del investigador.

4.3.4.1 Ensayo de degradabilidad en interior

Para desarrollar este en ensayo se escogió una probeta de material micelio de las siguientes características. Su volumen es $37,5 \text{ mm}^3$, su masa de 10 gr, y la densidad es 280 kg/m^3 . La probeta el día 1 de la prueba estaba en buenas condiciones, no estaba frágil, no se desprendían partes del material y se podía manipular.

Resultados

La probeta estuvo dentro de una pieza cerrada a temperatura ambiente por 10 días, se le tomó una fotografía el día 1 y el día 10, se midió, su peso y se calculó su densidad además de hacerle una inspección visual y táctil a la probeta.

La probeta que fue sometida al ensayo de degradabilidad en interior no presenta cambios en su peso, volumen y densidad, sin embargo si presenta algunos cambios en su inspección visual, está más quebradiza, al manipularla bota un poco de cáscara de nuez.



Imagen 48. Ensayo degradabilidad en interior.
Elaboración propia



Imagen 49. Ensayo degradabilidad en exterior.
Elaboración propia

Esto se podría deber a que el crecimiento del material micelio no fue del todo óptimo lo que generó que se desprendieran partes del material transcurridos los 10 días, esto también puede deberse a que esta probeta siguiera perdiendo humedad lo que generó que estuviera más frágil y quebradiza al manipularla. De todas maneras la probeta está en buenas condiciones lo que da lugar a concluir que es un material que pudiese estar dentro de un espacio cerrado (interior), sin embargo no es concluyente ya que esta probeta fue ensayada en la Región Metropolitana que tiene condiciones y un clima específico, sería conveniente que en próximos ensayos esta probeta sea ensayada en otros climas y regiones.

4.3.4.1 Ensayo de degradabilidad en exterior

Para desarrollar este ensayo se escogió una probeta de material micelio de las siguientes características. Su volumen es 67.5 mm^3 , su masa de 21.3 gr, y la densidad es 311 kg/m^3 . La probeta el día 1 de la prueba estaba en buenas condiciones, no estaba frágil, no se desprendían partes del material y se podía manipular.

Resultados

La probeta estuvo sobre una mesa en el patio de la casa del investigador por 10 días, se le tomó una fotografía el día 1 y el día 10, se midió, su peso y se calculó su densidad además de hacerle una inspección visual y táctil a la pro-

beta.

La probeta que fue sometida al ensayo de degradabilidad en exterior presenta cambios en todos sus aspectos. En la inspección visual está más húmeda al tacto, esta frágil, se quiebra con facilidad, se le desprende el material micelio. Las dimensiones de estas no cambiaron tanto se encogió alrededor de 5 mm por lado, por lo tanto su volumen final fue de 59.5 mm^3 . En cuanto a su masa esta se mantuvo debido a las temperaturas que se generaban durante el día, lo que generaba que la humedad que adquiere en la noche se perdiera durante el día. La densidad de la probeta subió a 357 kg/m^3 debido a que perdió volumen y mantuvo su masa. Se puede concluir en una primera instancia que el material micelio es posible de incorporar en exterior, sin embargo es importante considerar el clima donde se va a insertar. El ensayo fue realizada en primavera en la Región Metropolitana, por ende es necesario considerar realizar la prueba en otras regiones y con climas diferentes. Con estas consideraciones hay que trabajar en conseguir un material micelio que no pierda sus propiedades (volumen, masa, densidad) y características físicas, o si pierde en algunas de estas características que sea despreciable para el uso que se le da. Es necesario considerar en los próximos ensayos el ciclo de vida del producto, para de esa manera generar productos, por ejemplo de estación, es decir, productos que tengan una vida útil específica, se deseche y se descomponga de manera natural.

Observación

Lamentablemente los resultados de los ensayos físico-mecánicos no alcanzaron a estar dentro de la memoria, esto se debió a problemas en la empresa donde se ensayaron las muestras, lo que generó un retraso en los resultados, y por ende estos no pudieron estar incluidos en la memoria. Sin embargo en la presentación de este informe estarán los resultados de los ensayos y la discusión de estos, además se entregará un cuadernillo con la información detallada y este será añadido a la memoria como un anexo.



Imagen. *Gyromitra esculenta* y
Morchella conica
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 5_ Aplicación demostrativa

Capítulo 5_

Aplicación demostrativa

5.1 Aplicación demostrativa del material micelio

Las potencialidades del material micelio son amplias, esto se debe a la posibilidad que tiene el material de adaptarse a diferentes formas ya que este crece dentro de un molde.

Por esta razón que se establece un orden y evaluación acerca de qué aplicación demostrativa se realiza. Se decide realizar cuatro ejercicios demostrativos que como primera aproximación, busca generar objetos simples, sin geometrías complejas, para no dificultar la aplicación.

Como método para el diseño de las aplicaciones se decide primero modelar la geometría del objeto en un software de modelamiento, en este caso se usó el software Rhinoceros. Luego este diseño se maquinó en una Router CNC, con un MDF de 15 mm de espesor para obtener un original de la pieza.

Con esta pieza fabricada se decidió generar los moldes a través del proceso de termoformado con poliestireno de alto impacto (PAI) de 1 mm de espesor. Cabe mencionar que el molde no necesita una 'tapa' ya que el material micelio necesita de oxigenación y ventilación, por ende el molde se sella con un film plástico, además de esta manera es posible ver cómo crece el micelio.

Existen dos dimensiones para las aplicaciones demostrativas. Una pieza cuadrada de 280 mm por 12 mm de espesor y una rectangular de 280 mm por 140 mm y 12 mm de espesor. Estos tamaños se tomaron por tres razones: el primero tiene que ver con la cantidad de material micelio necesario para abarcar todos los ejercicios, dado el tiempo para preparar las muestras y el costo asociado a esta parte de la experimentación, era complejo preparar más material para muestras de un tamaño ma-

yor. Otro factor era maximizar el uso de la termoformadora utilizada, de esta manera se podían termoformar más piezas por bajada y se ahorra material, también se maximiza el uso del horno doméstico utilizado para el curado, piezas más grandes no habrían entrado en el horno. El espesor tiene relación la plancha de yeso-cartón con la cual se comparó el material, de esta manera también se mantiene el espesor usado en los ensayos físico-mecánicos.

5.2 Ejercicio I: Poliedros irregulares

Como primer ejercicio se generan dos poliedros irregulares de seis y ocho caras. Las dimensiones de la pieza son 280 mm de largo 140 mm de ancho y 15 mm de espesor. A dos piezas se le añadió un fillet de 5 mm para ver cómo se adapta el material micelio a este tipo de curvas.

92

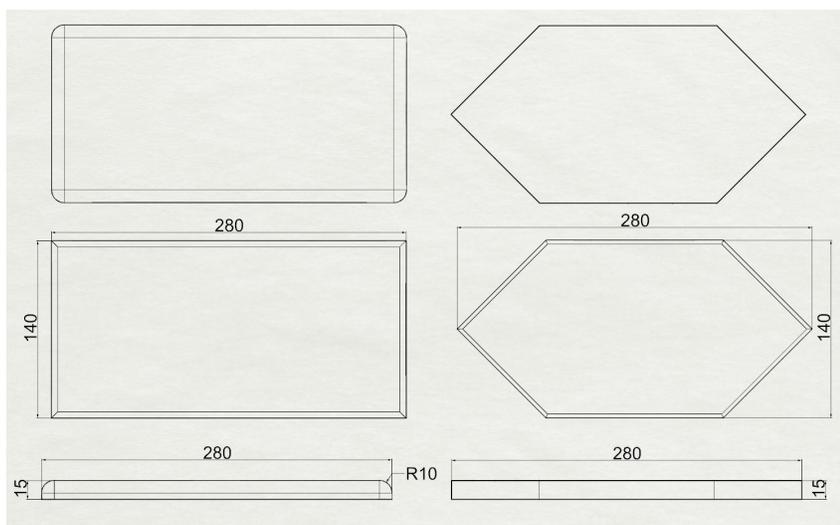


Imagen 50. Vista superior y frontal del poliedro irregular de seis y ocho caras. Elaboración propia.

5.2.1 Crecimiento del material micelio en moldes, desmolde y curado de las piezas demostrativas

Con los moldes previamente fabricados en PAI de 1 mm, y una vez que el material micelio haya crecido en los frascos de conserva se dio paso a rellenar los moldes. Para esto se trabajó en un espacio cerrado, se usó una mesa, la cual se limpió con alcohol de 95°, así como también manos y brazos, se evita hablar, y se añadió un mechero de tipo Bunsen para minimizar riesgos de contaminación que puedan afectar el crecimiento del hongo.

Una vez depositado el material micelio en el molde, este se tapó con un film plástico y se guardó en la cámara húmeda. Durante cinco días el micelio creció nuevamente, adoptando la forma del molde, cuando la pieza esté completamente blanca (producto del crecimiento del micelio) es momento de desmoldar. La última etapa es el curado, se pone la pieza en un horno convencional, (eléctrico o a gas) y se deja a 170° C por 20 minutos, después de eso se les dan otros 40 minutos a 100°, este procedimiento es para que el hongo muera y no siga creciendo y para que la pieza pierda cerca de un 20% de humedad (Ecovative 2016).

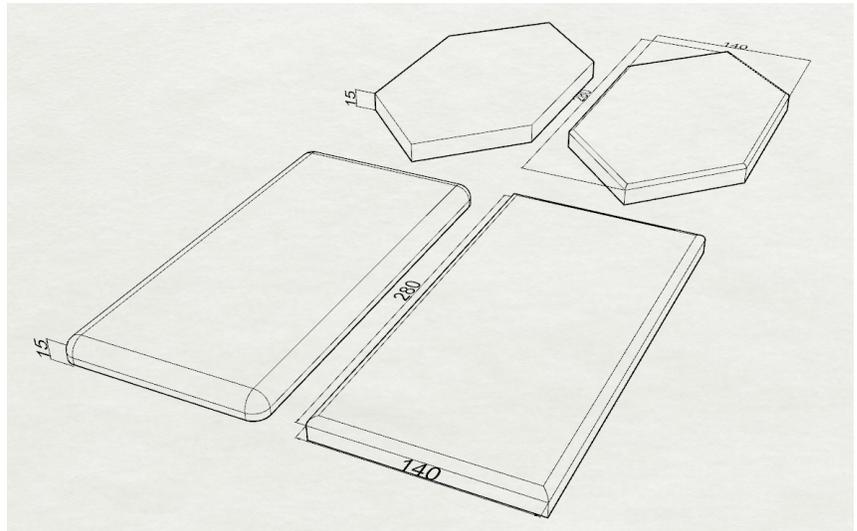


Imagen 51. Vista isométrica poliedro irregular de seis y ocho caras. Elaboración propia.

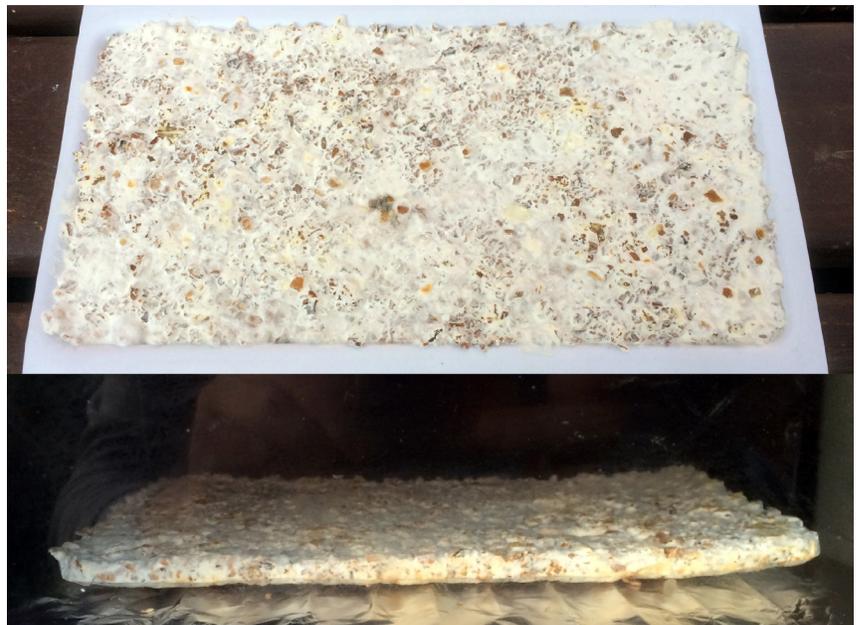


Imagen 52 Crecimiento del material micelio en molde de PAI, y curado de la probeta en horno eléctrico. Elaboración propia.



Imagen 53 .Poliedro irregular de 6 caras fabricada con material micelio.
Elaboración propia.



Imagen 54 .Poliedro irregular de 6 caras fabricada con material micelio.
Elaboración propia.



Imagen 55.Poliedro irregular de 8 caras fabricada con material micelio.
Elaboración Ppopia.

5.2.2 Aprendizajes del Ejercicio I

- El material micelio se adapta bien a la forma del molde, no es complicado desmoldar, pero al contener agua la pieza está blanda y esta se curva, es recomendable hacerlo con cuidado para que no se quiebre.
- El proceso de curado es lento, ya que se cuenta con un horno eléctrico doméstico, y por lo mismo cabe una pieza por curado, lo que hace lento el proceso y se usa más energía. Se recomienda hacer el curado en un ambiente ventilado ya que emana mucho olor el material micelio. El curado se realizó en una zona abierta.

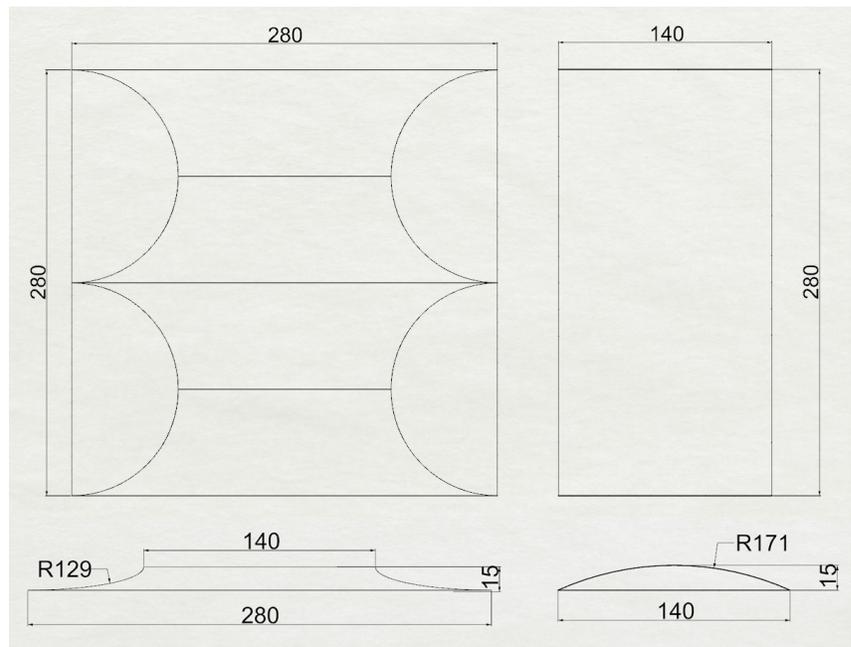


Imagen 56. Vista superior y frontal curvas simples. Elaboración propia.

5.3 Ejercicio II: Curvas simples

Para el segundo ejercicio se trabajó con formas similares a las del primer ejercicio, sin embargo se le añadieron curvas. El ejercicio se realizó con la herramienta sweep en el software Rhinoceros. La primera pieza mide 280 mm por 280 mm y 15 mm de espesor y la segunda pieza mide 280 mm por 140 mm y 15 mm de espesor. Se maquinó de la misma manera que el Ejercicio I, a través de Router CNC para luego sacar un molde en PAI a través de la termofractora.

El método para llenar los moldes con el material micelio es el mismo usado en el ejercicio uno, es decir, se llena con material los moldes y se tapa con un film plástico, y se espera que nuevamente crezca el micelio para desmoldar y pasar al proceso final de curado.

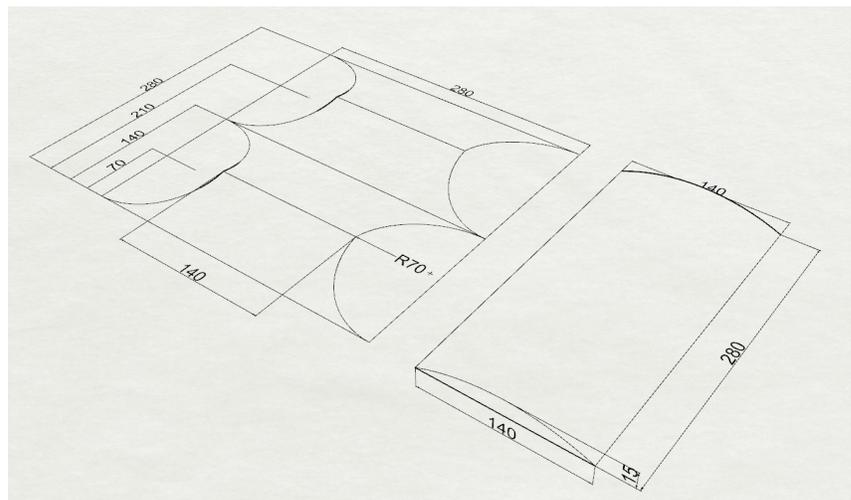


Imagen 57. Vista isométrica curvas simples. Elaboración propia.



Arriba: Imagen 58. Detalle del molde de PAI en el ejercicio curvatura simple. Elaboración propia.



96

Izquierda: Imagen 59. Curvatura simple fabricada con material micelio. Elaboración propia.



Abajo: Imagen 60. Curvatura simple fabricada con material micelio. Elaboración propia.

5.3.1 Aprendizajes del Ejercicio II

- La pieza número uno de 280 mm por 280 mm no pudo ser llenada con el material micelio debido a la geometría compleja que se generó, (curvas muy cerradas). Esto generó que el espesor no fuese de 15 mm sino de mucho menos, por lo mismo la pieza final sería de muy bajo espesor y no servirá como muestra final.
- No hubo problemas para desmoldar la pieza número dos de 280 mm por 140 mm, pero dada la curva de la pieza esta no pudo ser llenada al centro, en la cúspide de la curva, por lo mismo quedo un poco más delgada al centro de la pieza, además se contaminó una parte de la pieza con el hongo *Trichoderma*, lo que generó que quedara más débil esa zona.

5.4 Ejercicio III: Pirámides cuadrangulares rectas

Para el tercer ejercicio se realizaron dos piezas de 280 mm por 280 mm. Se trabajó con triángulos isósceles que generaron pirámides cuadrangulares rectas. El modelado digital se realizó en el software Rhinoceros. En las dos piezas lo primero fue dibujar los triángulos, luego se añadieron puntos de control a las intersecciones de cada recta para luego elevar esos puntos de control 15 mm. Para poder generar el sólido se realizó la operación de surface en base a 3 o 4 puntos. Se maquinó

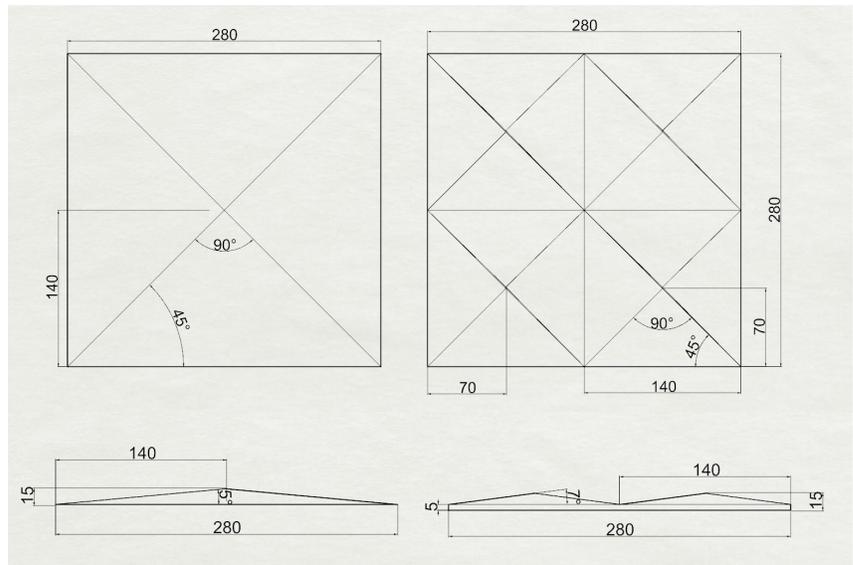


Imagen 61. Vista superior y frontal pirámides cuadrangulares rectas. Elaboración propia.

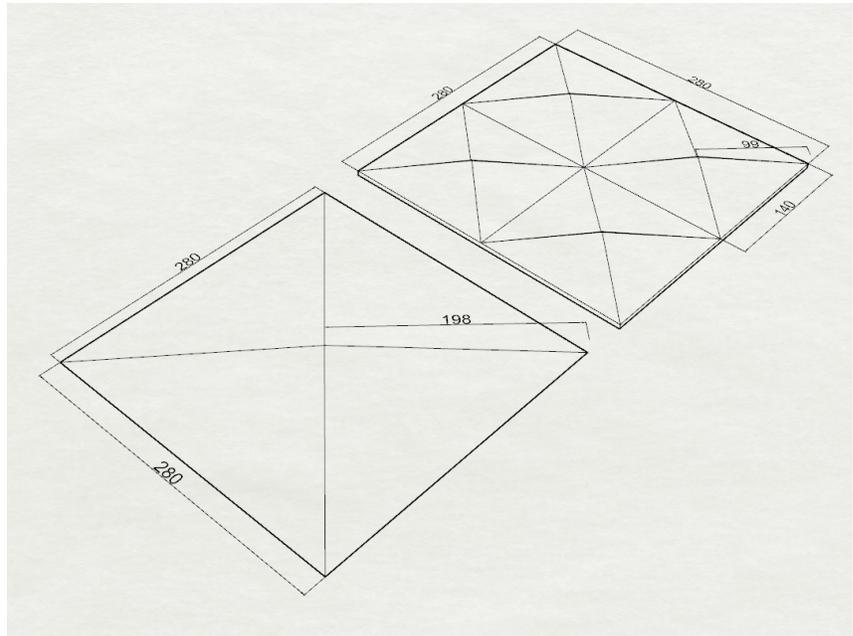


Imagen 62. Vista isométrica pirámides cuadrangulares rectas. Elaboración propia.

de la misma manera que los ejercicios anteriores con Router CNC para después sacar moldes de PAI en la termoformadora.

Se realizó el mismo método para llenar los moldes con el material micelio, y posteriormente se repitió el proceso de curado usado en los ejercicio uno y dos.

5.4.1 Aprendizajes del Ejercicio III

- Debido a las dimensiones de la pieza (280 mm) es complejo desmoldar ya que la pieza al contener agua es frágil, por lo mismo su manipulación es difícil. Se recomienda destruir el molde de PAI con un corta cartón par evitar que la pieza se fracture.
- Por el tamaño de la pieza no es posible cerrar la puerta del horno eléctrico doméstico, se recomienda usar un horno más grande que permita el cierre de la puerta para así no perder energía y que el proceso de curado dure menos.
- Fue posible fabricar una sola probeta del Ejercicio III debido a la contaminación por el hongo Trichoderma, esto se debió a factores que se desconocen, ya que las otras muestras crecieron sin problemas.



Imagen 63. Crecimiento del material micelio en molde de PAI. Elaboración propia.

98



Imagen 64. Detalle del proceso desmolde. Elaboración propia.



Imagen 65. Pirámide cuadrangular recta fabricada con material micelio.
Elaboración propia.



5.5 Ejercicio IV: Palmeta con texturas triangulares

Para el ejercicio final se decidió trabajar con geometrías un poco más complejas para ver la capacidad del material micelio de adaptarse a este tipo de moldes. El modelado se realizó en el software Rhinoceros. Se realizaron dos piezas de 280 mm por 280 mm. Primero fue necesario dibujar la geometría básica a repetir. Luego se le añadieron los puntos de

control, para elevar esos puntos 15 mm. El sólido se generó con la operación surface en base a 3 o 4 puntos. Para poder repetir la geometría y que esta estuviera contenida dentro del cuadrado de 280 mm por 280 mm se usó la herramienta array que permite generar un matriz en base a un sólido, esta matriz puede repetirse en los ejes x, y, z. Se decide en qué eje se va a repetir y a que distancia de separación quedarán los sólidos. Se maquino de la misma manera

100

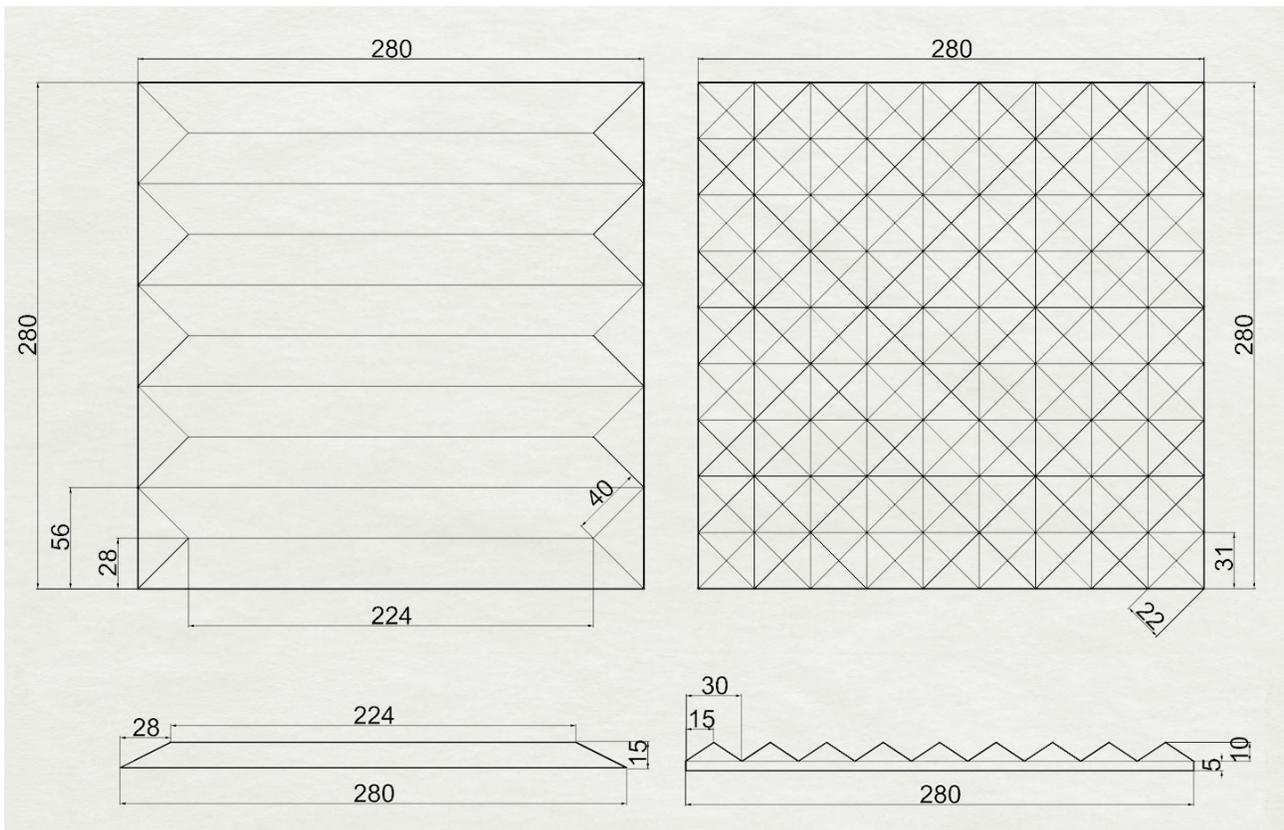


Imagen 66. Vista superior y frontal palmetas con texturas triangulares. Elaboración propia.

que los ejercicios anteriores con Router CNC para después sacar moldes de PAI en la termoformadora.

El método para llenar los moldes con el material micelio es el mismo usado en los ejercicios anteriores, es decir, se llena con material los moldes y se tapa con un film plástico, y se espera que nuevamente crezca el micelio para desmoldar y pasar al proceso final de curado.

5.5.1 Aprendizajes Cuarto Ejercicio

- Debido a lo complejo de la geometría, ángulos muy cerrados, demasiadas repeticiones de una geometría muy pequeña, paso que no se pudo desmoldar la pieza de material micelio. A pesar de que tuvo un buen crecimiento la pieza quedó atrapada en el molde por lo que esta se fracturó y se perdió como demostrativa.
- Se recomienda generar bloques de un espesor más ancho de 15 mm para ver de qué manera crece el material, como es su comportamiento mecánico y ver en cuanto tiempo crece el material micelio.

5.6 Conclusiones Capítulo Aplicación Demostrativa

El presente capítulo permitió vislumbrar las posibilidades de forma que puede adoptar el material micelio. Sus capacidades y ventajas, de esta manera se tomaron decisiones de cómo replicar

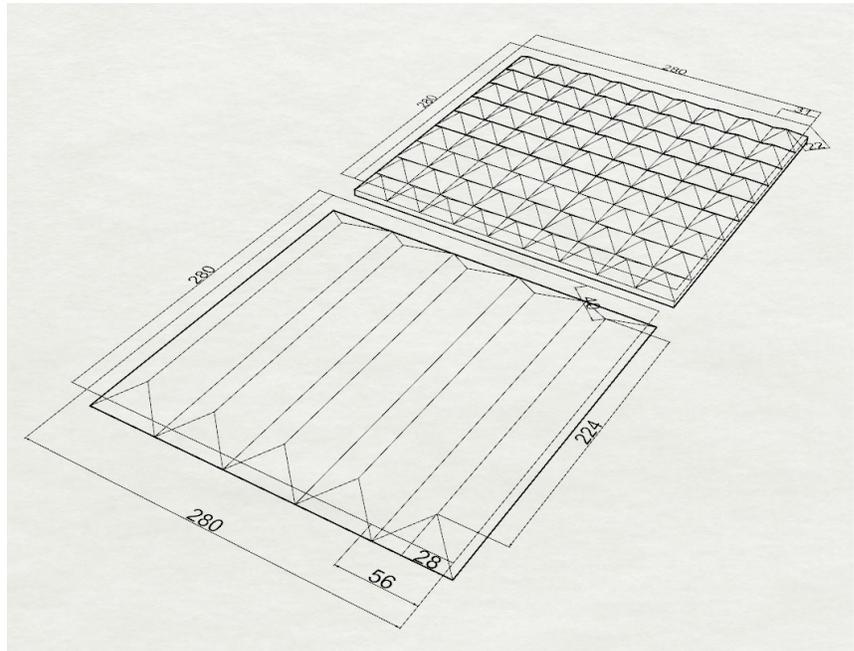


Imagen 67. Vista isométrica palmetas con texturas triangulares. Elaboración propia.

101



Imagen 68. Detalle del proceso desmolde. Elaboración propia.

en una siguiente experimentación la fabricación de aplicaciones demostrativas:

- Para las siguientes experimentaciones se recomienda fabricar piezas superiores a 15 mm de espesor, las piezas con un menor espesor y al contener agua son frágiles lo que posibilita su fractura y su manipulación es más delicada.
- Buscar alternativas a los moldes de PAI de 1 mm de espesor. Estos moldes resultaron ser bastante duros y poco flexibles, por lo que era difícil desmoldar. En muchos de los casos se tuvo que destruir el molde, y viéndolo desde el punto de vista productivo no es conveniente perder los moldes, por lo demás el PAI es un material bastante caro. Es recomendable buscar alternativas de moldes más flexibles y baratos.
- También se recomienda que los moldes pueden ser modulares para permitir generar geometrías más complejas que permitan su posterior desmolde.
- Se proyecta generar formas curvas, simples y dobles para ver de qué manera el material micelio se adapta a estas formas, entre estas curvas están los cilindros, cuencos, medias esferas, entre otros.
- Se buscarán alternativas de hornos domésticos, para poder fabricar piezas más grandes. Una de estas alternativas son los secadores semi-industriales.



Imagen 69. Fractura de la pieza debido a la complejidad geométrica del molde.
Elaboración propia.



Imagen. *Cantharellus aurantiacus*
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 6_ Conclusiones y Proyecciones

Capítulo 6_

Conclusiones y Proyecciones

6.1 Conclusiones

La presente investigación permitió desarrollar y caracterizar un material biobasado compuesto del micelio de un hongo y subproductos agrícolas y frutícolas.

Logramos conformar nuestro material con el micelio del hongo *Trametes Versicolor* y con la cáscara de la nuez *Juglans Regia*. De esta manera extendemos la vida útil de la cáscara de nuez, que en la actualidad es desechada por la industria.

Se identificaron diferentes tipos de micelios y subproductos agrícolas y frutícolas lo que permitió comparar cuál combinación daba un mejor resultado al fabricar el material.

Las aplicaciones demostrativas permitieron generar una pauta de cómo podemos diseñar productos con el material micelio. Establecimos geométricas básicas, tamaños y espesores, donde el material se adapta de manera correcta. Probamos con diferentes tipos de moldes para ver con cual trabajaba mejor y en ocasiones el molde se descartó por la manera en que se desmoldó.

106 La experimentación permitió vislumbrar diferentes formas de fabricar el material. La cuarta experimentación presentó los mejores resultados, y esta permitió fabricar las probetas para los ensayos físico-mecánicos, de degradabilidad y las aplicaciones demostrativas.

En la etapa de experimentación el material presenta características positivas al ubicarse al interior de un espacio cerrado. No se degrada, no perdió tamaño, ni peso, pero sí presenta algunos cambios en la inspección visual, por lo mismo es posible vislumbrar propuestas desde el diseño que sean fabricadas con el material micelio. Respecto a los ensayos en exterior es necesario seguir investigando posibles maneras de que este material pueda ser utilizado en zonas abiertas.

6.2 Proyecciones

La proyección de la investigación se enmarca en dos áreas.

Por una parte se espera que el material micelio se le apliquen más ensayos, ya sean físicos o mecánico. Uno de ellos podría ser el de tipo acústico. Esto es para determinar si el material tiene propiedades acústicas que permitan ampliar el uso del material. Uno de estos usos podría ser el de diseñar paneles no estructurales acústicos para uso interno.

Para lograr esto es necesario seguir trabajando en tamaños, formas y geometrías pero a una mayor escala. Para esto es necesario contar con el espacio, equipamiento necesario y con un equipo interdisciplinario que apoye en las diferentes áreas de desarrollo. Por lo tanto se hace imperativo conseguir financiamiento por entidades públicas o privadas que fomenten la investigación y desarrollo. Otra opción de financiamiento es a través de crowdfunding.

Para aprovechar la capacidad que tiene el material de descomponerse de manera natural, sería interesante calcular su vida útil, de esta manera se podrían diseñar productos que necesiten de esta característica. Como hipótesis inicial se plantea como un material para un uso 'itinerante' o de 'corta duración'.

Por ejemplo diseñar recubrimiento de suelo para ferias, actividades culturales, o cualquier actividad que requiera de zonificación del área y que además tenga entre sus características un uso itinerante o una determinada cantidad de días. Otra opción sería la delimitación de senderos en parques que permitan generar circuitos, zonas de descanso, entre otras utilidades.

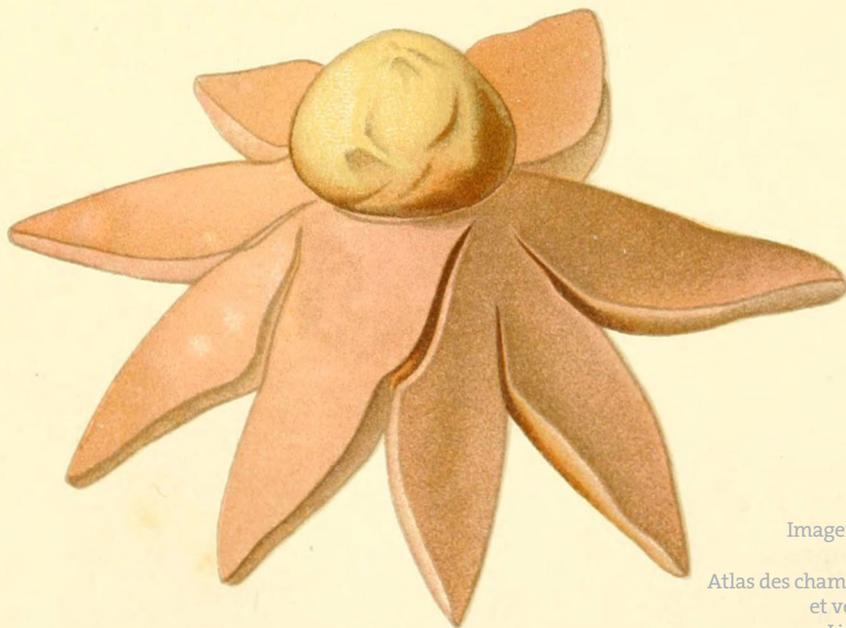


Imagen. *Geaster fornicatus*
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Capítulo 7_

Anexos

Capítulo 7_

Anexos

7.1 Anexos

En éste capítulo revisaremos las actividades anexas a esta investigación, pero que la complementan. En una primera parte revisaremos de qué manera la investigación se proyecta a futuro, se postuló a fondos concursables de investigación y desarrollo en el área de recursos naturales para obtener fondos y así seguir desarrollando el material y en lo posible convertirlo en un producto que se pueda comercializar, dentro de esta mismo eje se postuló a un congreso interdisciplinario de investigación en arquitectura, diseño ciudad y territorio, en el cual se pretende visibilizar la investigación y generar redes con otros profesionales.

Por otra parte se es colaborador en dos experiencias, en el Workshop de Biodesign organizado por la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica y el Centro de Innovación Anacleto Angelini y colaborador en la muestra curatorial Museo del Hongo, organizado por el Diseñador de la Universidad Católica Juan Ferrer.

7.2 Postulaciones a proyectos de Investigación y Desarrollo

7.2.1 Fondo Aplica tu Idea

El primer fondo que se postuló fue al Tercer Concurso de I+D Aplicada para Estudiantes de Educación Superior organizado por la Fundación Copec - Universidad Católica . El concurso tiene por objetivo acercar a los estudiantes de educación superior a la Investigación y Desarrollo para la innovación (I+D+i) en el ámbito de los recursos naturales. Se presentaban ideas de I+D que resolvieran un problema o una necesidad en un ámbito relacionado con la gestión de recursos naturales del país

Se pueden presentar ideas de I+D aplicadas que resuelvan un problema o una necesidad en un ámbito relacionado con la gestión de los recursos naturales del país, además este fondo consideraba como punto final el desarrollo de un producto en particular.

La postulación de este proyecto era a través de un video de tres minutos, la forma del video era libre, pero debía asimilarse a un elevator pitch. Donde se explicará la idea para resolver un problema en el ámbito de los recursos naturales.

El sustento de la postulación fue desarrollar un material biobasado está compuesto a partir de la utilización del micelio de un hongo y desechos agrícolas, que es también la intención final de esta investigación

7.2.2 Fondo Impacta Energía

El segundo fondo al cual se postuló fue Impacta Energía, del Ministerio de Energía. El propósito del concurso es buscar ideas que aborden el acceso, el ahorro y la promoción de la energía como fuente de desarrollo para Chile, el cual estaba dividido en dos desafíos. El primero tiene relación con cómo mejorar el acceso y uso de las energías renovables en la micro, pequeña y mediana empresa para aumentar su productividad. El segundo desafío se enfoca en cómo satisfacer las necesidades energéticas de las viviendas y sus barrios con soluciones eficientes.

La postulación de este proyecto era a través de un formulario el cual preguntaba el problema detectado, la solución, la innovación, el impacto económico, político y social, el equipo de trabajo entre otras cosas. Además había que hacer un video en el que se explicara brevemente el problema detectado, la solución que se propone y el equipo de trabajo.

La idea con la que se postuló fue desarrollar un panel aislante no estructural para viviendas, esta idea se postuló en el segundo desafío enfocada en satisfacer necesidades energéticas de las viviendas. Este panel estaba conformado por subproductos frutícolas y el micelio del hongo *Trametes Versicolor*. Se pretendían diseñar formatos de 100x50 cm. De esta manera se homologa al tamaño de las planchas de poliestireno



Imagen 70. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Aplica tu idea'.
Elaboración propia.

111



Imagen 71. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Aplica tu idea'.
Elaboración propia.



Imagen 72. Portada de la postulación a fondo 'Impacta Energía'.
Elaboración propia.

112



Imagen 73. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Impacta Energía'.
Elaboración propia.

expandido, y simplificar su instalación en viviendas ya fabricadas.

7.3 Postulación Congreso Intersecciones

Se postuló al Segundo Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio, organizado por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Pontificia Universidad Católica de Chile y por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile a efectuarse en Diciembre del 2016.

La convocatoria es abierta a académicos, investigadores y estudiantes de Doctorado de las Facultades participantes, además de estudiantes de pregrado en fase de titulación y alumnos de magíster pertenecientes a estas comunidades académicas para participar en sesiones de exhibición de posters de actividades de investigación y tesis.

Para participar del Congreso Intersecciones se tuvo que enviar un abstract el cual era revisado por una comisión. Una vez que esté abstract fuese aceptado se enviaba un poster que contenía la investigación desarrollada.

El eje temático en el cual se eligió participar es Materiales y Prototipos. Este eje pretende mostrar resultados de investigación que vengan de la búsqueda y exploración aplicada, que se vinculen con la innovación y el trabajo creativo.

7.4 Colaborador Workshop Bio-design

Debido a las redes que se generaron durante el curso de tiempo que duró la investigación, la Fundación Fungi me contacto con Fernan Federici quien trabaja en el Laboratorio de Biología Sintética Ci UC para ser colaborador en el workshop biodesign.

Este workshop abierto a ingenieros, biólogos, diseñadores y arquitectos, busca explorar la aplicación de lógicas de diseño a la síntesis y programación de sustratos biológicos. Posibilidades morfológicas que se pueden obtener a partir de la biología sintética para generar estructuras desde el

uso directo y la programación de sistemas biológicos tales como bacterias y hongos.

El workshop fue organizado por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos y por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Contó con especialistas internacionales en biodiseño, entre ellos Philip Ross fundador de Mycoworks, uno de los referentes usados en esta investigación.

La participación que se tuvo fue organizar y realizar un taller práctico de biofabricación de materiales, es decir un taller práctico de como fabricar el material micelio.

Además se realizó una charla sobre la investigación llevada a

cabo, desde como se origino hasta los alcances esperados.

La posibilidad de realizar este taller permitió que se trabajara en el Laboratorio de Biología Sintética Ci UC, ubicado en el campus San Joaquín. En el laboratorio se adquirieron nuevos conocimientos, (esterilización por medio de autoclave, preparación de medio de cultivo, normas de trabajo, entre otras). Se generaron redes lo que permitió llevar a otras disciplinas esta investigación y de esta manera resultaban conversaciones muy positivas en cuanto a las posibilidades del material micelio y la perspectiva de otras profesiones.

WORKSHOP bio design
jornada de cierre

LUNES
16 DE MAYO
Salón Sergio Larraín
Campus lo Contador

15:00 Presentación
15:30 Federico Martelli (OMA)
16:30 David Benjamin (Columbia University)
17:30 Resultados Workshop
18:00 Mesa redonda
19:00 Cóctel de cierre

ORGANIZA
Fernan Federici (FCB UC)
Alejandro Sofía (FADEU UC)

AUSPICIA
Vicerrectoría de Investigación UC
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos UC

COLABORA
Facultad de Ciencias Biológicas
Laboratorio de Biología Sintética Ci UC
Fundación Fungi
Sebastián Rodríguez

Imagen 74. Afiche digital workshop bio design. Fuente Universidad Católica.



Imagen 75. Realización taller práctico de biofabricación. Charla via skipe de Phillip Ross. Fuente Universidad Católica.

7.5 Colaborador Museo del Hongo

Durante el desarrollo del workshop de biodesign se conoció al Diseñador Juan Ferrer que en ese momento estaba realizando una curatoría del mundo de los hongos como su proyecto de título. Es por este motivo que me invita a colaborar en su muestra, con mi investigación, para mostrar los usos contemporáneos de los hongos y la fabricación de materiales biobasados.

El Museo del Hongo se manifiesta por primera vez en el Club Social de Artistas y abre sus puertas durante el primer fin de semana de noviembre.

Históricamente, el reino fungi no ha recibido la misma consideración que el reino animal y vegetal, a pesar de ser éste el tercer gran reino de vida. Sólo en los últimos años hemos sido capaces de apreciar su lugar único y labor en los ecosistemas terrestres, donde cumplen funciones cruciales.

El Museo del Hongo busca inspirar y brindar a quienes lo recorran una comprensión general acerca del mundo de los hongos, presentando una introducción de contenido biológico, y luego una serie de instalaciones que representan variadas aplicaciones estéticas en colaboración con estos organismos. A su vez, se introducen investigaciones contemporáneas que permiten vislumbrar su potencial productivo y tecnológico, a través del estudio y utilización, respetuosa y responsable, de los hongos.

El Museo del Hongo se manifiesta por primera vez en el Club Social de Artistas y abre sus puertas durante el primer fin de semana de Noviembre.

Históricamente, el reino fungi no ha recibido la misma consideración que el reino animal y vegetal, a pesar de ser éste el tercer gran reino de vida. Sólo en los últimos años hemos sido capaces de apreciar su lugar único y labor en los ecosistemas terrestres, donde cumplen funciones cruciales.

El Museo del Hongo busca inspirar y brindar a quienes lo recorran una comprensión general acerca del mundo de los hongos, presentando una introducción de contenido biológico, y luego una serie de instalaciones que representan variadas aplicaciones estéticas en colaboración con estos organismos. A su vez, se introducen investigaciones contemporáneas que permiten vislumbrar su potencial productivo y tecnológico, a través del estudio y utilización, respetuosa y responsable, de los hongos.

Juan Ferrer
Curador



MUSEO DEL HONGO

VIERNES 4 /
19:00 hrs - Inauguración

SÁBADO 5 / 11 - 21 hrs
19:00 hrs - Proyección
película : "María Sabina
Mujer Espíritu" (1979)
Dir.: Nicolás Echeverría,
presentada por Giuliana
Furci, directora ejecutiva
Fundación Fungi.

DOMINGO 6 / 11 - 21 hrs
17:00 hrs - Meditación de
conexión con la tierra y
con el ser guiada por Andrea
Moro.
19:00 hrs - Live set Haití.

"UN CONTACTO DIRECTO
CON LAS RAÍCES
DESPEJADAS DEL SER"

ARTISTAS INVITADOS	
	RODRIGO ARTEAGA
	NICOLÁS OYARCE
	SEBASTIÁN RODRÍGUEZ
	ANDREA MORO
	JUAN SÁEZ
	ROSARIO URETA
	FERNÁN FEDERICI
	JIM HASSELOFF
	GIULIANA FURCI
	entre otros

COLABORAN



FONDA



Imagen 76. Afiche Museo del Hongo.
Fuente Juan Ferrer.



Imagen 77. Instalación del material micelio por Juan Ferrer.
Elaboración propia.

Imagen 78 .Instalación del material
micelio por Juan Ferrer.
Elaboración propia.





Imagen. *Cropinus Cornatus*
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Índice de imágenes y esquemas

Índice de imágenes y esquemas

Índice de imágenes

Imagen 1. Tablero fabricado en base a rastrojos de arroz, Kokoboard. Fuente materia.nl.

Imagen 2. Tablero fabricado en base a cáscaras de maní, Kokoboard. Fuente materia.nl.

Imagen 3. Tablero fabricado en base a rastrojos de lino y adhesivo bio-basado, LInex Pro Grass. Fuente materia.nl.

Imagen 4. Detalle del micelio que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo. Fuente wikimedia.org, License Public Domain.

Imagen 5. Digüeñe. Fuente Raimundo del Rio.

Imagen 6. Curso de introductorio de micología, Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia.

Imagen 7. Curso de introductorio de micología, Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia.

120 Imagen 8. Curso de introductorio de micología, Parque Altos de Cantillana. Elaboración propia.

Imagen 9. Packaging a base de micelio de un hongo y subproducto del maíz. Fuente [Ecovative](http://Ecovative.com).

Imagen 10. Instalación de material micelio, en el Museo de Arte Contemporáneo de Nueva York, por Phil Ross. Fuente [Mycoworks](http://Mycoworks.com).

Imagen 11. Mobiliario de material micelio en el museo de Arte Contemporáneo de Nueva York, por Phil Ross. Fuente [Mycoworks](http://Mycoworks.com).

Imagen 12. The Growing Lab, Maurizio Montalti. Fuente [Officina Corpuscoli](http://OfficinaCorpuscoli.com).

Imagen 13. Ejercicios exploratorios en base al micelio de un hongo, Maurizio Montalti. Fuente [Officina Corpuscoli](http://OfficinaCorpuscoli.com).

Imagen 14. Campo con rastrojos de Cebada. Fuente wikimedia.org, License Public Domain.

Imagen 15. Quema de rastrojos de cereales en la Región del Bío-Bío. Fuente [CONAF](http://CONAF.cl).

Imagen 16. Quema de rastrojos de cereales en la Región del Bío Bío. Fuente [CONAF](http://CONAF.cl).

Imagen 17. Rastrojo de trigo en la región del Bío-Bío. Fuente CONAF.

Imagen 18. Rastrojos de Alfalfa, mezclados con residuos agrícolas. Fuente flickr.com, License Public Domain.

Imagen 19. Cáscaras de Nuez acumuladas por vecinos que trabajan separando el fruto de la cáscara de nueces en la Comuna de Paine, en la Región Metropolitana. Elaboración propia.

Imagen 20. Saco con cáscaras de nuez para realizar las experimentaciones. Elaboración propia.

Imagen 21. Pleurotus Ostreatus. Fuente Flickr. Autor Brown D. Bajo licencia Creative Commons.

Imagen 22. Pleurotus Eryngii. Fuente Flickr. Autor Vicol E. Bajo licencia Creative Commons.

Imagen 23. Inoculación de la cepa Pleurotus Ostreatus en rastrojos de Trigo. Elaboración propia.

Imagen 24. Crecimiento del Micelio en muestra A1. Elaboración propia.

121

Imagen 25. Esterilización de instrumentos en autoclave de sobremesa. Elaboración propia.

Imagen 26. Pasteurización de sustratos. Elaboración propia.

Imagen 27. Preparación de los diferentes sustratos. Elaboración propia.

Imagen 28. Inoculación de la cepa Pleurotus Ostreatus en diferentes sustratos. Elaboración propia.

Imagen 29. Medio de cultivo PDA contenido en matraz Erlenmeyer junto con placas Petri y mechero tipo Bunsen. Elaboración propia.

Imagen 30. Crecimiento del micelio de hongo Trametes Versicolor en el medio de cultivo. Elaboración propia.

Imagen 31. Inoculación del micelio en el sustrato. Elaboración propia.

Imagen 32. Inoculación del micelio en los diferentes sustratos y su posterior recubrimiento para evitar la luz directa. Elaboración propia.

Imagen 33. Crecimiento del micelio en diferentes sustratos (cáscara de

nuez y viruta de pino). Elaboración propia.

Imagen 34. Detalle crecimiento del micelio en sustrato de cáscara de nuez. Elaboración propia.

Imagen 35. Trametes Versicolor con cáscara de nuez. Imagen. Elaboración propia.

Imagen 36. Detalle del micelio del tipo Trametes Versicolor envolviendo la cáscara de nuez. Elaboración propia.

Imagen 37. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa. Elaboración propia.

Imagen 38. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa. Elaboración propia.

Imagen 39. Probeta de material micelio fabricada con rastrojos de alfalfa. Elaboración propia.

Imagen 40. Diseños de tamiz de 3, 5 y 7 mm. Elaboración propia.

122 Imagen 41. Pasteurización del sustrato. Elaboración propia.

Imagen 42. Materiales para inocular la semilla de 'hongo' Trametes Versicolor en el sustrato cáscara de nuez. Elaboración propia.

Imagen 43. Render de cámara húmeda para disponer de las muestras del material micelio. Elaboración propia

Imagen 44. Circuito para la medición de humedad y temperatura mediante hardware y software Arduino. Elaboración propia.

Imagen 45. Detalle de la contaminación del material micelio por el hongo Trichoderma. Elaboración propia.

Imagen 46: Detalle de la contaminación del material micelio por el hongo Trichoderma. Elaboración propia.

Imagen 47. Ensayo de compresión de una probeta cilíndrica de hormigón. Fuente [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compression_test.jpg), License Public Domain.

Imagen 48. Ensayo degradabilidad en interior. Elaboración propia.

Imagen 49. Ensayo degradabilidad en exterior. Elaboración propia.

Imagen 50. Vista superior y frontal del poliedro irregular de seis y ocho caras. Elaboración propia.

Imagen 51. Vista isométrica poliedro irregular de seis y ocho caras. Elaboración propia.

Imagen 52. Crecimiento del material micelio en molde de PAI, y curado de la probeta en horno eléctrico. Elaboración propia.

Imagen 53 . Poliedro irregular de 6 caras fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 54. Poliedro irregular de 6 caras fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 55. Poliedro irregular de 8 caras fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 56. Vista superior y frontal curvas simples. Elaboración propia.

Imagen 57. Vista isométrica curvas simples. Elaboración propia.

Imagen 58. Detalle del molde de PAI en el ejercicio curvatura simple. Elaboración propia.

Imagen 59. Curvatura simple fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 60. Curvatura simple fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 61. Vista superior y frontal pirámides cuadrangulares rectas. Elaboración propia.

Imagen 62. Vista isométrica pirámides cuadrangulares rectas. Elaboración propia.

Imagen 63. Crecimiento del material micelio en molde de PAI. Elaboración propia.

Imagen 64. Detalle del proceso desmolde. Elaboración propia.

Imagen 65. Pirámide cuadrangular recta fabricada con material micelio. Elaboración propia.

Imagen 66. Vista superior y frontal palmetas con texturas triangulares. Elaboración propia.

Imagen 67. Vista isométrica palmetas con texturas triangulares. Elaboración propia.

Imagen 68. Detalle del proceso desmolde. Elaboración propia.

Imagen 69. Fractura de la pieza debido a la complejidad geométrica del molde. Elaboración propia.

Imagen 70. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Aplica tu idea'. Elaboración propia.

Imagen 71. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Aplica tu idea'. Elaboración propia.

Imagen 72. Portada de la postulación a fondo 'Impacta Energía'. Elaboración propia.

Imagen 73. Captura de pantalla al video de postulación a fondo 'Impacta Energía'. Elaboración propia.

Imagen 74. Afiche digital workshop bio design. Fuente Universidad Católica.

Imagen 75. Realización taller práctico de biofabricación. Charla via skipe de Phillip Ross. Fuente Universidad Católica.

Imagen 76. Afiche Museo del Hongo. Fuente Juan Ferrer.

Imagen 77 .Instalación del material micelio por Juan Ferrer. Elaboración propia.

Imagen 78.Instalación del material micelio por Juan Ferrer. Elaboración propia.

Índice de esquemas

Figura 1. Sistema lineal de producción. Elaboración propia.

Figura 2. Sistema cerrado en el ecosistema. Elaboración propia.

Figura 3. Sistema que usa conceptos de la Ecología Industrial. Elaboración propia.

Figura 4. Estructura de un hongo de sombrero. Fuente Guía de Campo Hongos de Chile.

Figura 5. Producción Histórica de maíz y trigo, principales cereales cultivados en Chile. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración propia.

Figura 6. Producción de rastrojos en base a los cultivos históricos de cereales en Chile. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración propia.

Figura 7. Cultivos de nogal en el territorio nacional. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración propia.

Figura 8. Cultivos de nogal en el territorio nacional. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración propia.

Figura 9. Cultivo del Nogal en las Provincias de la R. M. Fuente ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile. Elaboración Propia.

Figura 10. Ventas históricas de nueces con cáscara y sin cáscara. Fuente ODEPA. ELaboración Propia.

Figura 11. Diferentes tipos de hongos utilizadas por investigadores. Elaboración propia.

Figura 12. Muestras Experimentación I. Elaboración Propia.

Figura 13. Flujo de Trabajo Experimentación I.

125

Figura 14. Muestras Experimentación II. Elaboración Propia.

Figura 15. Flujo de Trabajo Experimentación II.

Figura 16. Muestras Experimentación III. Elaboración Propia.

Figura 17. Flujo de Trabajo Experimentación III.

Figura 18. Muestras Experimentación IV. Elaboración Propia.

Figura 19. Flujo de Trabajo Experimentación IV.

Figura 20. Esquema del ensayo Resistencia al impacto. Elaboración propia.



Imagen. Amanita
Autor P. Klincksieck
Atlas des champignons comestibles
et vénéneux, Paris (1891).
License Public Domain

Bibliografía

Bibliografía

Braungart M., McDonough W. (2002). Cradle to Cradle. Editorial Editorial McGraw-Hill, paginas 186. Madrid, España

Bravo J. (2010). El mercado de frutos secos, ODEPA. Ministerio de Agricultura. Informe n°1, páginas 23. Chile

Bravo, J. (2012). Industria de frutos secos, evolución destacada y amplio potencial, ODEPA. Ministerio de Agricultura. Informe n°1, 11 páginas. Chile

Biomicelios (2016). Laboratorio de producción de micelios y semillas, de biomicelios url: <http://biomicelios.com/micelios/>

Carson R. (1962). The silent spring. Editorial Crítica. Madrid, España

Cervantes G. 2007. Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. Paper, 21 páginas. México.

Chilenut (2002). Asociación de productores y exportadores de nueces de Chile, de Chilenut url: <http://www.chilenut.cl/>

128

Chilean Walnut Commission (2009). Asociación gremial que reúne a procesadores y exportadores de nueces de Chile, de Chilean Walnut Commission url: <http://www.chileanwalnut.com/>

Cisternas C. (2002). Características generales del cultivo del Pleurotus Ostreatus de, Hongos.cl url: <http://hongos.cl/es/pleurotus-ostreatus>

CIREN (2013). Actualización Catastro Frutícola Región Metropolitana. Informe Final, 112 páginas. ODEPA. Ministerio de Agricultura. Chile

CONAF (2010). Manejo y uso de rastrojos. Ficha n°7, 3 paginas, Ministerio de Agricultura, Chile

CONAF (2012). Información importante sobre quemas controladas. Folleto n°1, 12 páginas. Ministerio de Agricultura. Chile

CONAMA (2008). Biodiversidad de Chile Patrimonio y desafíos. Editorial Ocho Libros Editores, 640 páginas. Chile

Ecovative (2016). Grow It Yourself Mushroom Materials, de Ecovative url:<http://giy.ecovatedesign.com/>

Escobar V., Hernando A. (2008) Materiales y procesos de manufactura en innovación. Metodología para innovar desde nuevas perspectivas. Actas de Diseño, Volumen 5, 259 páginas. Argentina

Furci G. (2007). Fungi Austral; Guia de campo de los hongos más vistosos de Chile. Andros Impresores, 200 páginas. Chile

Furci G. (2013). Guia de campo. Hongos de Chile. Andros Impresores, 256 páginas. Chile

Gaitan-Hernandez (2002). Manual práctico del cultivo de setas, Aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología, A.C., 37 páginas. México

Manzini E., Biguez J. (2000). Ecología y Democracia, De la injusticia ecológica a la democracia ambiental. Editorial Icaria, páginas 95. Barcelona, España

ODEPA (2014). Frutos Secos y Deshidratados. Situación Actual. Presentación, 38 páginas. Ministerio de Agricultura. Chile

ODEPA (2016). Cereales, de ODEPA url: <http://www.odepa.cl/rubro/cereales/>

ODEPA (2016). Información nacional de superficie sembrada, producción y rendimientos anuales. Ministerio de Agricultura. Chile

ODEPA (2016). Superficie plantada nacional, regional, número de huertos e infraestructura frutícola. Ministerio de Agricultura. Chile

Ruiz C. (2015). Rastrojos de cultivo y residuos forestales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín 308, 193 páginas. Chile

Salazar V. (2016) Amanita diemii Singer y Amanita merxmelluerei Bresinsky & Garrido (Agaricales, Basidiomycota), Las amanitas comestibles de Chile. Paper, 8 páginas. Universidad de Concepción. Chile.

Stamets P. (2005). Mycelium Running. Editorial Ten Speed Press, 356 paginas. EE.UU.

Taladriz A., Schwember A. (2012). Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos?, Revista Agronomía y Forestal UC, Revista 46, 24 páginas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

