

Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales

Biobased material made of wood rotting fungus and residues from the agricultural industry

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

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%. La geografía local y el clima favorecen el desarrollo de los hongos en Chile, siendo la zona central y sur las que poseen las variables necesarias para la vida de éstos.

Para el desarrollo de la investigación se colectaron, identificaron y propagaron hongos descomponedores de madera del género basidiomicetos, en particular se trabajó con las especies *Pleorotus ostreatus* y *Trametes versicolor*. A partir de este desarrollo se pretende obtener una tipología de posibles materiales biobasados.

Por otro lado, la industria agroindustrial genera una enorme cantidad de residuos. Según ODEPA en el periodo 2015/2016 el residuo del cultivo de cereales correspondió a 2.1 millones de toneladas (ODEPA, 2016).

Se evaluaron y caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas del material. En base a lo anterior se investigan posibles áreas del diseño donde se pudiese proyectar y desarrollar el uso de este material biobasado.

Palabras clave: biofabricación, ecología industrial, hongos descomponedores de madera, nuevos materiales, residuos agroindustriales

Financiamiento: Fondart Nacional. Diseño, Línea Investigación; Biodesign, Diseño de sistemas constructivos de código abierto a partir de hongos nativos.

Fecha de recepción: 23/07/2018

Fecha de aceptación: 05/09/2018

Cómo citar: Rodríguez Jara, S. (2017) Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. RChD: creación y pensamiento, 3(5), 1-15

doi: 10.5354/0719-837X.2018.50632

Revista Chilena de Diseño,
rchd: creación y pensamiento
Universidad de Chile
2018, 3(5)
<http://rchd.uchile.cl>

Abstract. This investigation frames on the exploration and experimentation of a new bio-based material, composed from the utilization of the fungi mycelium that decomposes wood and sub-products of the agricultural industry. In Chile, more than 3000 fungi species are registered (Mujica y Vergara, 1980), of which only 10% have being described. The geography and weather of this country stimulate the fungi development, especially in the central and the south side, which has the right variables for their life.

For this research, the wood rotting fungus of the basidiomycetes division was collected, identified and reproduced. In particular with the *Pleorotus ostreatus* and the *Trametes versicolor* species. From this research it is intended to obtain a typology of possible bio-based materials.

On the other side, the agricultural industry generate a big amount of waste. According to ODEPA, in the years 2015- 2016 the waste of cereal crop was of 2.1 millions tons. (ODEPA, 2016).

The physical and mechanical properties of this material are being evaluated, for it application in design areas, defining it possible use.

Keywords: agricultural waste, biofabrication, industrial ecology, new materials, wood rotting fungus.

Introducción

La investigación que se presenta a continuación se origina a partir de dos aristas. La investigación y desarrollo de nuevos materiales a partir de organismos biológicos y la posibilidad de reutilizar desechos originados por la agroindustria como materia prima, que permita a este material dotarlo de características sostenibles, en la cadena de producción y vida útil de este. 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 la historia. En la actualidad un diseñador 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, dándole características, propiedades, funciones, usos, entre otros atributos. Este desarrollo, por lo general es parte de una investigación teórica/práctica, que abarca desde experimentaciones, prototipos y muchas veces empaquetamientos con fines comerciales. Si la investigación es concluyente existe la posibilidad de proponer e introducir nuevos materiales para la manufactura de nuevos productos.

Estamos en un momento donde el desarrollo sostenible y la ecología industrial nos guían a añadir atributos a los materiales que no necesariamente son de desempeño físicos, mecánicos o comerciales, de esta manera consideramos nuevos factores en la manufactura, proceso, uso, descarte, entre otros, de estos nuevos materiales y así generamos un diseño más consciente y acorde a nuestro ecosistema.

Hacia un 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 de 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 ha 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, y basarse en recursos renovables, garantizando además que estos se renueven y optimizando los recursos no renovables.



Cradle to Cradle

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 & Mc-Donough, 2002). La basura, la contaminación, los productos de mala factura son consecuencia de malos diseños, nula planificación, y economías neoliberales (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 y la industria minera 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. 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 un punto de vista romántico, no con datos empíricos de la situación ambiental. 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.

Esta inquietud incipiente se formaliza a nivel mundial y gubernamental, con la publicación del Informe encargado a Gro Brundtland, *Nuestro Futuro Común* (ONU, 1987). En él se enfrenta y contrasta la postura de desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental, cuestionando la manera en que se producía riqueza con costos ambientales altos que además no permitirían a las futuras generaciones tener las mismas oportunidades por el consumo de los recursos naturales no renovables.

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 industria, el medio social y natural que tiende a cerrar el ciclo de materia y energía (ver figura 2). El cierre de ciclo de material se consigue

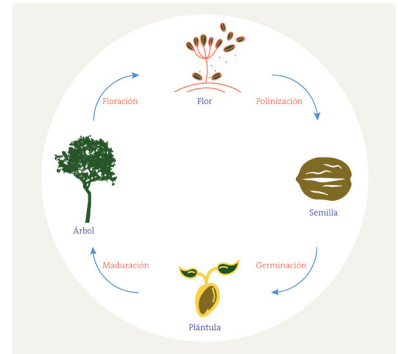


Figura 1. Sistema Lineal de Producción.

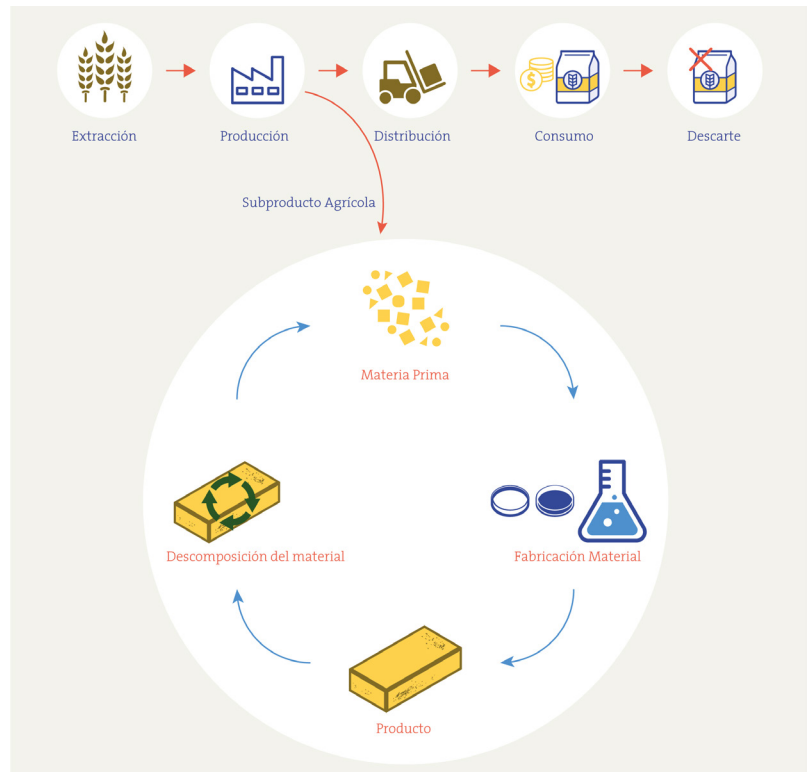
Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Ecosistema natural.

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Ecología Industrial.

Fuente: elaboración propia.



4

en parte usando los residuos de una industria como 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 evolucionara 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 mejoran los puestos de trabajo, se generan redes de colaboración que trae consigo beneficios para la comunidad (Lowe et al. 1997). Esta investigación se plantea bajo los postulados de la Ecología Industrial y el desarrollo sostenible (ver figura 3). Se pretende desarrollar un material que considere la energía necesaria para su manufactura, la distancia de donde se obtiene la materia prima, el impacto ambiental que genera su uso y descarte entre otras características.

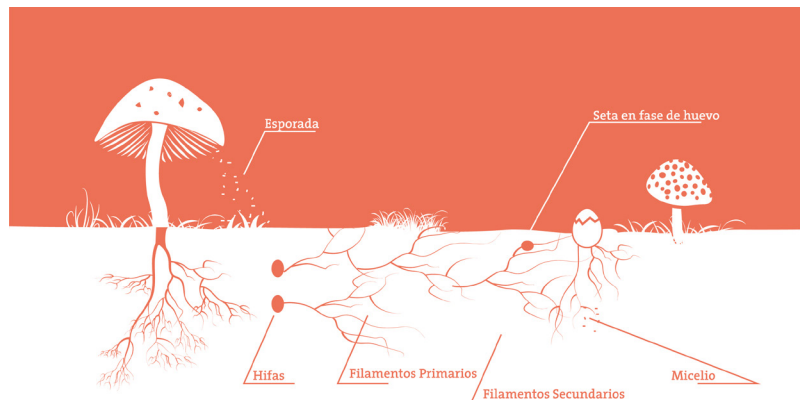


Figura 4. Estructura de un hongo tipo sombrero.
Elaboración propia.

¿Por qué trabajar con Hongos?

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, animales e incluso permiten el desarrollo de la vida humana. Estos organismos están presentes en todos los medios y ecosistemas; en el agua, suelo, aire, prados, bosques, y hasta 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, papel, entre otros (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.

Los hongos se desarrollan preferentemente en lugares húmedos y oscuros ya que no necesitan de la luz directa del sol para sobrevivir. Estos 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 períodos de tiempo muy cortos.

El Reino Fungi en Chile

En Chile se han registrado más de 3.000 especies de hongos (Mujica y Vergara, 1980), de las cuales solo se ha descrito un 10%. Los 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. 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. Por lo tanto, se hace cada vez más importante y relevante conocer las especies del Reino Fungi 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).

Hongos descomponedores de madera

La madera está formada por tres polímeros. La celulosa, que es el elemento constitutivo de la madera, desde el punto de vista químico y es un polímero natural formado por unidades de glucosa. La hemicelulosa forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal y 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. Los tipos de descomposición de la madera se clasifican en tres:

- **Hongos de podredumbre parda:** Estos 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:** Capaces de modificar la lignina y provocar un ablandamiento de la madera.
- **Hongos de podredumbre blanca:** Estos se alimentan de la lignina, dejando la celulosa a la vista, que causa el color blanco de la madera.

Se decide trabajar con hongos descomponedores de madera, ya que estos hongos son capaces de descomponer un sustrato y modificarlo con el micelio, de esta manera es posible desarrollar nuevos materiales. Además, en Chile existe una gran variedad de hongos descomponedores de madera, lo que podría constituirse en variados mecanismos de biofabricación.

Subproductos Agroindustriales

La industria agrícola y forestal genera una enorme cantidad de residuos. Según ODEPA en el periodo 2015/2016 el residuo del cultivo de cereales correspondió a 2.1 millones de toneladas.

El manejo de estos residuos no está planificado, 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 Bío Bío y de la Araucanía es manejada con quema, es decir, cerca de 170 mil hectáreas y 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. No obstante, cuando el rastrojo no se quema y se deja en el suelo este sí 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, además incrementa la retención de humedad por más tiempo (Taladriz & Schwember. 2012).

Aún así el factor económico, la poca innovación en el sector agrícola, y el poco conocimiento de los agricultores hacen que la solución más rápida y



Figura 5. *Ganoderma australe* y detalle microscópico del micelio, Tierra del Fuego. Elaboración propia.

‘efectiva’ sea el quemarlos. Más aún cuando en la legislación vigente se permiten las quemadas controladas (Ministerio de Agricultura 1980).

Podemos concluir que existe la real posibilidad de utilizar estos residuos agrícolas como materia prima para el desarrollo de un nuevo material biobasado, pensando que existe el interés del sector agrícola por deshacerse de manera rápida y económica de estos, que en nuestra investigación son nuestra materia prima. Desde esta parte de la investigación nombraremos a los residuos agrícolas y frutícolas como **subproductos**, ya que su definición indica que un subproducto “es el residuo de un proceso que se le puede sacar una segunda utilidad” (FAO, 2016). En esta investigación se usaron dos tipos de subproductos: Agrícolas y Frutícolas, rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos, respectivamente.

Metodología/Desarrollo

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 (rastrosos de cereales) y subproductos de la industria frutícola (cáscaras de frutos secos). Se determinó el método constructivo y se fabricaron muestras en laboratorio y aplicaciones demostrativas.

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 **material micelio**. Un material micelio está compuesto por dos elementos, el **micelio del hongo descomponedor de madera** y el **sustrato**.

Se identifica y categoriza tanto a los tipos de hongos, como a los sustratos que usamos en las muestras experimentales. Con el fin de establecer un método para la conformación del material micelio, se utilizaron técnicas del cultivo de hongos comestibles y se emularon 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 (2016). 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 bajo costo en las dependencias del investigador.

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, rastrosos de cereales y cáscaras de frutos secos.

De esta manera se seleccionan los rastrosos 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 postcosecha del trigo fue difícil encontrar su rastrojo.

Dentro de los frutos secos se seleccionó la cáscara de nuez. El criterio para seleccionar la cáscara de nuez es que su uso postcosecha 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.

Tipo 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 colecta con fines medicinales.

Para poder desarrollar un material con un micelio denso, que crezca rápidamente (Lelivelt, 2015) y que sea relativamente fácil de cultivar se consultó a expertos, se revisó bibliografía de cultivo de hongos comestibles, y fuentes de



Figura 6. *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*, Parque Karukinka. Fuente: Elaboración propia

investigación relacionada al desarrollo de material micelio (France, 2000). 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 en un laboratorio de baja complejidad.

9

Conformación del material

Para la conformación del material biobasado se desarrolló un flujo de trabajo similar al utilizado en el cultivo de hongos comestibles. Este método proporcionó los materiales necesarios y equipamiento para su manufactura, lo que en definitiva resulta muy similar a una receta, con un paso a paso detallado de cada etapa, en este caso este método está dividido en 5 etapas de trabajo.

Paso 1. Preparación del sustrato.

- 1.1 Limpiar el área de trabajo con alcohol al 70%.
- 1.2 Lavar el sustrato (en este caso cáscara de nuez).
- 1.3 Triturar el sustrato.
- 1.4 Tamizar el sustrato en 3mm y 5mm respectivamente.
- 1.5 El sustrato se pasteuriza a 100°C por 60 minutos.
- 1.6 Depositar 300gr de sustrato en frascos de conserva y cerrar, permitiendo intercambio de aire.

Paso 2. Crecimiento del micelio

- 2.1 Añadimos 30gr de 'semillas de hongo' al frasco de conserva que contiene el sustrato y agitamos.
- 2.2 Añadimos 40gr de harina sin polvos de hornear (la harina funciona como

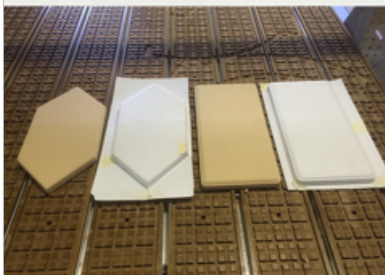
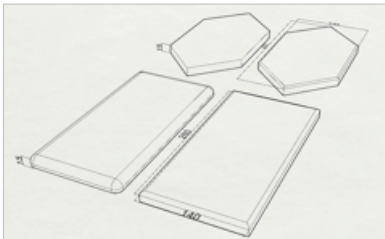


Figura 7. Crecimiento del micelio en cáscara de nuez. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Desarrollo moldes. Fuente: Elaboración propia..

suplemento alimenticio para el hongo).

2.3 En un área limpia, dejamos que el hongo colonice el sustrato por 5 a 8 días. El sustrato se volverá blanco.

Paso 3. Preparación del molde

3.1 Ideación y bocetos del molde.

3.2 Diseño del molde en un software de modelamiento, en este caso se trabajó en Rhinoceros 5.0.

3.3 Se maquinó el diseño en la router CNC, a través del software RhinoCam, en un MDF de 18mm de espesor.

3.4 Se termoformo en Poliestireno de Alto Impacto de 1mm de espesor (PAI).

Paso 4. Crecimiento del Micelio en el molde.

4.1 Pasados los 5 a 8 días remover el material micelio de los frascos de conserva y lo vertimos en un contenedor.

4.2 Revolver.

4.3 Añadimos nuevamente 40gr de harina sin polvos de hornear.

4.4 Revolvemos.

4.5 Rellenamos los moldes con el material micelio.

4.6 Sellamos los moldes con *film* plástico.

4.7 Con un bisturí hacemos perforaciones en el film plástico para permitir intercambio de aire.

4.8 En una área limpia dejamos nuestros moldes con el material micelio para que este crezca nuevamente. Este crecimiento dura entre 8 a 10 días.

Paso 5. Horneado del material micelio.

5.1 Desmoldamos el material micelio y lo colocamos en un horno a 170°C por 20 minutos.

5.2 Bajamos la temperatura a 100°C por 40 minutos. Abrimos la puerta del horno cada 20 minutos para permitir que la humedad salga.

Con esta metodología conformamos nuestro material micelio, que nos permitió desarrollar las aplicaciones demostrativas para ensayar física y mecánicamente el material.

Resultados del desarrollo del material

Caracterización Física y Mecánica

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 artículo se describe de qué manera el material micelio fue sometido a diferentes ensayos. Revisamos los estándares usados, y bajo qué norma se hicieron.

Los ensayos físicos, mecánicos y de resistencia a agentes externos se efectúan con el fin de tener una perspectiva de cómo es el material y cómo 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 este material debido a la similitud de su conformación respecto al material

micelio, (partículas aglomeradas por un adhesivo). Estos dos materiales son de uso interior y no son estructurales.

Estándares utilizados para la realización de las pruebas

El nuevo material 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 la placa de yeso cartón. La densidad del material micelio resultó ser de 149.37 kg/m^3 y la densidad de la placa de yeso cartón, es de 100 kg/m^3 . Consultando a un Ingeniero de Procesos que trabaja en una planta que fabrica placas de yeso cartón (Empresa Romeral), indicó que esta diferencia no es causa de problemas al momento de realizar las pruebas. 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.

Preparación del material.

Los moldes que contienen las probetas fueron diseñados 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 una cámara húmeda de bajo costo por alrededor de 10 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 40 minutos a 100°C para que la pieza perdiera cerca del 20% de humedad.

Resumen de los ensayos

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

Caracterización

- 1) Análisis dimensional
 - a. Largo
 - b. Ancho
 - c. Alto
- 2) Peso
- 3) Ángulo de borde
- 4) Densidad



Figura 9 y Figura 10. Prototipo material micelio.

Fuente: Elaboración propia.

5) Masas específica

6) Humedad libre

Propiedades Físicas

1) Absorción de humedad

2) Dureza

a. Centro

b. Borde Longitudinal

c. Borde Transversal

Propiedades Mecánicas

1) Resistencia al impacto

2) Resistencia a la compresión

3) Resistencia al clavado

a. Núcleo

b. Borde longitudinal

c. Borde transversal

Análisis de los resultados

Tabla 1. Caracterización físico-mecánica. Material micelio. Fuente: Elaboración propia.

Tabla resumen de la caracterización físico-mecánica del material micelio.

Caracterización	Unidad	Tablero Madera				Material Micelio				Placa Yeso-Cartón	
		M1	M2	M3	Prom.	M1	M2	M3	Prom.	RH 12,5	RH 15
Caracterización											
1.1 Análisis dimensional											
1.1.1 Largo	cm	30	30	30	30	25,3	25,2	25,2	25,2	240	240
1.1.2 Ancho	cm	15	15	15	15	12,6	12,6	12,7	12,6	120	120
1.1.3 Alto	mm	12,04	12,05	12,13	12,1	11,57	14,04	12,76	12,8	12,5	15
1.2 Peso	g				338,6				181,3		
1.3 Ángulo de borde	°	89	89	89	89	83	85	84	84	90	89,9
1.4 Densidad	kg/m3				623,3				444,6	708,2	710,1
1.5 Masa específica	g/m2				7525				5687	8852	10651
1.6 Humedad libre	%				0,43%				0,17%	0,50%	0,50%
Ensayos Físicos											
2.1 Resistencia al agua por inmersión	%				6,70%				15,00%	5,50%	4,80%
2.2 Resistencia a la absorción superficial	%										
2.3 Dureza											
2.3.1 Núcleo	Shore C	93	94	93	93,3	26	27	31	28	67	68
2.3.2 Borde longitudinal	Shore C	61	65	61	62,3	23	16	14	17,7	64	66
2.3.3 Borde transversal	Shore C	76	75	69	73,3	16	14	12	14	52	51
Ensayos Mecánicos											
3.1 Resistencia al impacto	mm	10	11	13	11,3	0	0	0	0	15,1	15
3.2 Resistencia a la compresión	MPa				5,35				1,21	4,14	3,87
3.3 Resistencia a la flexión	kgf										
3.4 Resistencia al clavado											
3.4.1 Núcleo	mm	8	8,1	8,7	8,3	0	0	0	0	5,6	5,9
3.4.2 Borde longitudinal	mm	5,6	6,2	4,3	5,4	0	0	0	0	5,6	5,9
3.4.3 Borde transversal	mm	6	4,8	4,5	5,1	0	0	0	0	5,7	5,8

Conclusiones y proyecciones

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

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

La etapa de experimentación permitió entender cómo se comporta el material en condiciones ambientales diferentes. En un ambiente controlado (temperatura, humedad), el material no se degrada, pero sí presenta algunos cambios en la inspección visual (color, textura, porosidad) que no afectan su comportamiento físico mecánico. En un ambiente no controlado (temperatura, humedad, radiación, luz, entre otros) el material presenta cambios en su comportamiento físico mecánico ya que este comienza a degradarse y descomponerse. Sin embargo, debido a la información obtenida en las series de experimentaciones realizadas en laboratorio podemos plantear que es posible diseñar desde el laboratorio las características del material. Es decir, combinando un tipo de hongo específico y un tipo de sustrato específico podríamos conformar materiales más resistentes a esfuerzos como la compresión o el impacto o materiales más flexibles. Desde el punto de vista del diseñador esta propiedad del material permitiría proponer e introducir nuevos materiales para la manufactura de productos con diferentes características, pero con un proceso de manufactura similar.

Las aplicaciones demostrativas generaron una pauta de cómo podríamos diseñar un proceso de manufactura con este tipo de materiales. Se establecieron geometrías básicas, (tamaños, ángulos, espesores, resolución, escala) donde el material se adapta de manera correcta. Además, se estableció un flujo de trabajo desde la obtención de la materia prima pasando por parámetros de diseño (moldaje, diseño, incubadoras, secadoras, entre otros) hasta su manufactura final.

La proyección de esta investigación experimental se enmarca en dos áreas del diseño. Por una parte, se espera que a este nuevo material se le apliquen más ensayos físicos y/o mecánicos. Debido a que la densidad del material permite que este flote un ensayo a agentes externos (radiación, salinidad, roce, entre otros) permitirá vislumbrar si este material es compatible como reemplazo a componentes flotantes plásticos usados en la industria pesquera artesanal, además se cuenta con la ventaja de que el material se adapta a diferentes geometrías y tipos de moldajes.

Para aprovechar la capacidad que tiene el material de descomponerse de manera natural sería interesante calcular su vida útil en condiciones ambientales específicas ya que de esta manera se podrían diseñar productos que necesiten esta característica. Como hipótesis inicial se plantea que el material tenga un uso 'itinerante' o de 'corta duración'. Materiales enfocados en el packaging de productos o en el recubrimiento de suelos para ferias, actividades culturales o cualquier actividad que requiera zonificación de áreas y que tenga entre sus características un uso itinerante o un periodo específico de uso. Otra opción sería la delimitación de senderos en parques que permitan generar los circuitos, zonas de descanso, entre otras utilidades.

El segundo enfoque es plantear una línea de producción. Esto implica aumentar la escala de producción del material, pasar de una experimentación de laboratorio y bajo costo a un proceso de manufactura semi industrial que permita el desarrollo y manufactura de productos a una escala mayor. Este salto de escala implica modificaciones en varias etapas del proceso productivo que hasta el momento no han sido abordadas, las capacidades de los equipamientos y la incorporación de nuevos (incubadora, pasteurizador, enfriador, estación de inoculación, bodega, entre otros), es decir se debería plantear un *layout* producción. Todas estas variables son necesarias de abordar en un siguiente proceso de investigación, así mismo la incorporación de profesionales de otras áreas tales como biotecnólogos, biólogos, arquitectos, sociólogos, micólogos, entre otros, permitirá el desarrollo de una investigación mas sólida, inclusiva y en concordancia con una nueva forma de hacer materiales.

Referencias

- Braungart M. & McDonough W. (2002). *Cradle to Cradle*. Editorial McGraw-Hill, pág. 186. Madrid, España
- Carson R. (1962). *The silent spring*. Editorial Crítica. Madrid, España.
- Cervantes G. (2007). *Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales*. México.
- Cisternas C. (2002). *Características generales del cultivo del Pleurotus Ostreatus* de, Hongos.cl url: [http:// hongos.cl/es/pleurotus-ostreatus](http://hongos.cl/es/pleurotus-ostreatus)
- 14 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 págs, Ministerio de Agricultura, Chile.
- CONAMA (2008). *Biodiversidad de Chile Patrimonio y desafíos*. Santiago: Editorial Ocho Libros Editores.
- Ecovative (2016). *Grow It Yourself Mushroom Materials*, de Ecovative url: <http://gij.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 págs. Argentina.
- Furci G. (2013). *Guía de campo. Hongos de Chile*. Andros Impresores, 256 págs. Chile.
- Gaitán-Hernández (2002). *Manual práctico del cultivo de setas, Aislamiento, siembra y producción*. Instituto de Ecología, A.C., 37 págs. México.
- Manzini E., Biguez J. (2000). *Ecología y Democracia, De la injusticia ecológica a la democracia ambiental*. Editorial Icaria, págs 95. Barcelona, España.
- 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 págs. Chile
- Stamets P. (2005). *Mycelium Running*. Editorial Ten Speed Press, 356 págs. EE. UU.
- 18 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 págs, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.