

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL  
POSGRADO DE DISEÑO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE ARQUITECTURA

MATERIAL BIO-COMPUESTO

BIOMATERIAL COMPUESTO POR MICELIO DE HONGO *GANODERMA SPP* Y SUS  
APLICACIONES EN EL DISEÑO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN DISEÑO INDUSTRIAL

PRESENTA:

TRIANA MARTÍNEZ GONZÁLEZ

TUTORES

MDI. ERICK IROEL HEREDIA CARRILLO

MDI. JULIAN COVARRUBIAS VALDIVIA

DR. MIGUEL EGUILUZ SENIOR

Facultad de Arquitectura, UNAM

SINODALES

DRA. NANCY CONTRERAS MORENO

Facultad de Ciencias, UNAM

MSc. BÁRBARA E. ARTEAGA BALLESTEROS

Departamento de Mecánica y Materiales avanzados, Tec de Monterrey

Ciudad Universitaria,  
MÉXICO, CDMX., SEPTIEMBRE 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Material BIO-compuesto

Biomaterial compuesto por  
micelio de hongo *Ganoderma spp.*  
y sus aplicaciones en el diseño

Maestra en Diseño Industrial

**Triana Martínez González**

Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Septiembre 2020



*A la Pachamama, que nos ha dado todo*



# Índice

Índice	5	Eucalipto México y Australia	60
Resumen	6	Propuestas	
Abstract	7	Aproximación al problema	62
Introducción		Experimentaciones	62
Introducción al problema	8	Metodología para quien decide	
Planteamiento del problema	8	incursionar con micelio	62
Antecedentes del problema	9	Moldes de crecimiento.	65
Estado del arte	15	Métodos de cultivo	
Conclusión de la investigación	25	Preparación de Papa,	
Metodología		Dextrosa, Agar.	66
Justificación del problema	27	Inóculo de Cultivo Líquido	68
Formulación del problema	27	Experimentaciones preliminares	
Pregunta de investigación	28	Experimentaciones en CDMX	71
Objeto de estudio	28	Experimentaciones en SymbioticA,	
Método de investigación		UWA, Perth, Australia.	76
Hipótesis	29	Protocolo de crecimiento final	86
Objetivo		Material resultante FUNGUY	88
General	29	Forma y características	89
Específico	29	Propuesta dentro de un sistema	95
Propuestas BIO y su relación con el diseño	30	Aporte al Diseño Industrial	98
Biopolímeros	30	Metodología generada	102
Biohacking MIT (Do it yourself		Conclusiones	104
biology)	31	Glosario	106
Biocompuestos	33	Bibliografía	109
Biodiseño	34	Imágenes y figuras	114
Sistema de degradación		Anexos	118
Biodegradación	36	Métodos de cultivo	118
Micoremediación	36	Preparación de PDA Potato, Dextrose Agar.	119
Compostabilidad	37	Equipo para laboratorio y condiciones de	
Economía azul	38	esterilidad	120
Reino Fungi		Moldes de crecimiento	
Funcionamiento básico	40	Taller “Experimentación con bioplásticos” 15, 22 y 29	
Phyla	40	de septiembre	123
Chytridiomycota	42	Taller “Laboratorio de experimentación” 3-7	
Glomeromycota	42	diciembre 2018	123
Zygomycota	43	Congreso BioFabricate	127
Ascomycota	43	Experimentación	
Basidiomycota	44	Experimentación I	130
Hifas	46	Experimentación II	130
Desarrollo de la investigación		Experimentación III	131
Reino fungi, variedades en la		Experimentación IV	132
CDMX	50	Experimentación V	133
<i>Pleurotus ostreatus</i>	52	Experimentación VI	133
<i>Ganoderma steyaertnum</i>	53	Experimentación VII	135
Especie viable y por qué	54	Experimentación VIII	137
Antecedentes		Experimentación IX	139
Desechos locales	55	Anotaciones de SymbioticA	140
Lirios, Xochimilco	55		
Fibra nopal, Milpa Alta	55		
Amaranto, Santiago			
Tulyehualco	56		
Viveros de Coyoacán,	57		
CDMX			

# Resumen

La concepción que tenemos de los desechos está basada en un ciclo de vida del producto que vive inmerso en un mundo comercial. Las economías circulares actualmente están proponiendo volver a un esquema de flujo de bienes que se cruzan generando un ciclo donde el final de un proceso se convierte en un complemento de otro hasta que el ciclo se cierra, imitando los ciclos de la naturaleza.

En este esquema de trabajo se busca encontrar un producto que sea desecho de un ciclo como punto de partida para darle un uso que genere mejoras en las esferas: social, ambiental y económico.

La idea de generar ciclos cerrados implica una reducción del impacto en el medio ambiente ya que, idealmente, se explota menos y se generan menos residuos. En este deseo de integrar los ciclos naturales en la economía circular, vale la pena pensar en los ritmos y tiempos de uso que hay.

Es aquí donde los tiempos del plástico de un sólo uso no son congruentes, ya que el corto uso que le damos y el largo tiempo que le toma degradarse no es compatible. En otras palabras, nuestro esquema de uso no es proporcional al tiempo que demoran las cosas en degradarse.

Es necesario entonces desarrollar materiales que les tome descomponerse de manera proporcional con los ciclos que le toma a la tierra generar los materiales para que el sistema pueda cerrarse.

Este trabajo busca generar un material biocompuesto al cultivar el micelio de un hongo tomando como alimento o punto de partida un desecho vegetal para ofrecer un producto que pueda integrarse en un sistema compuesto por ciclos que en su conjunto crean un ciclo de vida de sistema cerrado, que busca mejoras en el ámbito social, ambiental y económica.

De manera colateral se desarrolla una reflexión y crítica en torno a los biomateriales que surgen como soluciones o remplazos para plásticos derivados del petróleo y se pone en duda su factibilidad de producción industrial.

Fig. a Imagen macro de una red de micelio de *Pleurotus sp.*



# Abstract

*Fig. b Imagen macro de una red de micelio de Ganoderma sp.*



Our conception of waste is based on a product life cycle that lives immersed in a commercial world. Circular economies are currently proposing to return to a scheme of the flow of goods that intersect generating a cycle where the end of one process becomes a complement to another until the cycle is closed, imitating the cycles of nature.

This work scheme seeks to find a product that is waste from a cycle as a starting point to give it use that generates improvements in the spheres: social, environmental, and value.

The idea of generating closed cycles implies a reduction of the impact on the environment since, ideally, less is exploited and less waste is generated. In this desire to integrate natural cycles into the circular economy, it is worth thinking about the rates and times of use that there are.

It is here that the times of the single-use plastic are not consistent since the short use we give it and the long time it takes to degrade is not compatible. In other words, our usage scheme is not proportional to the time it takes for things to degrade.

It is then necessary to develop materials that take them to decompose proportionally with the cycles it takes for the earth to generate the materials so that the system can shut down.

This work seeks to generate a biocomposite material by cultivating the mycelium of a fungus taking as a food or starting point a vegetable waste to offer a product that can be integrated into a system composed of cycles that together create a closed system of the life cycle, looking for improvements in the social, environmental and value fields.

Collaterally, a reflection and criticism are developed around the biomaterials that emerge as solutions or replacements for plastics derived from petroleum, and their feasibility for industrial production is questioned.

# Introducción

## al problema

## Planteamiento del problema

“[...]la velocidad vertiginosa con la que adquirimos y nos deshacemos de los bienes de consumo, que sigue caracterizando a nuestra cultura material, ilustra un rechazo estructural de nuestra vivencia diaria y de la huella que pueda ir dejando en los objetos que tocamos cada día.”

(V. NAROTZKY, 1985)

Se toma como punto de partida inicial la problemática de contaminación global tanto de suelos como de océanos causada por plásticos derivados del petróleo. En concreto se comienza a analizar el problema vinculando los plásticos de un sólo uso<sup>1</sup>. Dada la magnitud y complejidad del problema, se comienza por hacer un análisis global

de la situación para ir acotando el tema principal de interés de este trabajo. Por compleja que sea la situación, los factores y variables se interrelacionan ya que pertenecen a sistemas pequeños y grandes que están vinculados entre sí. En la Fig. c que se muestra a continuación, se explica el proceso de decantación de problemáticas.

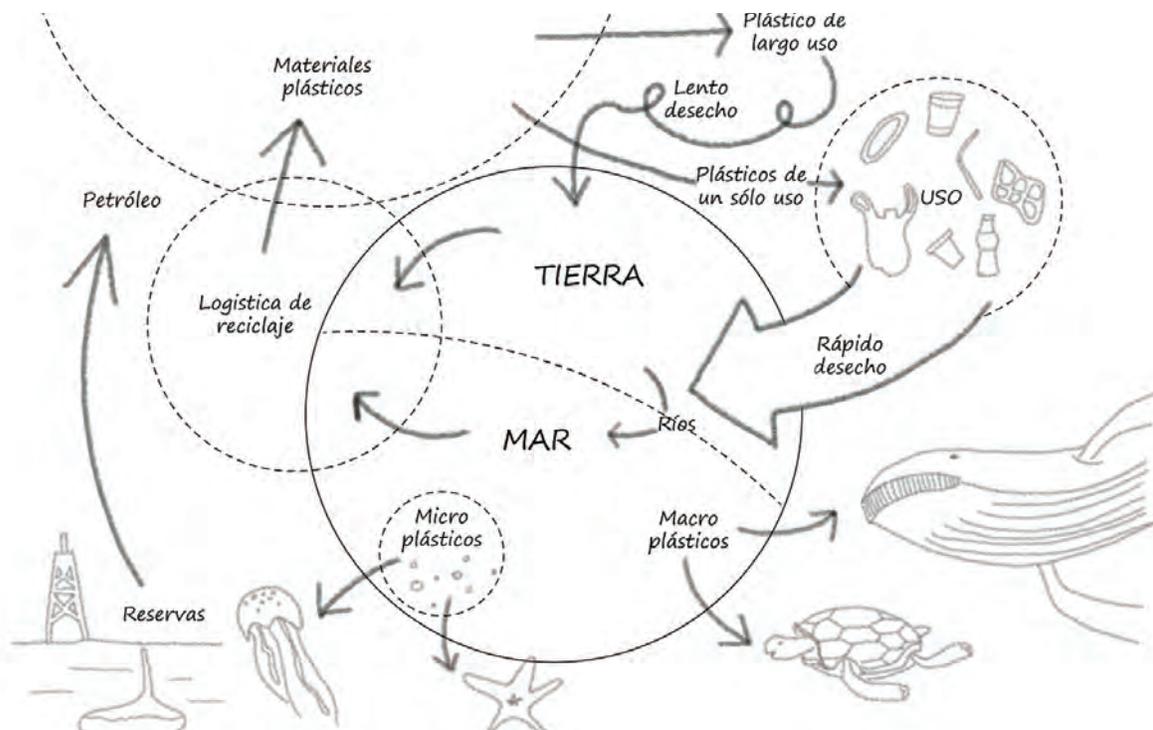


Fig. c Diagrama de flujo de plásticos de un solo uso y de largo uso y su incidencia en el medio ambiente como desecho tanto en la tierra como en el mar.

<sup>1</sup> A lo largo de este trabajo se llamarán de este modo: plásticos-de-un-sólo-uso o PDUSU a aquellos plásticos con fuentes derivadas del petróleo que se utilizan como desechables en distintos ámbitos. Algunos ejemplos serían bolsas, cubiertos, botellas, láminas y extruidos tubulares, por mencionar algunos.

## Antecedentes del problema

Comienzo con un breve repaso de la historia del polietileno incluyendo su uso en bolsas de un sólo uso para tener una idea global de nuestra interacción con este material:

En 1933, según un artículo publicado por la ONU<sup>2</sup> se crea el polietileno en Northwich, Inglaterra. Como mucha de la innovación tecnológica, sus primeros usos fueron en la industria militar, 30 años después fue la empresa sueca Celloplast, la que patentó la primera bolsa de plástico (PE) de una sola pieza, la cual fue diseñada por Sten Gustaf Thulin, según el mismo artículo.

Los siguientes años se empezó a utilizar progresivamente en todo el mundo por al menos 40 años. Fue hasta 1997 que Charles Moore, el investigador marino avistó y documentó por primera vez el creciente continente de basura en el mar. En una entrevista del 14 de octubre de 2019 que le hizo el periódico digital el país, dice que “Nos estamos ahogando en nuestros desechos. Vamos a vivir entre vertederos. No hay más remedio que reducir de inmediato el consumo, y no podemos hacerlo cuando las grandes empresas y los grandes inversores están haciendo nuevos productos, a miles, cada año”.<sup>3</sup> Hemos utilizado este material por menos de 100 años como humanidad y si seguimos a este paso, parafraseando a Moore, pronto habrá más plástico en el mar que peces. A continuación se narran historias y noticias con referencia a consecuencias que han habido por el manejo de materiales PDUSU (Plástico de un sólo uso) entre ellos el poliestireno.

El 16 de agosto de 2015, se publicó en varios

medios del mundo, en particular en la versión digital del periódico el país<sup>4</sup> un video de varios individuos tratando de sacarle un popote de la nariz a una tortuga. Quizá el video y el formato del mismo son de corte amarillista, sin embargo, apelando a la empatía de las personas y expresando un sufrimiento bastante claro, este video logró causar un efecto impresionante (al menos en



Fig. d Partículas de plástico extraídas de una tortuga.

<sup>2</sup> <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-historia-de-la-bolsa-de-plastico-desde-su-nacimiento-hasta-su> (consultado 4 marzo 2020)

<sup>3</sup> [https://elpais.com/sociedad/2019/10/08/actualidad/1570544274\\_398711.html](https://elpais.com/sociedad/2019/10/08/actualidad/1570544274_398711.html) (consultado 4 marzo 2020)

<sup>4</sup> [https://elpais.com/elpais/2015/08/16/videos/1439745455\\_952785.html](https://elpais.com/elpais/2015/08/16/videos/1439745455_952785.html) (consultado 20 febrero 2020)

México) respecto al uso de popotes. Me refiero al video que narra cómo un par de pescadores le sacan un popote de la nariz a una tortuga y en el proceso se deja ver claramente el sufrimiento del animal. Después de que este video se popularizara, empezaron a haber campañas en restaurantes en contra de los popotes ya que en el imaginario colectivo la idea de popote remitía directamente al sufrimiento de la tortuga. Esta sólo es una muestra del impacto que está teniendo el uso desmedido de PDUSU en el mundo.

El 19 de septiembre de 2018 *The New York Times* en español publicó un estudio relacionado con la vinculación de la ingesta de plástico por animales y su relación con la causa de muerte “En todo el mundo, más de la mitad de las tortugas marinas de las siete especies que existen ha comido desechos plásticos, de acuerdo con Britta Denise Hardesty, la autora responsable del estudio y científica investigadora principal que colabora con la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* de Tasmania. “Sin importar dónde estés, encontrarás plástico”, afirmó”.<sup>5</sup>

Aparentemente se escoge a las tortugas para hacer este estudio, ya que su tracto digestivo tiene una textura con forma de puas en dirección al interior lo cual evita que todo lo que no sea agua salga, esto hace que el plástico que han ingerido permanezca en sus intestinos toda su vida, por lo tanto se encuentra en el intestino al momento de hacer la examinación *post mortem*. A pesar de que varios ejemplares no mostraron signos de haber muerto por la ingesta de plástico, lo habían ingerido también. “en una tortuga marina había hasta 329 fragmentos”.

Se produjeron en 2015, 380 millones de toneladas de plástico.

Por otro lado, de acuerdo con un informe de *Greenpeace*<sup>6</sup> indica datos duros de producción de plástico en España; “Según la industria del plásticos, en Europa la producción de plástico alcanzó los 61,8 millones de toneladas en 2018.”

El 18 de septiembre de 2019 se publicó un reportaje del impacto de PDUSU en los animales marinos en el periódico digital *NewsWeek* por Aristos Georgiou<sup>7</sup> donde dice que -Todos los años, la humanidad produce al rededor de 300 millones de toneladas de plástico, cerca de 8 millones de toneladas de este material acaba en el océano -de acuerdo con el programa de medio ambiente de las Naciones Unidas-.<sup>8</sup> así mismo se recabaron una serie de imágenes de fotógrafos de todo el mundo que buscan concienciar del impacto que generamos hacer con estos desperdicios (así como el ejemplo de la tortuga con el popote). Dentro de esta investigación se busca atacar uno de los problemas que genera este tipo de resultados, la utilización desmedida de PDUSU, que aunado a la mala organización y falta de logística, acaba destruyendo fauna marina incidiendo así en otros elementos del sistema. -La mayoría del desecho de plástico y microplásticos en los océanos -cerca del 80%- se origina en tierra, donde es desechado hacia el mar vía ríos. Una gran parte del problema es el inadecuado uso de los desechos, de acuerdo con Gross-<sup>9</sup> Yendo antes del desecho, incluso el uso de este tipo de productos, se cuestiona el uso de los materiales y se cuestiona si hay algún tipo de alternativa.

Otro ejemplo que ocurrió en Japón (uno de los

5 <https://www.nytimes.com/es/2018/09/19/espanol/plastico-mata-tortugas-marinas.html> (consultado 21 febrero 2020)

6 <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/> (consultado 4 marzo 2020)

7 <https://www.newsweek.com/heartbreaking-images-plastic-pollution-ocean-1459494> (consultado el 21 de febrero 2020)

8 Cita textual: “Every year, humanity produces around 300 million tons of plastic, with about eight million tons of the material entering the world’s oceans—according to the United Nations Environmental Program”..

9 Cita textual: “The majority of plastic waste and microplastics in the oceans—around 80 percent—originates from land, where it is discharged into the sea via rivers. A big part of the problem is inadequate waste management, according to Gross.”

países que más recicla del mundo, donde se ubica la ciudad Kamikatzu que dice reciclar el 100% de sus desechos<sup>10</sup>) en Nara, un templo antiguo donde por miles de años han habitado renos que son considerados sagrados. El 7 de octubre de 2019 se publicó un artículo<sup>11</sup> de cómo nueve renos

murieron por haber ingerido bolsas de plástico del alimento que los visitantes les dan.

En todos los casos anteriores, se habla de casos de expresiones tangibles resultado del problema de la gran generación y presencia de PDUSU en el océano principalmente y en el mundo. Lo

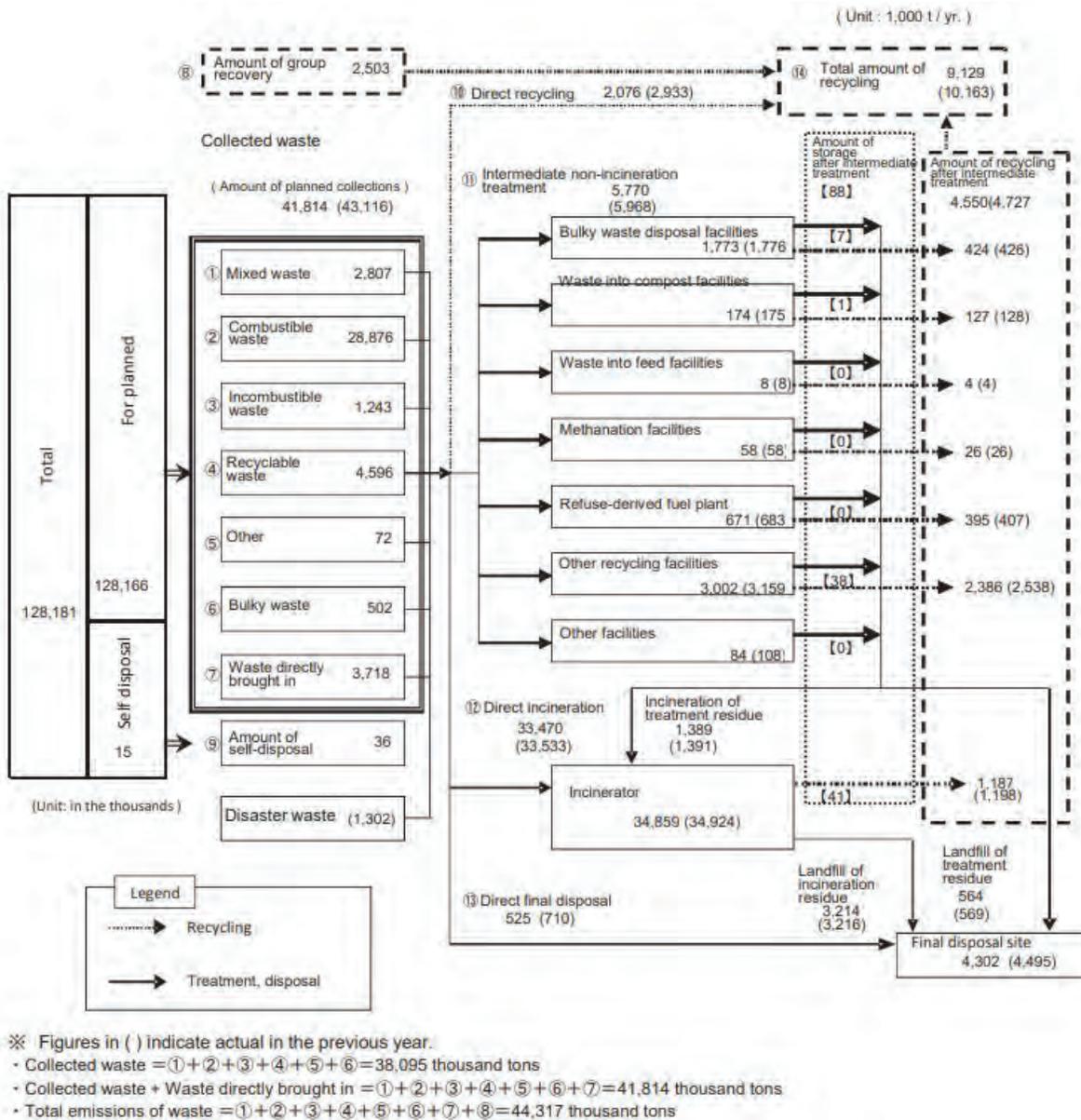


Fig. e Esquema de redistribución de desechos de Japón en 2017.

10 <https://www.scmp.com/news/asia/east-asia/article/2072602/japans-zero-waste-town-so-good-recycling-it-attracting-foreign> (consultado 21 febrero 2020)

11 <https://www.newsweek.com/japan-sacred-nara-deer-plastic-waste-1448473> (consultado 02 marzo 2020)

cierto es que hay implicaciones más profundas, de las que no hemos tenido casos comprobados, a lo mejor porque el problema es relativamente reciente. Sin embargo, dada la cadena alimenticia, pareciera ingenuo pensar que no vamos a tener afectaciones también los humanos a causa de estas micropartículas plásticas que actualmente habitan todos los rincones del planeta.

Se calcula que en la Ciudad de México se producen 13,000 toneladas de desechos diariamente<sup>12</sup>. A inicios de 2020 se aprobó una ley para prohibir el uso de bolsas plásticas con un margen de un año para que las empresas busquen alternativas. “Se estima que cada familia en la Ciudad de México desecha anualmente 650 bolsas de plástico de un solo uso, pero muchos ciudadanos responsables no esperaron la aprobación de la ley para comenzar a cambiar sus hábitos”. Esta es expresión de un movimiento mundial que se ha dado en países como Tailandia,

India, Indonesia entre otros donde se están creando regulaciones para tratar de controlar la problemática del consumo y producción de PDUSU.

Esta es una problemática muy compleja, con muchos factores involucrados que debe atacarse desde distintas disciplinas y por varios expertos, así como la gente en general y sus prácticas diarias en momentos de compra, consumo, desecho y cuidado del medio ambiente. Una de las vertientes de soluciones que pueden darse está vinculado con la planeación y logística de desechos. En la página anterior, anexo la estrategia realizada por el ministerio del medio ambiente del gobierno de Japón, hecha por el ministerio del medio ambiente en 2017 donde explican la categorización y las distintas vías que debe de tener cada desecho.

Incluye puntos desde residuos planeados y locales, los cuales incluyen desechos combustibles, no combustibles, reciclados, mixtos, a granel y

12 <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/ciudad-de-mexico-una-megalopolis-en-guerra-contra-las-bolsas> (consultado 4 marzo 2020)



Fig. f Basurero de PET en China.



Fig. g Bolsas plásticas de un solo uso contaminando un prado.

por desastre. Hacen un desglose de los residuos reciclados de los cuales se recicla directamente casi la mitad y a través de diferentes procesos se recicla poco más de 9 mil toneladas del gran total de desechos de 128 mil toneladas. Se incineran casi 35 mil toneladas y acaban en vertederos poco más de 4 mil toneladas. Si comparamos los números, sigue siendo mucha la basura que se incinera, sin embargo Japón es uno de los países más organizados en logística de desechos y a pesar de que este plan es de 2017, nos puede dar una idea de que los demás países se encontraban en peor situación respecto a la planeación de desechos.

Después de una planificación de este tipo, es necesario tomar en cuenta todos los factores que deben de sincronizarse para que la población en general pueda realizar las tareas necesarias para que efectivamente, se acate el plan. Por ejemplo, la utilización de distintos botes de basura en zonas estratégicas de modo que estén al alcance de los usuarios en el momento que se genera desecho. Así como una campaña integrada por una buena imagen señalética que deje clara la división de los residuos a todos los sectores de la población. Horarios de colecta y limpieza de los botes para garantizar que habrá espacio, con lo que debe hacerse un análisis de cuáles son las divisiones que se llenan más rápido, cómo está consumiendo la población por zona, etc. En general es un tema que requiere mucha capacidad para poder analizarse.

Este esquema ya es antiguo y seguramente han modificado sus estrategias los nipones; sin embargo nos funciona como una buena referencia de la complejidad que puede tener en un esquema general de planeación de redistribución de desechos.

Otra de las estrategias que deben de implementarse para evitar este tipo de problemas es sin duda a nivel educativo, empezando por la educación básica, primaria para garantizar que la población en general cumplirá con las prácticas propuestas de separación y buena logística de desechos ya que, a través de su formación están convencidos de que es la mejor opción, de hecho, la única. Incluso buscar formar personas proactivas que busquen organizar a sus comunidades y se propongan situaciones como la de la ciudad Kamikatsu<sup>13</sup> en Japón, la cual ha buscado generar cero desperdicios desde el 2017.

A pesar de los esfuerzos de los medios de comunicación, del gobierno y de iniciativas privadas<sup>14</sup> por promover la información alrededor de la contaminación desmedida que estamos generando. Las personas siguen optando por utilizar estos materiales, gracias a los beneficios que proporcionan es justo mencionar que desde la invención del plástico, la vida cotidiana se transformó por completo, sobre todo en la preservación de alimentos (un ejemplo podría ser la resistencia impermeable que da el PET<sup>15</sup> que, aún en capas tan delgadas, brinda una excelente barrera para líquidos, incluso gases, gracias a la organización de sus uniones poliméricas). Además de las propiedades intrínsecas del material, existe un beneficio económico que favorece su consumo en todos los medios.

Tras analizar la problemática y sus diferentes factores involucrados acerca de los PDUSU y su gran impacto ecológico en todas partes del mundo, surgen investigaciones y propuestas con referencia a los bioplásticos, biocompuestos que de manera local buscan reducir el uso desmedido de PDUSU

13 <https://www.businessinsider.com/zero-waste-town-kamikatsu-japan-2017-7?r=MX&IR=T> (consultado 03 marzo 2020)

14 <http://glittermagrocks.com/connect/2018/05/24/zoeydeschanel-on-reducing-plastic-to-help-the-planet/> (consultado el 29-agosto-2018)

15 “El tereftalato de polietileno... es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles...Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Perteneció al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.” [https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno) (consultado el 09-09-18).

y por ende, su impacto contaminador.

Otra de las vertientes que ha investigado soluciones en un esquema más tangible, es el de los biomateriales u otro tipo de materiales que se puedan degradar y que vengan de fuentes naturales de producción.

Es en este sector donde ésta investigación busca insertarse, empezando por investigar cuáles han sido las propuestas y las investigaciones que se han hecho en el resto del mundo en los últimos años en torno a los biomateriales y tras hacer un análisis de cuál ha sido el camino que estas investigaciones han seguido, proponer un biomaterial.

Comparto lo que dijo Maurizio Montalti en su plática “the importance of fungi” en 2016 en Make:Shift<sup>16</sup>, Inglaterra cuando dice **-Este compromiso no se trata de encontrar una bala de plata al problema de la contaminación de plásticos, no existe una solución que le quede a todos los problemas -<sup>17</sup>** Sería muy ambicioso esperar encontrar una solución que pueda resolver el problema de tajo ya que los involucrados somos todos. Lo que él propone es que cada quien desde su campo de especialidad y desde su contexto local, se aboque a analizar la problemática en una escala menor y trabaje en propuestas que puedan aplicarse a menor escala pero que al ser muchas las personas sugiriendo propuestas de este tipo, al final se generen muchas soluciones que sumadas, ayuden a reducir el impacto que hemos generado.

---

<sup>16</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=BYmwz3Cugdo> (consultado 3 marzo 2020)

<sup>17</sup> Cita textual: “This commitment is not about finding a silver bullet solution to plastic waste, there is not a one-size-fits-all solution to plastic pollution”

## Estado del arte

Como se explicó anteriormente, una rama de las soluciones que se ofrecen como alternativa al problema de la gran contaminación generada por PDUSU, son los biomateriales. Para poder tener una idea general de las investigaciones que se han llevado a cabo hasta ahora, se hizo una investigación al respecto y a continuación se mencionan los ejemplos más relevantes y pertinentes para los fines de este trabajo (hasta inicios de 2020).

Se hace una separación por temas de experimentación con el fin de llevar orden en la explicación de las investigaciones. Hay algunos que se enfocan en procesos primarios como la generación de materia prima, en modo rígido o flexible (textil), algunos que se fijan en procesos secundarios como teñido de la materia prima. Incluso hay algunos que se centran en valores



Fig. h imagen de maíz criollo.

añadidos como materiales que limpien el medio ambiente o generen energía.

Se opta por categorizar con base en el tipo de organismo con el que se trabaja en simbiosis, la clasificación es la siguiente: vegetales (féculas), algas, animales (o derivados de animales), bacterias y hongos. Con sus respectivas correlaciones entre ellos ya que algunos trabajan con más de un ser vivo.

### Vegetales

Empezando por la categoría que incluye vegetales podemos

decir que existen plásticos “bio” sintetizados por aguacate<sup>18</sup> o por maíz<sup>19</sup>. El principio para desarrollar estos materiales siempre tiene una base de almidón o fécula de algún grano. En principio se pueden hacer con cualquier tubérculo o grano en combinación con cualquier material orgánico que se proponga. El problema con los materiales que parten del uso de algún alimento (como maíz, trigo, yuca, papa) es que para ser generados se requiere el uso de agua y recursos ambientales para la generación de objetos mientras que existe una crisis de alimento, ocurriendo al mismo tiempo. Un ejemplo de esta producción y comercialización actual es FruitLeather Rotterdam<sup>20</sup> esta empresa fabrica un sustituto de piel con el uso de algún almidón (se desconoce la fórmula exacta) más el uso de frutas como mango, plátano o piña.

### Algas



Fig. i Muestrario de materiales de FruitLeather Rotterdam.

18 <https://www.forbes.com/sites/elizabethmacbride/2015/04/30/avocado-seeds-intoplastic-a-mexican-chemical-engineer-aims-at-5-8bmarket/#4a4aa4b55482> (consultado 20-mayo-2018)

19 <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/corn-plastic.htm> (consultado 20-mayo-2018)

20 <http://fruitleather.nl/blog/> (consultado el 27-09-18)



Fig. j Ejemplos de vasijas fabricadas por Erick Klarenbeek.

El siguiente grupo es aquel en donde se trabaja en conjunto o con la utilización de algas, ya sea en forma viva o muerta.

Sintetizados en compuesto entre materia vegetal y polímeros así como Algae Lab<sup>21</sup> en conjunto con Erick Klarenbeek<sup>22</sup> quienes están desarrollando un material en filamento hecho en conjunto de un biopolímero y un compuesto de algas los cuales absorben emisiones de dióxido

de carbono y con los que puede imprimir en 3D formas complejas con los que principalmente ha generado proyectos de vasijas y contenedores con formas complejas y delicadas, con transparencias y texturas interesantes que se obtienen de una base de celulosa que viene de las algas. El mismo Erick Klarenbeek ha trabajado en colaboración con otros artistas, quienes a través de desarrollar filamento imprimible en 3D con un porcentaje de materia orgánica, genera figuras de formas complejas (impresas en 3D) que son expuestas a un hongo en condiciones específicas de humedad, temperatura y luz. Tras dejar el objeto expuesto al hongo funcionando como alimento, ocurre una transformación bioquímica de la composición del material, obteniendo un objeto compostable con propiedades nuevas.

Algiknit<sup>23</sup> se funda en 2016 tras realizar un proyecto educativo entre estudiantes. Ellos dicen que optaron por usar alga Kelp como base de su material ya que su crecimiento es muy rápido. La forma de este material es una fibra que tiene aplicaciones textiles, al producir objetos tejidos con esta fibra, el resultado es flexible, elástico y compostable. Hasta 2018 han ganado varios premios, el último siendo con una inversión de más de 2 millones de dólares por parte de



Fig. k La famosa silla, colaboración de Erick Klarenbeek y Phil Ross.



Fig. l Los procesos que lleva a cabo Algiknit para desarrollar su producto.

21 <https://atelier-luma.org/en/projects/algae-lab?locale=en> (consultado el 27-09-18)

22 <http://www.erickklarenbeek.com/> (consultado el 27-09-18)

23 <https://www.algiknit.com/aboutus> (consultado 4 marzo 2020)

Horizons Ventures.

Roya Aghighi creó biogarment<sup>24</sup> una empresa dedicada a la exploración y creación de textiles con fundamentos naturales, biodegradables, capaces de fotosintetizar.

Studio Tjeerd Veenhoven<sup>25</sup> desarrolló el proyecto Algaefabrics donde utilizan como base *Cladophora* un tipo de alga marina con alto contenido en celulosa para generar un material textil flexible que podría compararse con el algodón. Deciden iniciar este proyecto pues ven a esta variedad de alga como un desecho que se encuentra en muchos lagos del mundo y que actualmente está siendo considerado una plaga que ya es removida por los habitantes locales.

#### Animales

En la categoría de aquellos materiales que involucran alguna especie animal, encontramos los siguientes ejemplos:

Amsilk<sup>26</sup> es una empresa alemana la cual realiza investigaciones en relación con la creación de fibras textiles utilizando como base, la composición química de la seda. Dentro de la serie de pláticas llevada a cabo en Biofabricate



Fig. m Tenis biosteel silk fabric de la marca Adidas.



Fig. n Chamarra moon parka de la marca The North Face, Japón.

24 <https://www.royaaghghi.com/biogarmentry.html> (consultado 4 marzo 2020)

25 [https://www.tjeerdveenhoven.com/portfolio\\_page/algaefabrics/](https://www.tjeerdveenhoven.com/portfolio_page/algaefabrics/) (consultado 5 marzo 2020)

26 <https://www.amsilk.com/home/> (consultado 18 marzo 2020)

2018, hablaron de cómo llevaron la fórmula de la seda natural al laboratorio para poderla replicar. Actualmente cuentan con un material registrado llamado Biosteel el cual es una fibra de alta dureza y ligereza, con la cual hicieron un convenio con adidas para lanzar la primera producción de tenis con el uso de este material, que si bien no es natural, se basa en la estructura original por lo que cuenta con propiedades biodegradables similares a la seda original.

*The North Face Japan* lanzó una pequeña colección de la chamarra llamada Moon Parka<sup>27</sup>, la cual está fabricada con un material especial desarrollado con base en la tela de araña. La chamarra cuenta con propiedades como ligereza, transpiración, aislante y resistencia al agua. Dadas las condiciones del material base con el que está hecho y su pequeña producción, la colección está disponible sólo por un periodo corto y únicamente en Japón.



Fig. o Biogametry, proyecto textil vivo.

27 <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2019/08/28/new-this-ski-season-a-jacket-brewed-from-spider-silk/#71c1ca89561e> (consultado 4 marzo 2020)

28 <https://www.launch.org/innovators/suzanne-lee> (consultado el 11/11/2017)

29 NEFFA <http://neffa.nl> (consultado el 11/11/2017)

30 Su nombre científico es *Medusomyces*, también conocido como “el hongo inmortal” por los chinos ya que siempre se mantiene en constante alimentación de azúcar. Es un tipo de levadura que genera una sustancia gelatinosa en la superficie del líquido donde vive y se alimenta de azúcares generando alcohol y gas carbónico y ácido acético, durante la alimentación hay otras bacterias y microorganismos que entran en acción, sin embargo estos mueren después por el nivel de acidez del líquido.

## Bacterias

Acerca de los proyectos que incluyen bacterias en su desarrollo podemos mencionar los siguientes:

Dentro del diseño textil, se encuentran como pioneras Suzanne Lee<sup>28</sup> y Aniela Hoitink<sup>29</sup> quien ha creado varios vestuarios y accesorios (como zapatos) utilizando el hongo *Medusomyces gisevil* junto con varias bacterias, mejor conocido como el hongo responsable de la fermentación del té Kombucha<sup>30</sup>. Después de que ellas exhibieran su trabajo y más puntualmente después del TedTalk que dio Suzanne Lee en el 2011, muchísimas personas lo usaron como inspiración, tanto para consumir el té lleno de probióticos y valores positivos para la salud, como para experimentar con dicho material. Se pueden encontrar una variedad de propuestas desarrolladas con este textil sin embargo, ninguna ha llegado más allá de la experimentación o producción artística,



Fig. p Construcción con ladrillos de micelio expuesta en Kunsthalle Düsseldorf llamada Mycotectural Alpha dentro de Eat Art Exhibit en 2009 por Phil Ross.

porque el material tiene una gran limitante ya que al entrar en contacto con el agua nuevamente, el hongo se rehidrata, ablanda y deforma. Aunque esto pareciera un fracaso en el ámbito de los biomateriales, dio pie para que se iniciara una exploración global alrededor de éstos. Podríamos decir que Phil Ross y Suzanne Lee fueron los padres de la biofabricación y de los biomateriales.

En el área de biodesign textil<sup>31</sup>, se encuentra



Fig. q De la colección de Mycoworks de Phil Ross.



Fig. r Vasijas de Carole Collet expuestas en la fabrique du vivant.

31 “Una disciplina reciente que se va a cruzar con los principios de lo vivo con metodologías ligadas al diseño. Un sistema biológico natural e intrínsecamente ecológico: que va desde la forma en la que se genera la materia hasta que se generan los desechos.” (BRAYER, et al. 2019; pp.119)

32 (BRAYER, et al. 2019; pp.146)

33 <http://www.royaaghghi.com/biogarmentry.html> (consultado 9 marzo 2020)

también el proyecto de Natsai Audrey Chieza, diseñadora de Zimbabwe quien trabaja y vive en Londres. Presentó el proyecto Coelicolor<sup>32</sup>, el cual consiste en aplicar tinturas compuestas de bacterias a textiles que generan tonalidades textiles en su proceso de vida.

Por otro lado hay un textil vivo y que es capaz de realizar fotosíntesis, creado por Roya Aghighi llamado Biogarmentry<sup>33</sup>. El objetivo de este textil,



Fig. s Silla de Erick Klarenbeek y Phil Ross en la fabrique du vivant.

el cual se vuelve tangible como una pieza de exhibición, es cuestionar el uso de los objetos a un nivel más profundo. En la etiqueta dice que no se puede lavar, que el objeto está 100% vivo y que purifica el aire que lo rodea gracias a que hace fotosíntesis. Su cuestionamiento parte de ver a los

objetos no sólo como menos contaminantes sino como benéficos para el medio ambiente.

### Hongos

El último grupo fue el investigado a mayor profundidad y su documentación se tuvo que estar actualizando constantemente ya que mensualmente se inauguraban nuevas exhibiciones con artistas y diseñadores nuevos hablando de las bondades del micelio y de las propiedades que tiene para brindarnos en términos de materiales. La mayoría de los productos o prototipos son básicamente conceptuales o producciones únicas.

Phil Ross fue el primero en experimentar con el micelio para generar bloques de material y en este proceso, después de muchos años, descubrió cualidades específicas como su buena capacidad de aislamiento térmico y sonoro, rigidez y absorción de impacto tan buenas como para pensar aplicarlo en la construcción. Tras encontrar

estas propiedades, publicó en 2013 un artículo<sup>34</sup> junto con S. Travaglini, J. Noble y Dharan donde compartían sus resultados. Debido a que el CEO de Ecovative (mencionado a continuación) patentó la fórmula para crecer micelio en un sustrato bajo el código US 2008/0145577 A1, Phil tuvo que eliminar de internet mucho del trabajo que había generado antes de esta patente, razón por la cual es complicado encontrar información antigua de su trabajo. Sin embargo sabemos que en 2009 participó en una exhibición en Kunsthalle Düsseldorf llamada Mycotectural Alpha parte de Eat Art Exhibit, que consiste en una construcción en forma de domo o túnel hecha por tabiques de micelio para poner en evidencia las propiedades estructurales del material así como para proponerlo como material arquitectónico. Sin embargo podemos ver desde esta imagen que los hongos siguen creciendo en la superficie



Fig. t Colección de lámparas y asiento de Sebastian Cox.



Fig. u Asiento de colección de Myx.

34 <https://docplayer.net/50294945-Title-mycology-matrix-composites-proceedings-of-the-american-society-for-composites-twenty-eighth-technical-conference.html> (consultado 9 marzo 2020)

de la construcción, lo cual exhibe limitantes de su uso que aparentemente fueron ignoradas o menospreciadas por otros investigadores y artistas que quisieron incursionar en el mundo de este tipo de biomaterial. Junto con esta instalación exhibió muebles hechos de micelio en conjunto con alguna aplicación de madera. En el congreso de Biofabricate en 2018 enfocó su plática para hablar de la historia de su proceso más que del material en sí porque según él, ya ha



Fig. v Puente de David Benjamin en La fabrique du vivant.

hablado mucho del material en forma técnica. Mostró una serie de imágenes de los primeros experimentos que realizó. Narró la historia de cómo el proceso fue casi fortuito comenzó con una cubeta de cultivo del hongo olvidada, la cual aguantó sorprendentemente mucho tiempo, a la



Fig. w Vasijas de Carole Collet expuestas en La fabrique du vivant.

cual decidió hacerle una serie de pruebas muy informales tras su descubrimiento.

Erick Klarenberg, junto con Phillip Ross generaron un proyecto que fue el que se volvió muy conocido de una silla a la cual le crecían hongos por algunos orificios y por dentro estaba colonizada con micelio. Esta misma silla fue exhibida en abril 2019 en el Centro Pompidou parte de la exhibición La fabrique du vivant<sup>35</sup>.

También dentro del diseño de textiles, la compañía MycoWorks<sup>36</sup> (fundada por el mismo Phil Ross) se ha encargado de desarrollar un sustituto de piel animal que cuenta con las mismas propiedades de permeabilidad, durabilidad y resistencia. Actualmente exhiben una gama de acabados teñidos de varios colores de pigmentos naturales. El hongo que utilizan es probablemente el hongo Reshi (alguna variedad de *Ganoderma sp*). Es un producto que, según dicen, será comercializado de manera internacional.

Dentro del ámbito experimental con productos no textiles, se encuentran diseñadores e investigadores como: Sebastian Cox, Ninela Ivanova<sup>37</sup>, Tradd Cotter (Mushroom Mountain), la compañía Ecovative<sup>38</sup>, Philip Ross<sup>39</sup> y otros que están investigando y diseñando objetos como envases que reemplacen el unicel, que pueden reciclarse o compostarse, al momento

35 [https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR\\_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR\\_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0](https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0) (consultado 20-08-2019)

36 <https://www.mycoworks.com> (consultado el 11/11/2017)

37 <https://www.dehttps://www.mycoworks.com> (consultado el 11/11/2017)

38 <https://ecovatedesign.com/home?ref=lp> (consultado el 11/11/2017)

39 <https://inhabitat.com/phillip-ross-molds-fast-growingfungi-into-mushroom-building-bricks-that-are-stronger-thanconcrete/> (consultado el 11/11/2017)



Fig. x Parte de la colección de Myx.

de ser desechado. También hay productos ya comercializados como envases, sillas, lámparas y proyectos para fabricación en casa como kits que ofrece la empresa Ecovative de fabricación GIY<sup>40</sup> los cuales consisten en el alimento del hongo seco y las indicaciones con la proporción indicada de humedad, temperatura y luz para, tras haber modelado el alimento, dejar que el hongo crezca volviendo la mezcla un objeto final<sup>41</sup>.

Del video<sup>42</sup> realizado por Dezeen y Maurizio Montalti entendemos que en este tipo de experimentación, el micelio del hongo funciona



Fig. y Muestra de empaque de Polybion.

40 <https://shop.ecovatedesign.com/products/grow-ityourself-material?variant=28756562625> (consultado 11/11/2017)

41 <https://www.dezeen.com/2015/03/25/mushroommaterials-ecovative-modelling-kit-mycelium-designs-of-the-year-2015/> (consultado el 12/11/2017)

42 <https://www.dezeen.com/2015/01/21/movie-officinacorporuscoli-growing-products-materials-fungus-biotechnologicalrevolution/> (consultado 11/11/2017)

43 Por sus siglas en inglés Medium Density Fiber, material de composición mixta, fibra de madera y resina plástica.

44 <http://www.designandlivingsystems.com/> (consultado 8 marzo 2020)

45 (BRAYER, et al. 2019; pp.148)

como aglutinante para un material similar al MDF<sup>43</sup> o al aglomerado, salvo que el aglutinante es natural, no tóxico y dota de propiedades únicas al material resultante (que sea poco inflamable, aún cuando contiene madera, por ejemplo).

También en el sector de los textiles está el proyecto de Carole Collet, londinense, la directora del Design and living systems lab<sup>44</sup> el cual forma parte de la Universidad de artes de Londres, fue parte del simposio Design with the living en noviembre de 2019. Generó una exhibición de vasijas Textiles de micelio<sup>45</sup> hechas de piel de micelio rigidizado cuyo proceso no aparece en otro tipo de aplicaciones de este material, donde el sustrato es a la vez estructura y guía para el crecimiento del objeto hueco. El resultado tiene una estética similar a jácaras de piel.

Un proyecto polémico que está vinculado con



Fig. z Mosaicos acústicos de MOGU.

micelio es el de David Benjamin<sup>46</sup>, trabajando en colaboración con estudiantes de l'ENSCI<sup>47</sup> generaron una construcción<sup>48</sup> con tabiques de micelio para poder hacer ver a los visitantes la dimensión que puede tomar aplicándos en el medio de la construcción. Al ser similar a la exposición de Phil Ross años atrás, anteriormente mencionada, esta obra no es muy innovadora, sin embargo, es en particular relevante porque tuvo que ser removida, ya que los hongos estaban empezando a revivir dentro del museo por la humedad y el calor de los visitantes.

Siguiendo este principio podemos suponer que a pesar de que los objetos de base de micelio, tienen un proceso para frenar el crecimiento del hongo una vez lograda la colonización ideal del mismo, dicho proceso no mata al organismo por completo y si éste se encuentra en condiciones ideales de humedad y temperatura, se puede reactivar su crecimiento.

Polybion<sup>49</sup> es una empresa mexicana, desarrollada en Guanajuato en 2016 por un par de estudiantes, la cual, tras ganar el concurso Premio a la sustentabilidad, CleanTechChallenge, declaró su primer material llamado Fungicel el cual tiene base de micelio y algún sustrato de residuo agrícola con el que han generado objetos en colaboración con circular biodesign como: lámparas, ladrillos y otros objetos con los que han participado en exhibiciones y ferias en distintos foros como el museo de la luz o la versión del 2020 de Bahidora<sup>50</sup>.

Maurizio Montalti es un diseñador italiano quien ha estado trabajando con la investigación

de hongos en general y también de materiales con base de micelio desde hace varios años. Fundó *MOGU radical by nature*<sup>51</sup>, una empresa que ofrece paneles de aislamiento acústico y pisos laminados hechos de hongo. Todas las compras se hacen bajo pedido y a la medida.

Jonas Evard es el diseñador danés que está detrás del proyecto MYX<sup>52</sup>, generado en 2013 como una exploración en materiales y productos de micelio que se expresaron en formas de mobiliario como lámparas, asientos y paneles verticales.

Aivan es un estudio de diseño finlandés, el cual diseñó Korvaa<sup>53</sup>, un sistema de audio individual, hecho o crecido en micelio en conjunto con la empresa Synbio powerhouse. Este proyecto fue una exploración completa la cual involucró la experimentación e investigación del material culminando con la producción de un prototipo hecho en su totalidad de micelio con varios procesos de transformación (o crecimiento, en el caso del hongo). Este es un proyecto, como muchos otros, que ejemplifica un fenómeno cotidiano; ha sido un prototipo expuesto en varias exhibiciones por todo el mundo, sin embargo, no ha pasado de ser una propuesta única y no ha dado el brinco (hasta ahora) para hacer una producción de fabricación en serie convirtiéndose en un producto en sí.

La empresa Ecovative parece ser la que ha hecho una inversión que pretende volverse industrial, sin embargo aún no la vemos con una implementación de manera global, salvo los kits de crecimiento que vende de manera abierta.

Podemos observar el surgimiento de diversas

46 <https://www.tribune.com/wp-content/uploads/2019/04/La-fabrique-du-vivant.-Installation-view-at-Centre-Pompidou-Paris-2019.-Photo-%C2%A9-Philippe-Migeat-.jpg> (consultado 9 marzo 2020)

47 *École National Supérieur de Creation Industriel (Paris, Francia)*

48 (BRAYER, et al. 2019; pp.182)

49 <https://polybion.mx/> (consultado 9 marzo 2020)

50 <http://bahidora.com/> (consultado 18 marzo 2020)

51 <https://mogu.bio/> (consultado 8 marzo 2020)

52 <http://jonasedvard.dk/work/myx/> (consultado 20 noviembre 2019)

53 <https://www.aivan.fi/portfolio/korvaa-headset-made-by-microbes/> (consultado 9 marzo 2020)

investigaciones y desarrollos en torno a los biomateriales como respuesta a una preocupación global por disminuir el consumo y desecho de PDUSU y así mejorar nuestro impacto en el mundo, contaminando menos.

Varios de los precursores de estas investigaciones han sido artistas y diseñadores quienes colaboran con expertos en otras áreas de conocimiento de manera interdisciplinaria.

Después de hacer un análisis de todas las vertientes de investigación que se llevan a cabo en el ámbito de los biomateriales, surge el particular interés por trabajar con micelio como base para un nuevo material. Se toman en cuenta las posibilidades que ofrece el hongo en forma de material como textil o rígido y es así como comienza la siguiente fase de la investigación.

Dentro de una publicación que se hizo acerca del análisis del trabajo que ha hecho Maurizio

Montalti en codiseño con otros seres como bacterias y hongos, Meike Schipper en Next Nature<sup>54</sup> dice *-La práctica de diseño es una colaboración entre él, el estudio y los otros seres vivos como microbios y hongos. Él se refiere a ellos como compañeros.-*<sup>55</sup> Esto nos habla de otro fenómeno que ocurre con aquellas personas que se han dedicado a hacer sus investigaciones en simbiosis con otros seres vivos (porque también se observa en trabajo con animales como abejas). Cuando el desarrollo del material involucra un cuidado de un ser vivo, uno empieza a vincularse con él de una forma más consciente y empática, así cómo deberíamos relacionarnos con los otros seres humanos y no humanos.

Este trabajo busca generar un material biocompuesto haciendo crecer al micelio de un hongo en desperdicios vegetales para ofrecer un producto que pueda integrarse a un sistema compuesto de ciclos que en su suma forme un sistema de ciclo de vida cerrado.



Fig. aa Audifonos de micelio del despacho Aivan.

54 <https://nextnature.net/2019/01/interview-maurizio-montalti> (consultado 3 marzo 2020)

55 Cita textual: "The design practice is a collaboration between himself, the studio and the other living systems such as microbes and fungi. He refers to them as this 'partners'"

## Conclusión de la investigación

Nuestra relación con los hongos y el Reino Fungi ha sido regida por el respeto tras haber descubierto que hay hongos que con mucha facilidad nos pueden intoxicar, incluso provocar la muerte. Por otro lado, nos brindan una importante fuente de alimento y como en tiempos ancestrales era tan importante no confundirlos (por las razones anteriores) el conocimiento de reconocimiento y clasificación de hongos ha sido transmitido tradicionalmente de una generación a otra.

Incluso se han generado tradiciones culturales y ritos guiados por chamanes en muchas partes del mundo, en donde los hongos toman un lugar sagrado como fuente de conocimiento y remedio medicinal.

**-Con los fungis y hongos, sólo hemos rascado la superficie de cómo funcionan y lo que saben-**<sup>56 57</sup>

El mundo de los hongos ha sido explorado muy poco y la última década su indagación ha ganado popularidad. Es muy poco lo que conocemos y aparentemente muchísimo lo que pueden lograr,

después de todo, ellos son los responsables de puntos clave en el reciclamiento de materia orgánica tomando un papel fundamental en la descomposición de componentes orgánicos (y posiblemente inorgánicos) participando en muchos ciclos como el del nitrógeno, carbono, agua, etc.

Llamamos a una relación simbiótica mutualista cuando dos especímenes de especies distintas participan en actividades colaborativas generando beneficio mutuo.

Históricamente el humano ha generado relaciones simbióticas de manera inconsciente con especies de levaduras generando alimentos fermentados. Este trabajo busca a lo largo de la generación de un biomaterial, realizar relaciones simbióticas con los partícipes del ciclo, buscando además de un beneficio humano, un beneficio para otros seres del contexto.

Dentro de los elementos que competen a la problemática alrededor de la cual se desarrolla esta tesis, elementos que deben de tomarse en cuenta



Fig. ab Ilustración de Turkey tail, el cual ha sido utilizado de manera medicinal por muchas culturas del mundo. Extraído de la enciclopedia gratuita del British museum.

56 (STAMETS et al.; 2019, pp.69)

57 Cita textual "With fungi and mushrooms, we've only scratched the surface of how they work and what they know."

y analizar a lo largo del proceso de investigación están:

Polímeros, Biopolímeros, Biocompuestos, desechos en la CDMX, Biodiseño, Biofabricación, cultivo, Reino Fungi, flujo de canalización de desechos, entre otros.

Para empezar hay que localizar cuáles son los principales desechos orgánicos que se generan dentro de la CDMX que podrían ser una buena fuente de alimento del hongo para desarrollar los experimentos de síntesis de materiales. Por otra parte, es importante localizar necesidades o usos que pueda cubrir este material, ya que potencialmente se busca ofrecer un uso que remplace a un PDUSU.

De manera colateral, hay que tener siempre presentes los principios de análisis de ciclo de vida y de sostenibilidad<sup>5859</sup>, ya que la intención de esta investigación, es desarrollar un material que ofrezca una posibilidad alterna de uso, procurando mejorar las tres esferas; ambiental, económica y social que dicta el *Design for Sustainability*<sup>60</sup>. Para ello se pretende tomar como principios del tipo *cradle to cradle*<sup>61</sup> para no dejar de lado ninguna parte del ciclo de vida de este material.

Así mismo, hay que hacer un análisis de la oferta ecológica, de las especificaciones, limitantes y variabilidad que ofrecen los hongos en la CDMX, pues es necesario garantizar que se podría realizar la producción dentro del perímetro donde se

generan los desechos orgánicos que pueden funcionar para desarrollar dicho material. Es por esto que hay que tomar en cuenta la fauna, flora y las condiciones climáticas específicas de la ciudad para tener presentes las limitantes biológicas con el fin de no introducir una especie intrusa que pueda generar desbalances ecológicos.

Para continuar, la siguiente información recabada está vinculada a las especies tanto de hongos como de desechos vegetales disponibles en el contexto donde se desarrolla el proyecto.

58 “Mi definición de sostenibilidad abarca algunos otros conceptos fundamentales. En primer lugar, la sostenibilidad debe incluir la equidad y la justicia. Tal como la define el astrofísico y escritor Robert Gilman, “la sostenibilidad es equidad a lo largo del tiempo”. Además, la sostenibilidad requiere una mirada panorámica, que no se acote a la sostenibilidad de determinado bosque o del clima como concepto aislado, que no se reduzca a la sostenibilidad de nuestra casa, nuestra ciudad o nuestro país, sino que incluya la enchilada completa. El centro para la Comunidad Sostenible [Center for Sustainable Community] dice que la sostenibilidad “considera la totalidad en lugar de lo específico. La sostenibilidad pone énfasis en las relaciones y no en las piezas aisladas”. (LEONARD, 2007).

59 Tomando como definición aquella enunciada en 1987 en el tratado “our common future”: “el desarrollo sostenible como la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues>

60 DJS, CESCHIN, FABRIZIO and GAZIULUSOY, ÍDIL, 2019, *Design for sustainability: A Multi-Level Framework from Products to Socio-Technical Systems*. 1. Routledge.

61 “Everything is a resource of something else” “use clean and renewable energy”, “Celebrate diversity” <http://www.mcdonough.com/writings/cradle-cradle-remaking-way-makethings/> (consultado el 27-09-18)

## Justificación del problema

“El trabajo de Bertalanffy dio lugar a la Teoría General de Sistemas, la cual parte de la premisa de que para comprender un fenómeno es necesario comprender el funcionamiento de las partes que lo componen y su papel en el desempeño global” Valencia, M. 2015<sup>62</sup>

62 VALENCIA Melissa, *Producción de materiales para el diseño, a partir de vegetación desértica en México, 2015*

## Formulación del problema



Fig. ac Imagen de Greenpeace de contaminación en el mar.

La vida occidental demanda objetos durables o desechables, impermeables, de formas complejas y de bajo costo. Por cuestiones ambientales, de baja de recursos, de incompatibilidad temporal con el ritmo de deshecho ya no debemos de seguir usando PDUSU.

¿Son estas las propiedades que brinda el plástico, razón es por la cual los usuarios seguimos utilizándolo sin medida? ¿Qué material va a suplir a éste, brindando estos beneficios, que forme parte de un ciclo cerrado natural en donde no se perjudiquen otros ciclos ni especies biológicas?

¿Podría un material de base biológica cuya materia prima sea un desecho vegetal, sustituir el uso de un objeto de plástico derivado de petróleo? ¿y quien además proponga una viabilidad que mejore las tres esferas: ambiente, economía y sociedad que dicta la sostenibilidad?

## Pregunta de investigación

¿Qué uso se le puede dar a un desecho vegetal dentro de una localidad, partiendo del uso de micelio, para generar una nueva fuente de ingresos y que sea aprovechado por la comunidad de manera simbiótica con el entorno?

¿Podría un material de base biológica cuya materia prima sea un desecho vegetal y un organismo vivo sustituir el uso de un objeto de plástico derivado de petróleo para algunas aplicaciones específicas dentro de la Ciudad de México?

## Objeto de estudio

Tras definir que el desecho vegetal con el que se va a trabajar es proveniente de Viveros de Coyoacán; las variables de experimentación y estudio serán los tipos de hongos a través de los cuales se puede cultivar dicho biocompuesto material.

Los dos hongos a analizar serán el micelio del *Pleurotus ostreatus*, variedad Djamour, dos especies comestibles de seta que tienen un rango amplio de condiciones climáticas en las que pueden crecer por lo que están disponibles en muchas localidades. Así como *Ganoderma sp* y posiblemente algunas de sus combinaciones.



Fig. ad Imagen de microscopio de hifas de *Ganoderma* en crecimiento volumétrico.

# Método de investigación

## Hipótesis



Es posible sintetizar un bio-material transformable industrialmente que surge a partir de la interacción de un hongo (micelio *Pleurotus ostreatus* en dos variedades y *Ganoderma sp*) y un sustrato (compuesto de lignina que proviene de desechos vegetales) resultando en un bio-compuesto que es capaz de aplicarse en soluciones de diseño (servicio, sistema, producto) dadas sus características físicas, químicas y mecánicas, ofreciendo una alternativa de uso a una necesidad específica.

## Objetivo general

Diseñar un sistema tomando en cuenta los principios de sustentabilidad buscando mejora social, económica y del medio ambiente dentro de un contexto específico, incluyendo como medio principal el desarrollo y aplicación: un material biológico resultado de la interacción de un sustrato rico en lignina y el micelio de un hongo, los cuales en conjunto, sintetizan un biomaterial.

## Objetivos específicos

Localizar desechos orgánicos, fuente de lignina dentro de la CDMX que puedan ser utilizados para dicha síntesis implicando una estrategia social de beneficio local.

Sistematizar la síntesis del material en condiciones que sean de bajo costo ambiental para que puedan ser replicadas en mediana escala dentro de la CDMX.

Describir características específicas del material con el fin de poder compartir las propiedades

descubiertas para que otros diseñadores puedan tomarlos en cuenta en siguientes proyectos.

Compartir la metodología para que otros diseñadores interesados sigan el camino con el fin de poder encontrar un biomaterial que surja de su contexto.

Realizar prototipos del material resultante de la investigación.

## Propuestas BIO y su relación con el diseño

Es importante mencionar que la concepción de “Bio” ha ganado popularidad por una estrategia mercadotécnica específicamente que busca convencer al comprador de que hará un buen gesto ecológico al consumir el producto cuando realmente puede ser que el objeto no esté contribuyendo al medio ambiente. Sin embargo, también ha sido utilizado para describir conceptos

### Biopolímeros

La definición más comúnmente utilizada es: “1.- m. Biol. Polímero que interviene en los procesos biológicos”<sup>63</sup> Que hace referencia a moléculas de gran peso molecular que se componen de varios tipos de moléculas como las proteínas y los ácidos nucleicos. Sin embargo, para fines de esta investigación, se busca trabajar con la definición que hace referencia a aquellos materiales sintetizados con bases biológicas a partir de almidones. También es conocido en ocasiones como bioplástico, “Un plástico es de origen biológico si está elaborado con materia prima sostenible (vegetal). [...] Un plástico es biodegradable cuando puede descomponerse en los siguientes elementos: agua, dióxido de carbono, metano y biomasa. La biodegradabilidad no tiene que ver con la materia prima específica de la que se origina el plástico, sino más bien con la

nuevos cuyo principal enfoque es centrarse en formas, medios, procesos y soluciones que brinda la naturaleza o una relación directa con la misma. A continuación se describen varios de estos conceptos que son pertinentes con la investigación ya sea para evitar confusiones o para definir partes importantes de las implicaciones de la misma.

estructura del material. También existen plásticos derivados del petróleo que son biodegradables.”<sup>64</sup>

En términos químicos también se trata de macromoléculas que forman parte de organismos vivos. Un ejemplo muy utilizado anteriormente, fue el celofán<sup>65</sup>, el cual era hecho a base de celulosa, así como los antiguos rollos de películas de cine<sup>66</sup> la cual era sumamente inflamable así como el papel, ambos de origen vegetal.

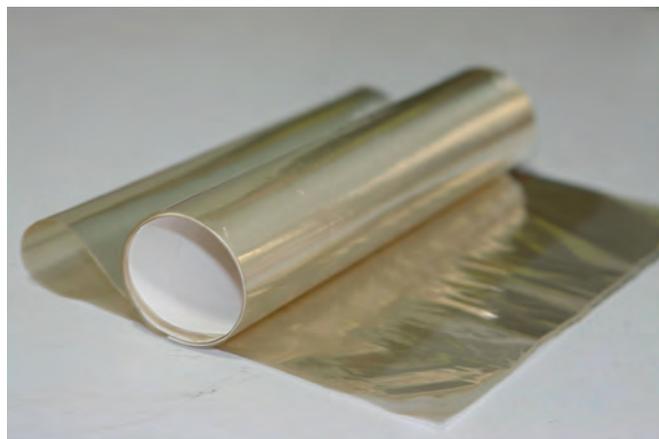


Fig. ae Papel celofán de celulosa.

63 <http://dle.rae.es/?id=5ZMlk7T> (consultado 14-11-18)

64 <https://www.plasticgarbageproject.org/es/vida-plastico> (consultado 5 marzo 2020)

65 <https://todopolimeros.wordpress.com/2017/11/27/elcelofan/> (consultado el 14-11-18)

“... natural and sustainable materials in order to find a strong, flexible and useful material that could be modify in the future in different ways. The material could be reshaped, moulded and change thickness to become the base for functional objects, such as – bags, cups, textile, etc.” <http://maayanpesach.com/Bio-Plastic> (consultado 16-04-19)

66 [https://es.wikipedia.org/wiki/Pel%C3%ADcula\\_de\\_cine](https://es.wikipedia.org/wiki/Pel%C3%ADcula_de_cine) (consultado 19 04 2019)

## Biohacking MIT (Do It Yourself Biology)

El término comenzó en San Francisco desde 2005. Consiste en que organizaciones, instituciones e individuos en general, se proponen estudiar la biología de manera creativa. Poco a poco se fueron regularizando cosas como que se comercialicen kits para estudiarla o que se comparta información encontrada en blogs o congresos, incluso. Por ejemplo Biohack the planet<sup>67</sup> es un evento anual cuyo objetivo es acercar la ciencia a las personas no-científicas quienes aplican procesos creativos y a través de ello consiguen resultados muy interesantes, el primer evento ocurrió el pasado 31 de agosto 2018 en Okland, California y la siguiente fecha está programada para junio 2020 en Las Vegas.

Existen varias organizaciones que surgen a partir de estos ideales, un ejemplo es DIYbio<sup>68</sup> quienes dicen que **-nuestra misión parte de crear que la biotecnología y el mejor entendimiento de ésta, tiene el potencial de beneficiar a todos-**<sup>69</sup>.

Otro ejemplo es BioCurious<sup>70</sup>, la cual es una comunidad ONG ubicada en Sunnyvale, Ca. fundada por Eri Gentry, Kristina Hathaway, Josh Perfetto, Raymond McCauley, Joseph Jackson y Tito Jankowski a través de un *Kickstarter*. Actualmente funciona como un coworking space, como un laboratorio y biblioteca abiertos para los que quieren estudiar a la biología desde perspectivas curiosas. Incluso comparten los proyectos actuales<sup>71</sup> a modo de open source<sup>72</sup>.

Algunas de las áreas de estudio abordadas comúnmente son Bioinformática, Ingeniería genética, Medicina, Implantes, Arte.

Sin irnos más lejos, desde hace un par de años existe el biomakerspace Open Lab en la ciudad de México donde artistas hacen residencias con base en proyectos biológicos y donde científicos (principalmente del área de biología) buscan expandir las fronteras de la ciencia tradicional por medio de la colaboración y la multidisciplina. Por supuesto, hay crítica por parte de corporaciones, instituciones privadas, así como por científicos positivistas. Sin embargo, partiendo del Open Source, supone que al compartir los conocimientos, el crecimiento de la información es exponencial así como ha ocurrido desde la aparición del internet, incluso antes con otros medios de comunicación.

Grow it yourself<sup>73</sup> es otra de los términos que se ha inventado a partir de la biogeneración de materiales y objetos. Surge haciendo alusión a las populares siglas DIY (do it yourself) enfatizando el carácter creativo de creación novedosa a la que cualquiera puede acceder y participar. El movimiento grow it yourself habla de ir más allá de la creación innovadora de objetos decorativos o funcionales involucrando a la biología y a la naturaleza en el camino. Objetos que puedes cultivar o crecer tu mismo.

Por cuestiones de bioética, los científicos y aficionados del biohacking, tienen que probar su invenciones en ellos mismos ya que en otros seres vivos sería penalizado. Hay una corriente muy grande de biohackers que hacen alteraciones en su propio cuerpo como eficientar el crecimiento de colágeno con luz UV, toman suplementos

67 <http://biohacktheplanet.com/> (consultado el 13-11-18)

68 <https://diybio.org/> (consultado el 13-11-18)

69 Cita textual: "our mission is the belief that biotechnology and greater public understanding about it has the potential to benefit everyone".

70 <http://biocurious.org/> (consultado 13-11-18)

71 <http://biocurious.org/projects/> (consultado 13-11-18)

72 <https://opensource.org/> (consultado 13-11-18)

73 Traducción del autor "Crece tú mismo"

alimenticios, se someten a tratamientos de frío para motivar la circulación celular, en el rango de las acciones que podrían considerarse leves. Hay también quienes se ponen implantes con imanes o RFID<sup>74</sup> programable para abrir puertas, pagar algunos servicios, interactuar con aplicaciones móviles, etc. Hay quienes incluso experimentan con dispositivos que indiquen el norte, por ejemplo y generen una vibración para tener una brújula interna, así como hizo Liviu Babitz<sup>75</sup> buscando autodotarse de un nuevo sentido, inspirado en los pájaros.

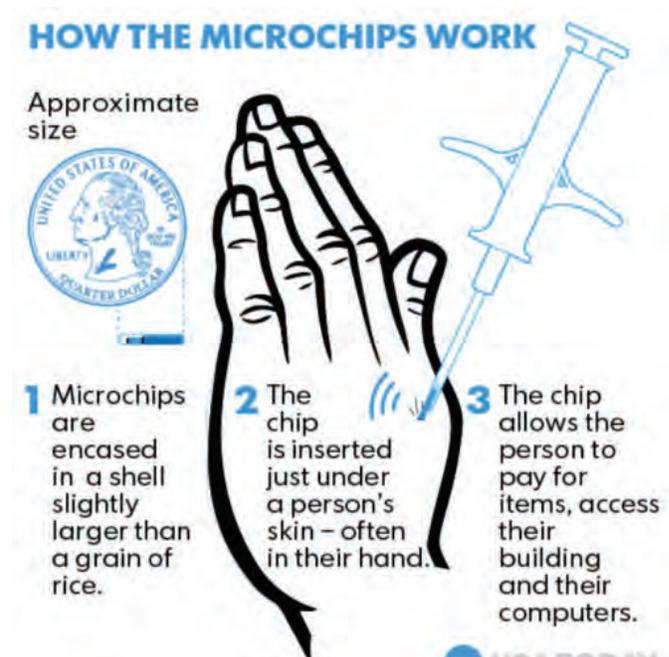


Fig. af Diagrama de eplicación de RFID inyectable.



Fig. ag Liviu Babitz enseñando el injerto que diseñó y se puso para tener el sentido de saber hacia dónde está el norte.

<sup>74</sup> <https://www.mintpressnews.com/wisconsin-rfid-microchips/247992/> (consultado 20 marzo 2020)

<sup>75</sup>

## Biocompuestos

En el sentido más comúnmente utilizado se refiere a las biomoléculas que forman parte importante de los seres vivos, las cuales son principalmente compuestas por carbono. Las más comunes son los carbohidratos, lípidos, proteínas y vitaminas.

Sin embargo, para los fines de esta investigación, se pretende utilizar este término para hablar de mezclas de componentes biológicos que engloban una posibilidad de componentes del mundo macro con dimensiones tangibles para el humano sin necesidad de microscopios.

“Los biocompuestos son compuestos de fibra natural y reforzada con matrices poliméricas no biodegradables como PP, PE y también con biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHAs). Estos compuestos combinan propiedades de varios materiales a fin de lograr nuevos materiales con propiedades mejoradas y son de gran atractivo por ser provenientes de fuentes naturales.”<sup>76</sup> En el caso de Jaramillo, quien desarrolló un material biocompuesto con fibra de Guadúa del Ecuador, hace referencia a las fibras naturales provenientes de plantas, sin embargo podría utilizarse otro tipo de organismo como lo son las hifas del hongo.

*Bio* hace referencia a un componente que está o estuvo vivo, es decir que contiene material genético. *Compuesto* hace referencia a la mezcla de uno o más de estos componentes vivos en conjunto con otro tipo de materiales que pueden ser artificiales.

Un ejemplo sería el proyecto de Hannah Hansell<sup>77</sup> donde una prenda interior desechable hecha a base de algodón y micelio de algún hongo de la familia de Basidiomycota. En este caso, los compuestos serían precisamente estos, el algodón,

los sustratos pertinentes y claramente el micelio con todos los componentes intermedios que esto implique. Probablemente utilizaron también como base, algún bioplástico por la apariencia translúcida de éste.

La colombiana Joana Rodriguez dice “El término biocomposito o biocompuesto se refiere a todo material formado por una matriz (resina) y un reforzamiento de fibras naturales (usualmente derivadas de plantas o celulosa)”<sup>78</sup>

En el caso particular de esta investigación y el material derivado de la misma, la matriz sería la estructura del micelio y la fibra, madera.



Fig. 4h Proyecto de Hannah Hansell.

76 Jaramillo, 2013, p.2

77 <https://www.hwestwood.com/> (consultado el 13-11-18)

78 RODRIGUEZ, J. 2014. Elaboración de un material biocompuesto a partir de fibra de plátano. Maestría. S.L.: Universidad Nacional de Colombia.

## Biodiseño



Fig. ai Estadio olímpico de Beijín inspirado en un nido de pájaros.

-El biodiseño es al mismo tiempo cientos de años viejo y al mismo tiempo es el futuro-<sup>79</sup> (Antonelli, 2017)<sup>80</sup> Es la práctica de diseñar utilizando como inspiración a la naturaleza y la cual implica aprovechar siglos de evolución, de prueba y error, generación tras generación para aplicarlo de manera creativa proponiendo soluciones de diseño, que al mismo tiempo entorpezcan lo menos posible al medio ambiente. No debe confundirse con biomimética<sup>81</sup> o biomimesis que simplemente copia rasgos de la naturaleza sin importar las implicaciones, utilizado como inspiración estética, estructural o formal pero dejando de lado los materiales utilizados, el ciclo de vida de producto. Un ejemplo de biomimética sería el velcro. Sin embargo, no es lo que se busca hacer en esta investigación.

Para la mayoría de los diseñadores es complicado hacer prácticas de biodiseño ya que no contamos con la información indicada con respecto a la biología, por esto es que surgieron iniciativas como páginas de Biohacking que pretenden compartir información proporcionada por investigadores y biólogos para que pueda ser aplicada en cualquier proyecto en proceso, tal como es Ask nature<sup>82</sup>, esto ayuda a los diseñadores a explorar otra rama de conocimiento, sin embargo el ideal es trabajar de manera colaborativa con un experto de dicha rama.

Biomorfismo es la práctica de usar a la naturaleza como inspiración, así dice McCoy en su libro *Radical Mycology*, quien además es constantemente citado en este trabajo por su gran aportación a la investigación y difusión del reino fungi.

79 Cita textual: "Biodesign is centuries old and at the same time it is of the future"

80 [https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook\\_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwIEXzL5fT-Mf3z3HOKNvkaCIHij\\_aXWbcga54Opoe83EY](https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwIEXzL5fT-Mf3z3HOKNvkaCIHij_aXWbcga54Opoe83EY) (consultado 13-11-18)

81 <https://biomimicry.org/> (consultado 13-11-18)

82 <https://asknature.org/> (consultado 13-11-18)

-El diseño biomimético es definido como una emulación intencionada de las soluciones de la naturaleza hacia la resolución de los retos contemporáneos.<sup>83</sup>(Cohen & Reich, 2016, p.3) se sigue esta premisa, pues la idea parte del hecho de que la naturaleza lleva millones de años probando soluciones. Existen tres niveles de inspiración que van de la mera forma, el proceso y el sistema. No necesariamente una solución de diseño biomimético es sustentable si se concentra en aplicar la solución a la forma del objeto o al proceso. Aunque puede pasar que cuando se usa como inspiración a un sistema de la naturaleza, se tomen en cuenta factores que implican el cuidado de recursos, la distribución de los mismos. Se tenga un pensamiento sistémico que englobe varios niveles de implementación de soluciones tomando en cuenta que las implicaciones de estas

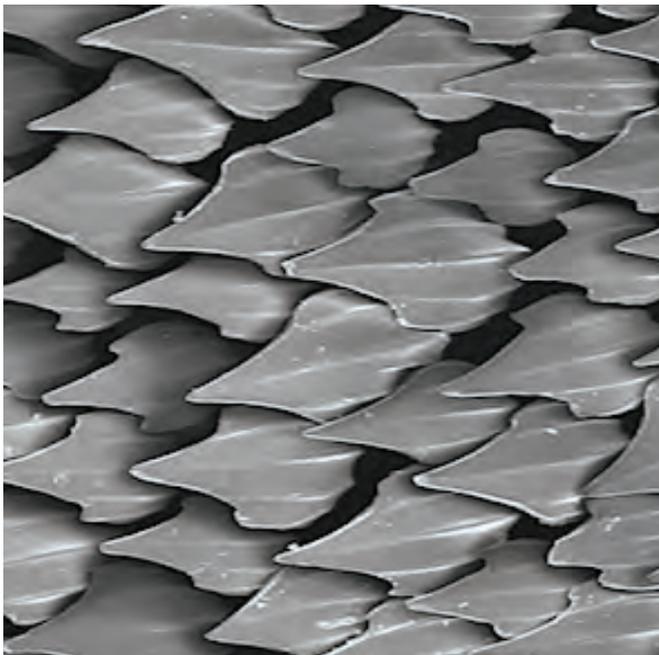


Fig. aj Imagen microscópica de la piel de tiburón.

aplicaciones tendrán efecto en otros sistemas e individuos de esos sistemas.

También es importante precisar que el biodiseño o diseño biomimético no hace partícipes del proyecto a seres vivos, no necesariamente.

**"BIODESIGN is centuries old and at the same time is of the future"**

**-Paola Antonelli-**



Fig. ak Traje de baño Speedo super fast shark skin.

83 Cita textual: "Biomimicry design is defined as 'an intended emulation of nature life solutions for solving contemporary challenges'". Extrído de Ceschin F. y Gaziulusoy I., *Design for sustainability: A Multi-level Framework from Products to Socio-technical Systems* (Routledge Focus on Environment and Sustainability), 2019, loc 1247.

# Sistema de degradación

## Biodegradación

Decimos que un material o sustancia es biodegradable<sup>84</sup> cuando cumplen con la capacidad de descomponerse en sustancias más simples mediante la actividad (enzimática) de microorganismos como hongos y bacterias.

La descomposición es independiente de la fuente del material. Podría haber materiales de origen natural que no se descomponen en mucho tiempo o con tanta facilidad como algunos otros que no tengan fuentes u orígenes naturales y que si se descompongan.

Hay factores que intervienen en esta descomposición como luz, temperatura y humedad, por lo que algunas veces ocurre más rápido dentro de la tierra.

## Micoremediación

No es novedad que los hongos de manera natural estabilizan biológicamente suelos ya que una de sus principales funciones es la de generar una red de comunicación de nutrientes en el subsuelo nivelando elementos como el nitrógeno, carbón, fosfato, potasio, oxígeno, magnesio,

sulfuro, entre otros.

“The capacity to break down chemicals and eliminate toxins has been proven. The challenge now is finding innovative ways to put that ability into practice.”<sup>85</sup> (STAMETS et al.; 2019, pp.55)

Existen artículos que hablan de la propiedad de algunos hongos para limpiar suelos de metales pesados y otros componentes tóxicos así como el descrito a continuación, escrito por Francesca Bosco y Chiara Mollea.

“The most suitable fungi to be used in soil remediation are basidiomycetes and, in particular, the ecological groups of saprotrophic and biotrophic fungi [17]. The saprotrophic basidiomycetes, which use dead organic matter as a carbon source, include the wood-degrading fungi. Among them, white-rot fungi (WRF) are considered for the leading role in biodegradation [18]. WRF can degrade efficiently both lignin and cellulose biopolymers till the complete mineralization [19], thanks to the production of an extracellular enzymatic complex.”<sup>86,87</sup>

La remediación de suelos a través de la implementación de micelio de hongo en desechos orgánicos para generar suelo fértil

84 <http://materbi.com/es/que-es/biodegradabilidad-ycompostabilidad/> (consultado 10-10-18)

85 Traducción del autor “La capacidad de descomponer químicos y eliminar toxinas ya ha sido comprobada, el reto ahora es encontrar formas innovadoras de poner esa habilidad en práctica”

86 Traducción del autor “El hongo más adecuado para ser usado en la remediación de suelos es el grupo de basidiomycetes y en particular, el grupo ecológico saprotrophic y biotrophic. El saprotrophic basidiomycetes, el cual utiliza materia orgánica muerta como fuente de carbón, incluye a los hongos que degradan madera. Entre ellos los de degradación blanca (WRF) son considerados por su rol líder en la biodegradación. Estos pueden degradar eficientemente a su vez biopolímeros de lignina y celulosa hasta alcanzar la mineralización (extracción de carbono). gracias a la producción de una enzima extra celular compleja, la cual involucra proxidasas de lignina (LiPs), manganasa dependiente peroxidasa (MnPs), peroxidasa versátiles (VPs), lacasas, H2O2-generadores oxidasa y deshidrogenasa, producidas durante la idiofase, usualmente bajo el agotamiento de nitrógeno”

87 Francesca Bosco and Chiara Mollea (February 25th 2019). Mycoremediation in Soil, Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches, Hugo Saldarriaga-Noreña, Mario Alfonso Murillo-Tovar, Robina Farooq, Rajendra Dongre and Sara Riaz, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.84777. Available from: <https://www.intechopen.com/books/environmental-chemistry-and-recent-pollution-control-approaches/mycoremediation-in-soil>

que sea el comienzo para una repoblación de la biodiversidad local.

Dentro del libro de *Fantastic Fungi*, Daniel Reyes nos comparte una lista de los principales hongos que se utilizan para la reparación de suelos y que se han implementado en proyectos como el de CoRenewal<sup>88</sup>.

Además de que se estén implementando el uso de hongos para la remediación de suelos, estas investigaciones han ampliado las características de-contaminantes de los hongos que también pueden ser utilizadas para consumo humano de manera curativa. Encontramos actualmente varias empresas que ofrecen una variedad de productos curativos con su principal fuente química; hongos.

## Compostabilidad

La compostabilidad es la capacidad de un material orgánico de transformarse en composta, un tipo de tierra rica en nutrientes para distintos usos en la agricultura.

El compostaje es un proceso biológico aeróbico (que tiene lugar ante la presencia del oxígeno), controlado por el hombre. Conduce a la producción de una mezcla de materia orgánica. La composta es un óptimo fertilizante, ya que contiene muchas sustancias orgánicas y microorganismos útiles para el suelo. La aportación de sustancia orgánica mejora la estructura del terreno y la biodisponibilidad de nutrientes (compuestos del fósforo y del nitrógeno<sup>89</sup>) y otros.

También existe la degradación química (artificial), la cual puede ocurrir en muchos niveles, sin embargo para este trabajo se plantea que el objeto pueda degradarse al estar en contacto con otros bio-organismos en la tierra.

**"La capacidad de descomponer químicos y eliminar toxinas ya ha sido comprobada, el reto ahora es encontrar formas innovadoras de poner esa habilidad en práctica"**

**-Paul Stamets-**



Fig. al Imagen de hongos silvestres creciendo en temporada de lluvias en el 4to dinamo, Magdalena Contreras.

88 Stamets Paul, et. al. *Fantastic Fungi*, edit. Earth aware, 2019, California.

89 <http://materbi.com/es/que-es/biodegradabilidad-ycompostabilidad/> (consultado 10-10-18)

# Economía azul

El belga, Gunter Pauli, tras haber estudiado economía en Bélgica y varios intentos empresariales “amigables” con el medio ambiente, empezó a formar la idea de economía azul, publicando un libro titulado así en 2010 el cual ya está traducido a más de 20 idiomas.

Esta vertiente está vinculada con la economía circular “Básicamente, sería decir que tenemos que inspirarnos en la naturaleza en donde no existe el concepto de desperdicio. Todo lo que la naturaleza genera es un insumo o alimento para otro organismo. Pensemos en el bosque, las hojas de un árbol se convierten en abono para la tierra; un animal muerto, llega otro y lo come. Todo es

un flujo cerrado en lo que todo fluye<sup>90</sup>” (Adriana Zacarías, coordinadora regional de recursos para América latina y el caribe de ONU medio ambiente, 2018). en donde se interconectan sistemas tratando de vincular desechos de un sistema que alimente a otro y de este modo cerrar el circuito o flujo de materia y energía.

Si recordamos, la sostenibilidad habla no sólo en términos de producto y ciclo de vida del mismo. También habla de la esfera de la economía y de la cultura o sociedad. Para que un producto/ servicio/sistema sea sustentable, implica que tiene una incidencia positiva en estas tres esferas.

Una de las ventajas de la economía circular

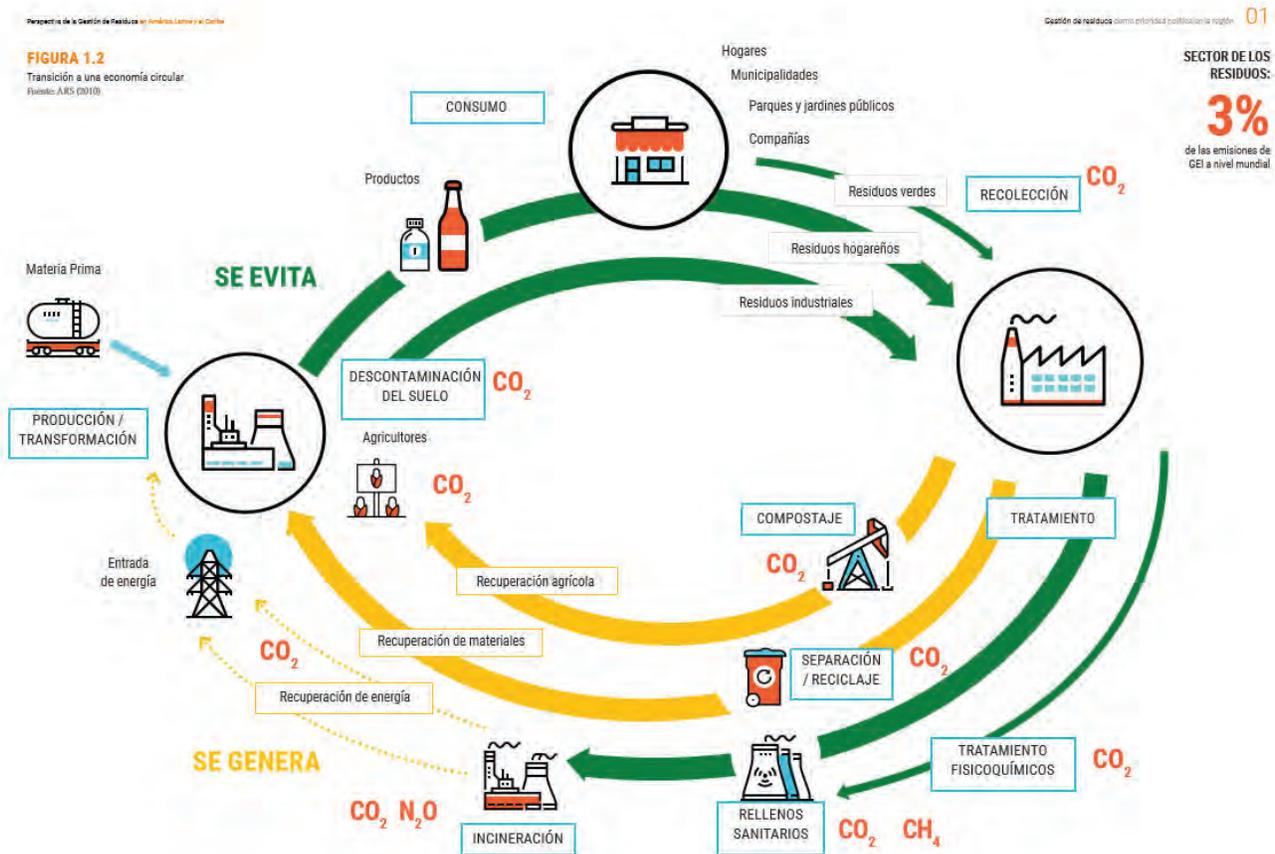


Fig. am Diagrama de un ejemplo de economía circular aplicado dentro de una comunidad enfocado en el tratamiento de desechos.

90 <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801> (consultado 16/09/19)

y también de la economía azul es que genera empleos. En estos casos, esos empleos están vinculados con el procesamiento de desechos que se transforman para ser utilizados en otro esquema y como nadie está realizando ese tipo de tareas, se generarían actividades remuneradas, aunque esta no es la única forma en que se pueden hacer incidencias benéficas en la esfera económica y social.

Existen varios proyectos que vinculan desperdicios de café de cafeterías para utilizarlo como medio de crecimiento de setas para consumo humano. Vemos muchos ejemplos de este tipo en Holanda, por ejemplo.

Para poder lograr proyectos que involucren a varios sectores con el objetivo de conectar los



Fig. an Cultivo de *Pleurotus djamor*.

91 (Nubholz, 2017)

92 Parafreaseando a Ceschin F. y Gaziulusoy I., *Design for sustainability: A Multi-level Framework from Products to Socio-technical Systems* (Routledge Focus on Environment and Sustainability), 2019, loc 1488

93 Traducción del autor: El acercamiento al diseño sistémico busca crear no sólo productos industriales sino complejos sistemas industriales. Su objetivo es implementar sistemas sostenibles productivos en donde los flujos de materia y energía están diseñados de tal forma que el desperdicio de un proceso productivo se transforma en el punto de partida de otro proceso, previniendo que los desperdicios acaben en el ambiente. de Ceschin F. y Gaziulusoy I., *Design for sustainability: A Multi-level Framework from Products to Socio-technical Systems* (Routledge Focus on Environment and Sustainability), 2019, loc 2179

ciclos, es necesario que haya comunicación dentro de la localidad, un fenómeno sencillo que hemos ido olvidando con el tiempo. Generar comunidad nos ayuda a generar economía circular y la comunidad también trae por si misma beneficios sociales importantes. Confiar en las personas que te rodean genera empatía, solidaridad y otros valores que debemos rescatar.

La economía circular está ampliamente relacionada con el diseño de servicio. Hay varios teóricos y diseñadores que se acercan a este campo proponiendo términos como circular business model<sup>91</sup> donde diseñan estrategias para alentar loops y para cerrar loops dentro de un sistema.<sup>92</sup>

En este mismo libro podemos encontrar el ejemplo de la empresa *Patagonia*, que si bien no está en un contexto delimitado donde pueda tomar en consideración todos los factores, busca cerrar ciclos con la implementación de reparar las prendas de su marca de por vida y aceptar prendas viejas como parte del pago para reutilizar los materiales o reciclarlos de manera pertinente.

“The systemic design approach seeks to create not just industrial products, but complex industrial systems. It aims to implement sustainable productive systems in which material and energy flows are designed so that waste from one productive process becomes input to other processes, preventing waste from being released into the environment. (Barbero & Torso, 2010, p.68)”<sup>93</sup>

# Reino Fungi

## Funcionamiento básico

Los hongos son más parecidos a los animales que a las plantas, ya que su forma de alimentación viene de el medio exterior (no como las plantas que se encargan de generarlo ellas mismas, vía fotosíntesis). Aún así, son lo suficientemente distintos como para pertenecer a un reino distinto. El Reino Fungi es el menos estudiado hasta ahora, según Webster y Weber (2007) se han clasificado entre 80 mil y 120 mil especies únicamente. *-Hay un estimado de 1.5 millones de tipos de funguis y mas de 90% de esas variedades no han sido reconocidas aún o nombradas -*<sup>94</sup>

En 1m<sup>2</sup> de tierra podríamos encontrar aproximadamente: 300 lombrices, y 20 000 kms de hifas<sup>95</sup>. Parecería arriba de la tierra que las plantas se encuentran separadas, sin embargo, sus raíces están interconectadas con sus asociaciones de hongos llamadas micorrizas, es decir que todos pertenecen a una única red de seres vivos.<sup>96</sup>

En términos cotidianos para un lector promedio, podrían ubicarse los hongos más cercanos al hombre como los mohos o la penicilina, hay los que se encargan de descomponer o fermentar alimentos como el queso gorgonzola y existen también las levaduras, las cuales llevan a cabo la fermentación del pan, la cerveza, procesos que se han hecho desde hace miles de años.

Hay varios tipos de clasificaciones de hongos que se han ido haciendo con el tiempo y a través del trabajo de varios micólogos y sus clasificaciones normalmente se basan en la forma

que tienen éstos o el funcionamiento de sus estructuras, reproducción o comportamiento.

## Phyla

Las clasificaciones descritas a continuación son las clasificaciones oficiales científicamente, el orden propuesto por Hibbett et al. consiste en un reino, un subreino, siete *phyla*, 10 *subphylum*, 35 clases, 12 subclases y 129 órdenes.

Los especialistas en hongos del mundo siguen describiendo nuevas especies constantemente. En ocasiones un mismo hongo es conocido con distintos nombres ya que se encuentra y nombra en distintos lugares. Con el tiempo se han dado nombres oficiales sin embargo hay varios que siguen siendo conocidos según la localidad o el contexto en el que se habla. Un buen ejemplo sería Reishi, conocido así en Japón por su importante uso en la rama de la medicina tradicional, cuyo nombre científico es *Ganoderma*.

94 Cita textual "There are estimated to be more than 1.5 million types of fungi, and more tan 90 percent of those varieties have not yet been recognized or named". (ISOKAUPPILA, Tero, 2017; p. 12)

95 En capítulos siguientes se explica qué son las hyphae

96 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press.pp. 21

**-Aproximadamente 98 000 especies de hongos han sido descritas hasta ahora, la mayoría pertenecen al phylum Ascomycota (cerca de 64 000 especies conocidas) y Basidiomycota (cerca de 32 000 especies conocidas).-<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Cita textual: "Approximately 98 000 fungal species have been described to date, the majority being members of the Ascomycota (about 64 000 known species) and the Basidiomycota (about 32 000 known species)". MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 56

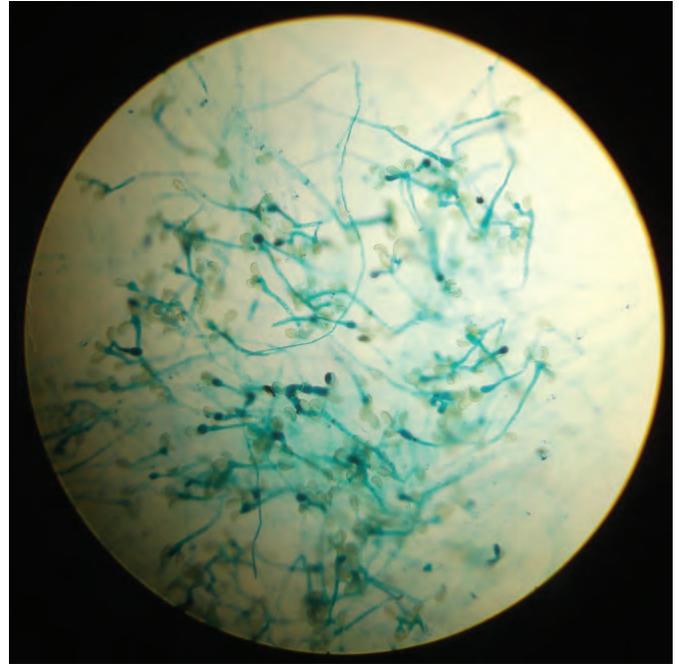


Fig. ao Fotografía de microscopio al 100x Chytridiomycota Allomyces Sporophyte.



Fig. ap Fotografía de microscopio de una micorriza Glomeromycota.



Fig. aq Imagen de setas del yugo, Zygomycota,

## Chytridiomycota

Habitualmente se encuentran en cuerpos acuosos, parasitan algas y plantas, son poco complejos morfológicamente, tienen zoosporas con un único flagelo, estas pueden mantenerse hibernando por mucho tiempo. Pueden encontrarse en bosques parasitando plantas como Cucurmitaceae y Solanaceae. Hay cerca de 700 especies, muchas en la región ártica.

Sólo hay una especie identificada que ataque vertebrados: *Batrachochytrium dendrobatidis*, la cual infecta anfibios.<sup>97</sup>

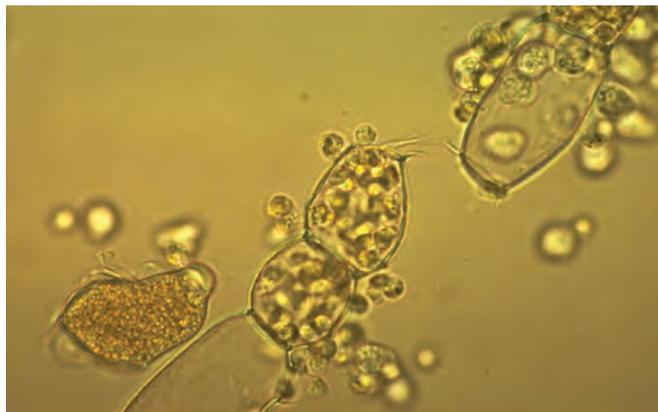


Fig. ar Fotografía microscópica de un hongo Chytridiomycota.

## Glomeromycota

Este grupo de hongos no se reproduce de manera sexual. Forman micelio adyacente al rizoma<sup>98</sup> de las plantas. Son de las especies más antiguas del reino. Gracias a este tipo de hongos, 80% de las plantas terrestres logran llevar a cabo una buena respiración celular ya que el hongo se encarga de volver biodisponibles compuestos del sustrato para su nutrición, llevando a cabo una relación simbiótica. Este grupo se subdivide en aquellos que tienen micorrizas arbusculares y los que tienen las anteriores más micorrizas vesiculares. Las primeras forman ramificaciones y las segundas nodos.<sup>99</sup> Su papel es clave para la organización de nutrientes en el subsuelo.

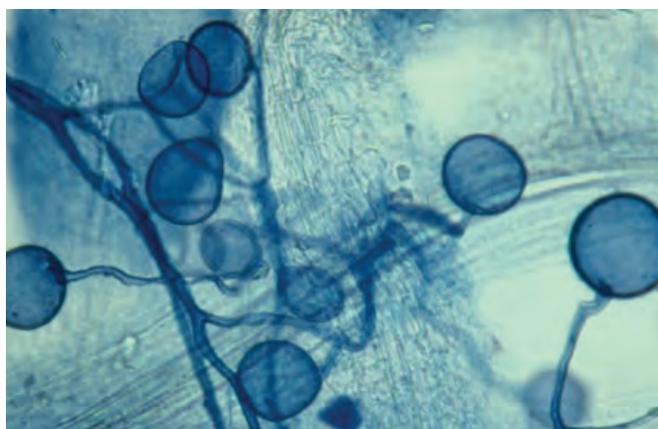


Fig. as Fotografía microscópica de un hongo Glomeromycota.

97 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 57

98 I. m. Bot. Tallo horizontal y subterráneo, como el del lirio común. <http://dle.rae.es/?id=WX0RW2W> (consultado el 09-09-18)

99 [http://www.infoagro.com/documentos/images/501.asp?foto=foto\\_3\\_raiz\\_micorrizada\\_y\\_esporas\\_del\\_hongo\\_formador\\_de\\_micorrizas\\_arbusculares\\_glomus\\_intrarradices\\_perteneciente\\_a\\_la\\_coleccion\\_del\\_irta\\_registrado\\_en\\_el\\_banco\\_europeo\\_de\\_glomales\\_como\\_beg72\\_](http://www.infoagro.com/documentos/images/501.asp?foto=foto_3_raiz_micorrizada_y_esporas_del_hongo_formador_de_micorrizas_arbusculares_glomus_intrarradices_perteneciente_a_la_coleccion_del_irta_registrado_en_el_banco_europeo_de_glomales_como_beg72_) (consultado el 09-09-18)

## Zygomycota



Fig. at Fotografía microscópica de un hongo Zygomycota.

Este grupo se caracteriza por tener hifas<sup>100</sup> sin separaciones. Tienen un tipo de reproducción asexual y sexual de una forma compleja. Primero generan cigotos por meiosis y luego, dada la proximidad de las hifas, los cigotos se juntan y se generan esporas sexuales<sup>101</sup>. A pesar de ser un grupo primitivo, es uno importante y eficiente. A escala humana se ven como redes complejas con caminos que parecen ser guías de crecimiento.

## Ascomycota

Este grupo cuenta con cerca de 64 000<sup>102</sup> especies de hongos, lo cual lo hace el grupo más grande de la división. Muchos son patógenos<sup>103</sup> de plantas y animales. *Candida* y *Penicillium chrysogenum* pertenecen a ese grupo, ambas de gran importancia para la salud humana.

Dentro se encuentran levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* que usamos para hacer cerveza, especies con cuerpo fructífero o no. Aquello que conocemos por “hongo”. Existen tipos que son utilizados dentro de la industria farmacéutica y también especies dañinas para el humano<sup>104</sup>.

No todas las levaduras pertenecen a este grupo ni todos los hongos comestibles pertenecen a Basidiomycota (el que se menciona a continuación) dos muy famosos, *Morchella esculenta* y *Tuber magnatum*, mejor conocidos como Morell y trufa, pertenecen a este grupo.



Fig. au Fotografía de un hongo Ascomycota.

100 “Las hifas (del griego ὑφή, huphé, red) son una red de filamentos cilíndricos que conforman la estructura del cuerpo de los hongos multicelulares.” de <https://es.wikipedia.org/wiki/Hifa> (consultado el 09-09-18)

101 <https://i.pinimg.com/originals/d6/b0/ac/d6b0ac345bb80503feca11e3f3367c7d.jpg> (consultado el 09-09-18)

102 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 69

103 I. adj. Med. Que origina y desarrolla una enfermedad <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=pat%C3%B3geno> (consultado el 09-09-18)

104 Phylum Ascomycota <http://pwforster.co.uk/botanical/fungi/phylum-ascomycota/> (consultado el 09-09-18)

Históricamente, el hombre ha tenido una relación principalmente respetuosa con los hongos, tras darse cuenta del poder que pueden tener, desde ser venenosos, alucinógenos o fuente de alimento. Ancestralmente se hereda y transmite el conocimiento de reconocimiento, recolección y uso de algunos hongos.

## Basidiomycota

Este grupo está compuesto por cerca de 32 000 especies de hongos, lo que lo hace el segundo más grande y por mucho uno de los más presentes en nuestra vida cotidiana.

Podemos ubicar en este grupo a los hongos que se crecen en granjas y se comercializan para la industria alimenticia, hongos alucinógenos (como *Psilocybe cubensis*), hongos tóxicos y letales (como *Amanita virosa*) y también el sector de los patógenos de plantas que causan la oxidación y degradación de lignina y celulosa. Es por esto que es el grupo de interés para la presente investigación.

Este grupo se divide en las tres siguientes categorías:

## Ustilaginomycotina

Este grupo se caracteriza por parasitar plantas, semillas particularmente. Un ejemplo muy importante para la cultura culinaria mexicana sería el huitlacoche, *Ustilago maydis*. Aunque también existen algunas especies de hongos en este grupo que necesitan grasa para crecer y parasitan

animales, incluido el humano.<sup>105</sup> El siguiente grupo está caracterizado por tener una membrana celular compuesta por azúcares y poros septales simples. La mayoría son parasitarios y cerca de un 90% de éstos parasitan plantas, aunque también hay los que parasitan otros hongos y animales.

## Agaricomycotina

Este sería el grupo posiblemente más estudiado, ya que se caracteriza por tener una parte “frutal”<sup>106</sup> que es visible y probablemente eso incentivó a culturas ancestrales a relacionarse con este conjunto de grupos. Al ser uno de los más grandes grupos (cerca de una quinta parte de todos los hongos<sup>107</sup>) y con el que el hombre ha interactuado más históricamente de manera consciente, se tiene



Fig. av Fotografía microscópica de un hongo *Ustilago maydis*.

105 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 76

106 En inglés se llama fruit body al hongo que conocemos como el champiñón, aquellos hongos comestibles que tienen forma de sombrilla y están compuestos por sombrero, himenio, láminas, anillo, pie y volva. Esa es la imagen genérica de lo que erróneamente llamamos la fruta del hongo. Sin embargo, en este trabajo, como en muchos otros, llamaremos con el nombre de esporocarpo a esta parte del hongo, la cual cumple la tarea de reproducción sexual.

107 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 77

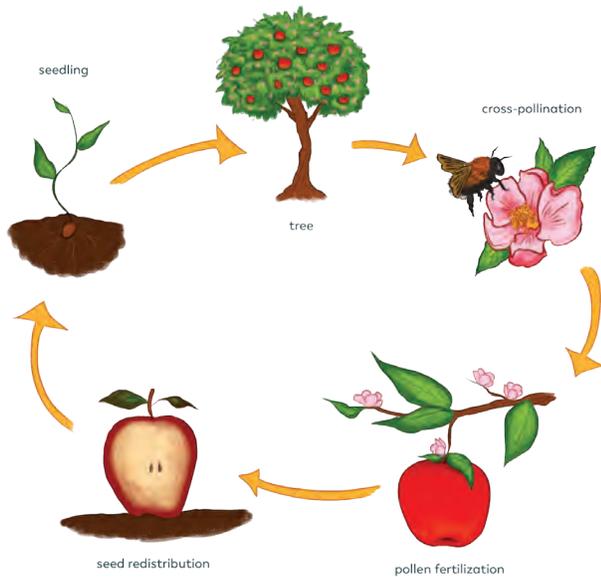


Fig. aw Ciclo de crecimiento del fruto del manzano.

registro de muchas especies de este grupo.

En la parte superior se muestra un esquema que indica las partes que caracterizan al hongo haciendo una analogía con las partes de un manzano.

El micelio sería equivalente al árbol compuesto de madera, ramas y hojas, las cuales serían equiparables a las hifas. Una vez crecido el árbol, este busca generar semillas para reproducirse, estas semillas las produce dentro del fruto de la manzana y así cuando ellas caen al suelo puede crecer un nuevo árbol. Lo que los hongos del grupo de Basidiomycota hacen para reproducirse cuando se sienten estresados (debido a falta de nutrientes o cambios drásticos de temperatura y/o humedad) es que desarrollan cuerpos que cotidianamente es lo que reconocemos como esporoma o basidiocarpio, los cuales contienen esporas. El esporoma sería equivalente, hablando conceptualmente, a la manzana y las semillas a las esporas. Esta relación la podemos hacer ya que las esporas así como las semillas, se encargan de propagar al organismo, facilitando su reproducción.

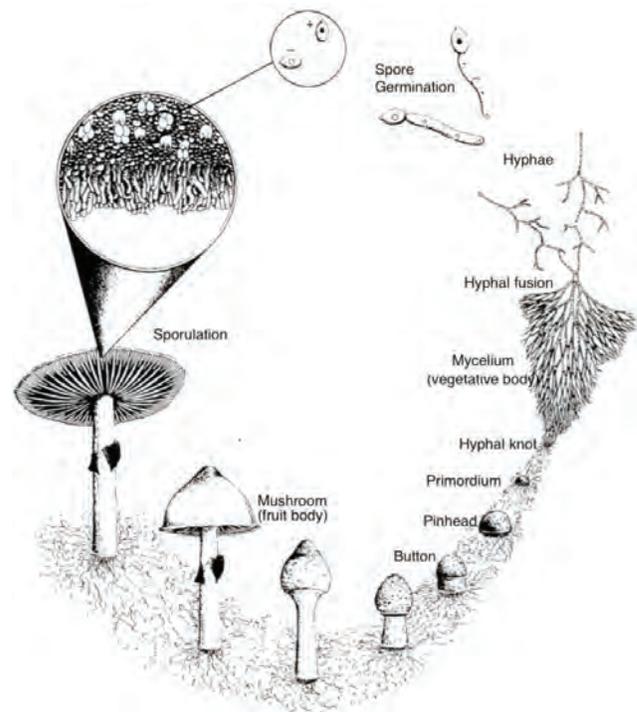


Fig. ax Ciclo de crecimiento de un hongo.

Es por esta razón que se llama “cuerpo frutal” a los hongos aunque propiamente no son frutas.

La mayoría de los hongos que comemos forman parte de la subdivisión de hymenomycetes, entre ellos se encuentra el champiñón *Agaricus bisporus*, las setas *Pleurotus spp.*, así como otros que forman micorrizas<sup>108</sup> como el boletus *Boletus edulis*, o matsutake *Tricholoma matsutake*.

También muchos de los hongos que se utilizan de manera medicinal como *Ganoderma spp.* donde entra la variedad de Reishi, Shitake (*Lentinula edodes*), *Trametes versicolor* y otros entran dentro de este mismo grupo.

Este esporocarpio, anteriormente mencionado, está compuesto (en general en hongos como el champiñón o seta comestibles) por pileo, estípite (o pie) e himenio. Normalmente la pileo o sombrero contiene al himenio el cual contiene láminas que también pueden ser en forma de tubos pequeños que semejan poros en el exterior. En ambos casos, estas láminas albergan a las esporas, las cuales componen una reproducción sexual. Pueden estar dormidas (o en proceso de hibernación) durante mucho tiempo de manera

108 Relaciones simbióticas entre hongos y plantas donde se generan intercambio de nutrientes y gases en beneficio de ambas especies.

natural o por las condiciones ambientales.

En el caso del estípite o pie, varía su extensión y su grosor, en ocasiones pareciera no estar presente (como es en el caso de *Pleurotus spp.* donde el himenio va desde la base hasta el filo de la corona).

Hay una enorme variedad de especies de hongos con esporocarpos y a pesar de que muchos se asemejan en forma y podrían fácilmente confundirse, también existe una amplia variedad en la forma de éstos.

Para los fines de esta investigación, resulta más pertinente, ampliar en la descripción del cuerpo principal del hongo, es decir de micelio. Ya que dentro del proceso de crecimiento del material, no se busca que este desarrolle hongos con esporas para reproducirse, sino simplemente desarrollarse como cuerpo de micelio.

El micelio a su vez, está compuesto por pequeños filamentos de quitina y glucano los cuales albergan al equivalente de células que conforman al cuerpo del hongo.

## Hifas

Ya que el micelio es el cuerpo principal del hongo y las hyphae lo componen, podríamos decir que en ellas radica una importancia clave para el desarrollo de los hongos en general y en particular para esta investigación, pues de ellas depende el comportamiento del material resultante.

La forma en la que crecen es alejándose del centro de la colonia<sup>109</sup> este centro puede estar definido por la germinación de una spora o por un trozo de hypha que se empieza a desarrollar.

Moore et al. describe en el libro 21st Century Guidebook to fungi, un estudio referente al crecimiento de las hyphae de *Neurospora crassa* donde describe el ángulo que crean entre ellas

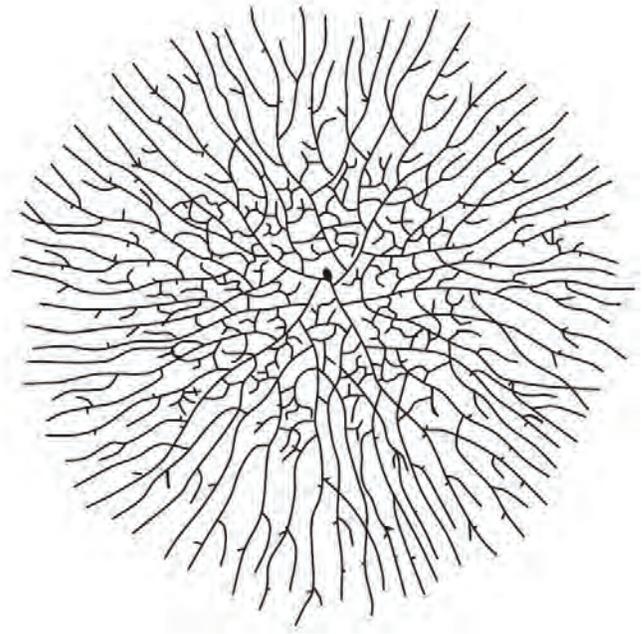


Fig. ay Dibujo de crecimiento de hifas donde se aprecia el crecimiento radial, apical del micelio.

para desplazarse sobre el medio en el que crecen. Inicialmente las ramificaciones se dan a 90 grados de la rama anterior, para luego ir disminuyendo a 63 y así progresivamente<sup>110</sup>. La forma en la que se distribuyen es la más eficiente de modo que la red pueda extenderse lo más posible para encontrar nutrientes sin que la colonia crezca para demandar más nutrientes de los que le tomaría desplazarse. Es por esto que pareciera que evitan crecer hacia otras formaciones de hyphae. Sin embargo, una vez que está asentada una colonia más grande, las hyphae se fusionan en varios momentos del crecimiento, ya sea para reproducirse o aumentar densidad.

Un par de conceptos que son importantes de diferenciar son el de extensión y crecimiento. Hablamos de extensión de hyphae cuando aumenta el diámetro o la distancia o superficie que ocupa el micelio, mientras que para referirnos a la cantidad de materia hablamos de crecimiento.

Cuando una colonia se empieza a desarrollar, incrementa su extensión para abarcar una mayor superficie de nutrientes para alimentarse. Progresivamente, disminuye la aceleración en la extensión de la colonia para empezar a crecer, ahí

109 Llamamos colonia de hongos a un conjunto de hyphae, como análogo a micelio.

110 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 111



Fig. az Fotografía con lente macro de hifas de *Ganoderma* creciendo en agar.

podemos decir que se está densificando la colonia.

También podemos decir respecto a la forma de crecimiento de las hyphae, que implica directamente que las más jóvenes se encuentran en los extremos del micelio, buscando nutrientes con una interacción más fluida y flexible y que las hyphae que se encuentran al centro son las más viejas que tienden a endurecer sus estructuras y a densificarse.

Un comportamiento singular de los hongos a diferencia de otros eucariontes, es que la célula crece de forma distinta a la de otras bacterias, se duplica de forma distinta y en sí es definida como un cuerpo distinto.

Primero, las células que conforman las hifas, tienen barreras o separaciones con porosidades que pueden ser permanentes o temporales, a

través del cual fluye el citoplasma, generando una estructura pero a través de la cual se desplazan organelos y componentes bioquímicos. Esto resulta polémico pues la membrana celular no está del todo cerrada y es esto lo que caracteriza la particularidad de las células del micelio. Después, con lo que respecta a la división celular, se lleva de una forma particular, dividiendo grupos de núcleos en una misma célula para luego hacer las divisiones celulares a lo largo de una hypha. Esto permite que tanto la división celular como la expansión y crecimiento de hyphae sea más flexible ya que una hifa se puede duplicar en varias partes al mismo tiempo.

La extensión de las hyphae varía según la especie pero puede ir desde 35 hasta 682 micrometros<sup>111</sup>.

111 MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, *21st century guidebook to fungi. 1*. New York : Cambridge University Press. pp- 105

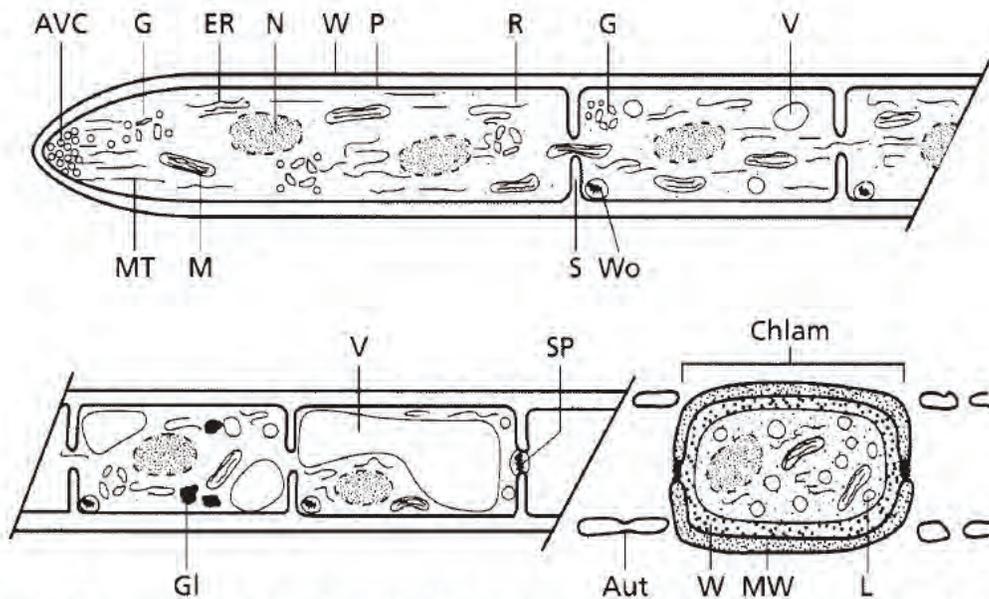


Fig. 3.1 Diagrammatic representation of a fungal hypha, showing progressive aging and vacuolation behind the hyphal tip. In the oldest regions, the walls may break down by autolysis or the mycelial nutrients may accumulate in chlamydospores (thick-walled resting spores that serve in dormant survival). Aut = autolysis; AVC = apical vesicle cluster; Chlam = chlamydospore; ER = endoplasmic reticulum; G = Golgi/Golgi equivalent; Gl = glycogen; L = lipid; M = mitochondria; MT = microtubules; MW = melanized wall; N = nucleus; P = plasmalemma; R = ribosomes; S = septum; SP = septal plug; V = vacuole; W = wall; Wo = Woronin body.

Fig. ba Estructura de la punta de las hifas, “diagrama de la representación fungal de hypha, mostrando el envejecimiento progresivo y cacuolación detrás de la punta de la hifa. En las regiones más viejas, las paredes podrían romperse por autoyisis o la acumulación de nutrientes puede ocurrir en chlamydospores (esporas de paredes gruesas que pueden funcionar como esporas durmientes)”.

Deacon dice en el capítulo 4 de su libro *Fungal Biology*, cómo el crecimiento de las hyphae son la marca distintiva de los hongos (con algunas excepciones). Parafraseándolo, ningún otro organismo crece como un tubo continuo que se extiende sólo en la punta.

La composición bioquímica de las paredes de las hyphae consiste en quitina embebida en proteínas y una capa exterior principalmente de proteínas. Tiene un espesor de cerca de 125 nm aunque en la punta mide 50nm (en el caso de *Neurospora crassa*) y su composición es más simple, principalmente de quitina.<sup>112</sup>

Las hyphae crecen dentro de una colonia definida y su comportamiento está vinculado a

las otras ramificaciones de hyphae de la misma especie o de distintas especies y depende de la cantidad de nutrientes disponibles en la región. Cuando hay mucho alimento disponible, crecen de manera estratégica alejándose una de otra para cubrir la superficie de manera consistente. Por el contrario, cuando hay pocos nutrientes disponibles, sorprendentemente, las hyphae crecen una hacia otra generando en algunas ocasiones la fusión de sus estructuras. Esta fusión puede incluso llevarse a cabo entre especies distintas, aunque no tienden a sobrevivir.<sup>113</sup>

La forma en la que crecen las hyphae de los hongos que descomponen madera ocurre con el crecimiento de hyphae principales que van

112 DEACON, JIM, 2006, *Fungal biology*. 4. Edimburgo : Blackwell. pp.56

113 DEACON, JIM, 2006, *Fungal biology*. 4. Edimburgo : Blackwell. pp. 51-52

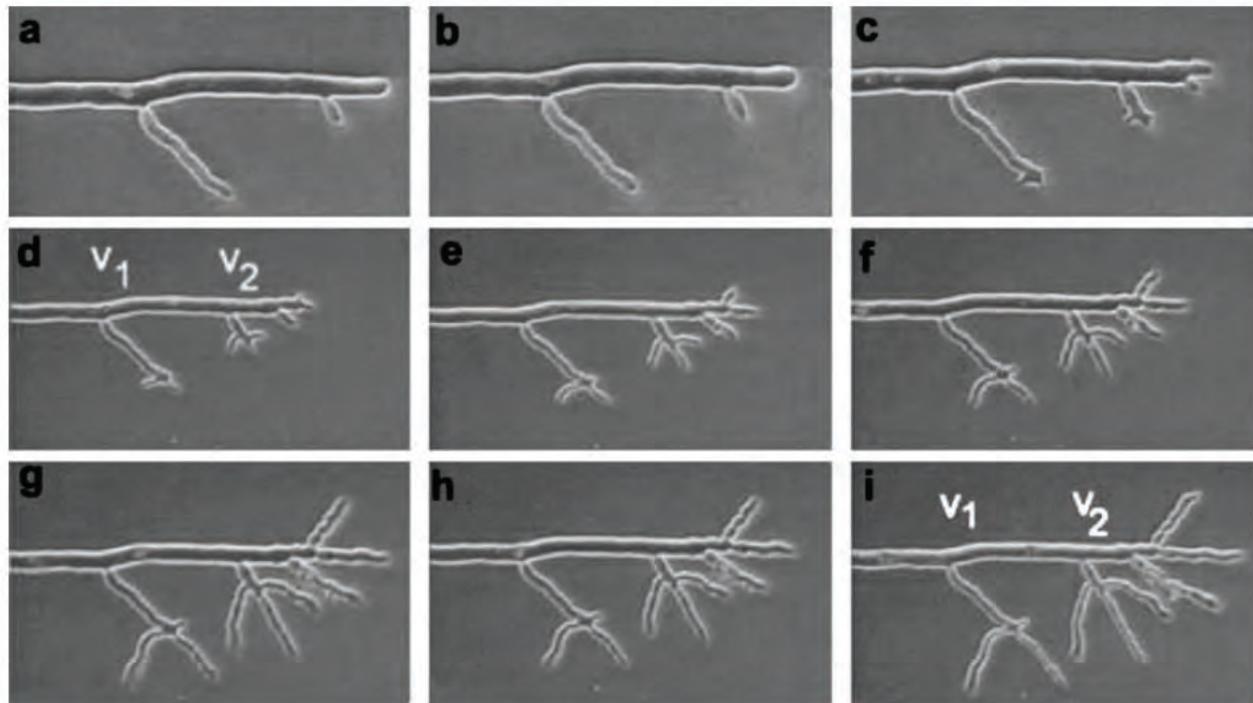


Fig. 4.1 (a–i) Sequence of frames from a videotape of *Neurospora crassa* growing over a 1-hour period beneath a coverslip on an agar plate. (Frames (a–c) are shown at higher magnification than the other frames.)

Fig. bb Imágenes de crecimiento de un periodo de una hora de micelio de *Neurospora crassa* en agar. Su forma recuerda a un fractal.

engrosando sus paredes creando canales de flujo de nutrientes y no de citoplasma vivo. Esto permite mover los nutrientes a través de largas distancias para alimentar a todo el micelio. El comportamiento que incita a este crecimiento no ha sido aun estudiado a profundidad, sin embargo un estudio con *S. lacrymans*<sup>14</sup> sugiere que la motivación química es la presencia de nitrógeno, ya que se observó que el micelio crece más cerca de fuentes de nitrógeno y no cerca de aminoácidos. Esto es relevante al momento de plantear la forma de alimento y la combinación de los nutrientes así como la repartición dentro del molde, los factores de compresión del sustrato y la repartición homogénea de las colonias de micelio para que la muestra completa pueda ser inoculada.

Se podría utilizar al nitrógeno como un medio de conducción o guía para el crecimiento del mismo.

También esto sugiere que el material tendrá distintas densidades dependiendo de dónde se encuentre el crecimiento inicial de cada colonia. En un estudio mucho más minucioso, podría pensarse en un acomodo estratégico de focos de crecimiento para generar una estructura mecánica y densidad específica deseada.

# Desarrollo de la investigación

## Reino Fungi variedades en la CDMX

Ahora abordaremos las posibilidades de uso y experimentación dentro del contexto dado de la investigación. Es necesario precisar que como se mencionó anteriormente, existe una enorme cantidad de especies que basa su estructura principal en micelio con las que teóricamente se podría trabajar. Sin embargo, tomando en cuenta los trabajos y estudios anteriores y las especies con las que se ha trabajado, así como las disponibles en la Ciudad de México, la parte inicial de la experimentación se basó en el uso de *Pleurotus osteratus* ya que otros trabajos homólogos trabajan con él y porque al ser comestible, representa un riesgo de toxicidad mínimo. La segunda especie con la que se planteó iniciar la experimentación fue *Ganoderma sp* ya que los trabajos que ha realizado Phil Ross se basan en esta especie de micelio y tras descubrir su presencia dentro de Viveros de Coyoacán de manera natural, se optó por trabajar con él.

*Pleurotus spp.* como ya se dijo, es una seta comestible, que se cultiva y comercializa en las zonas aledañas de la Ciudad de México. Gracias a que el rango de temperatura y condiciones climáticas que requiere para crecer son cerca de los 25° y un rango de humedad amplio es posible cultivarlo en muchas partes del mundo y con la que sería fácil trabajar para la experimentación. Se sabe<sup>115</sup> que este tipo de hongo puede cultivarse con desechos de paja húmeda de trigo, avena, centeno, maíz, cebada, sorgo, mijo, bagazo de caña, pulpa de café, residuos de plátano, desperdicios de algodón y otras desechos orgánicos.

El segundo es el hongo, *Ganoderma sp.* es un

hongo que puede identificarse como de “repisa”, crece en troncos de árboles que ya están muriendo y tiene numerosas variedades que se pueden diferenciar a partir de su tipo de pigmentación, la forma de sus poros, el brillo de la tapa y la zona donde crece. Se alimentan de árboles vivos y procesan la lignina de las plantas. Se cultiva en zonas húmedas de todos lados del mundo.

El Dr. Heng Wooi de la UWA señala que el micelio tiene propiedades similares a las del fruto de los hongos, esta información es clave para poder elegir con qué tipo de hongo trabajar. Los *Ganoderma* (y en general los hongos conocidos como repisas fungi) son muy duros, tanto que para cortarlos se necesitan herramientas metálicas ya que con la fuerza de las manos no es suficiente.



Fig. bc Fotografía de un hongo *Ganoderma*.

115 <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/aderlan/documentos/EJESTotal/EJE5/cultivo%20de%20pleurotus%20ostreatus.pdf>  
(consultado el 11/11/2017)

De la misma manera, en la parte inicial de la investigación y experimentación, se planteó hacer pruebas con SCOBY<sup>116</sup>, o Kombucha, un conjunto de bacterias, como *Medusomyces gisevi* y *Bacterium xylinum*, y levaduras, como *Gluconobacter oxydans*, *Saccharomyces ludwigii*, *S. cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Pichia fermentans* y *Zygosaccharomyces bailii*<sup>117</sup>

Esta comunidad de organismos donde hay participación de hongos ha sido utilizado por la tradición china desde hace muchos años como método de fermentación de té azucarado para la producción de una bebida alta en probióticos, popularizada en la última década en occidente.

Se planteó el uso y experimentación de SCOBY pues es otro referente de trabajos de biodiseño que ha sido utilizado por su relativa facilidad de

crecimiento.

Así como Suzane Lee y otros bioartistas, un estudio en Francia comenzó a experimentar con dicho hongo añadiendo distintos materiales para observar su descomposición, comportamiento y transformación. Es importante añadir que los trabajos que se han hecho con Kombucha no se han llevado a una producción como tal, ya que lograr la estabilidad tras la deshidratación no es posible. Dadas las condiciones y propiedades del hongo, cada que se humedece de nuevo, pierde la estructura y se vuelve suave de nuevo, destruyendo aquello que se haya hecho sólido antes. Es por esto que se descartó su participación en el proyecto tras una serie de pruebas muy generales.



Fig. bd Fotografía de un hongo de la región, Huitlacoche mexicano.

116 Symbiotic Colony Of Bacteria and Yeast

117 P. Mayser, «The yeast spectrum of the “tea fungus kombucha”», en revista *Mycoses*, volumen 38, número 7-8, págs. 289-295

## *Pleurotus ostreatus*

Phylum: *Basidiomycota*

Orden: *Agaricales*

Familia: *Pleurotaceae*

Género: *Pleurotus*

Especie: *P. ostreatus*

Normalmente crece en lugares templados, pudiendo darse en troncos de madera como el chopo, haya o sauce. Es comestible y producido en grandes cantidades para la industria alimenticia<sup>118</sup>.

Este hongo ocasiona la pudrición blanca.

Su esporoma, la parte sexual del organismo es cultivada y consumida como fuente de alimento y proteína en grandes cantidades. La forma que éste tiene se reconoce por ser redondo suave y de textura algodonosa. El himenio tiene formas alargadas sin llegar al borde de la corona, a lo largo del tallo.

Su color es principalmente blanco, hay otras especies o variedades de la misma que tienen colores rosa o amarillo pero la más conocida es blanca. Ha sido utilizada en muchos proyectos de economía azul creciéndolo en deshecho de café o desecho agrícola como fuente de alimento, algunos ejemplos se encuentran en Holanda.

Normalmente el tallo es excéntrico y crece de manera lateral hacia arriba<sup>119</sup>. Conforme el hongo envejece éstas se oscurecen y el cuerpo del hongo en general se hace más duro concentrando su sabor.



Fig. be Fotografía de un hongo *Pleurotus ostreatus*.



Fig. bf Fotografía de un hongo *Pleurotus ostreatus*.

118 Spahr, D.L. 2009

119 <http://www.amanitacesarea.com/pleurotus-eryngii.html> (consultado 20 marzo 20)

## *Ganoderma steyaertnum*



Fig. bg Fotografía de un hongo *Ganoderma lucidum*.

Phylum: *Basidiomycota*  
 Orden: *Aphyllorphorales*  
 Familia: *Ganodermataceae*  
 Género: *Ganoderma*  
 Especie: *G. steyaertnum*

Popularmente conocido por su nombre en japonés: Reishi pues desde hace más de 2000 años ha sido utilizado por las culturas asiáticas como medicina o remedio natural.

Crece en climas templados alimentándose de troncos muertos de latifoliadas<sup>120</sup>.

Se alimenta principalmente de lignina ya que pertenece a la clasificación de pudrición blanca.

“*Ganoderma is the genus from order Aphyllorphorales with more than 466 species.*”<sup>121</sup>

La forma que tiene el esporoma de este hongo es como repisas que crecen en los troncos de los árboles que han sido invadidos por el micelio del mismo. Tiene una alta densidad al grado de requerir herramienta para poderlo cortar ya que con la simple fuerza de la mano sería muy complicado. Tiene una gama de color que varía en varios tonos de café hasta un crema que tiende a blanco. La parte café que se ubica en la zona superior de la cabeza, es repelente al agua.

120 Stanley G, Harvey K, Silvova V, Jiang V and Silva D. 2005

121 Traducción del autor: *Ganoderma es en género del orden Aphyllorphorales con más de 466 especies*” de [https://www.researchgate.net/profile/Dr\\_Kiran\\_Ranadive/publication/295547807\\_Checklist\\_of\\_Ganoderma\\_P\\_Karst\\_Ganodermataceae\\_From\\_India/links/56cb32d508aee3cee5416180.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dr_Kiran_Ranadive/publication/295547807_Checklist_of_Ganoderma_P_Karst_Ganodermataceae_From_India/links/56cb32d508aee3cee5416180.pdf) (consultado 20 marzo 20)

## Especie viable y por qué

Se optó por hacer pruebas con *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus d'jamour* por la facilidad de crecimiento y de adquisición que tiene. Los factores necesarios para que crezca son mínimos en CDMX, como que el sustrato tenga un porcentaje considerable de lignina<sup>122</sup> es un hongo que se ha cultivado mucho para fines de consumo alimenticio por lo que hay mucha información disponible acerca de su cultivo y cuidado tanto en laboratorios industriales como en granjas ya que puede utilizarse el residuo agrícola o residuo de café para su crecimiento.

Además de que al ser un hongo comestible, evita la posibilidad de toxicidad en el crecimiento y cultivo del hongo, siempre teniendo en cuenta la características de limpieza necesarias para evitar crecimiento de otros hongos como mohos, cuyas esporas pueden contaminar las muestras en general.

Gracias a las condiciones óptimas necesarias, se puede cultivar en varias zonas de México, sin problema ni mucha inversión energética, sobre todo el invierno.

La temperatura ideal de crecimiento del micelio del hongo es cerca de 22 o 23 °C llegando hasta 30°C cuando se trata de cultivar el esporoma.

Por otro lado, se planea experimentar con el micelio de la misma variedad de seta en tonalidad rosa para ver si tiene algún efecto estético en el producto o en el micelio mismo.

Por el otro lado, con una variedad de *Ganoderma* para analizar la variación en las propiedades del material final. Inicialmente cada hongo por separado, con la intención de mezclarlos en una etapa posterior para lograr una combinación de propiedades que sea ventajosa.

Con ayuda de la aplicación móvil iNaturalist, se constató la presencia del hongo *Ganoderma sp.* en Viveros de Coyoacán, lo cual implica que la variedad de hongo existe de manera natural en el contexto, lo cual también implica la presencia del alimento que éste pueda tener.

122 “Lignin is an organic substance belonging to a group of aromatic alcohols. It is naturally produced by certain plants (especially woody plants and certain algal species). It is found in the secondary cell walls of plants where it serves as a binder for cellulose fibers and provides stiffness to the cell walls. It was first described by the Swiss botanist Augustin Pyramus de Candolle in 1813. He first called it lignine from the Latin word lignum meaning wood.1 That is because it is present in wood primarily to provide structural support and protection against degradation by microorganisms. It fills the spaces in the cell wall particularly in xylem tracheids, vessel elements and sclereid cells. Since lignin is hydrophobic it assists in the efficient water transport across the vascular tissue. Ecologically, the importance of lignin is associated with the carbon cycle. It takes carbon from the atmosphere into the woody plant tissues and therefore acts as an important reserve of carbon in the form of humus as the plant tissue slowly decomposes.” <https://www.biology-online.org/dictionary/Lignin> (consultado 11/11/19)

## Antecedentes

### Desechos locales

Para cultivar o crecer a estos tipos de hongos, es necesario tener una fuente de celulosa o lignina mínimo, como putno de partida. Lo ideal es trabajar con un desecho orgánico de alguna planta que proporcione estos materiales y al mismo tiempo abone parte de minerales y nutrientes específicos de la planta en cuestión. Para ello se analizan los desechos que podemos encontrar cerca de la Ciudad de México y que podrían ser una fuente de desechos vegetales para alimentar al hongo.

### Lirios, Xochimilco

Como punto de partida se contempló el uso de lirio de los canales de Xochimilco, de donde actualmente se extraen 16 mil 600 toneladas de lirio cada año<sup>123</sup>.

Dado que la sobrepoblación de lirio genera un exceso de oxigenación en el agua y evita la entrada de luz a las profundidades del canal, esto impide el crecimiento de otras especies generando un desbalance en el cuerpo acuático, poniendo en riesgo a la flora y fauna del canal. Actualmente ya existen otras propuestas para utilizarlo como haciendo papel amate, a través de una pulpa y ponerlo a secar en prensas y marcos, razón por la cual se descartó como posibilidad.

### Fibra de nopal, Milpa Alta

Milpa Alta es uno de los principales productores de nopal del país dadas sus particulares condiciones de elevadas temperaturas y gran altitud. Al encontrarse próximo a la Ciudad de México es tomado en cuenta como una posible fuente de desecho de materia orgánica, sin embargo la cantidad de desechos es tal, que ya existen varias propuestas de aplicaciones y usos para estos, empezando por la solución inmediata obvia; composta con el desecho de los nopales de Milpa Alta<sup>124</sup>.

Se construyó una planta de generación de energía usando al nopal como biocombustible aunque a la fecha (2020) están teniendo problemas para echarla a andar<sup>125</sup>.

123 <https://www.jornada.com.mx/2016/12/18/capital/027n1cap> (consultado el 9-10-18)

124 <http://imagenagropecuaria.com/2017/producencomposta-desechos-nopal-en-milpa-alta/> (consultado 10-10-18)

125 <http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/frenaninnovacion-de-nopal> (consultado 10-10-18)

## Amaranto, Santiago Tulyehualco



Fig. bh Planta de amaranto en el campo.

Dentro de Tulyehualco, Xochimilco se encuentra la Zona de Conservación Ecológica Teutli la cual está “mundialmente reconocida como un reservorio de diversidad genética para el cultivo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*).”<sup>126</sup>

Ésta es la variedad que más se cultiva para su producción e ingesta alimenticia en México. Gracias a la producción de este cultivo, los pobladores de la zona pueden sostenerse económicamente ya que resulta más redituable que la cosecha de otras especies de plantas como el maíz, el frijol, la calabaza o que el cuidado de ganado.

“El amaranto se cultiva en este país desde hace aproximadamente siete mil años y antes de la llegada de los españoles era fundamental en la dieta de los pobladores; hoy en día es distintivo de la comunidad de Tulyehualco, por lo que en el año 2016 fue declarado Patrimonio Cultural Intangible de la Ciudad de México”<sup>127</sup> Existen varios estudios donde se muestra que el amaranto tiene una aportación de proteína mayor que la leche, la soya, el trigo o el maíz<sup>128</sup> es por esto que fue recomendado como alimento por la NASA para llevar al espacio como alimento para astronautas junto con otros granos como la quinoa.

Actualmente es considerado un superalimento<sup>129</sup> así como el acai, la chía, la semilla de hemp entre otros.

Dentro del proceso de extracción del grano, hay un desecho de fibras, tallos y hojas que podrían utilizarse como alimento para el hongo. Por otro lado, al ser un producto mexicano, ayudaría a impulsar su cultivo y la producción competitiva

126 [https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-](https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1426.pdf)

1426.pdf (consultado 29-05-19)

127 <https://mas-mexico.com.mx/amaranto-una-de-lassemillas-de-oro-de-la-agricultura-mexicana/> (consultado 09-10-18)

128 <http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm> (consultado 14-10-18)

129 <https://en.wikipedia.org/wiki/Superfood> (consultado el 14-11-18)

## Viveros de coyoacán

dentro del sector alimenticio.

Dentro de la Ciudad de México, se estima que alrededor de 16,000<sup>130</sup> personas se dedican al cultivo de alimento. De estos territorios, de lo que abarca Milpa Alta, el 90% de ese territorio se dedica a la siembra del nopal y los otros productos que se siembran son amaranto, hortalizas, hierbas y plantas ornamentales.

Con el fin de impulsar la producción del amaranto, en los últimos años han surgido empresas como AMATEC<sup>131</sup> que se dedican al cultivo, transformación y comercialización de productos de amaranto. Para fines de esta investigación, se asume que dentro de esa cadena de producción, deben de encontrarse áreas de oportunidad para generar propuestas de diseño donde el material tenga un uso específico que les pueda beneficiar a ellos y al medio ambiente.

“La familia es fundamental para continuar reproduciendo las prácticas agrícolas, porque a través de ella se transmiten los conocimientos de generación en generación; sin embargo, se observó que, si bien mientras los niños son pequeños, apoyan a la unidad de producción, pero al crecer su proyecto de vida ya no es la agricultura”.<sup>132</sup> Cuenta un agricultor explicando cómo se ha perdido un poco la tradición de la siembra y cómo les gustaría reincentivar a las nuevas generaciones para no perder la cultura. Esto habla de un potencial impacto social, además de económico y ambiental.

Ubicado en Av. Progreso no. 1, Col. Del Carmen, Coyoacán, 04100, dentro del sur de la Ciudad de México, se ubica el Parque Nacional histórico de Coyoacán, también conocido como Viveros de Coyoacán.

Consta de un territorio de aproximadamente 39 hectáreas. Dentro de las instalaciones se pueden realizar actividades recreativas como deportes al aire libre, cursos de verano, entre otros. Está prohibido ingresar con animales y bicicletas, lo que permite que haya un ambiente tranquilo y limpio al interior.

Este parque se fundó inicialmente para ser el vivero donde se crecerían los árboles de la ciudad. Actualmente hay un área destinada a la siembra y reproducción de árboles para la reforestación de la ciudad, aunque su capacidad no sea como en un inicio se ocupó. Los árboles que aquí crecen son regalados junto con una guía de cuidado, con el fin de ser sembrados en la época de lluvias principalmente.

En otra parte del terreno hay un área comercial donde se pueden encontrar plantas de diversas especies, así como objetos relacionados con la jardinería, disponibles a la venta para el público en general.

Este espacio es una fuente muy importante de oxígeno para la Ciudad de México en donde se encuentran especies de árboles como eucalipto, acacia, álamo, sauce, pino, entre otros<sup>133</sup>.

Hay registros de 1995 donde al menos mil deportistas visitaban diariamente el parque.

Dentro de la práctica de reproducción de

130 <http://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manualecoamarantofinal.Pdf> (consultado 11-10-18)

131 <http://amatec.mx/amaranto.html> (consultado 29/05/19)

132 Ramírez Meza, B., Torres Carral, G., Muro Bowling, P., Muruaga Marínez, J. And López Monroy, D. (2010). Los productores del amaranto en la Zona de Conservación Ecológica Teuhtli. *Revista de Geografía Agrícola*, [online] 44/57, pp.58-69. Available at: <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1426.pdf> [Accessed 29 May 2019].

133 <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/vivero-coyoacan> (consultado 20-08-2019)

árboles, se utilizan actualmente bolsas de plástico y macetas de plástico las cuales, se intuye que son sólo utilizadas una vez para después convertirse en desecho.

Es importante hacer la anotación del desperdicio orgánico vegetal que se genera constantemente dada la poda, mantenimiento y la hojarasca que naturalmente se desprende de los árboles dentro del parque. Cuentan con una máquina trituradora que troza los desperdicios en pequeñas virutas y trozos que actualmente se utiliza para tratamiento de caminos dentro del parque pero que fácilmente podrían utilizarse para el cultivo de hongos.

En el sitio digital iNaturalist mx podemos ver el tipo de especies que han sido reportadas en Viveros Coyoacán. Si bien las áreas verdes son un centro de variedad de fauna y flora, es sorprendente ver que han sido reportadas 276<sup>134</sup> especies incluyendo algunas variedades del reino fungi, entre los cuales se reporta un tipo de *Ganoderma sp.*



Fig. bi Fotografía de cientos de cultivos en viveros de coyoacán, crecidos en bolsas de plástico de un solo uso.

Así como dicta la economía circular, no sería necesario que todos los desechos fueran generados en el mismo lugar al momento de plantear un diseño de sistema donde el material propuesto juegue un papel central. Tomando en cuenta que existen varios proyectos incluyendo el cultivo de setas con restos de café como sustrato de crecimiento, se podría aplicar un esquema similar ya que en la zona de Coyoacán existen muchísimas cafeterías así como varios puestos de fruta y jugo y puestos que venden productos derivados de la miel y amaranto con los cuales se podrían generar



Fotografía tomada por el autor de hongos *Ganoderma sp.* en el 4to dinamo, Magdalena Contreras, CDMX.

134 <https://www.naturalista.mx/places/viveros-de-coyoacan-distrito-federal-mx#page=5> (consultado 16/09/19)

vinculación para tener otra fuente de nutrientes para la base del sustrato de los hongos.

Como se observa inicialmente, el potencial problema o área de oportunidad con las bolsas de plástico que utiliza el parque para trasplantar los brotes, surge la idea de que uno de los objetos que se fabrique con el nuevo material, sean macetas para sustituir el uso de las que actualmente se utilizan, cerrando el ciclo con los materiales del mismo contexto.

En una de las secciones que integra el parque, se ubica CICEANA (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América A.C.) Una organización dedicada a proteger y difundir el cuidado del medio ambiente. Aquí se ofrecen talleres que se vinculan con temas generales como

agua, energía, atmósfera, biodiversidad, bosques, residuos sólidos, cambio climático, contaminación, agricultura urbana, cactáceas, biotecnología y ecotécnicas<sup>135</sup>, funcionan de manera independiente de viveros de coyoacán pero tienen proyectos en conjunto.

Como parte del programa continuo de reforestación<sup>136</sup> de los viveros, cualquier ciudadano puede acercarse a la dirección para pedir un árbol dando información básica como dónde lo busca plantar. Se le darán recomendaciones acerca de la especie y el cuidado que se debe de tener con el fin de que efectivamente se vaya a plantar y preservar dicho árbol.

*Ganoderma applanatum* in Viveros de Coyoacán, DF, MX



Foto: (c) Steve Voght, algunos derechos reservados (CC BY-SA)



Primera observación confirmada de NaturaLista el 22 de mayo de 2019 in Del Carmen, Ciudad de México, CDMX, México por feliscatus18, añadido 22 de mayo de 2019

Última observación confirmada el 22 de mayo de 2019 in Del Carmen, Ciudad de México, CDMX, México por feliscatus18

Fig. bj Fotografía de avistamiento de *Ganoderma applanatum* dentro de viveros de coyoacán.

135 <http://www.ciceana.org.mx/web/seccion.php?sec=22> (consultado 20 marzo 2020)

136 <https://centrodecoyoacan.mx/donde-ir/plazas-jardines/viveros-de-coyoacan/> (consultado 20 marzo 2020)

## Eucalipto, México y Australia

El eucalipto es un árbol perenne originario del continente de Oceanía, existen alrededor de 700 variedades distintas desde arbustos hasta árboles altos.

“Un conjunto de pruebas que respaldan esta hipótesis es el registro fósil vegetal. Los árboles del género *Eucalyptus* eran raros en Australia hace 45.000 años. Sin embargo, con la llegada de *Homo sapiens* se inauguró una edad dorada para estas especies. Puesto que los eucaliptos son particularmente resistentes al fuego, se extendieron por todas partes mientras otros árboles y matorrales desaparecían. Estos cambios en la vegetación influyeron en los animales que comían las plantas y en los carnívoros que comían a los herbívoros. Los koalas, que subsisten únicamente a base de hojas de eucaliptos, se abrieron camino masticando felizmente a nuevos territorios, mientras que la mayoría de los demás animales sufrieron mucho. Numerosas cadenas alimentarias australianas se desplomaron, conduciendo a la extinción a los eslabones más débiles.”<sup>137</sup> (NOAH, 2014; pp. 286, 287)

Lo que Noah describe es con el propósito de ejemplificar cómo la tarea del hombre en el planeta ha sido de modificar el paisaje y las especies que en el planeta habitan de manera desmedida desde tiempos muy remotos, sin embargo nos comparte un poco de la historia del eucalipto

desde Australia y cómo es que se volvió una especie dominante gracias a resistir incendios propiciados por los humanos para poder sembrar y cazar con mayor facilidad. Tras haberse vuelto una especie importante en el continente, fue trasplantado en múltiples países gracias a que, en general tiende a crecer muy rápido comparado con otras especies de árboles funcionando como fuente de madera y de sombra, ha sido plantado en casi todo el mundo desde bajas alturas hasta 4000 metros sobre el nivel del mar en los Andes<sup>138</sup>. Ha surgido una controversia de nivel mundial acerca de las implicaciones de la plantación del Eucalipto en su amplia gama de variedades, ya que como se mencionó anteriormente éste crece con gran rapidez haciendo uso de grandes cantidades de agua, generando competencia ecológica, tendiendo a propiciar monocultivos en varios países.

Curiosamente, 70% de los árboles cultivados en Viveros de coyoacan para su trasplantación dentro de la ciudad son Eucaliptos, donde las variedades más comunes son *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus globulus* (característico por sus hojas azules).

Existe un documento de 1874<sup>139</sup> donde describen que la razón principal para introducir la especie de eucalipto a México fue por preocupación de salubridad ya que se creía que sus propiedades medicinales ayudarían a combatir la

137 L. H. Keeley, «Proto-Agricultural Practices Among Hunter-Gatherers: A Cross-Cultural Survey», en T. Douglas Price y Anne Birgitte Gebauer, eds., *Last Hunters, First Farmers: New Perspectives on the Prehistoric Transition to Agriculture*, Santa Fe, N. M., School of American Research Press, 1995, pp. 243-272; R. Jones, «Firestick Farming», *Australian Natural History*, 16 (1969), pp. 224-228.

138 Efectos ecológicos de los eucaliptos, M.E.D. Poore y C. Fries, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 1987 Pp. 1

139 Corbin A. 1982. *Le miasme et la jonquille*. Flammarion, París.

Archivo Histórico de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Fondo Salubridad Pública. Medicamentos. Caja 1. Expediente 19. 1874. *Eucalyptus*. Memoria del Dr. De Bellina sobre la intensidad del paludismo en México. 1882. *Gaceta Médica de México*, tomo 17, pp. 347, 352, 413.

malaria y a deshumidificar<sup>140</sup> el aire de la ciudad.

A lo largo del tiempo gracias a la función que tuvo viveros por muchos años, se han trasplantado múltiples tipos de eucaliptos en la ciudad volviéndola una de las especies predominantes en la actualidad. Dentro del mismo parque se generan continuamente residuos vegetales de los que allí habitan y también en el resto de la ciudad.

Como se ha visto que es una especie exótica (extranjera) que no necesariamente genera beneficios en la fauna y la biodiversidad de la ciudad, hay iniciativas de quitar (talar) muchos de estos árboles que además de afectar el crecimiento de otras especies, maltratan con su crecimiento las construcciones urbanas de la ciudad, haciendo que ésta requiera mucho mantenimiento por parte del gobierno.

Como consecuencia de todo esto, el Eucalipto es una especie muy comúnmente encontrada tanto en México como en Australia, una importante fuente de lignina ya que muchas de sus variedades pelan el tronco generando así mucho desperdicio vegetal rico en lignina.



Fig. bk Fotografía de árbol de eucalipto.



Fig. bl fotografía de flor de eucalipto australiano,

140 Hinke, Nina. (2000). *La llegada del eucalipto a México*. *Ciencias* 58, abril-junio, 60-62. [En línea]

# Propuestas

## Aproximación al problema

Tras haber tomado los cursos introductorios en biology studio y haber aprendido las bases para la generación y crecimiento de biomateriales, se empezó a cuestionar cómo debería de tratar a los sustratos para garantizar una buena interacción con el hongo ya que sólo se había visto la interacción con un sustrato como paja o acerrín (producto de desecho agrícola). Por otro lado, se decidió que para ahorrar tiempo, sería mejor empezar pruebas con varios hongos al principio, antes de descartar alguno.

## Experimentaciones

En los anexos se encuentran de manera desglosada y más detallada todas las experimentaciones que se llevaron a cabo con el micelio de ambos hongos (*Ganoderma sp.* y *Pleurotus spp.*) así como de kombucha antes de descartar los últimos dos.

También se relata el proceso por el que fueron pasando las pruebas con referentes de tiempo, temperatura y en algunos casos (sobre todo al principio de la investigación) de contaminaciones durante el crecimiento de otras especies de bacterias y posiblemente otros hongos o bacterias. Desde un entorno cotidiano como la cocina, hasta un laboratorio de seguridad grado 2 en Symbiotica, UWA<sup>141</sup>.

## Metodología para quien decide incursionar con micelio

El método que se desarrolló fue cambiando durante los dos años que duró la investigación, es fundamental tener en consideración que el sujeto de experimentación está vivo y las variables y factores que deben tomarse en cuenta responden a un sistema complejo.

En un principio se planteó sencillamente someter un sustrato vegetal a un hongo (el micelio del hongo) donde no se tenía claro ni el tipo de sustrato ni el tipo de hongo.

Teniendo en mente siempre los principios de sostenibilidad, tratando de mantener impactos locales con beneficios locales en las tres esferas<sup>142</sup>. Tras varias pruebas, resultó no ser tan sencillo. Finalmente podemos resumir dicho método de la siguiente manera:

Antes de iniciar cualquier prueba es necesario conocer las variedades de hongos disponibles en la zona así como las variedades que se han utilizado y beneficios para el medio ambiente. Es fundamental tener un conocimiento básico de los hongos, su clasificación y la historia de relación de dicha especie con el humano. Se recomienda trabajar con especies que no sean tóxicas o incluso que se utilizan como fuente de alimento o remedio

141 University of Western Australia, Perth, Australia

142 Económica, ambiental y social

medicinal.

Es indispensable buscar información del tipo de degradación que genera el hongo para conocer el tipo de alimento que prefiere, esto servirá de guía para poderlo ubicar dentro de un contexto que nos brinde información como el rango de temperatura ideal, el nivel de humedad que necesita, si tiene alguna limitante de crecimiento durante el año y otros factores.

Varios investigadores (como Maurizio Montalti) abordaron un tema secundario muy interesante que cae en el campo de la ethografía<sup>143</sup>. Tras haber trabajado con hongos, en un nivel de cultivo y cuidado equiparable a la apicultura o el cuidado de una planta, el investigador desarrolla un vínculo que podría equipararse al de una mascota. Quizá no estamos tan habituados a los hongos y su crecimiento o cultivo, sin embargo hay que tener siempre presente que se trata de un ser vivo que tiene requerimientos y quien, sorprendentemente, se puede estresar (de hecho para el cultivo de los esporocarpos, se busca estresar al hongo).

La forma en que se alimenta y crece el micelio

es lo que genera la “magia” del material. Sus hifas segregan exoenzimas digestivas o degradantes al espacio que hay entre la misma red de micelio y el espacio que hay entre las partículas de madera (o sustrato). En estos espacios internos, se lleva a cabo la descomposición del material que genera la expansión y crecimiento de las hyphae, lo que vuelve al material más denso de hongo y con materia de madera hueca; que al final se transforma dejando de ser madera como tal, transformando las propiedades mecánicas del conjunto.

Tras entender esto y el tipo de hongo con el que se desea experimentar, el siguiente paso es elegir una buena fuente de sustrato rico en lignina o en celulosa, o en ambos, dependiendo del tipo de hongo con el que se decida trabajar y desde luego, la disponibilidad de materia vegetal de la zona o localidad.

Lo siguiente sería; crecer inóculos saludables y estables del micelio del hongo. En los siguientes capítulos se encuentran varios métodos prácticos para empezar dichas colonias. Hay varias fases



Fig. bm Crecimiento de tres tipos de hongos en Papa Dextrosa Agar,

143 Corriente que estudia el comportamiento entre humanos y animales como un vínculo social. El trabajo de Danielle Celermajer ejemplifica muy bien esta relación. Su último paper “Reading to Katie” (el cual a la fecha no ha sido publicado pero fue presentado en un congreso de Ethología en Curtin University en Perth, Australia en noviembre 2019) aborda los cuestionamientos y relaciones que se buscan tomar en consideración.

para ir creciendo la colonia y los dos principales consejos son: limpieza y paciencia (tomará cerca de dos meses tener la colonia lista para experimentar).

Al tratar con sustratos llenos de nutrientes, estos pueden ser un medio ideal para que proliferen todo tipo de hongos y bacterias. Recordemos que hay esporas en cualquier lugar que podrían desarrollarse al encontrar un medio idoneo de crecimiento. Por esta razón se deben de tomar medidas de esterilidad severas, las cuales se pueden lograr con filtros de aire, alcohol etanol al 70% y otras técnicas como un mechero de alcohol. En los anexos se abordan técnicas y especificaciones para evitar la contaminación del sustrato. Una vez que el sustrato está inoculado por el micelio, el riesgo de contaminación disminuye sustancialmente pero para fines de la producción y crecimiento del material de esta investigación, es la parte anterior la que requiere mayor atención y donde se busca evitar contaminaciones.

Una vez que se haya inoculado al sustrato con el micelio que se busca trabajar, el contenedor se sella para evitar que otros hongos o bacterias crezcan en el sustrato. Es ideal utilizar bolsas o contenedores con filtros que permitan el intercambio de aire pero eviten el paso de esporas.

Estos botes o bolsas se deben preservar en un área de poca iluminación, que no tenga incidencia de luz solar directa generando un espacio fresco, Además de considerar el lugar en el que se pondrán a crecer los hongos, otra cosa importante a considerar son los moldes que se utilizan para crecer las muestras.



Fig. bn Ejemplo de uno de los moldes utilizado de silicona grado alimenticio con forma de esfera donde crece una muestra de *Ganoderma sp.*

## Moldes de crecimiento

En la parte de la investigación de la especie de hongo deben encontrarse los factores ideales de su crecimiento. La mayoría requieren oxígeno para crecer pues también llevan a cabo la respiración celular. Este factor es fundamental cuando se selecciona el material para el molde. Hay muchísimas formas de hacer moldes y también muchos tipos de moldes ya disponibles, tantos que no vale la pena ahondar en ello, los mas comunes son recipientes reutilizados como tappers o moldes termoformados de algún material como polipropileno, poliestireno, PET. Sin embargo, hay que tener siempre en cuenta la porosidad, densidad y espesor de la pared del molde al momento de elegirlo ya que, por un lado se busca que la resistencia de dicho material sea tal que contenga la mezcla del hongo y el sustrato ejerciendo presión para compactarlo. Por otro lado, debe permitir el paso del aire para que todas las paredes de la muestra estén en contacto con oxígeno, tanto para que la mezcla se seque paulatina y lentamente, como para que el hongo respire<sup>144</sup>.

Partiendo del hecho de que el micelio respira, es imperativo proporcionar una forma de intercambio gaseoso con el medio para evitar asfixiarlo. Por otro lado, también es importante permitir un grado de transpiración pues buscamos que la muestra pierda humedad poco a poco. Si se guardan concentraciones altas de humedad dentro del contenedor o del molde, la pieza tiende a generar moho y a contaminarse o simplemente a no propiciar la colonización del micelio hacia las áreas con mucha humedad. Basándonos en este principio, es necesario contar con un material poroso que permita la transpiración de la muestra.

El hecho de que sean translúcidos ayuda pues podemos tener visibilidad de la propagación

de la muestra y el estado de la pieza. Esto se recomienda sobre todo cuando no se han hecho experimentaciones anteriores y se desconoce cómo reaccionará el micelio.

Por otro lado, aseguramos que sea una capa medianamente uniforme en espesor, que pueda permitir un paso homogéneo de gases.

Recordemos que las partículas de gas son muy pequeñas y pueden viajar a través de varios materiales (he ahí por qué el hidrógeno necesita tanques especiales, por ejemplo).

Lo que se busca es que el material pueda tener una consistencia homogénea, de modo que las partes que lo componen deben de distribuirse más o menos en partes iguales a lo largo de la cavidad, así como que el oxígeno pueda distribuirse al interior.

Como diseñador, fue imposible evitar la perspectiva de material con propiedades inherentes de acabados específicos, para los cuales se encontró una relación directa con la interacción del molde (o ausencia de él). Resulta que aquellos materiales que permitían una transpiración adecuada y ejercían suficiente presión, generaban los acabados más homogéneos.

Las hifas buscan crecer alejándose del centro de la colonia, buscando nutrientes y oxígeno, así que mientras más homogénea sea la mezcla y el molde, mayor homogéneo será el resultado.

Algunos materiales aconsejables son silicón de grado alimenticio. Paredes delgadas de algún plástico, podría ser una estructura rígida de algo como madera, incluso cartón, siempre y cuando se selle con una película plástica que evite el contacto del hongo con la madera o cartón para evitar que estos absorban la humedad del hongo y sobre todo para mantener esterilidad en la muestra.

144 Intercambiando oxígeno por dióxido de carbono.

## Métodos de cultivo

### Preparación de Papa, Dextrosa, Agar

El agar agar es un compuesto extraído de algas que tiene un comportamiento similar al de la gelatina. Normalmente se consigue en forma de polvo y tras diluirse en agua caliente y dejarse enfriar, toma una forma gelatinosa rígida que sirve como cuerpo base para poder crecer bacterias u hongos. Hay muchos tipos de agar mezclado con algún tipo de azúcar dependiendo de la bacteria u hongo que se desee cultivar.

Hay varias formas de preparar medios de cultivo basándose en agar, el más común es de levadura. A los hongos les gustan más medios densos y de almidón, por lo que el Dr Heng Chooi, profesor del área de micología de ciencias en UWA, recomienda crecer al micelio del hongo *Pleurotus osteratus* y *Ganoderma spp.* en un agar de base de fécula de papa.

El concentrado de PDA puede comprarse en laboratorio aunque al ser más caro que el promedio de las fórmulas de agar, para esta experimentación se optó por hacerlo de cero. Hay recetas para extraer el almidón directamente infundiendo papa para extraer su fécula. A continuación se describe la receta que se siguió para el primer cultivo de agar para crecimiento de micelio del hongo.

Para 400 ml de medio:

8 g de dextrosa

6 g de agar agar en polvo

80 ml de infusión de papa

Para hacer la infusión se hirvieron 100 g de papa en 100 ml de agua destilada por 30 min.

400 ml de agua destilada en total.

El agua se hierve, por un lado se infundona la

papa cortada en cuadritos sin piel por media hora y por otro lado se disuelve el agar con la dextrosa.

Se unen los líquidos formando una solución de 400 ml.

Es necesario esterilizar la solución por lo que se usa la autoclave (un método más casero y económico es la olla de alta presión, lo importante es llegar a 15 psi y 121°C por media hora). Para esto se requiere contar con un envase adecuado que resista el cambio de temperatura y la presión, se recomienda pyrex ya que hay varias opciones con tapas plásticas enroscables lo cual facilita mucho el proceso preservando la esterilidad durante varias fases del proceso.

Una vez esterilizado el medio debe dejarse enfriar a temperatura aproximada de 40° en la cual el agar aún no geliza y ya se puede tocar sin quemarse.

Se vierte el líquido en cajas Petri estériles (en el caso de esta experimentación se llevó a cabo dentro de una campana de flujo laminar filtro HEPA el cual tiene espesor del poro definido, en este caso se trabajó con un poro de 20 micras) con el objetivo de cubrir una capa sin que la tensión superficial deje huecos en cada caja Petri, mientras menos material haya es mejor ya que el material rinde más. No resultó muy representativo generar placas gruesas de agar para los crecimientos que se hicieron en esas cajas petri.

Una vez vertido el contenido en estado líquido, se tapan las cajas dejando una pequeña abertura para evitar que con el cambio de temperatura haya condensación al interior, lo cual podría propiciar contaminación.

Se dejaron reposar las cajas hasta que el agar gelizó y se podían manipular, lo cual tardó una hora aproximadamente, este tiempo varía dependiendo de la concentración de agar que se haya utilizado y el espesor de la capa.

Una vez que la solución haya gelizado, se pueden cerrar las cajas para guardarlas en refrigeración hasta que se decidan usar. Se deben almacenar en refrigeración para que duren más tiempo sin contaminarse y se recomienda que se almacenen en una bolsa hermética con la parte del agar en la parte superior para evitar la condensación en la tapa. Pueden durar hasta meses a 3°C aunque su rendimiento va disminuyendo.



Fig. bo Ejemplo de una cabina de seguridad grado 2 dentro de los laboratorios de UWA.

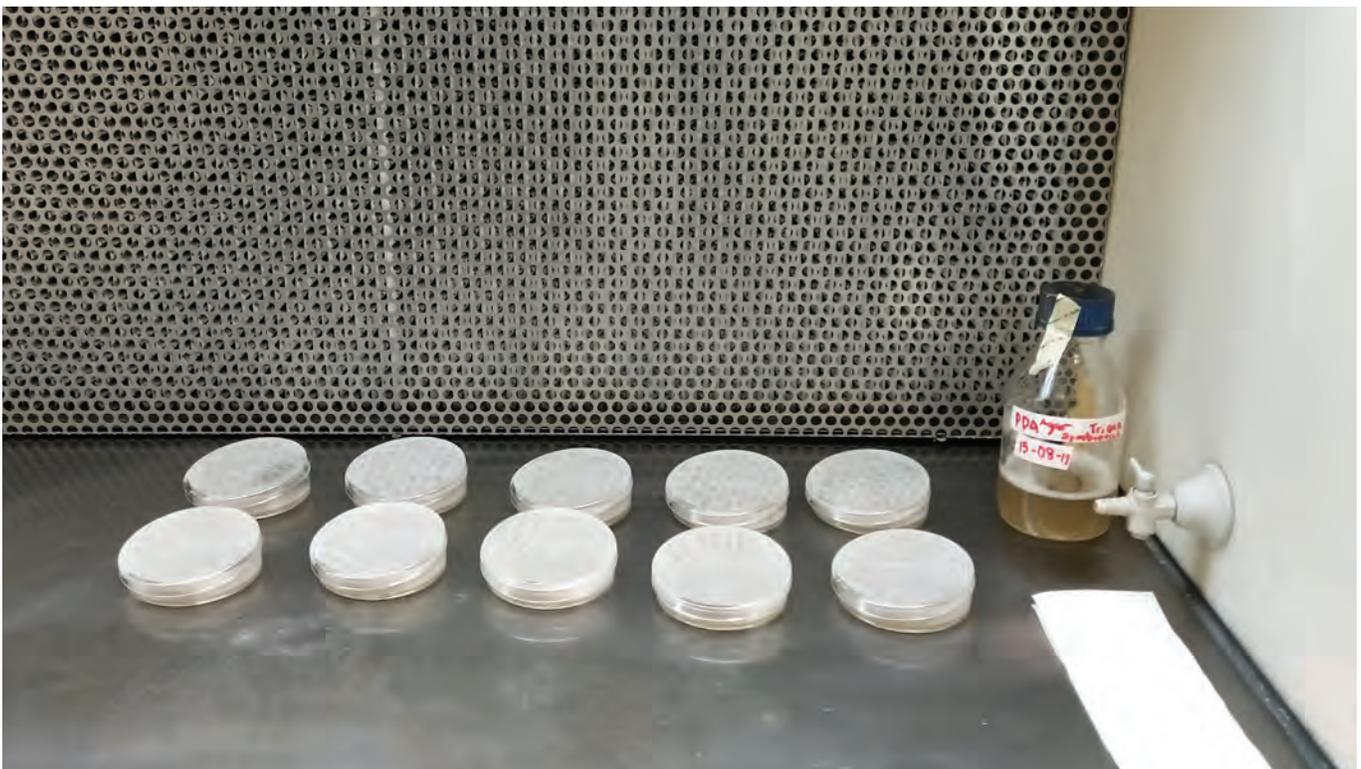


Fig. bp Cajas petri en proceso de gelización de agar PDA en cabina de seguridad grado 1,

## Inóculo de cultivo líquido

Este es uno de los métodos que recomienda más McCoy en su libro *Radical Mycology*.

“LC is my preferred inoculum for everyday use. Never again will I go back to working with agar for general inoculations. There is no point.” (McCoy, 2016; pp.242)<sup>145</sup>

El cultivo líquido tiene muchas ventajas, por ejemplo, puede tenerse un mayor nivel de esterilidad dentro del recipiente una vez el cultivo está creciendo dentro, lo translúcido del líquido nos permite ver si crecen contaminantes, la base puede ser tan sencilla como agua destilada con miel, una vez crecido el micelio se puede inocular a más botes con el uso de jeringas, en general es muy práctico. Este método también es utilizado por el autor Alex Dorr del libro *Mycorremediation handbook*<sup>146</sup> donde nos comparte estrategias de laboratorio prácticas para el cultivo de micelio. Alex se dedica a la reproducción de varias especies de hongos para su aplicación en medicamento y comparte a través de este libro que el Cultivo líquido con la tapa adecuada según él la utiliza, es el comienzo para tener a sus colonias de micelio sanas y codificadas para evitar contaminaciones o cruzas. Siempre que quiere revisar cómo está una colonia inocula un plato agar con el cultivo líquido y lo deja crecer un par de días para constatar el estado de salud de la colonia.

Dentro de las recetas que nos comparte está la utilizada en esta tesis: por cada 500 ml de agua destilada; dos cucharadas o 19 gr de miel.

Para la tapa del bote recomienda utilizar uno plástico ya que dura más tiempo y no se oxida como la que normalmente viene con el frasco, con un filtro de jeringa como respirador de un

lado (se utilizó un filtro con tamaño de poro de 20 micras) y un tapón autosellable de silicón de alta temperatura para hacer los traspasos con jeringa, ambos pegados con silicón de alta temperatura.

Además sugiere insertar una canica o un removedor magnético pues para fomentar la oxigenación del micelio y evitar el crecimiento de poblaciones muy grandes, hay que mezclar el líquido diariamente. Dado que estas experimentaciones fueron en pequeñas cantidades y se podía tener control de todas las colonias con una revisión diaria, se evitó el uso de este removedor, en su lugar se agitaban manualmente los frascos diariamente.

Después de tener el contenido con las proporciones de azúcar deseadas, debe esterilizarse en olla express o en autoclave. Una vez estéril el contenido puede refrigerarse y/o inocularse. Tomar en cuenta que el micelio no debe estar en temperaturas superiores a 30° idealmente, así que inocular hasta que la solución esté a temperatura ambiente.

Para esto simplemente se inyecta contenido de otro cultivo líquido utilizando una jeringa y aguja nueva para evitar contaminaciones.

Si el micelio proviene de agar, se corta (con navaja y pinzas estériles, de preferencia en una cabina grado uno) partes del micelio con agar y se insertan en el medio abriendo la tapa el menor tiempo posible y evitando respirar dentro.

El cultivo debe de tardar aproximadamente 10 días en crecer, mezclándose diariamente.

En la imagen se muestran dos pruebas de esterilización de los frascos para inóculo líquido con dos tipos de tapas diferentes. Una es la

<sup>145</sup> Traducción del lector <<El cultivo líquido es mi método de inóculo favorito para uso diario. Nunca más regresaré a trabajar con agar para inoculaciones generales, no tiene sentido>>

<sup>146</sup> <https://www.mushroom-revival.com/mycoremediation-handbook-e-book/> (consultado 15 – 08 – 2019)

clásica tapa metálica que está garantizada para esterilizaciones de alta presión de conservas principalmente. La otra es una adaptación a una tapa plástica (PP) que tiene el respiradero con filtro para jeringa y la tapa de hule autosellable para el intercambio de líquidos a través de jeringa.

Normalmente los filtros de jeringa vienen esterilizados y si se trabaja con ellos dentro de una cabina de esterilización, se puede mantener un medio estéril al momento de utilizarlos. Sin embargo, es posible también esterilizarlos en la autoclave para garantizar que el medio al interior es estéril aún con el filtro puesto, esto garantiza que el medio esté limpio y que se necesiten menos restricciones de esterilidad en el exterior, aunque de todos modos se requiere mantener un espacio limpio.

Una vez que el micelio ha consumido el azúcar que se encuentra en el contenedor, podemos observar una diferencia de coloración en el líquido, además de la presente colonia de micelio flotando en el líquido.



Fig. bq Ejemplo de una tapa para líquido de cultivo con el filtro de jeringa de 22 micras y el sello autoreparable de silicona.

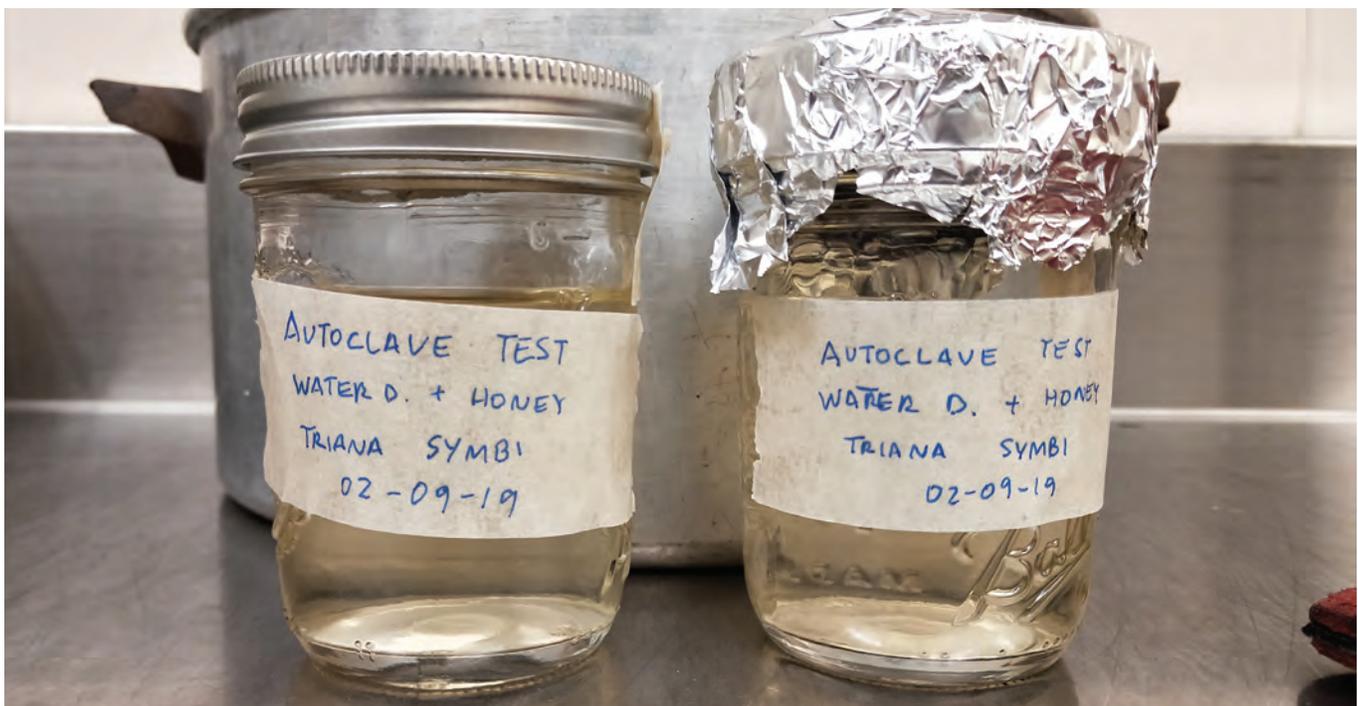


Fig. br Dos frascos con las primeras pruebas de esterilización de medio para inocular.



Fig. bs Resultado de experimentación con bioplásticos en taller de Biology studio.



Fig. bt Resultado de experimentación con bioplástico en taller de Biology studio.

# Experimentaciones preliminares

## Experimentaciones en la CDMX

Antes de iniciar las experimentaciones en un medio controlado pero no profesional o avalado científicamente, se tomaron un par de cursos que ofrece la empresa Biology Studio, el primero en la antigua sede en la colonia Roma y el segundo en la nueva sede en el centro de la Ciudad de México. Los detalles de estos cursos se encuentran en los anexos. A grandes rasgos los temas que se abordan de manera teórica y práctica fueron muy enfocados a los bioplásticos y la gran diversidad y variabilidad que se puede obtener de éstos. Además del enfoque didáctico que se maneja en estos talleres, queda bien claro que empezar a experimentar con ellos es tan fácil como tener una fuente de calor y los ingredientes principales, los cuales se encuentran ya en la mayoría de las cocinas. Por otro lado, también queda claro que lograr obtener un material estable, que sea replicable, que tenga usos específicos que beneficien al medio ambiente, que pueda tener una forma compleja más allá de una placa de espesor continuo; es sumamente complicado. Lograr conseguir un bioplástico industrializable requeriría químicos e ingenieros expertos en el tema y un laboratorio con condiciones controladas de temperatura, humedad, etc. para lograr tener control de todos los factores que están incidiendo en la fabricación del material así como asegurarse de que los materiales iniciales tengan la misma calidad siempre.

Las primeras experimentaciones que se realizaron con algún tipo de micelio fueron en la Ciudad de México. Estas experimentaciones duraron cerca de un año tomando como fuente inicial de conocimiento la práctica realizada en Biology Studio. De estas pruebas se deliberó que la forma más factible de comenzar los experimentos sería en un espacio relativamente controlado, que pudiera revisarse diariamente y en donde se pudieran medir factores como nivel de humedad, temperatura y cantidad de luz. Así como muchos experimentos explicados en el capítulo del estado de arte de este trabajo, ese lugar fue la cocina.

Para la primera prueba que se llevó a cabo, se utilizaron semillas de sorgo inoculadas con micelio de *Pleurotus osteratus* y madera de pino en astilla y rizo mediano. Las semillas de micelio se obtuvieron por medio de una compra en línea de un proveedor de Guanajuato. Se empezó a trabajar con las semillas directamente inoculadas porque no se logró encontrar cultivo líquido de la variedad deseada ni “semillas” del hongo *Ganoderma*.

La modalidad de la muestra resultante es en forma de tabique, relativamente proporcional a la medida del sustrato. Fue necesario dejar la muestra al menos dos semanas para ver al micelio crecer y colonizar todo el sustrato. En esta serie de pruebas fue necesario dejar huecos entre el sustrato para que éste pudiera rellenar los espacios aglomerando a la mezcla con el sustrato.

Como parte de las primeras conclusiones, se describe que el espesor de la muestra del material resultante es proporcional al tamaño de partícula del sustrato. Esta dimensión es relevante ya que brinda propiedades mecánicas en la muestra final y al mismo tiempo da estructura. Varios especialistas hacen énfasis en la importancia del

tamaño de partícula. En el segundo experimento se trató de licuar la semilla inoculada de sorgo para reducir el tamaño de la partícula, sin embargo parece que la semilla no estuvo bien cocida antes de exponerla al hongo ya que no se pudo licuar con un procesador de alimentos. Fue aquí cuando resaltó la importancia de controlar los factores iniciales para poder manipular con mayor libertad las características del material resultante. Hay mayor detalle en la explicación que se encuentra en los anexos con el título Experimentación II.

La siguiente fase de la experimentación estuvo caracterizada por el cambio de sustrato. En la tercera muestra se contaba ya con hojas y tallos de amaranto de Santiago Tulyehualco dimensionadas a menos de 2cm máximo. A estas alturas de la investigación se buscó darle un uso al desperdicio del cultivo del amaranto que se da en la región de Milpa Alta, en Santiago Tulyehualco. A partir de aquí todas las muestras que se realizaron en la Ciudad de México fue con esto como sustrato

principal. Las proporciones de materiales de semillas de micelio y de sustrato se conservaron igual 1:1 y el principal método de esterilización del sustrato fue de agua corriente con una concentración de agua oxigenada del 10%

En las muestras siguientes, se buscó empezar a generar una estandarización del procedimiento para ir reduciendo la cantidad de variables que definen los detalles finales del material. Se generaron esquemas con el procedimiento explicado paso a paso. Uno de los factores que resaltó en esta etapa fue la disminución del volumen del material después de su cocción. Al suceder una pérdida de humedad, la muestra reduce su tamaño cerca de un 30%. Es un factor similar al que ocurre en la cerámica. Para el diseñador esta información es relevante atomar en consideración en el proceso de diseño, ya que los moldes deben de ser 30% más grandes de lo que se busca que resulte la muestra final y hay que manejar tolerancias que vayan de acuerdo con esta



Fig. bu Muestra de semillas de sorgo inoculadas con micelio de *Pleurotus ostreatus* creciendo en expansión en busca de oxígeno.

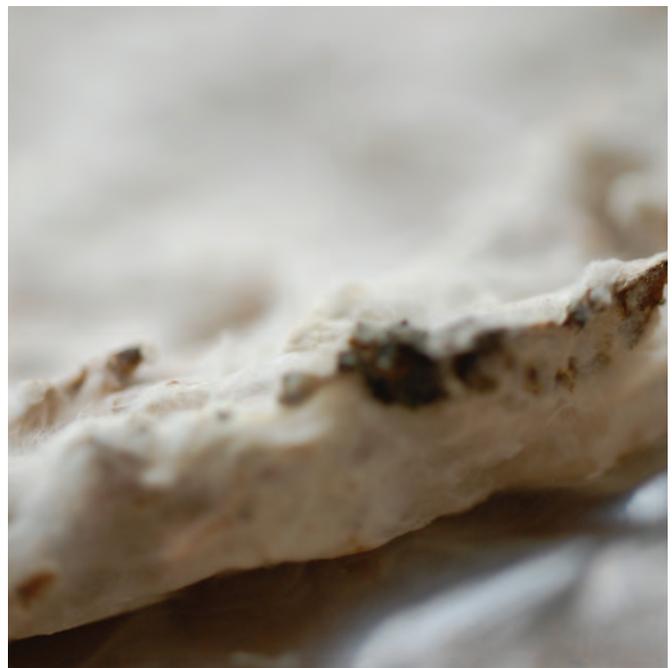


Fig. bv Muestra del primer crecimiento de micelio alimentado por amaranto de tulyehualco con *Pleurotus ostreatus*.



Fig. bw Muestra recién salida del horno de *Pleurotus ostreatus* en sustrato de hojas de amaranto.



Fig. bx Muestra de crecimiento de micelio de *Pleurotus ostreatus* en sustrato de amaranto.



Fig. by Muestra de *Pleurotus ostreatus* en sustrato de amaranto contaminado en manchas naranjas, se desconoce la fuente.



Fig. bz Muestra de micelio de *Pleurotus ostreatus* en sustrato de amaranto mostrando reducción del 30% tras la deshidratación.

reducción y la humedad relativa.

Las siguientes muestras que se realizaron en la Ciudad de México resultaron infectadas ya que no se contaba con las condiciones necesarias para asegurar la esterilidad de las muestras. Una vez que una se comenzó a infectar, fue difícil erradicar la variedad de hongo o bacteria que crecía sobre las muestras (cuya variedad se desconoce, además).

Como parte de las conclusiones que se sacaron antes de ir a Symbiotica a hacer la estancia de investigación en un laboratorio científico establecido:

- Mantener un medio estéril es muy importante y si alguna muestra se contamina es necesario retirarla de inmediato para evitar la propagación con el resto de las muestras.

- Las muestras tienen una reducción de volumen de cerca del 30% una vez que estas se hornean para frenar el crecimiento del micelio.

- La proporción de semilla inoculada (de sorgo en particular en esta fase de la experimentación

y con *Pleurotus osteratus*) de 1:1 en comparación con el sustrato es indicado para generar un crecimiento uniforme del micelio y que bajo condiciones de 25°C de temperatura, colonice la muestra por completo en cerca de dos semanas (con el sustrato de amaranto deshidratado y la variedad de hongo con la que se estaba trabajando)

- Las dimensiones y propiedades mecánicas de la muestra son relativas a la dimensión de partícula del sustrato y puede ayudar o entorpecer dependiendo del tamaño de muestra que se busca hacer.



Fig. ca Medidas de limpieza para protocolo de crecimiento de materiales de micelio en Biology studio.



Fig. cb Laboratorio en UWA (University of Western Australia) equipo básico.



Fig. cc Mezcla de la muestra en día uno de crecimiento. Semillas de sorgo inoculadas con *Pleurotus ostreatus* y amaranto.



Fig. cd Detalle de la muestra contaminada por una especie desconocida, en color naranja.



Fig. ce Muestra de *Pleurotus ostreatus* crecido en sustrato de viruta de pino con forma de dona.



Fig. cf El esporoma aparece cuando el hongo se estresa, con esto genera esporas y se reproduce. Esta seta salió por una disminución de humedad en el cultivo de la muestra.

## Experimentos en Symbiotica, UWA, Perth, Australia

Dentro de las instalaciones de Symbiotica en la Universidad de Western Australia, se llevó a cabo la primera experimentación oficial, la cual corresponde a la sexta fase de esta investigación.

Lo primero para mantener una cepa de cultivo estable del micelio fue preparar la base de agar para propagar los cultivos líquidos.

Para comenzar se prepararon cajas petri con PDA (Papa Dextrosa Agar) siguiendo el método relatado en capítulos anteriores. A través del sitio web AussieMushroom<sup>147</sup> se compraron jeringas con 20ml de cultivo líquido de tres especies de hongos<sup>148</sup> listas para inocular en agar o el cultivo líquido.

Se inocularon las dos formas; en el líquido para crecer la cepa y en el agar para poder densificar el micelio y poder tomar fotografías con aumento para observar las estructuras de las hyphae. También se hicieron cultivos de crecimiento para inocular más cultivos líquidos como banco de las especies.

Para probar la calidad y la cualidad del cultivo líquido obtenido de granja de hongos certificada se inocularon dos cajas Petri con PDA agar con dos de estas especies. Para empezar fue *Ganoderma steyaertnum* y *Pleurotus osteratus*. Dos muestras se mantuvieron en una incubadora a temperatura ambiente, la cual dentro del laboratorio oscila

147 <https://www.aussimushroomsupplies.com/> (consultado 31 de mayo 2020)

148 *Ganoderma steyaertnum*, *Pleurotus osteratus* y *Pleurotus djamour*

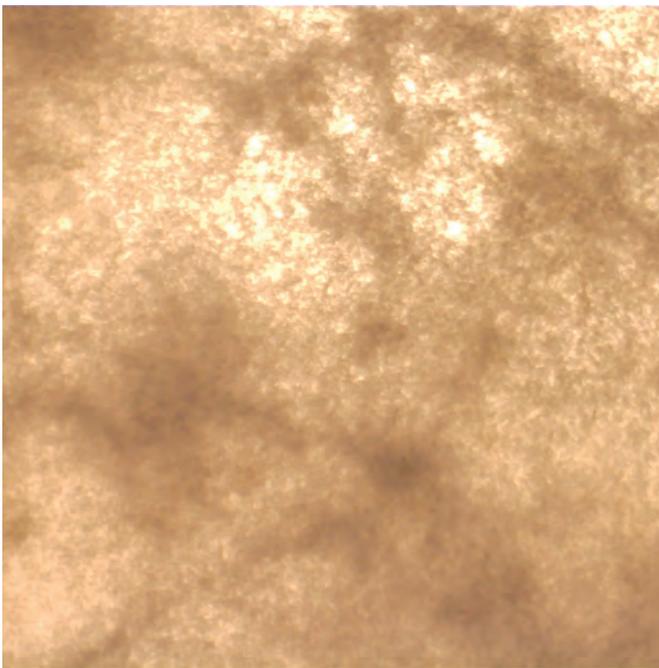


Fig. cg Imagen tomada con lente digital 300x de colonia de micelio de *Pleurotus ostreatus* crecido en laboratorio.



Fig. ch Imagen tomada con lente digital 300x de las hifas de *Pleurotus ostreatus* creciendo en agar.

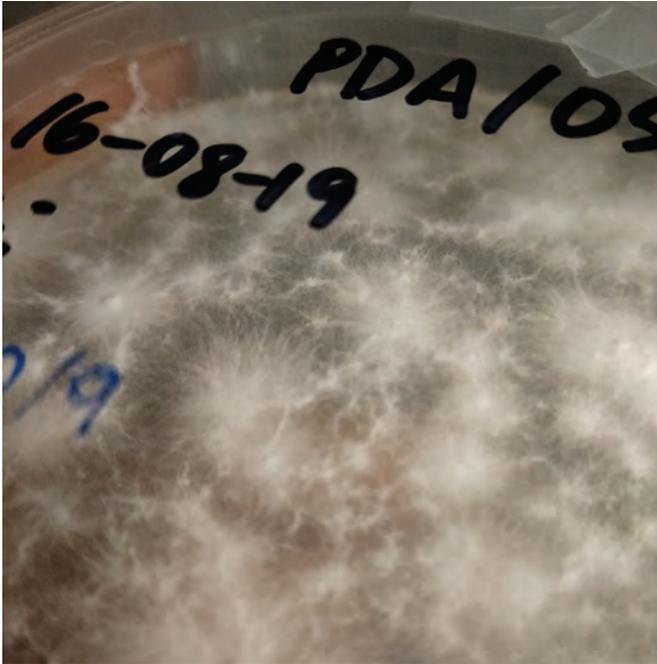


Fig. ci Hifas de *Ganoderma steyaertum* creciendo en agar de papa dextrosa.

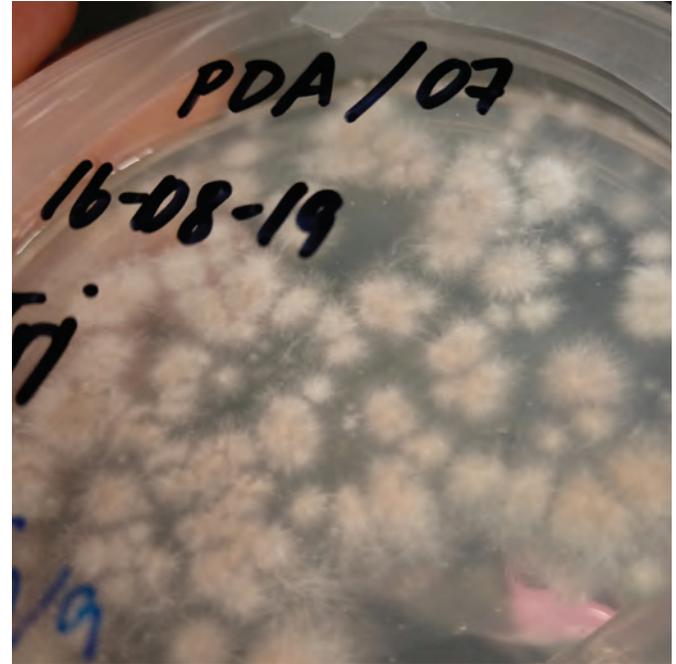


Fig. cj Hifas de *Pleurotus djamour* creciendo en agar papa dextrosa.

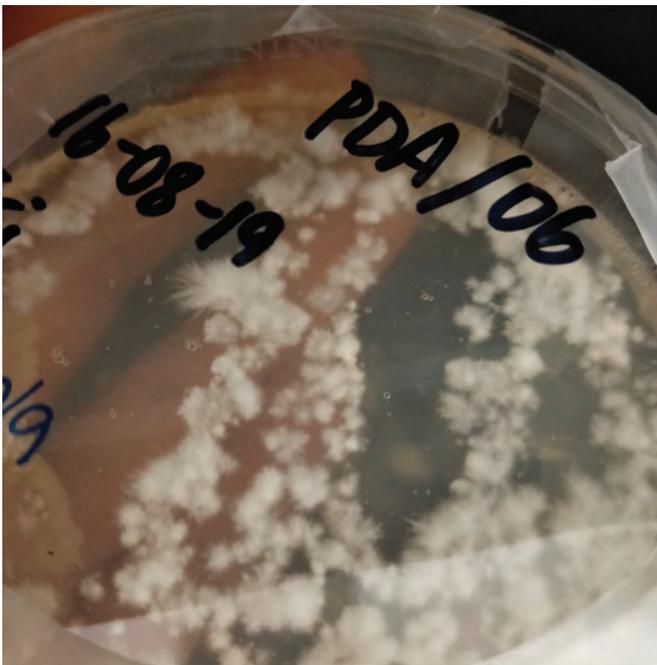


Fig. ck Hifas de *Pleurotus ostreatus* creciendo en agar papa dextrosa.

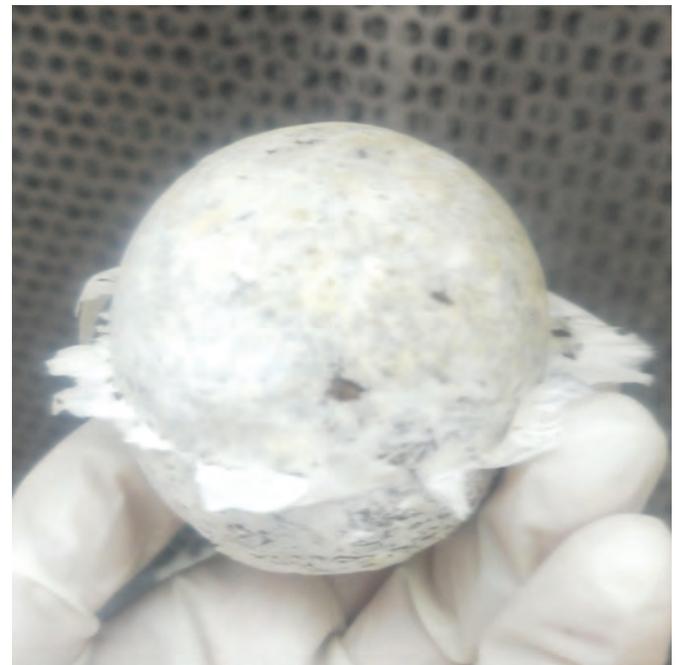


Fig. cl Primera muestra de material de *Pleurotus ostreatus* crecida en sustrato de lignina y forma de esfera.

entre 18 y 23 grados por la aclimatización del laboratorio, en oscuridad parcial (dentro de la incubadora cubriendo las paredes con papel aluminio) y con las cajas selladas con parafilm.

En las imágenes de la página anterior se puede observar el resultado de estos cultivos en cajas petri a cinco días de crecimiento. Las observaciones que se hicieron del crecimiento de micelio son las siguientes.

*Ganoderma steyaertnum*: sus hyphae son aparentemente más cortas y tiende a crecer sin generar tanto volumen entre las redes. La capa de micelio parece más delgada que la de *Pleurotus osteratus* y opone mayor resistencia al cortarse.

*Pleurotus osteratus* presenta una textura algodonosa en el micelio, las hypae parecen ser

más largas y menos densas comparadas con *Ganoderma steyaertnum*.

Tomando en cuenta los comentarios del profesor Dr. Heng, acerca de la comparación estructural entre el micelio y el esporangeo de ambas especies, podemos intuir que el esporocarpio mismo de *Ganoderma steyaertnum* presenta una mayor resistencia mecánica que *Pleurotus osteratus* dada la densidad y el tamaño de hypha que presenta. Tomando en cuenta que ambas crecieron en la misma cantidad de tiempo.

A partir de estas observaciones se siguió cultivando ambas especies, tendiendo a creer que *Ganoderma steyaertnum* sería un mejor candidato buscando tener un material resultante más resistente estructuralmente.



Fig. cm Distintos contenedores dentro de la cabina de seguridad con los que se hacían inoculaciones. Al fondo hay frascos con semillas de trigo cocidas estériles listas para inocularse. En la parte trasera derecha, cultivo líquido de dos especies y frascos de desecho. Al frente un par de frascos con muestras de crecimiento de piel de micelio.

En la séptima experimentación que se llevó a cabo, se aumentó el uso de gypsum<sup>149</sup> como aditivo<sup>150</sup> para el tratamiento del sustrato, en cada caso variaba la implementación pero en promedio se mantuvo en el orden de 15 g máximo. Su uso se recomienda en varias fuentes y en el caso de estos experimentos si aportó una mejora en las muestras disminuyendo el tiempo de crecimiento del micelio. Sin embargo en la primera muestra con *Ganoderma steyaertnum* se inocularon el sustrato sólo con cultivo líquido y no con agar o semillas preciamente inoculadas. Como la población de micelio es muy pobre debido a la baja concentración en el líquido y los nutrientes y azúcares disponibles son muchos para otras especies competidoras, la mayoría de las muestras

presentó contaminación.

Después de este punto se optó por inocular semillas de trigo con el micelio crecido en agar para poder inocular al sustrato con una colonia más densa y estable de hyphae que pudieran apropiarse y alimentarse del sustrato disponible. Para este procedimiento hubo que remojar, cocer y esterilizar las semillas, este proceso está relatado con más detalle en los anexos.

Mientras se realizaron otras muestras con el hongo de *Pleurotus osteratus* para ganar un poco de tiempo, en las cuales se obtuvieron muestras de un material consistente y uniforme pero poco denso y más frágil de lo deseado.

La octava sepa de crecimiento fue la primera oficial y relativamente exitosa que se llevó a cabo

149 Como aditivo de nitrógeno se puede usar avena o rice bran, 10 partes el sustrato, 2 partes avena, arroz o trigo y una parte gypsum (McCoy; 2016, pp.291)

150 Sulfato de calcio hidratado o Yeso. Se recomienda pues ayuda a mezclar bien loz componentes así como a airear. MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp-489



Fig. cn Muestra de *Ganoderma steyaertnum* creciendo en molde de silicón, la pared del molde era demasiado gruesa y al impedir la transpiración de la muestra, se frenó su crecimiento.



Fig. co Muestra de *Pleurotus ostreatus* crecida en eucalipto tras cinco días de crecimiento dentro del molde de silicón grado alimenticio de pared de 2mm.

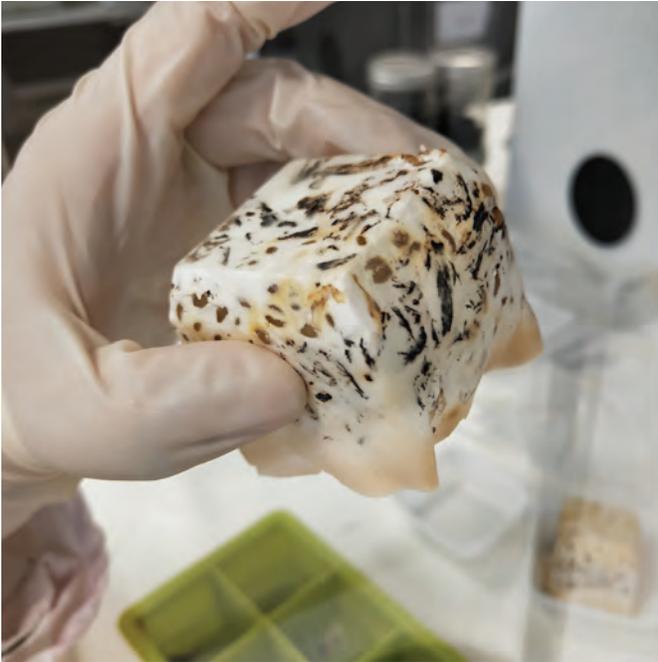


Fig. cp Muestra de *Ganoderma steyaertnum* tras cinco días de crecimiento en molde de silicón grado alimenticio de 2mm de espesor.



Fig. cq Misma muestra que en la imagen de la izquierda, dos días después de dejarse crecer fuera del molde. Vemos como ese crecimiento extra, invade las paredes exteriores por completo, dando un acabado uniforme en el contorno del material.



Fig. cr Muestra de cinco días crecida de *Ganoderma steyaertnum* y corteza de eucalipto en molde esférico.



Fig. cs Misma muestra que la izquierda, dos días de crecimiento fuera del molde, después de ser cocida en horno para secar y frenar el crecimiento del hongo.

con el hongo *Ganoderma steyaertnum*. Se aplicó una concentración de 1:1 de semillas inoculadas (trigo) y del sustrato.

La forma de tratar el sustrato antes de exponerlo al hongo también es importante ya que debe de esterilizarse y humedecerse. Las muestras fueron recolectadas en campo y además de poder contener microorganismos significativos como insectos o bacterias, podrían tener una colonia de micelio ya existente en la madera. Para esto se optó por remojar en agua destilada con peróxido al 30% durante media hora<sup>151</sup>. Una observación interesante es que este proceso genera CO<sup>2</sup> por lo que debe de ser vigilado el contenedor en el que se esteriliza pues podría estallar si este está cerrado.

Esta muestra creció mucho más lento que la de *Pleurotus osteratus* y la primera sospecha fue que se relacionaba con la especie de hongo utilizado, sin embargo entraron otros factores como el tamaño de partícula, el tipo de mezcla y que la mezcla de semilla y sustrato no haya sido homogénea. Recordemos que el micelio es un holograma<sup>152</sup> y que crece de manera sistémica y repetida en cada sección de crecimiento. La siguiente sospecha fue que al no estar distribuidas las colonias de manera equidistante, les tomó mucho tiempo colonizar toda la muestra pues la trayectoria de desplazamiento en algunos casos era demasiada.

En la imagen de dos páginas atrás, la de la derecha se muestra con claridad, debido a que las aglomeraciones crecían pero no se conectaban entre ellas, luego de 11 días de crecimiento, hubieron zonas de la muestra que no fueron colonizadas. Esta fase de experimentación fue también la que llevó a observar que el tipo y calidad del molde es fundamental para garantizar

que se mantenga la concentración del sustrato compacto y que permita la respiración. El micelio va a dirigirse hacia donde encuentre oxígeno<sup>153</sup>. Esto en términos de diseño se relaciona directamente con la superficie del material y el acabado superficial que tendrá la muestra tras el primer proceso de producción. El tiempo está directamente relacionado con el acabado que tendrá el material.

A partir de este punto, las muestras fueron creciendo de manera desigual a pesar de haber iniciado de una misma cepa de crecimiento, por lo que no podemos seguir enumerando las experimentaciones, sin embargo se relata el proceso de manera cronológica.

Hubieron un par de muestras de esferas (revisar la imagen izquierda inferior) que crecieron de



Fig. ct Fotografía de una muestra final crecida en forma de cubo, ejemplificando el tipo de acabados que se pueden obtener tras la cocción para frenar el crecimiento del hongo.

151 Procedimiento recomendado por Edith en los talleres de Biology Studio

152 McCoy, P. (2016). *Radical Mycology*. 1st ed. Portland: Chthaeus. Pp. 206

153 así como explica Svetlana Tonevitskaya en su proceso de alimentación, la digestión se realiza en el exterior y luego se aprovecha para crecer. Es por esto que se requiere el espacio y después de asimilar este espacio, se ocupa con micelio. De <https://medium.com/@stonev/when-mushrooms-go-in-the-lab-growing-design-882bfff633aa8> (consultado 17/10/19)

forma muy extraña, al principio se pensaba que se trataba de un tipo de contaminación dada la coloración de algunas partes y un líquido que se empezaba a formar en la base de la bolsa o los moldes de contención. Estas esferas estuvieron creciendo 10 días hasta que se tomó esta imagen para investigar más acerca del origen y causa de esta apariencia particular, se dejó crecer más las muestras y monitorear su evolución. Se encuentran narrado con más detalle en las anotaciones de los anexos, la conclusión es que el líquido no era contaminación simplemente le tomó mayor tiempo crecer debido a la separación que hubo entre las colonias de micelio y debido a la dificultad de esparcimiento no se logró colonizar la muestra completa. Este resultado empírico, es compatible con la información que narra Moore en la tabla que se muestra en la siguiente página acerca del crecimiento de las hyphae. De manera inicial, el micelio tiende a expandirse y luego empieza a densificar la zona que ya es parte de la colonia pero la expansión disminuye.



Fig. cu Muestra a cinco días de crecimiento en forma de cubo de Funguy.

Dentro de la siguiente fase se encuentran las muestras definitivas de crecimiento, en donde se aplicaron varias de las conclusiones de experimentaciones anteriores tomando las medidas de seguridad y esterilidad pertinentes, manejando los moldes de material recomendado y manteniendo lo más posible las condiciones de temperatura y humedad estables. En el siguiente capítulo se narra de manera detallada el proceso que se siguió para lograr este crecimiento.

Las experimentaciones en Symbiotica UWA tuvo una duración total de cinco meses, tomando en cuenta que tomó mes y medio de esto generar las colonias estables, el tiempo de experimentación neto podría decirse que tomó 3.5 meses.



Fig. cv Muestra a cinco días de crecimiento con forma de cuenco de Funguy.

Fig. 4.6 Initial growth of a mycelium of *Geotrichum candidum* on solid medium at 25 °C. Open circles, total hyphal length produced by the germinating spore in  $\mu\text{m}$ ; open squares, number of hyphal tips; solid circles, length of the hyphal growth unit in  $\mu\text{m}$ . The final appearance of the mycelium whose growth is recorded graphically is shown in the sketch at top right of the panel. Scale bar = 250  $\mu\text{m}$ .

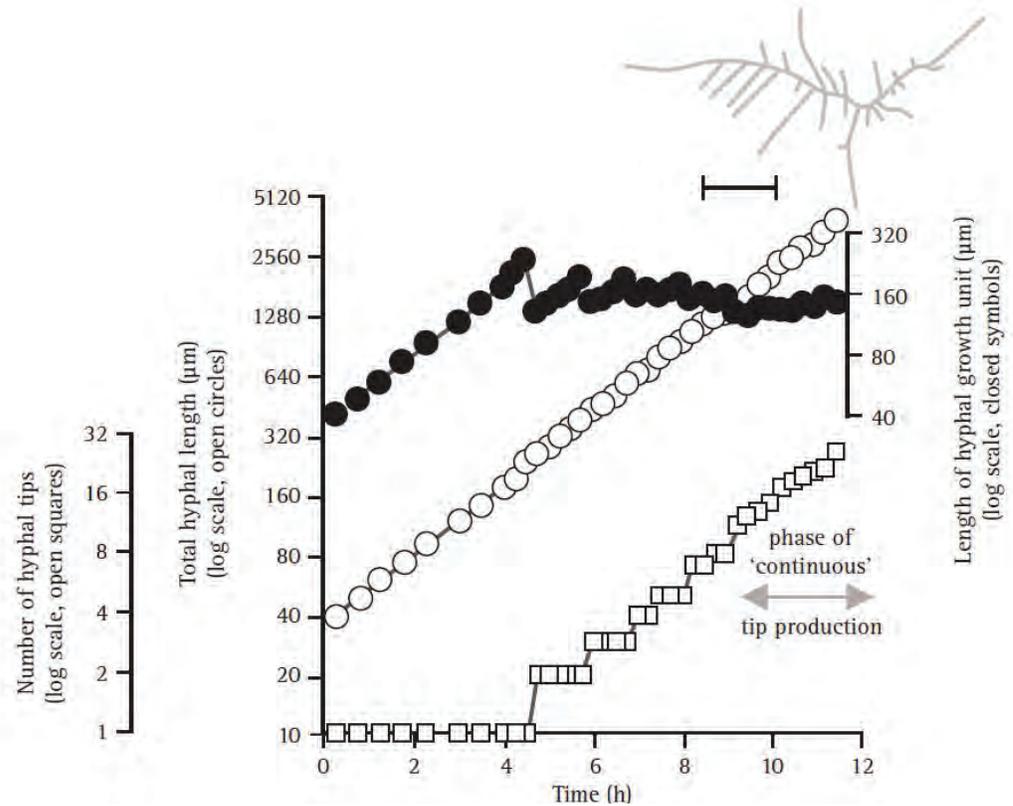


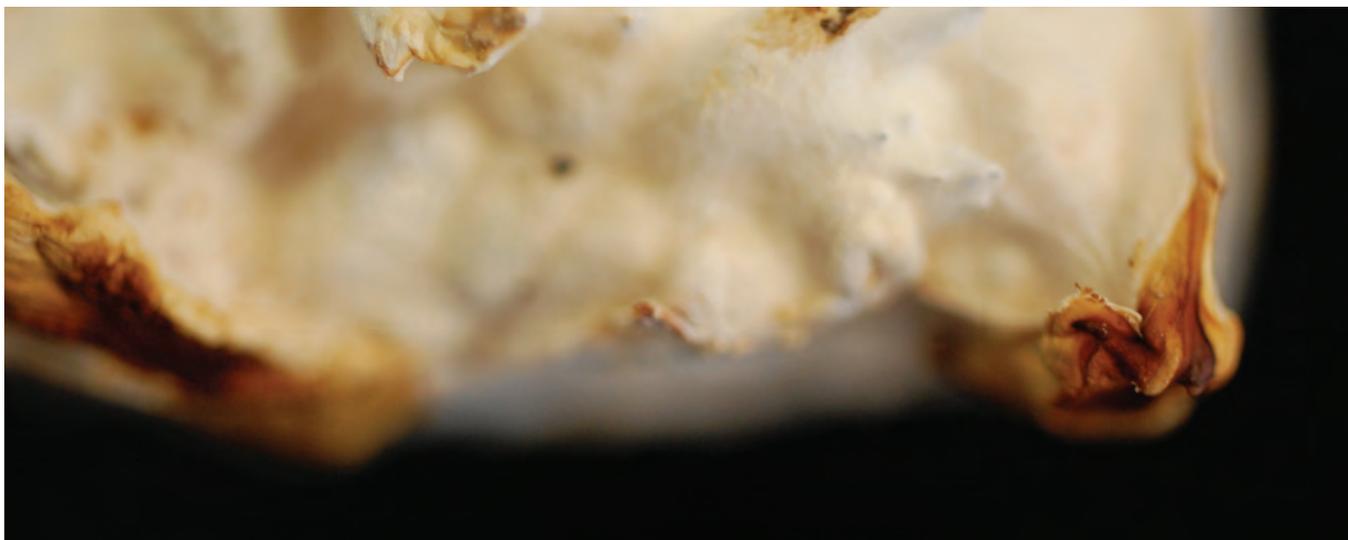
Fig. cw Tabla de crecimiento de hifas de Moore en “21st century guidebook to fungi” pp-105 Traducción del autor “Crecimiento inicial de micelio de *Geotrichum candidum* en un medio sólido a 23°C. Los círculos blancos, la longitud total de hifas producida por la espora germinada en micrómetros; cuadrados blancos, número de puntas de hifa; círculos negros, longitud de crecimiento de hifas en micras. La apariencia final del micelio, cuyo crecimiento es documentado gráficamente es mostrado en un dibujo a la esquina superior derecha de la gráfica. Escala de barra, 250 micrómetros”.

				
<b>Liquid culture</b>	<b>PDA</b>	<b>Mycelium seed</b>	<b>Mould</b>	<b>outside mould</b>
colonies	health check	inoculum	shape growth	surface growth
1 week	1 week	1.5 week	5 days	2 days
water honey	potato dextrose agar	wheat	substratum gypsum	O <sup>2</sup>

Fig. cx Tabla de pasos a seguir con tiempos que implica cada paso.



*Fig. cy* fotografía de detalle de textura de Funguy.



*Fig. cz* Fotografía de detalle de textura de Funguy.



*Fig. da* Fotografía de detalle de textura de Funguy.



*Fig. db Fotografía de detalle de textura de Funguy.*



*Fig. dc Fotografía de detalle de textura de Funguy.*



*Fig. dd Fotografía de acercamiento de textura de crecimiento de hifas de Ganoderma sp. en caja petri.*

## Protocolo de crecimiento final

Los pasos que se siguieron en la producción de las muestras de material finales fueron:

Crecimiento de hifas de *Ganoderma steyaertnum* en cultivo líquido

Crecimiento de película de hifas de *Ganoderma steyaertnum* en PDA (Papa Dextrosa Agar) en cajas petri.

Crecimiento de masa de hifas en inóculo de semillas cocidas hidratadas de trigo a una temperatura promedio de 23°C.

Cada proceso se llevó a cabo en aire estéril pasado por filtro HPFA de 20 micras para la manipulación de los componentes. Después se dejó a crecer cada muestra cerca de dos semanas entre proceso y proceso (desarrollado en el esquema de la página 77) respectivamente, ventilación del filtro de 20 micras (en bolsa de crecimiento o frasco con filtro de jeringa).

Crecimiento de muestra dentro de molde con una proporción de 1:1 entre la masa de hyphae y el sustrato de corteza de eucalipto hidratado, añadiendo gypsum como aditamento para la catalización del crecimiento del micelio.

El tiempo final de crecimiento fue de una semana para la muestra dentro del molde y una vez fuera de éste, se deshidrató por 3 horas a 60°C.

Narración paso a paso:

Paso uno: Extraer las esporas o parte del micelio para generar un líquido de cultivo estable. En este caso se partió de una colonia líquida comprada a un proveedor certificado. El cultivo puede durar mucho tiempo, un indicador es el color del líquido, se va volviendo cada vez más claro y de ser necesario podría directamente aumentarse el alimento en concentración de azúcares indicadas para seguir creciendo la colonia. Bien podría también dividirse una en dos

contenedores y seguir creciendo las hifas (tiempo de crecimiento: 1 semana)

Paso dos: Inocular PDA Agar de papa con dextrosa para revisar la salud del cultivo y para crecer la escala de crecimiento. El micelio crece en la capa superior del plato de agar (a pesar de alimentarse de todo el agar) puede removerse la capa de micelio dejando un poco para que colonice de nuevo la superficie del agar, este proceso se puede repetir hasta tres veces o dependiendo del espesor del agar y de la frescura o calidad del mismo.

(tiempo de crecimiento de capa: 1 semana)

Paso tres: inocular con el micelio crecido en agar semillas estériles cocidas de algún grano de la localidad. En este caso se utilizó trigo. Las semillas son una fuente rica en azúcares e hidrocarburos que resultan atractivos para el micelio. Podemos observar que se ha colonizado por completo el contenedor cuando el espacio entre las semillas ha sido relleno de color blanco. Si lo dejamos más tiempo, el hongo acabará por completo con las semillas, sin embargo el tiempo de crecimiento se vuelve más lento y si el hongo nota una falta de alimento proporcional a la colonia de hifas, puede estresarse y empezar a generar esporocarpos, cosa que se busca evitar pues se gasta mucha energía en producir esporocarpos y se dejan de concentrar en densificar la colonia de hyphae, cosa que buscamos pase una vez esté expuesto al sustrato

(tiempo de crecimiento 1 semana)

Paso cuatro: En un molde estéril, rellenar con presión proporción 1:1 sustrato rico en lignina previamente esterilizado, húmedo con una concentración del 1% de gypsum. En este caso se utilizó corteza de eucalipto previamente esterilizada con peróxido y posteriormente

esterilizada en autoclave. El tamaño de partícula es proporcional a la velocidad con la que crece y la rigidez<sup>154</sup> de la muestra

(tiempo de crecimiento: cinco días)

Paso cinco: Sacar la muestra del molde y dejar crecer dentro de la bolsa de crecimiento con filtro, para colonizar las paredes de la muestra generando el acabado superficial del material.

(tiempo de crecimiento dos días)

Paso 6: Hornear la muestra aproximadamente 3 horas en intervalos de 20 minutos entre 90 y 120°C. (el tiempo varía dadas las condiciones climáticas, el objetivo es cocer y deshidratar la pieza, dándole tiempo a que la deshidratación ocurre desde el interior, poniendo al hongo en estado de hibernación).

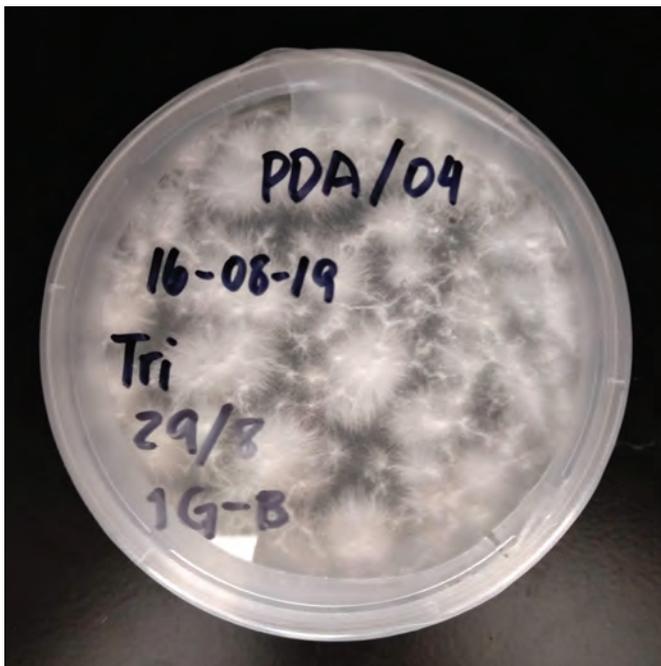


Fig. de Caja petri con cultivo de micelio de *Ganoderma steyaertnum*.

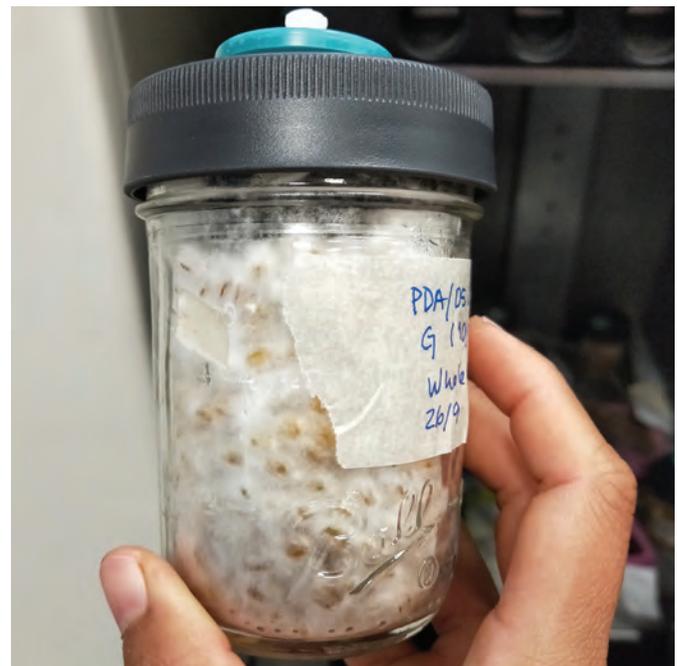


Fig. df Crecimiento de micelio de *Ganoderma steyaertnum* inoculando semillas de trigo.

154 Esto se midió empíricamente entre cada muestra a lo largo de las experimentaciones, no se realizó ninguna muestra oficial, sin embargo en el capítulo V en la sección 5a se habla de un artículo donde Phil Ross junto con otros científicos midieron la rigidez y dureza de varias muestras demostrando que la densidad y concentración del sustrato en el tiempo de crecimiento implica un cambio en la rigidez resultante del material que puede variar desde 72kPa hasta 400kPa utilizando el mismo sustrato y el mismo hongo, sólo variando la concentración y densidad de la muestra al momento de inocular.

# Material resultante

## FUNGUY

Es el material resultante de esta investigación. Se trata de el micelio del hongo *Ganoderma steyaertnum*. La estructura formada por las hifas del hongo más la madera de la corteza genera un compuesto aglomerado 100% de origen natural el cual se desintegra en la tierra en dos meses aproximadamente tras ser enterrado.

Es ligero, resistente, aislante y no moldeable. A continuación se describen sus características principales.



Fig. dg Fotografía de zoom del material resultante: Funguy.

## Forma y características

Las formas que puede alcanzar son sumamente variadas mientras su pared no sea de menos de 2cm de espesor para garantizar que no colapse a la hora del crecimiento, de igual forma es necesario pensar en una base de estructura que se requiere en caso de querer bajar el volumen del material, como ocurriría en cualquier otro tipo de material, es necesario pensar en la estructura de soporte.

Cumple con las siguientes características:

La capa exterior del hongo es repelente al agua, es decir, en presencia de un cuerpo líquido, este no la absorbe. Se hizo una prueba durante dos semanas conteniendo agua y tierra y ésta no penetró el material.

Gracias a la característica descrita anteriormente más la baja densidad con la que cuenta; el material flota.

De la misma manera, la baja densidad favorece que sea un buen aislante acústico y de temperatura ya que “guarda” aire en su interior.

Su comportamiento relacionado con el fuego está por experimentarse.

El aguante que tiene respecto a propiedades de fractura y resistencia dependen de la densidad de cada material. En las experimentaciones que se hicieron como parte de esta investigación, la densidad de las muestras así como la forma variaba, de manera que no puede hacerse una medición única de dicha resistencia o aguante mecánico.

Las imágenes de páginas anteriores muestran dos ejemplos de materiales crecidos bajo el proceso narrado con anterioridad en dos formas geométricas distintas; un cubo y una esfera. Las cualidades estéticas están definidas principalmente por el tipo de hongo que ha crecido. En esta caso *Ganoderma steyaertnum*. La textura es menos

suave que *Pleurotus osteratus* pero parece ser más resistente y estable. La densidad del material está directamente relacionado con la compresión del sustrato al momento de rellenar el molde. También está relacionado con esto, la velocidad del crecimiento del hongo. Parece que al haber menos espacios para rellenar, el micelio puede ir de una parte del sustrato a otro con mayor facilidad agilizando el proceso de crecimiento.

Es importante tomar en consideración que al momento de cocer la muestra, esta presenta un encogimiento de cerca del 30%. Debido a la pérdida de agua interna, la muestra disminuye su volumen.

En las imágenes superiores se encuentra una muestra de tejido textil de micelio 100%. Este creció como parte de la extensión de una de las muestras ya que había mucho alimento y esto le permitió desarrollarse en gran forma.

Gracias a esto podemos ver que el textil o película flexible del micelio puede crecer tanto en la superficie de un medio acuoso, así como se hizo siguiendo la receta<sup>155</sup> o podría crecer como consecuencia del crecimiento de un bloque.

La forma y el material del molde juega un papel fundamental, casi tan importante como la cantidad de nutrientes disponibles en el sustrato al que se expone el micelio.

En la imagen superior se muestra un tipo de maceta pequeña como parte de la investigación y experimentación de forma contra crecimiento.

Parece que dado que las muestras crecen mejor al estar compactado el material, parecería que la forma ideal de hacer una maceta sería con un molde de dos piezas. Idealmente de silicón

155 Ver anexos para referencia de las experimentaciones creciendo textil de *Ganoderma steyaertnum*

de calidad alimenticia, ya que los experimentos también demostraron que ese tipo de material propicia y permite la respiración y transpiración de aquello que se encuentra contenido. Esto también evita o disminuye la posibilidad de contaminación por otros hongos como el moho, el cual vimos presente en la muestra de molde de silicón en capa gruesa el cual retenía los niveles de humedad con los que iniciaba el crecimiento del material.

No hubo posibilidad de realizar pruebas mecánicas a las muestras resultantes sin embargo se cita información respecto a materiales de base de micelio que crece en ciertas características específicas similares a las de esta investigación. Podemos ver que depende el tipo de hongo, la densidad de crecimiento y la cantidad de humedad lo que lo hacen variar en su fuerza de tensión y compresión (las cuales son las dos pruebas que se encuentran más comúnmente en artículos).

“The mechanical properties show significant variation with material density. The elastic modulus results in the range 600 to 2000 kPa for the given range of densities for both in tension and compression. The measured yield strength is in the order of 40–80 kPa, whereas the ultimate strength in tension varies from 100–300 kPa depending on material density”<sup>156</sup> del artículo Morphology and mechanics of fungal mycelium. Nos muestra que los rangos varían ampliamente aunque sea el mismo tipo de material, depende por completo de la densidad del mismo. El hongo que utilizaron en esta investigación provino de la empresa Ecovative que según Lelivelt, R.J.J.<sup>157</sup> es *P. Squamosus* (Dryad’s saddle). En esta misma tesis de maestría, se publican una serie de resultados mecánicos.

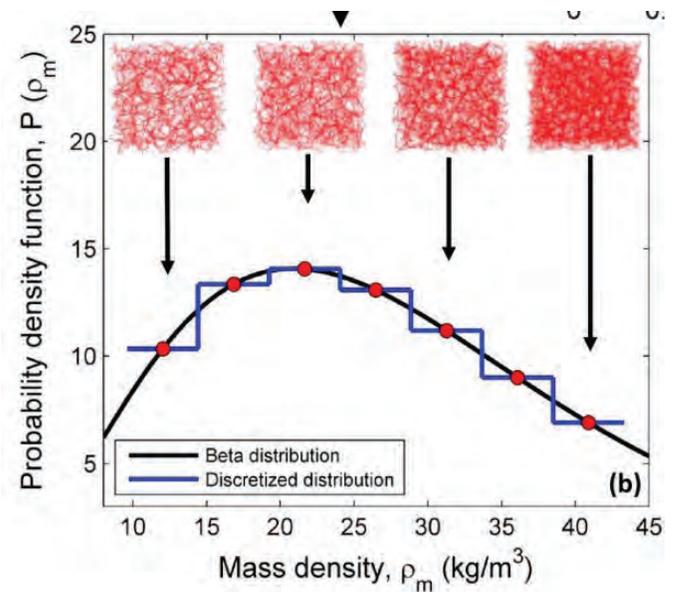
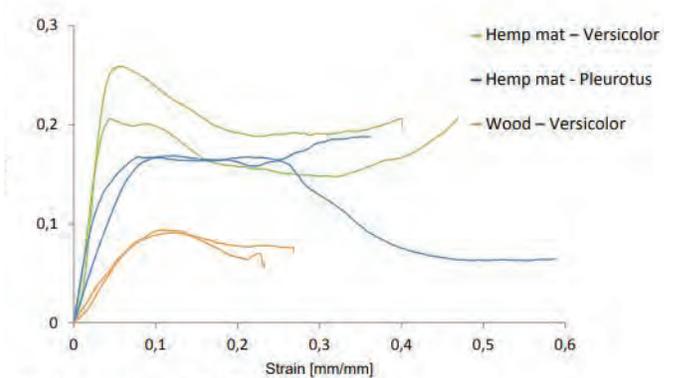


Fig. dh Tabla de comparación entre la densidad y la probabilidad de la función de la densidad (Traventini et al)



37; Stress-strain graph of the first group of samples

Fig. di Gráfica que muestra el desarrollo del crecimiento de tres variables, en verde el hongo Versicolor en sustrato de hemp, en azul el mismo sustrato con Pleurotus y en naranja el hongo Versicolor en sustrato de madera.

156 Traducción del autor: Las propiedades mecánicas muestran una variación significativa con la densidad del material. Los módulos estáticos resultantes en el rango de 600 a 2000 kPa para el rango dado de densidades para ambos: tensión y compresión. El rendimiento medido en fuerza es del orden de 40 a 80 kPa, mientras que las mayores fuerzas en tensión varían entre 100 y 300 kPa dependiendo de la densidad del material” de Islam, M.R., Tudryn, G., Bucinell, R. et al. Morphology and mechanics of fungal mycelium. Sci Rep 7, 13070 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>

157 LELIVELT, R. 2015. The mechanical possibilities of mycelium materials. maestría. S.I.: Eindhoven University of Technology.

En la gráfica (cq) que se encuentra a la izquierda podemos ver una comparación de los resultados de compresión comparando material biocompuesto con el hongo *Trametes versicolor*, el hongo *Pleurotus sp.* con sustratos de desecho de hemp y viruta de madera en donde las tres muestras tuvieron la misma densidad y humedad al momento de ser probados.

El resultado indica que por un lado, el hongo *Trametes versicolor* es más resistente que el *Pleurotus sp.* y por otro que la fibra de hemp resiste más que la viruta de madera en su combinación compuesta.

En el diagrama inferior (cs) podemos observar un modelo generado por Traventini et.al donde se muestra una analogía de cómo es el comportamiento estructural entre los puentes

generados por yphae (que en su caso tenderán a crear puentes de formas aleatorias, no de cubos) en conjunto con la estructura misma de los remanentes de madera en el compuesto y las burbujas de aire que habrán dentro del material.

Porque el material es un compuesto que creció de manera aleatoria, es difícil determinar si todo el compuesto mantiene una densidad continua entre la repartición de los diferentes materiales que lo componen.

En el caso de esta misma investigación se trabajó con el hongo *Ganoderma sp.* (lo cual resulta sumamente importante para esta investigación pues se trata del mismo género de hongo del que está hecho este material).

En la siguiente gráfica podemos observar el comportamiento que tuvieron esas muestras bajo

$$\bar{E}/E_s \propto (\bar{\rho}/\rho_s)^2 \quad (1)$$

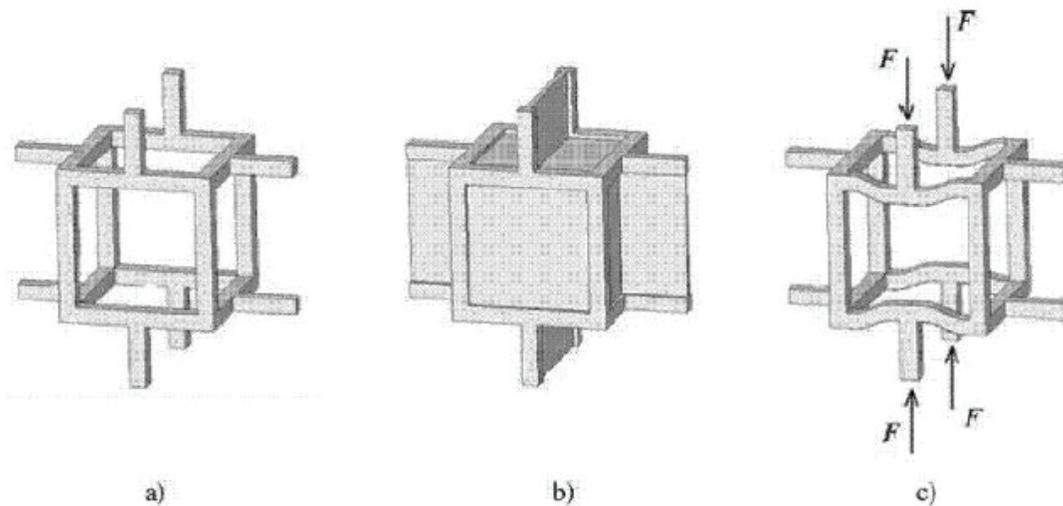


Figure 2. Unit cell [11]: (a) for an open-cell foam of cubic symmetry, (b) for a closed-cell foam of cubic symmetry, (c) shown after linear-elastic deflection (open-cell) [14]

Fig. dj Diagrama que explica las diferentes estructuras que interactúan en un compuesto de micelio, materia vegetal y aire.

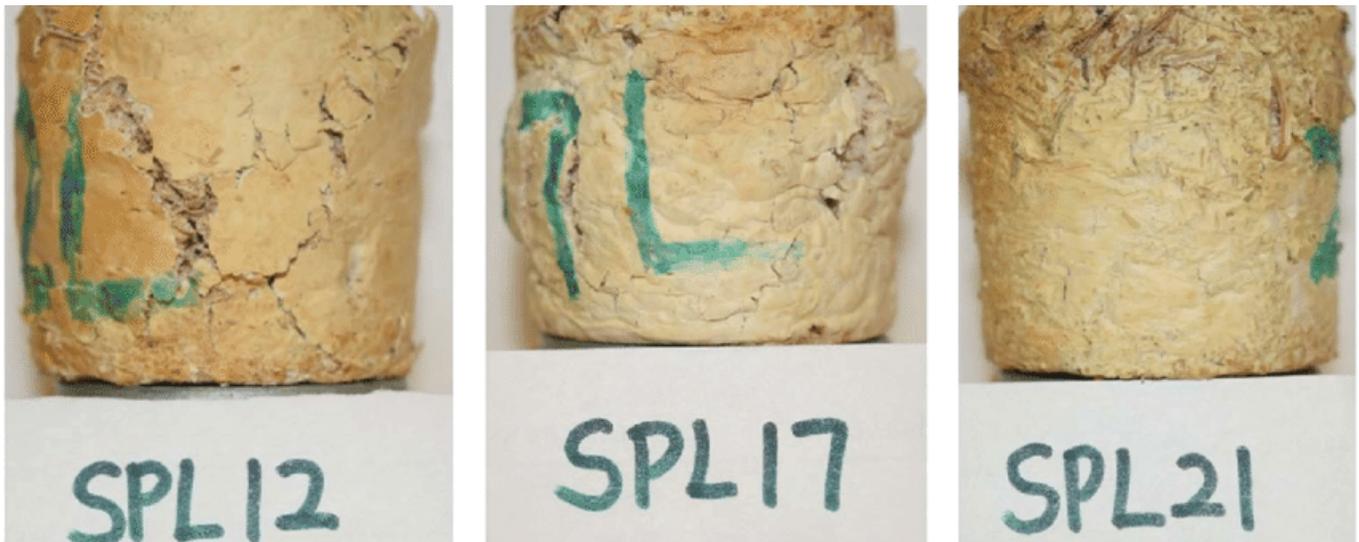


Fig. dk Resultado de test de compresión en material compuesto de micelio de *Ganoderma sp.* mostrando el tipo de deformación y fractura que presenta (Traventini et al.)

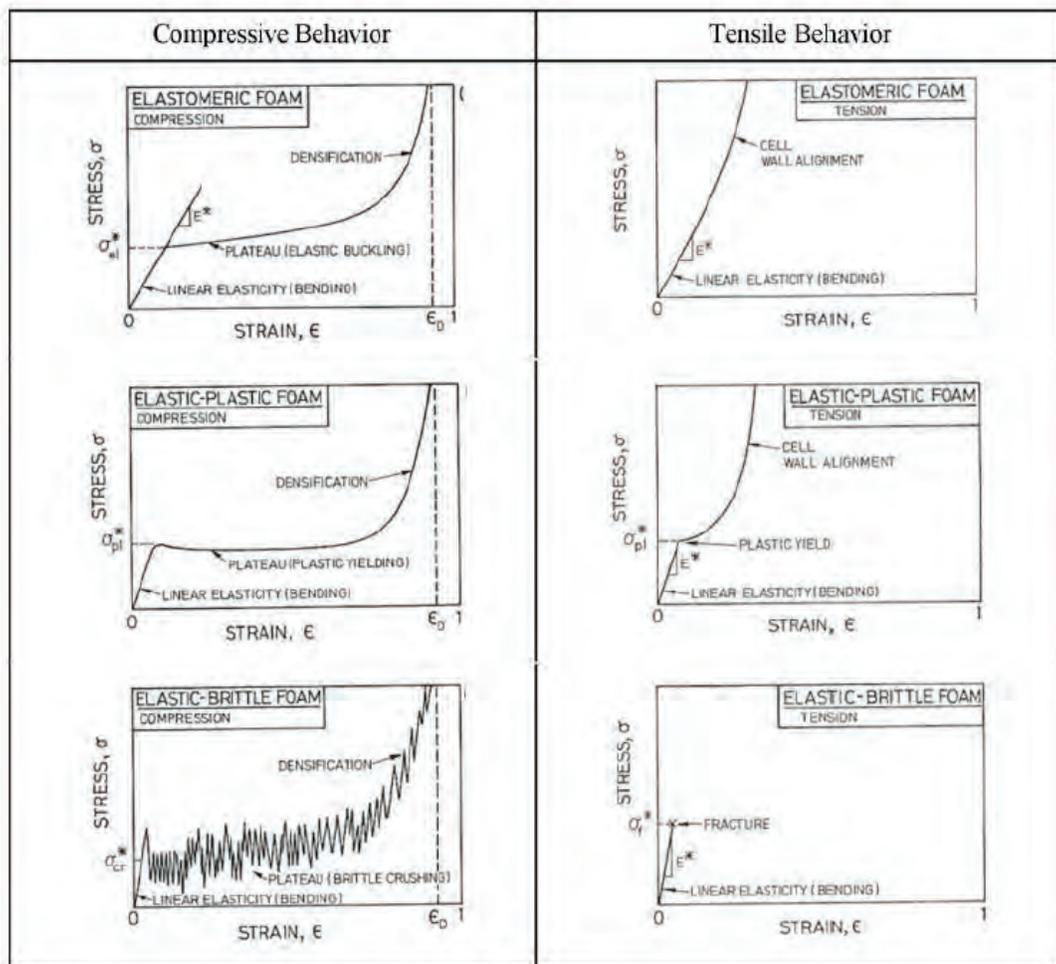


Figure 3. Typical stress-strain behavior in foams [11]

Fig. dl Gráficas resultado del estudio de fuerzas a tensión y compresión con un material biocompuesto de hongo *Ganoderma sp.* resultado del trabajo de Traventini et al.

esfuerzos de tensión y compresión. En el primero vemos que la elasticidad del material es mínima puesto que no se deforma en la prueba de tensión sino que tiende a desmoronarse.

Lo que ocurre en la prueba de compresión es que hay varios estados o fases por la naturaleza de la que está compuesto el material. Pensaríamos entonces que lo que primero cede es la estructura de las hifas junto con las burbujas de aire contenidas y después se va comprimiendo el material rígido. Algo interesante a resaltar, además de la cantidad de fuerza que pueda contener a compresión, es la forma en la que el material se rompe tras rebasar determinado límite de contención. Primero se compacta y se deforma hasta que las paredes exteriores no son lo suficientemente tensas para contener la fuerza y la densidad que crece en el interior del material. Esto, a diferencia del comportamiento que tendría

un ladrillo, por ejemplo al romperse, el cual parece estallar y desmoronarse. En la imagen superior podemos ver tres ejemplos de fracturas resultado del trabajo de Amstislavsky<sup>158</sup>, P. and Zang, F. 2017. Ellos trabajaron con un hongo de descomposición blanca (que se alimenta de lignina) aunque hace referencia en repetidas ocasiones al trabajo de Traventini et al. del cual se toman las gráficas anteriores. No podemos asegurar que hayan trabajado con el mismo hongo, sin embargo la imagen se utiliza para ejemplificar el tipo de fractura que debe ser tomado en cuenta para la aplicación de este material en algún diseño, sobre todo estructural.

La muestra SPL12 no contaba con fibras naturales, SPL17 estaba con densidad media y SPL21 estaba compactado. Así como se infería en las experimentaciones realizadas en este trabajo, los materiales que tenían sustrato compactado

TABLE III. COMPARATIVE MATERIAL PROPERTIES [adapted from [19], [20], [21], [22], [23]]

Material	Modulus, E (MPa)	Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E / $\rho$	Yield Strength, $S_{yc}$ (MPa)	Ultimate Strength, $S_{utc}$ (MPa)	$S_{yc} / \rho$	$S_{utc} / \rho$
Present Investigation <i>G. lucidum</i>	1.30	318	0.004	0.0475	0.49	0.0001	0.002
Starch based foam (w/ fiber)	183	260	0.704	1.18	1.09	0.005	0.004
Polystyrene foam	5.70	41.2	0.138	-	0.179	-	0.004
Polyvinyl- chloride foam	3.00	50	0.06	-	45.0	-	0.900
Aluminum Foam	347	255	1.40	1.69	-	0.0066	-

Fig. dm Tabla de resultados de esfuerzos a tensión y compresión /Traventini et al.)

158 AMSTISLAVSKI, P. and ZHANG, F. 2017. Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*. S.l.: s.n.

antes de inocularse con el micelio resultaban más resistentes. Esta respuesta también puede inferirse ya que aquellas muestras tendrán menos aire y más estructura tanto de micelio como de madera, las cuales estarán absorbiendo el esfuerzo. En el caso de la muestra que tiene baja densidad inicial, tendrá mas aire al interior y estas burbujas de aire serán las primeras en colapsarse deformando el material con menor esfuerzo.

En la parte inferior se muestra la tabla de resultados de la investigación de Traventini et al. (2013) en donde se hace una comparación con otros materiales como espuma de poliuretano, espuma de aluminio y espuma basada en fécula vegetal con alguna fibra.

De estos resultados podemos observar que tiene una pobre respuesta a los esfuerzos de

tensión teniendo una deformación elástica mínima inicialmente. En las pruebas de compresión tiene un mejor rendimiento sin presentar deformaciones perceptibles al ojo cuando es sometido a fuerza de 47.5 kPa y llegando a una deformación total cuando las paredes externas dejan de soportar la fuerza interna cuando es sometido a 490 kPa.

En comparación con la espuma de poliestireno resulta casi cuatro veces más resistente, y la mitad de resistente comparado con la espuma de fécula reforzada con fibras naturales. Aunque una vez más, hay que hacer énfasis en que depende de la densidad a la que haya sido sometido el sustrato antes de inocular la muestra y también de las propiedades propias a la fibra vegetal utilizada como sustrato.



Fig. dn Fotografía con zoom del material resultante Funguy demostrando su capacidad impermeable.

## Propuesta dentro de un sistema

Como base de esta investigación se toma en cuenta continuamente el contexto dentro del cual el material se suscribe (inscribe). Es de este modo que para poder incertar la producción del material en un contexto tomando en cuenta las respectivas variables que se ven implicadas en su proceso de crecimiento (o producción) se desarrolla el diseño del sistema que se expresa en el diagrama inferior.

Las principales actividades se realizan en vilculación con los viveros de coyoacán. El inicio del ciclo comienza con los desechos vegetales de corteza de árboles de eucalipto que se generan dentro del parque. Estos desechos que fungen

como el alimento del hongo, se trasladan a la zona de oficinas, donde se plantea que se ocupe una zona para utilizarla como laboratorio. En dicho laboratorio se lleva a cabo la esterilización del desecho vegetal para poder rellenar los moldes con forma de maceta e inocularlos. En otra área de la zona, se requiere espacio para dejar creciendo al micelio. Este lugar requiere tener un cierto control de temperatura, humedad y luz para garantizar el buen crecimiento del micelio.

Como respuesta inmediata al contexto de viveros de coyoacán, se plantea la fabricación de macetas para poder ser utilizadas dentro del vivero

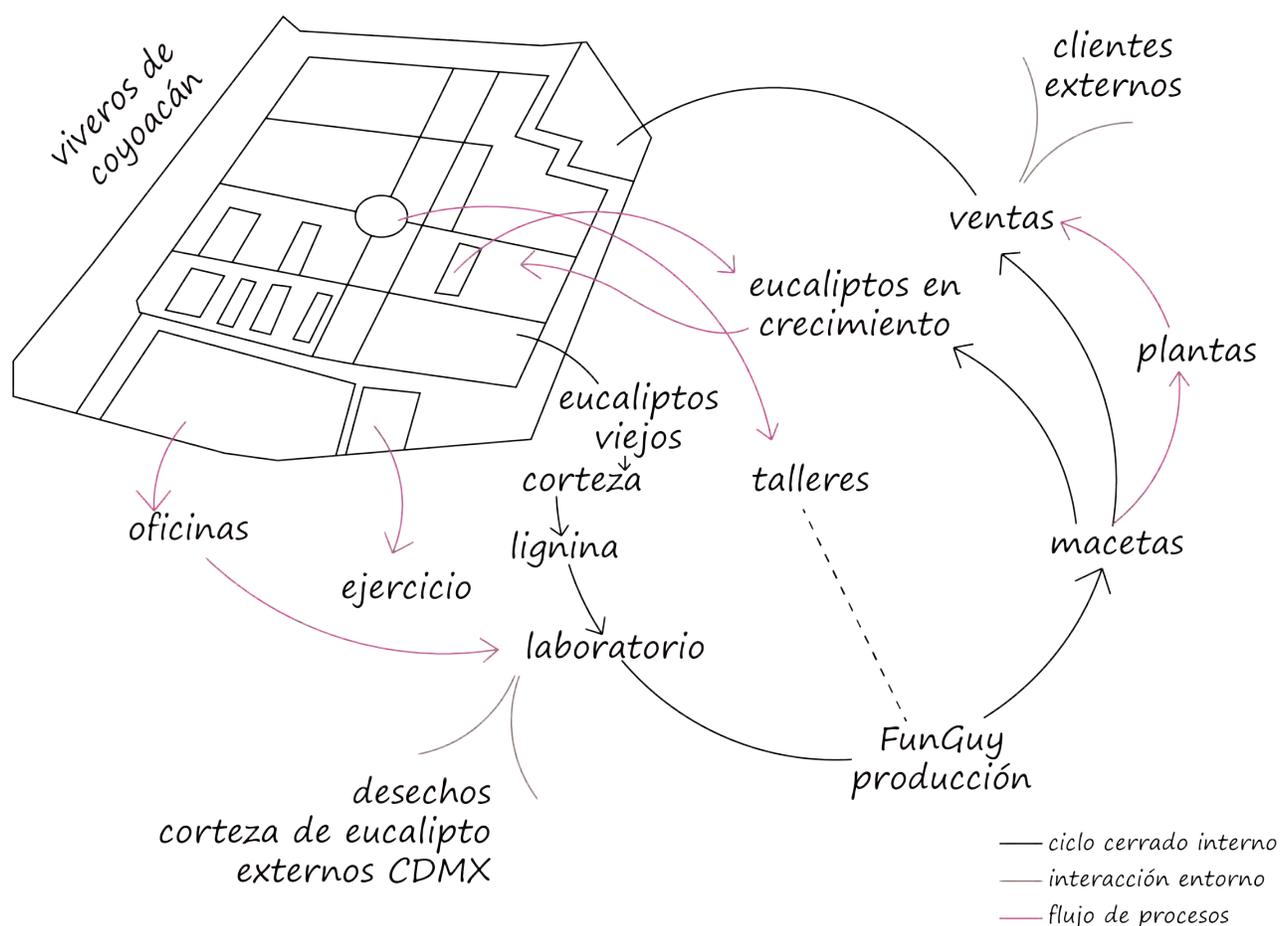


Fig. do Diagrama de funcionamiento de diseño sistémico de la producción de Funguy.

como contenedores para crecer los brotes que se germinan en el vivero. De igual manera, podrían fabricarse macetas que se utilicen en la zona de venta de plantas que se ubica en una esquina del parque. Finalmente otra salida de utilización de dichas macetas es la comercialización de las mismas en la zona del mercado de plantas.

Este sería el sistema más sencillo con el que podría iniciarse una producción de objetos de FunGuy.

En una fase siguiente, se plantea que parte de la fabricación de las macetas podría funcionar de manera didáctica para visitantes del parque donde a través de pláticas y talleres se concientice y

difunda información vinculada con la importancia biológica de los hongos, con los biomateriales y el impacto que tenemos en nuestro entorno decidiendo los objetos que compramos tomando en cuenta el material del que están hechos, así como el tiempo de uso de los dichos objetos.

En una tercera fase, ya que la producción y uso de las macetas sea estable, podría considerarse el uso de corteza de eucalipto de árboles de la ciudad como fuente de alimento para crecer más objetos, vinculando así, al parque de viveros de coyoacán con su contorno inmediato, incerto en una comunidad más grande.

En el caso de que se crezcan árboles en



Fig. dp Imagen de acercamiento de Funguy, donde se perciben las partículas de sustrato en café oscuro a la derecha, en blanco el micelio de *Ganoderma steyaertnum* y en café claro micelio tostado resultado de la deshidratación en el horno.

las macetas de FunGuy, podrían replantarse directamente en viveros de coyoacán incluyendo la maceta, esta maceta tardará cerca de un mes en desintegrarse, re aportando nutrientes al lugar donde se entierre.

Las personas que la compren pueden utilizarla ya sea para crecer plantas que planeen trasplantar o directamente utilizar como maceta, tomando en cuenta que no va a durar eternamente debido a la humedad interna, como un recordatorio constante de que los ciclos de la naturaleza marcan el ritmo del planeta y que debemos de sincronizarnos con ellos sino acabaremos con los recursos que ahora hay disponibles.



*Fig. dq Imagen de una maceta en donde se sembró una pequeña planta para hacer prueba de la impermeabilidad del material. Duró 1 mes y no presentó ningún tipo de descomposición interna resultado de la humedad de la planta.*

## Aporte al diseño industrial

Se proponen dos salidas principales de implementación tras realizar esta investigación; partiendo del diseño de un sistema implementado en un contexto específico: Viveros de Coyoacán. Dentro de este sistema se contempla una serie de usuarios y participantes definidos en dos grupos. El primero serían los trabajadores que se relacionan directamente con la fabricación del material y los productos, quienes serían los técnicos e investigadores, y el segundo que contempla a aquellos que se relacionan de manera secundaria o indirecta con el material, visitantes regulares e irregulares de la zona. Niños y jóvenes que asistan a los talleres y clientes del vivero.

En torno a este sistema se plantean productos de salida. El primer producto que se propone son macetas de uso interno para germinar plantas, sembrarlas y transportarlas a zonas de la ciudad donde se plantarán definitivamente. Además se plantea como opción de venta dentro del mercado de plantas que ofrece el vivero.

Como segunda propuesta, por la naturalidad del parque y el discurso que maneja con sus usuarios<sup>159</sup>, se plantea que hayan talleres de biofabricación dentro de las instalaciones de viveros, enfocado a niños y jóvenes para concientizar respecto al uso de plásticos de un solo uso y de nuestro impacto contaminando en nuestro entorno y el mundo, por otro lado, estos talleres buscarían difundir información acerca de la importancia de los hongos y cómo forman parte en todos los ciclos de degradación de productos naturales en la Tierra. A través de estos talleres, podría el cliente, fabricar objetos que se lleve a casa, buscando replantear la aproximación cultural que tenemos hacia los hongos, así como la respuesta y el vínculo emocional que tenemos con ellos.

El último objetivo de estos talleres sería replantear el concepto de desecho, cambiando el enfoque con el que debemos valorar aquello que podría después transformarse en la materia prima



Fig. dr Fotografía de detalle de un borde de Fungus creciendo.

159 CICEANA actualmente imparte talleres de concientización enfocados a principios sostenibles dentro de viveros. Ofrecen talleres como de cultivo de hortalizas en azotea, botiquín de plantas medicinales y permacultura, de <https://saralip.webcindario.com/multimedia/08finalciceana/cursosytalleres.html> (consultado 16 junio 2020)



*Fig. ds Imagen de varias muestras de Funguy en varias presentaciones formales y composiciones de distintas densidades. Esta colección fue exhibida en la presentación que se llevó a cabo en las instalaciones de Symbiótica en UWA (University of Western Australia), Perth en noviembre de 2019)*

de un nuevo ciclo o sistema, alimentando la idea de economía circular.

La idea de biofabricar macetas embona con el contexto del vivero por las funciones que ahí se realizan, sin embargo la selección del objeto no es trivial. Se contempla que el hongo entra en estado de hibernación al momento de hornearse o deshidratarse y eso le da un grado de estabilidad al material, sin embargo, existe una limitante: en cuanto las condiciones climáticas cambien dotando al material de mayor humedad con una temperatura alta, el hongo puede volver a crecer,

ya sea en forma de micelio o incluso podría buscar hacer esporocarpos, en el caso de que se encuentre estresado el hongo. En el contexto de las macetas, este factor no se toma como una limitante sino como un punto a favor, pues se espera que al enterrar la maceta de nuevo en el suelo, esta se reintegre aportando nutrientes a la tierra.

Por otro lado, puede ser el comienzo para reformular la idea colectiva que se tiene de los hongos y la forma en la que nos relacionamos con ellos. Tras un tiempo, y ya que se haya asimilado la idea de biofabricación por una mayor parte de la población podrían empezar a fabricarse otra serie

de objetos que tomen en cuenta esta condición y además las siguientes características:

-A pesar de poner al hongo en estado de hibernación, cuando se apliquen condiciones de calor y humedad específicas, el hongo seguirá creciendo.

-Las formas que pueden lograrse dependen de ángulos de salida de molde y del tamaño del sustrato. Las paredes más delgadas resisten menos tanto a compresión como a tensión.

-Las paredes no han de ser menores a 1cm de espesor pues el aguate estructural entra en riesgo.

-El objeto tiene una reducción de tamaño igual al 30% desde la medida del molde al objeto cocido.

-No se ha comprobado que sea esteril como para implementaciones en el sector alimenticio.

-El tiempo de vida del producto no es eterno como los plásticos derivados del petróleo.

-El tamaño de la partícula del sustrato afecta directamente en las propiedades mecánicas del material, así como la compresión de este y la densidad del micelio mismo.

Dadas las propiedades estructurales y mecánicas del material podrían fabricarse estructuras de cascos de protección, esquineros para embalaje, cheetos para rellenar el aire en

transporte, barras de contención en lugares aireados, contenedores temporales de residuos tóxicos, estructuras arquitectónicas temporales, ataúdes, parasoles en climas cálidos y secos, composteros temporales, hieleras de contenedor terciario o secundario para traslados con rangos de temperatura definidos, páneles acústicos que no tengan recubrimiento y que no se encuentren pegados a otra superficie, entre muchas otras opciones mientras se tenga en cuenta los factores anteriormente mencionados.

Después del desarrollo de esta investigación se encontró que existe la posibilidad de continuar con una línea de investigación en el área de tecnología para la creación de moldes de biomateriales de este tipo o de fabricación de estos moldes, ya que se descubrieron las limitantes y las necesidades que requiere el material.

Finalmente se desarrolló una metodología que permite incentivar y guiar la experimentación con biomateriales que se aplique a distintos contextos con los factores que el medio ponga a disposición.



Fig. dt Imagen de Funguy expuesto a fuego.



Fig. dv Imagen de la textura y acabado de Funguy.



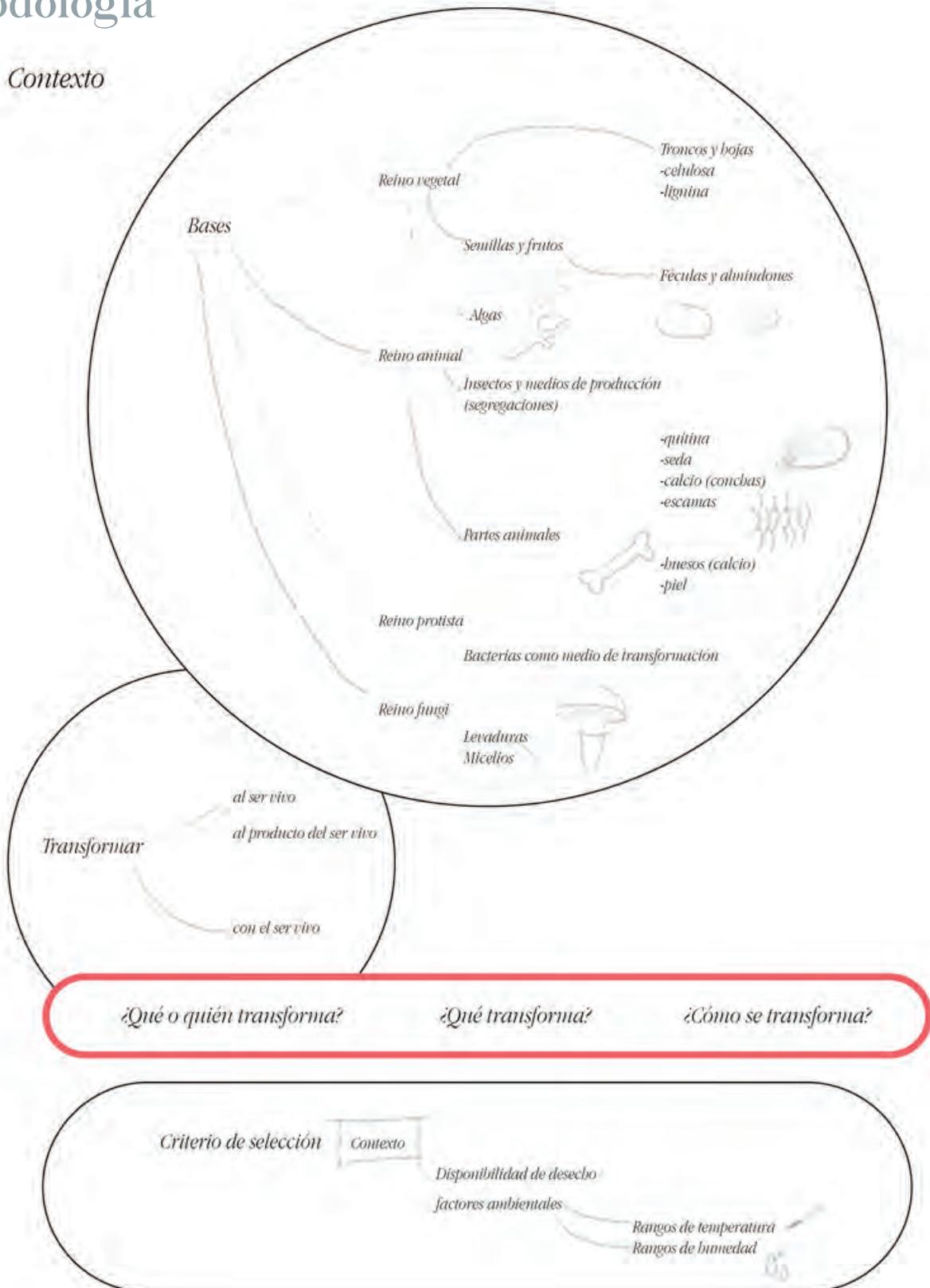
Fig. dw Fotografía microscópica de una estructura algodonosa de hifas de Ganoderma.

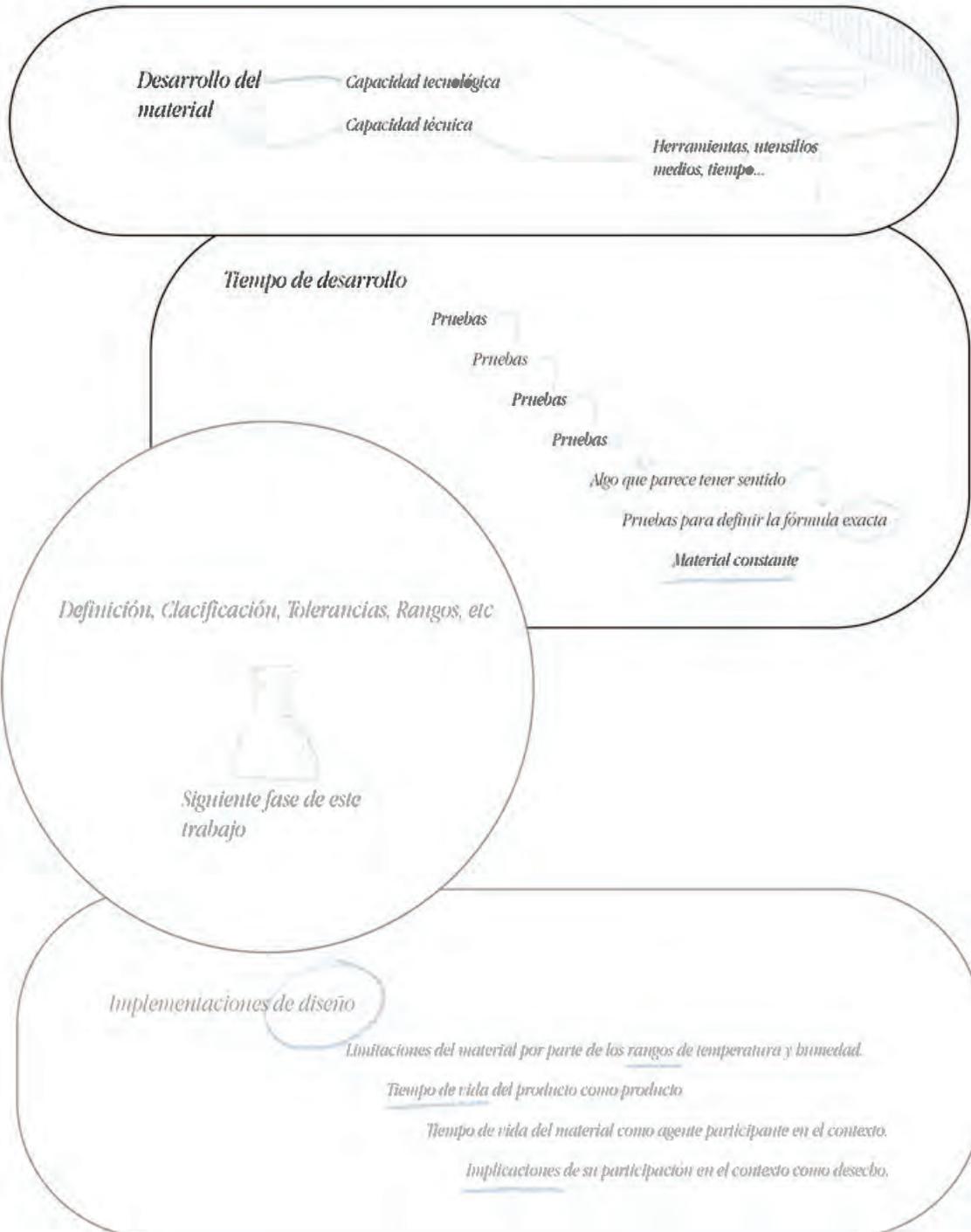


Fig. dx Banner de la plática impartida en Perth, Australia el 22 de noviembre de 2019 como culminación de la estancia de investigación llevada a cabo en la Universidad de Western Australia.

# Metodología

## Contexto





## Conclusiones

Desde que el artista experimental empezó a trabajar con el micelio tratándolo como un material bondadoso, ha habido muchas empresas que han mostrado interés en comercializar a este como un producto que pueda existir dentro de una línea de producción, sin embargo, hay varios factores que deben de tomarse en cuenta y que no necesariamente encajan con principios de fabricación o de industrialización que actualmente damos por sentado.

Para empezar, el micelio es un ser vivo cuyo crecimiento es frenado cuando se somete a cocción y a deshidratación, lo cual no significa que el organismo haya muerto, se encuentra en estado de hibernación. Gracias a esta propiedad, es que el organismo puede encargarse de seguir descomponiendo árboles y ecosistemas ricos en lignina cuando hay recursos disponibles y en este proceso, desintegrarse (aparentemente) en la tierra.

Esto implica que cuando el objeto/producto/material es sometido de nuevo a condiciones con humedad, calor y algún tipo de fuente de nutrición (que bien puede encontrarse dentro del material mismo) el organismo volverá a crecer y

desarrollarse.

Regresando a la hipótesis de este trabajo, efectivamente es posible generar un biomaterial compuesto entre una estructura aglutinante de micelio y un sustrato específico rico en lignina en la Ciudad de México ya que las condiciones climáticas y naturales se prestan para que dicha interacción se lleve a cabo. Las limitantes empiezan a resaltar a la superficie cuando tomamos en cuenta las expectativas de una producción industrial en México y el ritmo de vida al que estamos acostumbrados. Manejar un material vivo no se compara en ninguna medida con otro material como el unicel que tarda dos minutos en inyectarse y estar listo para su utilización. El material biocompuesto de micelio puede ser funcional y remplazar una función que cubre actualmente un plástico de un sólo uso, siempre y cuando se tenga en cuenta las implicaciones que éste tendrá cuando regrese al suelo.

La producción de una pieza toma una semana de crecimiento y en el camino se consumen recursos que no son comparables con el plástico de un sólo uso (aunque el si tomamos en cuenta el tiempo que tardó en hacerse y extraerse el



Fig. du Fotografía de una muestra textil de micelio de *Ganodema sp.* crecido sobre cultivo líquido, vista superior.

petróleo, sería mucho más que lo que tarda en crecer el micelio), sin embargo nos acerca a los ciclos y ritmos de trabajo de la naturaleza en donde nada es inmediato y todo se relaciona con otros individuos teniendo afectaciones directas e indirectas en otros ciclos.

Parece ser que algunas de estas empresas están desarrollando mecanismos para aislar la cubierta del micelio con algún tipo de película plástica (ejemplo fibra de carbono y/o resina) o incluso hacer modificaciones genéticas al hongo. Este método parece ir en contra de los ideales de este trabajo de investigación, que se enfoca en generar un sistema lo más sostenible posible, pues modifica o anula la propiedad del objeto de desintegrarse de nuevo en la tierra una vez haya dejado de cumplir su función.

Supongamos que este punto se resuelve de manera positiva y logramos generar una película que sólo bajo las condiciones ideales permite que el material se vuelva a degradar dentro de la tierra. En este escenario tenemos dos caminos de investigación que deben de cubrirse antes de que el material se produzca en grandes escalas.

Lo primero es estudiar el impacto que tendría una alta densidad de micelio de una sola especie de hongo enterrado en una muestra de tierra. También valdría la pena analizar su

comportamiento en agua salada ya que como podemos ver actualmente, muchos de los desechos que se generan, acaban en el mar.

Antes de explotar otro material en las cantidades que hemos explotado los PDUSU, es obligatorio replantearnos su uso, si es realmente necesario y ante todo, hacer una reducción de consumo generalizada para que la explotación esté, al menos, justificada.

Se logró proponer una metodología de crecimiento de un biomaterial para que otras personas puedan experimentar con los factores que se encuentren en su localidad, lo cual era uno de los objetivos de este trabajo.

Finalmente los puntos que quedan pendientes para una posible continuación de este trabajo de investigación:

- Realizar pruebas mecánicas del material para poder clasificarlo y tener un punto de comparación en relación con otros materiales.
- Hacer un análisis de ciclo de vida para medir su impacto en un espectro completo.
- Medir los rangos de temperatura y humedad bajo los cuales el material vuelve a crecer.



Fig. dy Fotografía de una muestra textil de micelio crecido sobre cultivo líquido, vista inferior.

# Glosario

Polímeros, pág 16

Biopolímeros, pág 16

Bioplástico.- “Un plástico es de origen biológico si está elaborado con materia prima sostenible (vegetal). Por ejemplo, los bioplásticos se pueden fabricar a partir de almidón, celulosa, azúcar, aceites vegetales, lignina y proteínas. Estas sustancias básicas pueden obtenerse del maíz, la madera, la caña de azúcar o las patatas”.<sup>123</sup>

Plástico biodegradable .- “Un plástico es biodegradable cuando puede descomponerse en los siguientes elementos: agua, dióxido de carbono, metano y biomasa. La biodegradabilidad no tiene que ver con la materia prima específica de la que se origina el plástico, sino más bien con la estructura del material. También existen plásticos derivados del petróleo que son biodegradables”.

<https://www.plasticgarbageproject.org/es/vida-plastico> (consultado 4 marzo 2020)

Microplásticos.- “Los microplásticos representan una parte importante del problema de la basura plástica que recientemente ha sido objeto de una intensa investigación. Las micropartículas (según la definición vigente, menores de 5 mm, teniendo las partículas más pequeñas encontradas hasta la fecha un tamaño de tan solo 1/1000 mm) se introducen en el mar de diversas formas. Además de los restos de plástico que se desintegran por la acción de la fricción y de la radiación UV, los granulados o pellets de plástico, una materia prima en la fabricación de los productos de plástico, constituyen una parte importante del problema. Debido a la manipulación negligente (durante el transporte, por ejemplo), se introducen cantidades considerables en los entornos naturales.” <sup>123</sup>

Ftalatos.- “Los ftalatos se usan como plastificantes, sobre todo en el PVC, representando entre un 30 % y un 35 % de su composición. Hacen de este material más bien duro y quebradizo, un plástico blando y flexible. Aproximadamente un millón de toneladas de

ftalatos se usan anualmente en Europa Occidental, siendo los cinco más comunes el diisodecilftalato (DIDP), el diisononilftalato (DINP), el ftalato de dietilhexilo (DEHP), el dibutilftalato (DBP) y el benzilbutilftalato (BBP).

El PVC blando y los ftalatos que contiene se encuentran en muchos productos que se utilizan a diario, por ejemplo, revestimientos para suelos, papeles pintados, cortinas de ducha, pinturas y barnices, material de embalaje y cosméticos, artículos deportivos y de ocio, así como también en productos para bebés y juguetes infantiles. En la industria de la construcción, este material se usa para cables, conductos o para sellar techos; en la industria automotriz, para la protección de los bajos de la carrocería, sellados, forros interiores y lonas de camiones; y en el campo médico-técnico, el PVC blando se usa para fabricar bolsas y tubos de infusión y recubrimientos entéricos de pastillas.

Los plastificantes no se unen al plástico, por lo que se pueden evaporar o disolver al entrar en contacto con líquidos y grasas. Se sospecha que la mayor cantidad de plastificantes se introduce al medioambiente durante el uso del producto. Los ftalatos pueden entrar en el organismo a través de los alimentos, la saliva, la respiración o a través de la piel, y se acumulan en el polvo de los hogares.”  
123

Biocompuestos, pág 12

Biohacking, pág 17

Open source, pág 17

Análisis de Ciclo de Vida,

Hifas, “The hyphae is essentially a tube with a rigid wall, containing a moving slug of protoplasm. It is of indeterminate length but often has a fairly constant diameter ranging from 2 micra to 30 micra or more, depending on the species and growth conditions...” DEACON, JIM, 2006, Fungal biology. 4. Edimburgo : Blackwell. pp. 58

Superfood, El término es de origen cultural y de marketing, sin embargo, se refiere aquellos alimentos que brindan beneficios a la salud en donde principalmente son más densamente cargados de nutrientes.

Celulosa.-

Es el compuesto más simple encontrado en el material lignocelulótico de las plantas, es el polímero más abundante en la biosfera. Está compuesto por un polímero de residuos de

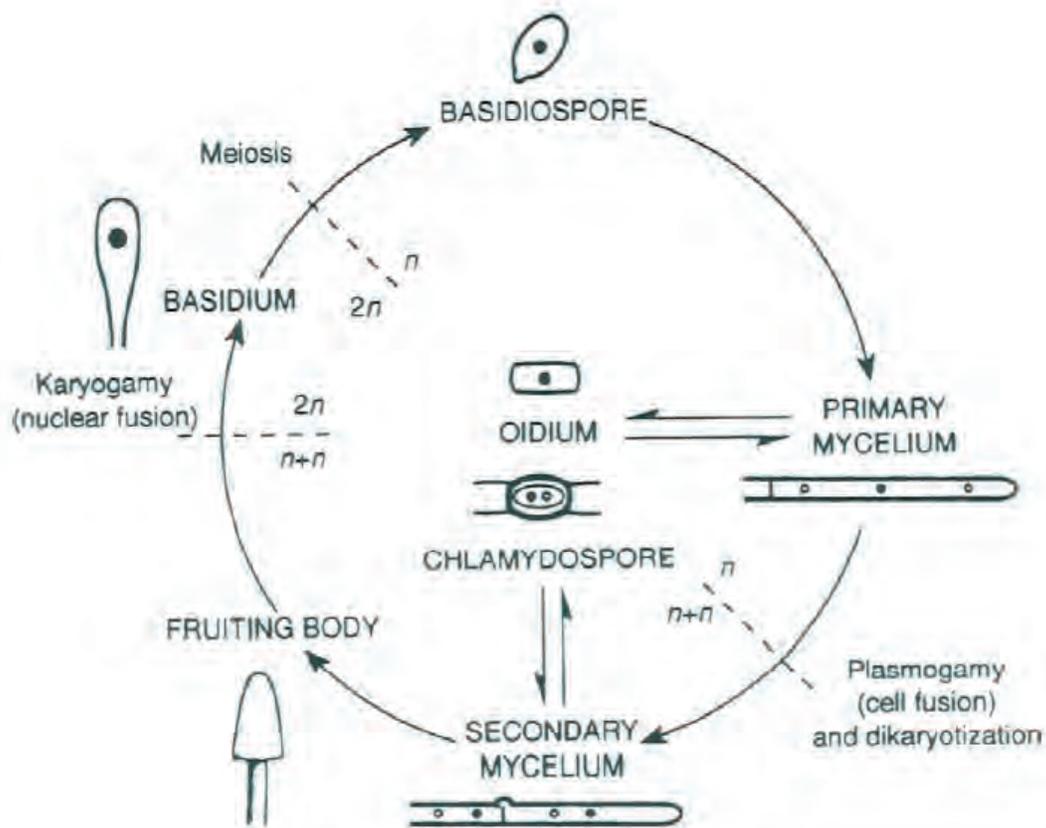
D-glucosa unidos por enlaces B1,4. Debido a su estructura, las cadenas de celulosa están unidas por puentes de hidrógeno intermoleculares formando agregados (microfibrillas).

La Celulosa. Es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa; es pues un homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua, y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de  $\beta$ -glucosa. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre, se encuentra en las paredes de las células de las plantas. Químicamente se considera como un polímero natural, formado por un gran número de unidades de glucosa ( $C_6H_{10}O_5$ ), cuyo peso molecular oscila entre varios cientos de miles.

<https://www.ecured.cu/Celulosa> (consultado 14-02-19)

Lignina.-

Es un polímero complejo tridimensional, globular, insoluble y de alto peso molecular, formado por unidades de fenilpropano cuyos enlaces son relativamente fáciles de hidrolizar por vía química o enzimática. Esta molécula tiene diferentes tipos de uniones entre los anillos de fenilpropano. [Hernández Corredor, R. and L.pez Rodr.guez, C. \(n.d.\). evaluaci.n del crecimiento y producci.n de Pleurotus osteratus sobre diferentes residuos agroindustriales. 1st ed. Bogot.: Pontifica Universidad Javeriana.](#)



**Figure 2.20** The life cycle of the Agaric *Coprinus cinereus*: Haploid ( $n$ ) basidiospores germinate to give primary mycelium which can produce oidia, and fuse with oidia or mycelium of compatible mating type to give dikaryotic ( $n + n$ ) secondary mycelium with clamp connections. Secondary mycelium can produce chlamydospores and give rise to fruit bodies. Fusion of two haploid nuclei to give diploid ( $2n$ ) nuclei occurs in basidia. Meiosis follows and each basidium bears four haploid basidiospores.

Fig. dz Ciclo de la basidiospora, Haploide que germina para dar un micelio primario el cual produce oidia y se fusiona con un apareamiento compatible para dar micelio dicariótico, micelio con conexiones. Este puede producir chlamydosferas que lleva a esporangios o cuerpos frutales, en donde se generan dos haploides que hace núcleos diploides.

# Bibliografía

- AMSTISLAVSKI, P. and ZHANG, F. 2017. Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*. S.l.: s.n.
- BOYER, MARK and BOYER, MARK, 2018, Philip Ross Molds Fast-Growing Fungi Into Mushroom Building Bricks That Are Stronger than Concrete. *Inhabitat.com* [online]. 2018.
- BAYER, E. and MCINTYRE, G. 2006. Method for growing mycological materials. US 2015/0247115 A1. United States. US 2015/0247115 A1.
- BAYER, E. and MCINTYRE, G. 2012. Substrate composition and method for growing mycological materials. US20120315687A1. United States. US20120315687A1. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://inhabitat.com/phillip-ross-molds-fastgrowing-fungi-into-mushroom-building-bricksthat-are-stronger-than-concrete/>
- CARLILE, MICHAEL, WATKINSON, SARAH and GOODAY, GRAHAM, 2001, *The Fungi*. 2. grat britan : academic press.
- Centro de Información al Consumidor de Amaranto, 2018. *Amaranto.com.mx* [online], Centro de Física aplicada y tecnología avanzada, <http://www.fata.unam.mx/> [Accessed 23 April 2019]
- CESCHIN, FABRIZIO and GAZIULUSOY, İDİL, 2019, *Design for sustainability: A Multi-Level Framework from Products to Socio-Technical Systems*. 1. Routledge.
- CONSULTING, DELIGHT, 2018, Home | Mycelium Biofabrication Platform | Ecovative | Green Island, New York. *Ecovatedesign.com* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://ecovatedesign.com/home?ref=lpCradle> to Cradle: Remaking the Way We Make Things (2002) | William McDonough, 2018. William McDonough [online], Corbin A. 1982. *Le miasme et la jonquille*. Flammarion, París.
- Archivo Histórico de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Fondo Salubridad Pública. Medicamentos. Caja 1. Expediente 19. 1874. *Eucalyptus*. Memoria del Dr. De Bellina sobre la intensidad del paludismo en México. 1882. *Gaceta Médica de México*, tomo 17, pp. 347, 352, 413.
- Cultivation Technology of Reishi Mushroom | ICAR-Indian Institute of Horticultural Research, 2018. *Iihr.res.in* [online], Cultivation Technology of Reishi Mushroom | ICAR-Indian Institute of Horticultural Research, 2018. *Iihr.res.in* [online], DESIGN, CGC, 2018, Paul Forster Photography :: Phylum Ascomycota. *Pwforster.co.uk* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <http://pwforster.co.uk/botanical/fungi/phylum-ascomycota/>
- DEMOS, S.A. DE C.V., 2018, La Jornada: El lirio, de plaga en Xochimilco a materia prima para papel amate. *La Jornada* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://www.jornada.com.mx/2016/12/18/capital/027n1cap>
- DIYbio, 2018. *DIYbio* [online], El Celofán, 2018. *Todo En Polímeros* [online], ES, QUÉ and COMPOSTABILIDAD, BIODEGRADABILIDAD, 2018, Biodegradabilidad y Compostabilidad - Materbi. *Materbi* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <http://materbi.com/es/ques/biodegradabilidad-y-compostabilidad/>
- Frenan innovación de nopal, 2018. *El Universal* [online], Foto Foto 3. Raíz micorrizada y esporas del hongo formador de micorrizas arbusculares *Glomus intrarradices* perteneciente a la colección del IRTA, resgistrado en el Banco Europeo de Glomales como BEG72.. *Infoagro*, 2018. *Infoagro.com* [online], DEACON, JIM, 2006, *Fungal biology*. 4. Edimburgo : Blackwell.
- ELLIOT, Kyla, 2002, *LINST* (Central Saint

Martins College London Institute), Industrial Revolution, Biomedical Revolution; The influence of current research in biomedical science upon product design with respect to potential future manufacture and product fabrication methods.

FREARSON, AMY, 2018, Mycelium forms suede-like furniture by Sebastian Cox and Ninela Ivanova. Dezeen [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://www.dezeen.com/2017/09/20/mushroommycelium-timber-suede-like-furniture-sebastiancox-ninela-ivanova-london-design-festival/>

GARDEN, HOME, SCIENCE, ENVIRONMENTAL and SCIENCE, GREEN, 2018, What is corn plastic?. HowStuffWorks [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/corn-plastic.htm>

Grow-It-Yourself Material, 2018. Shop. [ecovatedesign.com](http://ecovatedesign.com) [online],

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C. et al. Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Sci Rep* 7, 41292 (2017). <https://doi.org/10.1038/srep41292>

HANSELL, HANNAH, 2018, BIOMatters: A New Age of Biosynthetic-Technology in the Textile and Apparel Industry. *Issuu* [online].

2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: [https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook\\_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwL5fT-Mf3z3HOKNvkaClHij\\_aXWbcga54Opoe83EY](https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwL5fT-Mf3z3HOKNvkaClHij_aXWbcga54Opoe83EY)

Hernández Corredor, R. and López Rodríguez, C. (n.d.). evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus osteratus* sobre diferentes residuos agroindustriales. 1st ed. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Hinke, Nina. (2000). La llegada del eucalipto a México. *Ciencias* 58, abril-junio, 60-62. [En línea]

Hifa, 2018. [Es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org) [online],

HOBSON, BEN, 2018, Movie: growing new materials and products from fungus. Dezeen [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://www.dezeen.com/2015/01/21/movie-officina-corporuscoligrowing-products-materials-fungusbiotechnological-revolution/>

HOLT, G., MCINTYRE, G., BAYER, D., WANJURA, E. and PELLETIER, J. 2012. Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material>evaluation study of select blends of cotton byproducts. *Journal of biobased materials and bioenergy*. 1. New York: Shijie Liu.

ISOKAUPPILA, Tero, 2017, *Pingun Random ouse LLC, Healing mushrooms, a practical and culinary guide to using mushrooms for whole body health,*

Islam, M.R., Tudryn, G., Bucinell, R. et al. Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Sci Rep* 7, 13070 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>

JOSÉ RAMÍREZ VILLAPUDUA, MONOGRAFIAS.COM, 2018, Cultivo del hongo Reishi (*Ganoderma lucidum*) en sustratos artificiales - Monografias.com. *Monografias.com* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018].

Available from: <https://www.monografias.com/trabajos94/cultivo-del-hongo-reishi-ganodermaalucidum-sustratos-artificiales/cultivo-del-hongoreishi-ganoderma-lucidum-sustratos-artificiales.shtml>

LA, GRISALES, 2018, Hongos (reino Fungi): características y clasificación o tipos. *Naturaleza Paradais Sphynx* [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/fungi/hongos.htm>

L. H. Keeley, «Proto-Agricultural Practices Among Hunter-Gatherers: A Cross-Cultural Survey», en T. Douglas Price y Anne Birgitte Gebauer, eds., *Last Hunters, First Farmers: New*

Perspectives on the Prehistoric Transition to Agriculture, Santa Fe, N. M., School of American Research Press, 1995, pp. 243-272; R. Jones, «Firestick Farming», Australian Natural History, 16 (1969), pp. 224-228.

LELIVELT, R. 2015. The mechanical possibilities of mycelium materials. maestria. S.l.: Eindhoven University of Technology.

MACBRIDE, ELIZABETH, 2018, Avocado Seeds Into Plastic: A Mexican Chemical Engineer Aims At \$5.8B Market. Forbes [online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/elizabethmacbride/2015/04/30/avocado-seeds-into-plastic-a-mexican-chemical-engineer-aims-at-5-8b-market/#4a4aa4b55482>

MANTON, MAUDIE, 2018, Mushroom-based modelling kit allows users to grow designs. Dezeen[online]. 2018. [Accessed 15 November 2018]. Available from: <https://www.dezeen.com/2015/03/25/mushroom-materials-ecovativemodelling-kit-mycelium-designs-of-the-year-2015>

McCoy, P. (2016). *Radical Mycology*. 1st ed. Portland: Chthaeus.

MOORE, D, ROBSON, G.D. and TRINCI, A.P., 2011, 21st century guidebook to fungi with CD. cambridge.Mycoworks Homepage, 2018.

Mycoworks [online],

MycotEX proof-of-concept |, 2018. NEFFA [online],

Mycelium Composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics, Jones et al. Journal of Bionanoscience, Vol. 11, 241-257, 2017. mysite, 2018. mysite [online],

NEFFA - translating technology into surprising, tangible results, 2018. NEFFA [online],

NEWS - Klarenbeek & Dros - Designers of the Unusual, 2018. Ericklarenbeek.com[online], Presidente de la Asamblea General de las Naciones Unidas, 2018. Un.org [online], Projects | BioCurious - Silicon Valley's Hackerspace for

Biotech, 2018. Biocurious.org [online],.

PROPIEDADES, 27, 2019, Plantas medicinales nativas de Argentina | WormsArgentina.com. WormsArgentina.com [online]. 2019. [Accessed 13 February 2019]. Available from: <https://wormsargentina.com/plantas-medicinalesnativas-de-argentina-usos-y-propiedades/Projects> | BioCurious - Silicon Valley's Hackerspace for Biotech, 2018. Biocurious.org [online], puentemexico.org, 2018. puentemexico.org [online],

Ramírez Meza, B., Torres Carral, G., Muro Bowling, P., Muruaga Marínez, J. and López Monroy, D. (2010). Los productores del amaranto en la Zona de Conservación Ecológica Teuhtli. Revista de Geografía Agrícola, [online]44/57, pp.58-69. Available at: <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1426.pdf> [Accessed 29 May 2019]. }

RODRIGUEZ, J. 2014. Elaboración de un material biocompuesto a partir de fibra de plátano. Maestría. S.l.: Universidad Nacional de Colombia.

Spahr, D.L. *Edible and Medicinal Mushrooms of New England and Eastern Canada*. North Atlantic Books. 2009

Stamets Paul, et. al. *Fantastic Fungi*, edit. Earth aware, 2019, California.

Stanley G, Harvey K, Silvova V, Jiang V and Silva D. 2005

Stanley G, Harvey K, Silvova V, Jiang V and Silva D. Ganoderma lucidum supresses angiogenesis through the inhibition of secretion of VEGF and TGF-beta from prostate cancer cells. Biochem Biophys Res Commun 2005; 330: 46-52

Suzanne Lee: Biocouture | LAUNCH, 2018. LAUNCH [online],

Superfood, 2018. En.wikipedia.org [online], The Biomimicry Institute – Inspiring Sustainable Innovation, 2018. Biomimicry Institute [online],

Tereftalato de polietileno, 2018. Es.wikipedia.

org [online],

Tonevitskaya, S. (2019). When mushrooms go in the lab: growing design. [online] Medium. Available at: <https://medium.com/@stonev/when-mushrooms-go-in-the-lab-growing-design-882bff633aa8> [Accessed 15 Oct. 2019].

Travaglini, S. J. Noble, P. Ross and C.K.H. Dharan, 2013. Mycology matrix composites, proceedings of the American Society for Composites-Twenty-Eighth Technical Conference. VALENCIA, MELISSA, 2015, Producción de materiales para el diseño, a partir de vegetación desértica en México. 1. cdmx.

YANG, Z., ZHANG, F., STILL, B. and WHITE, M. 2017. Physical and mechanical properties of fungal mycelium/based biofoam. Journal of materials in civil engineering. 1. vancouver: s.n.

Zoey Deschanel on Reducing Plastic to Help the Planet, 2018. Glitter Magazine [online], The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ezproxy.library.uwa.edu.au/pmc/articles/PMC4397375/> (consultado 14, ago, 2019)

<https://www.anbg.gov.au/fungi/ecology-woodrot.html> (consultado 14, ago 2019)

[https://www.rotterzwam.nl/en\\_US/de-uitdaging](https://www.rotterzwam.nl/en_US/de-uitdaging) (consultado 13-09-19)

[https://www.jef.or.jp/journal/pdf/175th\\_cover04.pdf](https://www.jef.or.jp/journal/pdf/175th_cover04.pdf) (consultado 13-09-19) paper de la economía azul

<https://www.bluecity.nl/over-bluecity/> (consultado 12-09-19) Blue city lab home page <http://biohacktheplanet.com/> (consultado el 13-11-18)

<https://diybio.org/> (consultado el 13-11-18)

<http://biocurious.org/> (consultado 13-11-18)

<http://biocurious.org/projects/> (consultado 13-11-18)

<https://opensource.org/> (consultado 13-11-18)

<https://www.hwestwood.com/> (consultado el

13-11-18)

<https://biomimicry.org/> (consultado 13-11-18)

<https://asknature.org/> (consultado 13-11-18)

<https://biomimicry.org/> (consultado 13-11-18)

[https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook\\_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwLExzL5fT-Mf3z3HOKNvkaCIHij\\_aXWbcga54OpoE83EY](https://issuu.com/hannahhansell/docs/workbook_hh?fbclid=IwAR1kpg1AUQuUjpwLExzL5fT-Mf3z3HOKNvkaCIHij_aXWbcga54OpoE83EY) (consultado 13-11-18)

<http://materbi.com/es/que-es/biodegradabilidad-ycompostabilidad/> (consultado 10-10-18)

Francesca Bosco and Chiara Mollea (February 25th 2019). Mycoremediation in Soil, Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches, Hugo Saldarriaga-Noreña, Mario Alfonso Murillo-Tovar, Robina Farooq, Rajendra Dongre and Sara Riaz, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.84777. Available from: <https://www.intechopen.com/books/environmental-chemistry-and-recent-pollution-control-approaches/mycoremediation-in-soil>

<http://materbi.com/es/que-es/biodegradabilidad-ycompostabilidad/> (consultado 10-10-18)

<https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801> (consultado 16/09/19)

<https://minecraft.gamepedia.com/Mycelium> (consultado el 15/10/2019)

<https://naturaleza.paradis-sphynx.com/fungi/hongos.htm> (consultado 09-09-18)

[http://www.infoagro.com/documentos/images/501.asp?foto=foto\\_3\\_\\_raiz\\_micorrizada\\_y esporas\\_del\\_hongo\\_formador\\_de\\_micorrizas\\_arbusculares\\_glomus\\_intrarradices\\_perteneciente\\_a\\_la\\_coleccion\\_del\\_irta\\_registrado\\_en\\_el\\_banco\\_europeo\\_de\\_glomales\\_como\\_beg72\\_](http://www.infoagro.com/documentos/images/501.asp?foto=foto_3__raiz_micorrizada_y esporas_del_hongo_formador_de_micorrizas_arbusculares_glomus_intrarradices_perteneciente_a_la_coleccion_del_irta_registrado_en_el_banco_europeo_de_glomales_como_beg72_) (consultado el 09-09-18)

<http://dle.rae.es/?id=WX0RW2W> (consultado el 09-09-18)

<https://i.pinimg.com/originals/d6/b0/ac/d6b0ac345bb80503feca11e3f3367c7d.jpg>

(consultado el 09-09-

- 18)  
<http://pwforster.co.uk/botanical/fungi/phylum-ascomycota/> (consultado el 09-09-18)  
<http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=pat%C3%B3geno>  
 (consultado el 09-09-18)  
<https://www.iihr.res.in/cultivation-technology-reishimushroom> (consultado 10-10-18)  
<https://www.mundoreishi.com/blog/514-consumo-reishisilvestre-cultivo> (consultado el 15-11-18)  
<http://neffa.nl/portfolio/mycotex/> (consultado el 12/11/2017)  
<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/aderlan/documentos/EJESTotal/EJE5/cultivo%20de%20pleurotus%20ostreatus.pdf> (consultado el 11/11/2017)  
<https://www.biology-online.org/dictionary/Lignin> (consultado 11/11/19)  
<https://www.jornada.com.mx/2016/12/18/capital/027n1cap> (consultado el 9-10-18)  
<http://imagenagropecuaria.com/2017/produccomposta-desechos-nopal-en-milpa-alta/>  
 (consultado 10-10-18)  
<http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/frenaninnovacion-de-nopal> (consultado 10-10-18)  
<https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1426.pdf> (consultado 29-05-19)  
<https://mas-mexico.com.mx/amaranto-una-de-lasemillas-de-oro-de-la-agricultura-mexicana/>  
 (consultado 09-10-18)  
<http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm> (consultado 14-10-18)  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Superfood>  
 (consultado el 14-11-18)  
<http://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manualecoamarantofinal.Pdf> (consultado 11-10-18)  
<http://amatec.mx/amaranto.html> (consultado 29/05/19)  
<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/vivero-coyoacan>  
 (consultado 20-08-2019)  
<http://cdmxtravel.com/es/lugares/parque-nacional-viveros-de-coyoacan.html> (consultado 16/09/19)  
<https://www.naturalista.mx/places/viveros-de-coyoacan-distrito-federal-mx#page=5> (consultado 16/09/19)  
[https://www.ted.com/talks/toby\\_kiers\\_lessons\\_from\\_fungi\\_on\\_markets\\_and\\_economics?language=es](https://www.ted.com/talks/toby_kiers_lessons_from_fungi_on_markets_and_economics?language=es) (consultado 10 marzo 2020)  
<https://www.mushroom-revival.com/mycoremediation-handbook-e-book/> (consultado 15 – 08 – 2019)  
<https://www.aussimushroomsupplies.com/>  
 (consultado 03-09-19)  
<http://www.mycomasters.com/> (McCoy; 2016, pp. 225)  
<https://medium.com/@stonev/when-mushrooms-go-in-the-lab-growing-design-882bff633aa8> (consultado 17/10/19)

# Imágenes y figuras

- Fig. a Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro
- Fig. b Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro
- Fig. c <https://inhabitat.com/new-3d-printed-algae-could-revolutionize-the-way-we-make-things/> (consultado 2 marzo 2020)
- Fig. d <https://www.nytimes.com/es/2018/09/19/espanol/plastico-mata-tortugas-marinas.html> (consultado 20 febrero 2020)
- Fig. e Imagen extraída de [http://www.env.go.jp/en/statistics/contents/2017/E2017\\_Ch4.pdf](http://www.env.go.jp/en/statistics/contents/2017/E2017_Ch4.pdf) (consultado 02 marzo 2020)
- Fig. f <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/04/el-congreso-acuerda-prohibir-los-plasticos-de-un-solo-uso-en-2020#:~:text=Un%20trabajador%20chino%20selecciona%20botellas%20de%20pl%C3%A1stico%20en%20una%20operaci%C3%B3n> (consultado 18 de agosto 2020)
- Fig. g <https://noticiasambientales.com/residuos/espana-las-bolsas-de-plastico-de-un-solo-uso-seran-prohibidas-en-2020/p> (consultado 18 de agosto 2020)
- Fig. h <https://fundaciontortilla.org/?view=articulos&id=9#:~:text=Para%20asegurar%20el%20C3%A9xito%20en%20el%20cultivo%20del%20ma%C3%ADz%20es> (consultado 5 marzo 2020)
- Fig. i <https://stillife.nl/wear/the-leather/> (consultado 6 marzo 2020)
- Fig. j <https://inhabitat.com/new-3d-printed-algae-could-revolutionize-the-way-we-make-things/> (consultado 2 marzo 2020)
- Fig. k <https://www.finedininglovers.com/article/3-d-printed-mushroom-chair> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. l <https://inhabitat.com/new-3d-printed-algae-could-revolutionize-the-way-we-make-things/> (consultado 2 marzo 2020)
- Fig. m <https://inhabitat.com/new-3d-printed-algae-could-revolutionize-the-way-we-make-things/> (consultado 2 marzo 2020)
- Fig. n <https://inhabitat.com/new-3d-printed-algae-could-revolutionize-the-way-we-make-things/> (consultado 2 marzo 2020)
- Fig. o <https://www.finedininglovers.com/article/3-d-printed-mushroom-chair> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. p <http://www.royaaghghi.com/biogarmentry.html> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. q Travaglini, S. J. Noble, P. Ross and C.K.H. Dharan, 2013. Mycology matrix composites, proceedings of the American Society for Composites-Twenty-Eighth Technical Conference.
- Fig. r <https://www.mycoworks.com/> (consultado 10 octubre 2019)
- Fig. s [https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR\\_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR\\_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0](https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0) (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. t <http://www.sebastiancox.co.uk/lab> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. u <https://jonasedvard.dk/work/myx/> (consultado 5 marzo 2020)
- Fig. v [https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR\\_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR\\_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0](https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0) (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. w [https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR\\_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR\\_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0](https://www.centrepompidou.fr/cpv/agenda/event.action?param.id=FR_R-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0&param.idSource=FR_E-0e1ca28a3e1128d624b2d8375beead0) (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. x <https://jonasedvard.dk/work/myx/> (consultado 5 marzo 2020)
- Fig. y <https://polybion.mx> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. z <https://mogu.bio/> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. aa <https://www.dezeen.com/2019/05/24/korvaa-headphones-bioplasic-fungus-yeast-materials-aivan/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. ab <https://www.biodiversitylibrary.org/item/68762#page/23/mode/1up> (consultado 4 marzo 2020)
- Fig. ac <https://www.greenpeace.org/usa/oceans/preventing-plastic-pollution/> (consultado 03 mayo 20)
- Fig. ad Fotografía tomada por el autor con un mlente microscópico digital
- Fig. ae <https://www.dezeen.com/2019/05/24/korvaa-headphones-bioplasic-fungus-yeast-materials-aivan/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. af <https://www.mintpressnews.com/wisconsin-rfid-microchips/247992/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. ag <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46456325> (consultado 20 marzo 2020)
- Fig. ah <https://www.dezeen.com/2019/05/24/korvaa-headphones-bioplasic-fungus-yeast-materials-aivan/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. ai <https://www.dezeen.com/2019/05/24/korvaa-headphones-bioplasic-fungus-yeast-materials-aivan/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. aj <http://www.biomimicrybe.org/portfolio/shark-skin-inspired-surfaces/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. ak <https://www.popsci.com/technology/article/2012-07/speedos-super-fast-sharkskin-inspired-swimsuit-actually-nothing-sharks-skin/> (consultado 19 marzo 2020)
- Fig. al Fotografía tomada por el autor con cámara reflex Nikon
- Fig. am <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801> (consultado 20 marzo 2020)
- Fig. an <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fministryofdata.org.au%2Furban-farming-kitchen-bench%2F&psig=AOvVaw0YfKTNMYYz78CERkpwHwEi&ust=1581624648969000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPi-x5fpzOCfQAA-AAAAAABAI> (consultado 12 feb 2020)

- Fig. ao <https://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorizas> (consultado 6 junio 2020)
- Fig. ap <https://pixabay.com/es/photos/setas-del-yugo-zygomycota-262043/> (consultado 7 junio 2020)
- Fig. aq <https://www.flickr.com/photos/96794162@N08/8954379298> (consultado 6 junio 2020)
- Fig. ar <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/wong/Bot201/Chytridiomycota/Chytridiomycota.htm#:~:text=Figure%206:%20Male%20and%20female%20gametangia%20releasing%20gametes.%20Note%20the> (consultado 5 agosto 2020)
- Fig. as <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwebsite.nbm-mnb.ca%2Fmycologywebpages%2FNaturalHistoryOfFungi%2FGlomeromycota>.
- Fig. at <https://molinodeltras.org/2017/09/12/zygomycota-pilobolus/> (consultado 5 agosto 2020)
- Fig. au <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fpwforster.co.uk%2Fbotanical%2Ffungi%2Fphylum-ascomycota%2F&psig=AOvVaw0Zb9E1AtxwhJci08QjS5dD&ust=1581625056760000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMi-odrQzOcfQAAAAAdAAAAABAD> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. av <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwebsite.nbm-mnb.ca%2Fmycologywebpages%2FNaturalHistoryOfFungi%2FGlomeromycota>.
- Fig. aw <https://herofortheplanet.org/pollinators/uncover/pollination/#:~:text=animals,%20or%20will%20fall%20to%20the%20ground%20and%20rot.%20Either> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. ax <https://www.saludnaturaldb.com/hongos-medicinales.html> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. ay MOORE, DAVID, ROBSON, GEOFF and TRINCI, TONY, 2011, 21st century guidebook to fungi. 1. New York : Cambridge University Press. pp- 102
- Fig. az Fotografía tomada por el autor con cámara reflex y lente Marco
- Fig. ba DEACON, JIM, 2006, Fungal biology. 4. Edimburgo : Blackwell. pp. 49
- Fig. bb DEACON, JIM, 2006, Fungal biology. 4. Edimburgo : Blackwell. pp. 49
- Fig. bc [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.first-nature.com%2Ffungi%2Fganoderma-resinaceum.php&psig=AOvVaw2B\\_iBJvcLvWuY9rPTzY9hn&ust=1581625152363000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOCO5v\\_qzOcfQAAAAAdAAAAABAY](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.first-nature.com%2Ffungi%2Fganoderma-resinaceum.php&psig=AOvVaw2B_iBJvcLvWuY9rPTzY9hn&ust=1581625152363000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOCO5v_qzOcfQAAAAAdAAAAABAY) (consultado 12 feb 2020)
- Fig. bd <https://mundo.sputniknews.com/increible/201905201087336315-huitlacoche-comida-parasito-hongo-que-es/> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. be <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Flacasadelasetas.com%2Fblog%2Fpleurotus-ostreatus-seta-de-ost-ra%2F&psig=AOvVaw0aYbgiolV5zT446MHFFDZN&ust=1581625249189000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCK-i8v67rzOcfQAAAAAdAAAAABAD> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. bf <http://www.amanitacesarea.com/pleurotus-eryngii.html> (consultado 0 mar 2020)
- Fig. bg <https://www.saludnaturaldb.com/hongos-medicinales/ganoderma-lucidum.html> (consultado 20 noviembre 2019)
- Fig. bh <https://www.sinembargo.mx/14-04-2017/3189453> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. bi <https://coyotitos.com/parque-nacional-viveros-de-coyoacan-ciudad-de-mexico/> (consultado 20 marzo 2020)
- Fig. bj <https://www.naturalista.mx/places/viveros-de-coyoacan-distrto-federal-mx#taxon=47170> (consultado 20 mayo 2020)
- Fig. bk <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fecoinventos.com%2Ffeucalpto-los-mitos-de-un-arbol-maldito%2F&psig=AOvVaw3KivvnFQJxp7mp9aU5iSUh&ust=1581625534949000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLj-Vg7fszOcfQAAAAAdAAAAABAD> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. bl <https://dirtyfurby69.tumblr.com/post/141353837532> (consultado 12 feb 2020)
- Fig. bm Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bn Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bo Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bp Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bq Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. br Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bs Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bt Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bu Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bv Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bw Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. bx Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. by Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro

- Fig. bz Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. ca Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cb Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cc Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cd Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. ce Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cf Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cg Imagen tomada con lente digital 300x
- Fig. ch Imagen tomada con lente digital 300x
- Fig. ci Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cj Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. ck Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cl Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cm Imagen tomada con lente digital 300x
- Fig. cn Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. co Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cp Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cq Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cr Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cs Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. ct Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. cu Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cv Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cw Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cx Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. cy Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. cz Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. da Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. db Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. dc Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. dd Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. de Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. df Diagrama de pasos a seguir con respectivos tiempos de caga uno generado por el autor
- Fig. dg Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dh Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. di Travaglini, S. J. Noble, P. Ross and C.K.H. Dharan, 2013. *Mycology matrix composites, proceedings of the American Society for Composites-Twenty-Eighth Technical Conference.*
- Fig. dj Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dk AMSTISLAVSKI, P. and ZHANG, F. 2017. *Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam. Journal of Materials in Civil Engineering, S.l.: s.n.*
- Fig. dl Travaglini, S. J. Noble, P. Ross and C.K.H. Dharan, 2013. *Mycology matrix composites, proceedings of the American Society for Composites-Twenty-Eighth Technical Conference.*
- Fig. dm Diagrama de pasos a seguir con respectivos tiempos de caga uno generado por el autor
- Fig. dn Diagrama trazado por el autor
- Fig. do Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dp Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dq Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dr Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro
- Fig. ds Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. dt Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro
- Fig. du Fotografía tomada por el autor con una camara reflex, lente macro

- Fig. dv *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. dw *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. dx *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. dy *CARLILE, MICHAEL, WATKINSON, SARAH and GOODAY, GRAHAM, 2001, The Fungi. 2. grat britan : academic press. pp,58*
- Fig. dz *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. ea *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. eb *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ec *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ed *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ee *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ef *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. eg *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. eh *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ei *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ej *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. ek *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. el *Fotografía tomada por el autor con una cámara reflex, lente macro*
- Fig. em *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*
- Fig. en *Fotografía tomada por el autor con cámara de celular oppoR15pro*

# Anexos

## Métodos de cultivo

### Preparación de PDA Papa, Dextrosa, Agar

El agar agar es un compuesto extraído de algas que tiene un comportamiento similar al de la gelatina. Normalmente se consigue en forma de polvo y tras diluirse en agua caliente y dejarse enfriar, toma una forma gelatinosa rígida que sirve como cuerpo para poder crecer bacterias u hongos.

Hay varias formas de preparar medios de cultivo basándose en agar, el más común es de levadura. A los hongos les gustan más medios densos y de almidón, por lo que el Dr Heng Chooi, profesor del área de micología de ciencias en UWA, recomienda crecer al micelio del hongo *Pleurotus osteratus* en un agar de base de papa.

El concentrado de PDA puede comprarse en laboratorio aunque es más caro. Hay recetas para extraer el almidón directamente de infundir papa. A continuación describo la receta que seguí para el primer cultivo de agar para crecimiento de micelio del hongo.

Para 400ml de medio:

8gr de dextrosa (podría también hacerse con algún otro tipo de azúcar.

6gr de agar

80ml de infusión de papa

Para lo cual se hirvió por 30 min 100gr de papa en 100ml de agua destilada

400ml de agua destilada en total.

El agua se lleva a temperatura de ebullición, por un lado se infunde la papa cortada en cuadritos sin piel por media hora y por otro lado se disuelve el agar con la dextrosa.

Se unen los líquidos formando una solución de 400ml.

Es necesario esterilizar la solución por lo que

se usa la autoclave. Para esto se requiere contar con un envase adecuado para que resista la temperatura y la presión.

Una vez esterilizado el medio debe dejarse enfriar a temperatura aproximada de 40° en la cual el agar aun no geliza y ya se puede tocar sin quemarse.

Se vierte el líquido en platos Petri estériles (de preferencia dentro de una campana grado 1) con el objetivo de cubrir una capa sin que la tensión superficial deje huecos en cada caja Petri.

Una vez vertido el contenido en estado líquido, se recomienda trabajar en una campana al menos de grado uno, la cual garantiza que el aire al interior es estéril. Se tapan las cajas dejando una pequeña abertura para evitar que haya condensación al interior, lo cual con la diferencia de temperatura podría propiciar contaminación.

Se deja reposar las cajas hasta que estén en estado sólido y se puedan manipular, lo cuál tarda una hora aproximadamente, dependiendo de la concentración de agar que se haya utilizado.

Se deben almacenar en refrigeración para que duren más tiempo sin contaminarse y se recomienda que se almacenen en una bolsa hermética con la parte del agar en la parte superior para evitar la condensación en la tapa.

## Métodos de cultivo

### Preparación de PDA Potato Destrose, Agar

Este es uno de los métodos que recomienda más McCoy en su libro *Radical Mycology*.

“LC is my preferred inoculum for everyday use. Never again will I go back to working with agar for general inoculations. There is no point.” (McCoy, 2016; pp.242) Traducción del lector <<El cultivo líquido es mi método de inóculo favorito para uso diario. Nunca más regresaré a trabajar con agar para inoculaciones generales, no tiene sentido>>

El cultivo líquido tiene muchas ventajas, por ejemplo, puede tenerse un mayor nivel de esterilidad dentro del recipiente una vez el cultivo está creciendo dentro, lo translúcido del líquido nos permite ver si crecen contaminantes, la base puede ser tan sencilla como agua destilada con miel, una vez crecido el micelio se puede inocular a más botes con el uso de jeringas, en general es muy práctico. Este método también es utilizado por el autor Alex Dorr del libro *Mycoremediation handbook*<sup>1</sup> donde nos comparte estrategias de laboratorio prácticas para el cultivo de micelio.

Dentro de las recetas que nos comparte está la utilizada en esta tesis: por 500ml de agua destilada; dos cucharadas o 19gr de miel.

Para la tapa del bote recomienda utilizar uno plástico ya que dura más tiempo, con un filtro de jeringa como respirador de un lado y un tapón autosellable de silicón de alta temperatura para hacer los traspasos con jeringa, ambos pegados con silicón de alta temperatura.

Además sugiere insertar una canica o un removedor magnético pues para fomentar la oxigenación del micelio y evitar el crecimiento

de poblaciones muy grandes, hay que mezclar el líquido diariamente.

Después de tener el contenido con las proporciones de azúcar deseadas, debe esterilizarse en olla express o en autoclave. Una vez estéril el contenido puede refrigerarse e inocularse.

Para esto simplemente se inyecta contenido de otro cultivo líquido.

Si el micelio proviene de agar, se corta (con navaja y pinzas estériles, de preferencia en una cabina grado uno) partes del micelio con agar y se insertan en el medio abriendo la tapa el menor tiempo posible y evitando respirar dentro.

El cultivo debe de tardar aproximadamente 10 días en crecer, mezclándose diariamente.

En la imagen se muestran dos pruebas de esterilización de los frascos para inóculo líquido con dos tipos de tapas diferentes. Una es la clásica tapa metálica que está garantizada para esterilizaciones de alta presión. La otra es una adaptación a una tapa plástica (PP) que tiene el respiradero con filtro para jeringa y la tapa de hule autosellable para el intercambio de líquidos a través de jeringa.

Normalmente los filtros de jeringa vienen esterilizados normalmente y si se trabaja con ellos dentro de una cabina de esterilización, se puede mantener un medio estéril al momento de utilizarlos. Sin embargo, es posible también esterilizarlos en la autoclave para garantizar que el medio al interior es estéril aún con el filtro puesto, esto garantiza que el medio esté limpio y que se necesiten menos restricciones de esterilidad en

<sup>1</sup> <https://www.mushroom-revival.com/mycoremediation-handbook-e-book/> (consultado 15 – 08 – 2019)

el exterior, aunque de todos modos se requiere mantener un espacio limpio.

Una vez que el micelio ha consumido el azúcar que se encuentra en el contenedor, podemos observar una diferencia de coloración en el frasco, además de la presente colonia de micelio flotando en el líquido.

## Espacio para condiciones de esterilidad

Este capítulo está destinado a describir el espacio necesario para poder llevar a cabo las distintas prácticas necesarias para cultivar el material descrito en esta tesis.

Para empezar, el tema fundamental para poder hacer más eficiente el crecimiento, es el tema de la esterilización. Este concepto puede llevarse tan lejos como se quiera, desde lavarse las manos hasta cabinas grado 3 de laboratorio. En este trabajo señalaré cuales fueron las medidas que estuve utilizando en general para un cultivo de investigación.

El orden en el que describo los elementos tiene que ver con el orden cronológico de crecimiento de los mismos.

La mayoría de los procedimientos se llevaron a cabo dentro de una cabina de seguridad de grado 1. Esto implica que hay un ducto de inserción de aire filtrado (aire que pasa a través de un filtro HEPA con una apertura de poro definido según los requerimientos. Grado 2 implicaría dos flujos de aire limpio evitando que haya contaminación de lo que ocurre en la cabina con el exterior. Estos normalmente se utilizan para células animales o GMOs porque se busca que no se expanda la contaminación. En el caso del crecimiento de hongos, buscaríamos una cabina grado 2 en caso de trabajar con esporas y con varias especies. Como en mi procedimiento no es necesario trabajar con esporas, el nivel de contaminación no es tan arriesgado, así que una de grado 1 es

suficiente.

En el mismo tema de la esterilización es necesario considerar un autoclave, lo cual es simplemente mantener una temperatura arriba de 120° a 30 psi por al menos 20 minutos. Este tipo de condiciones se pueden lograr en una autoclave de laboratorio, con la cual contaba para estos experimentos y llegué a utilizar en repetidas ocasiones. Sin embargo no es necesario tener un horno tan sofisticado. Existen varias ollas exprés que pueden lograr este tipo de condiciones. La única consideración es la limitante de volumen que puede introducirse en la olla. En este caso dependerá de las dimensiones de los contenedores que busquen esterilizarse. En mi caso, con una de tamaño estándar de 10 L fue suficiente. Aunque las muestras que realicé siempre fueron pequeñas, la mayoría en botes de vidrio para conserva de 8oz (475ml) de aproximadamente 8cm de diámetro y 12 de altura. Las muestras obtenidas de piel de micelio, por ejemplo fueron relativamente pequeñas ya que sólo fueron muestras. Por lo que si se buscara escalar la producción como tal de productos, se requeriría una olla más grande o una autoclave.

Para mantener la esterilidad dentro de los crecimientos, los cultivos y los cultivos líquidos, se utilizaron varias implementaciones como estos mismos filtros HEPA en escala más pequeña con una densidad de 22 micras. Tanto en los botes de crecimiento como en las bolsas de gestación, se utilizaron estos filtros para asegurar la respiración de las muestras que es fundamental para su propio crecimiento.

Un dispositivo que se utilizó durante todo el tiempo fue una incubadora. Estas se pueden encontrar de varios tamaños y funciones. La que yo utilicé era de aproximadamente 1m de alto, 60cm de ancho y 90 cm de profundidad.

La tarea de la incubadora es mantener condiciones climáticas estables en su interior. Tengo entendido que puede regularse la

temperatura, sin embargo yo la utilicé apagada todo el tiempo. La hermeticidad de humedad y de temperatura fueron suficientes para mantener las condiciones dentro del rango, ya que el edificio estaba a su vez alimentado por un aire acondicionado que buscaba mantener estas mismas condiciones. La humedad se definía en cada muestra dentro de su contenedor y la hermeticidad de la incubadora ayudaba a mantener estas condiciones. Se ubicaba en una zona parcialmente oscura que propiciaba el crecimiento de los hongos.

Otro dispositivo necesario es un refrigerador. Ya sea para mantener el agar estéril o para frenar el crecimiento de algunas colonias, es necesario poder refrigerar líquido de cultivo o agar inmaculado o incluso semillas de micelio. Es necesario en varios casos frenar el crecimiento de algunas colonias para esperar a otros procesos o simplemente para su conservación priori a su traslado.

Finalmente, es necesario un horno para cocinar las muestras. Inicialmente iba a utilizar el horno de los laboratorios generales que se utiliza para esterilizar otro tipo de equipo en el edificio. Sin embargo las reglas de seguridad biológica que se tenían que seguir implicaban tener que tener un par de contenedores, uno dentro de otro. El primero con respiraderos al segundo para dejar salir la humedad y en el segundo, unas perlas de silicón (beads) para absorber la humedad que sale del primero. Este procedimiento nos pareció muy complicado y optamos por conseguir un horno eléctrico pequeño (la condicionante es el tamaño de las muestras que se van a cocinar. Las condiciones que se tienen que cumplir son de variar la temperatura entre 90 y 120 grados por alrededor de 3 horas, dependiendo del volumen, tamaño y espesor de las paredes de la muestra. Todo esto juega un factor al momento de deshidratarlas. Existía la posibilidad de utilizar un deshidratador, sin embargo es necesario también

implementar calor para frenar el crecimiento del hongo.

El tema de la esterilidad resulta crucial en todo el proceso de crecimiento. La forma en la que se comportan los hongos y su crecimiento en cualquier medio, es que se encuentran en constante competencia ya que las esporas se encuentran flotando en todos lados con mayor o menos concentración.

Para evitar incrementar este nivel de contaminación y de otras especies, hay varias consideraciones que es necesario llevar a cabo. Los utensilios con los que manipulamos directamente los cultivos, sobre todo los cultivos líquidos, deben siempre ser estériles por completo. Es por esto que el puerto resellable del frasco de cultivo líquido es tan importante. A través de éste, podemos, con ayuda de jeringas, trasladar líquido con micelio del frasco a otros medios como el agar, semillas o el sustrato. Con la aguja que hayamos introducido al frasco no debemos de tocar nada y no introducirlo en ningún otro frasco.

Para aprovechar el micelio crecido en agar y este trasladarlo a las semillas para inmacularlas, se utilizan cuchillas estériles con mangos metálicos que pueden o no haber sido autoclavados, sino, es necesario limpiarlos con etanol al 70% antes de insertar la cuchilla.

Como regla general, no debe introducirse nada a la cabina sin haber sido limpiado con etanol al 70% así como limpiar la cabina misma antes y después, así como dejar correr la misma por un tiempo para asegurarnos que el aire que se encuentra al interior ya es estéril. Estas medidas se toman como precaución y sólo para reducir las probabilidades de contaminación, ya que nuestras manos nunca están completamente limpias, ni con el uso de guantes. Recordemos que el cuerpo humano tiene mayor cantidad de células de bacterias pertenecientes a organismos ajenos, que las mismas células de nuestro cuerpo.

En relación con los platos petri, la esterilidad se puede mantener mientras estén cerradas y preferentemente en refrigeración (esto para retardar el crecimiento de cualquier posible contaminante) Una vez que han sido inmaculados con cultivo líquido, yo prefiero poner un parafilm. Esto tiene varias implicaciones como que no debe mojarse el parafilm, de lo contrario se rompe la barrera estéril y de hecho se propicia la contaminación por capilaridad (cosa que puede evitarse ya que el líquido sólo está en ese estado los primeros días tras la inmaculación y no se deben de manipular más que para ponerse en la incubadora) Otra implicación importante es que se bloquea el intercambio de aire. Esto es suficiente para evitar usar parafilm en otros experimentos pues la presencia de O<sub>2</sub> es necesaria para el crecimiento de algunas especies. En el caso de mis experimentos si es necesario que haya presencia de O<sub>2</sub> sin embargo la concentración que existe dentro del plato al momento de cerrarlo es suficiente para que se lleve a cabo la respiración celular de una semana de crecimiento. En el caso de que se requiera un mayor tiempo de crecimiento pueden abrirse las cajas Petri dentro de la cabina, refrescando el aire contenido y volverse a cerrar después de una semana.

## Moldes de crecimiento

Vale la pena hablar del material y la forma de los moldes de crecimiento.

Si bien es necesario mantener en todo momento un ambiente estéril en el que el micelio pueda crecer sin riesgo de contaminación. Esto se logra por un lado con las bolsas de crecimiento de hongos especiales que tienen un filtro HEPA para evitar el flujo de componentes biológicos pero permitir el intercambio de gases CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

Por otra parte, es necesario tomar en cuenta que deberá haber un intercambio de gases dentro del molde. Dentro de los procesos de producción

que algunos comparten dentro de sus videos promocionales se encuentran ejemplos de materiales como termoformados translúcidos, podríamos pensar de PP (polipropileno) o PE (poliestireno). El hecho de que sean translúcidos ayuda pues podemos tener visibilidad en el modo en el que se está desarrollando la pieza. Por otro lado, aseguramos que sea una capa medianamente uniforme en espesor, que pueda permitir un paso homogéneo de gases.

Recordemos que las partículas de gas son muy pequeñas y pueden viajar a través de varios materiales (he ahí por que el hidrógeno necesita tanques especiales, por ejemplo, o el importante desarrollo del PET para permitir sellar bebidas que contuvieran grandes presiones de gas.

Dentro de un video que parecía medianamente casero y muy experimental, hicieron un molde que incluía el uso de cartón, madera y egapack. Se trataba de pruebas para el crecimiento de una silla. De modo que necesitaban utilizar materiales grandes para poder fabricar la silla. Desde la posición del espectador del video, parece que no tuvieron complicaciones y que creció de buena forma.

Desde las pruebas que se generaron dentro del laboratorio de symbiotica, se utilizaron materiales como silicón de grado alimenticio, también se utilizaron moldes rígidos de PoliEtileno de grado alimenticio también. Se utilizó un tipo de silicón más grueso que fue donado de una fábrica de agarres de escalada. Finalmente se utilizó vidrio de los mismos frascos de Mason Jars de 8oz que se utilizaron para otras pruebas.

Parece ser clave la comunicación que pueda haber entre la muestra y el ambiente dentro de la bolsa estéril. Mientras exista un buen flujo de Oxígeno dentro de la muestra del molde podemos decir que la muestra se desarrollará de manera homogénea.

Lo que se busca es que el material pueda tener una consistencia homogénea, de modo que las partes que lo componen deben de distribuirse más o menos en partes iguales a lo largo de la cavidad, así como que el oxígeno pueda distribuirse al interior. No es necesario que existan agujeros muy grandes, ya que la fuente de oxígeno puede ser también del agua existente en el sustrato que se utilizó para esterilizarlo. Es por eso conveniente que exista un grado de humedad dentro de la pieza. Sin embargo si es mucha el agua retenida, esto puede propiciar a la contaminación de la muestra.

## Taller “Experimentación con bioplásticos” 15, 22 y 29 de septiembre

Estos cursos fueron impartidos en el Biology studio en su anterior sede en la Roma.

Este estudio tiene bases de biohacking en constante colaboración con otros centros de experimentación. La fundadora imparte cursos en varias universidades incluso fuera de México. Dentro de lo aprendido el curso se encontró básicamente la receta principal para generar bioplásticos así como las posibilidades de alterar la misma para la generación de nuevos bioplásticos.



Fig. ea Imagen de varias muestras de bioplásticos generados en el taller de bioplásticos en Biology studio.

Como uno de los objetivos principales es la experimentación y creación de mejores materiales.

A continuación muestro un diagrama de flujo de la receta principal.

15gr de fécula o almidón

150 ml de agua

1 cuch de vinagre blanco

1 cuch de glicerina.

La fécula o el almidón se utiliza como la base principal, pues es la que va a aportar todos las moléculas que reconfiguran sus enlaces con ayuda del calor y la glicerina.

La forma en la que funciona es separando las cadenas de almidones con ayuda del vinagre y después de una reacción exotérmica, se vuelven a ordenar las cadenas obteniendo un acomodo nuevo que nos permite mantener estable al material, una vez que éste se ha secado.

Una vez vertido el material, preferentemente en una capa uniforme y constante, el bioplástico tarda al rededor de una semana en secarse con ayuda del sol indirecto. Podría secarse en hornos pero la visión sustentable sugiere que no se haga uso de más

energía para generar el material. A partir de esta fórmula base, se pueden hacer plásticos de todos los tubérculos y granos mientras se encuentre su fécula o almidón.

Posteriormente se añadieron bases orgánicas para probar las características que pueden añadir estos materiales. De entre algunas de las combinaciones que se hicieron están: mandioca con linaza, papa con jengibre, espirulina y fibra de coco, coco, durazno, nopal, cáscara de rambután, estopa, algodón, sábila, alga, entre muchas otras.

Los cultivadores de Asia inoculan botellas o bolsas cilíndricas de 1-2 litros, con un extremo estrecho taponadas con algodón (actúan como filtro). Una vez inoculadas, las bolsas o botellas se apilan horizontalmente dando la impresión de un muro. Después de 30-60 días, en dependencia de la cepa, la densidad de inóculo y las condiciones de desarrollo, se remueven los tapones de algodón. Los pequeños canales de CO2 abiertos estimulan

la elongación de los estípites. Igualmente, la abertura conduce a la pérdida de humedad. Desde dichos portales, se disparan los primordios en forma de dedos hacia el ambiente altamente húmedo del cuarto de crecimiento.

Resumen de condiciones para cada parte:

Aislamiento de cultivos puros:

Temperatura: 24°.

Inóculo de procreación

Temperatura: 24°C

Incubación

Temperatura: 21-27°C

Humedad relativa: 95-100%

Tiempo: 10-20 días

CO2: tolera hasta 50.000 ppm o 5%

Intercambio de aire fresco: 0-1/h

Requerimientos de luz: no es indispensable

Formación de primordios en forma de cuerno

Temperatura de iniciación: 18-24°C

Humedad relativa: 75-100%

Tiempo: 14-28 días

CO2: 20.000-40.000 ppm

Intercambio de aire fresco: 0-1

Requerimientos de luz: 4-8 horas a 200-500 Lux

Formación de primordios sésiles (“Young Conk”)

Temperatura: 21-17°F

Humedad relativa: 95-100%

Tiempo: 14-28 días

CO2: 5000-2000 ppm

Intercambio de aire fresco: como se requiera para mantener CO2 deseado.

Requerimientos de luz: 12 horas a 500-1000 Lux

Desarrollo del cuerpo fructífero

Temperatura: 21-27°C

Humedad relativa: 90-95%

Tiempo: 60 días

CO2: <2000 ppm

Intercambio de aire fresco: como se requiera  
Requerimientos de luz: 12 horas prendido/  
apagado a 750-1500 Lux

Ciclo de cosecha: dos cosechas en 90-120 días(Stamets, 1993).

Cuadro 3. Ganoderma lucidum: parámetros de desarrollo para el cultivo.

## Taller “Experimentación con bioplásticos” 15, 22 y 29 de septiembre

Dentro del plan de este taller se buscaba abarcar lo principal relacionado con todos los “biomateriales” impartidos en los demás cursos. Para esto se abarcaron temas como micelio de seta, celulosa bacteriana (mejor conocido como el hongo del kombucha), biotextiles (materiales con un grado de flexibilidad), bioplásticos y discusiones éticas acerca de las metodologías, los avances, otros materiales que se están

desarrollando como derivados de algas, crecidos en el laboratorio, etc.

Dentro del plan de este taller se buscaba abarcar lo principal de biomateriales en sólo una semana, es por eso que me centraré en la descripción de los dos temas que fueron novedosos para mi.

El primero es el proceso de síntesis con ayuda de micelios. Este proceso se podría hacer con



Fig. eb Imagen de varias muestras de bioplásticos generados en el segundo taller en Biology studio.

varios tipos de hongos, sin embargo se recomienda hacerlo con especies comestibles por la posible toxicidad de especies no comestibles.

El principio de este cultivo se basa en tener un sustrato con celulosa que pueda alimentar al hongo. La proporción de la semilla del hongo (la cual es comúnmente una semilla, en este caso sorgo, contaminada por el hongo) es 50% sustrato, 50% semilla.

El segundo es la celulosa bacteriana, mejor conocido como kombucha. Este hongo está compuesto por muchos tipos de bacterias que se encargan de hacer que el hongo sobreviva y la fermentación se lleve a cabo. Su método de preparación tiene muchísimas variaciones, la principal es té negro y piloncillo. También se le puede agregar vinagre de manzana para fomentar la fermentación. En este caso utilizamos vinagre de manzana y piloncillo.

Para los fines de esta tesis, se plantea hacer un experimento añadiendo el sustrato de la planta de amaranto molido a la mezcla para analizar el material resultante. Este experimento se ha hecho muy poco pero algunos de los resultados obtenidos son muy interesantes.



*Fig. ec Phil Ross, el primero de esta época en trabajar con micelio de Ganoderma como material.*



*Fig. ed Los padres de SymbioticA (Ionat Zurr y Oron Catts) los primeros en sintetizar carne en laboratorio, inspiración de muchos. Personajes importantes en temas mundiales de bioética.*

## Congreso Biofabricate 13 diciembre 2018

Para empezar, al congreso asistieron la mayoría de las personas a quienes cito en mi tesis.

La organizadora del evento es [Suzanne Lee](#), la primera en incursionar con el Kombucha en aplicaciones textiles. Ella estuvo haciendo intervenciones a lo largo del panel para presentar a los participantes cada bloque.

El primer bloque fue acerca de lo que ha ocurrido los últimos 5 años, ya que el congreso lleva pasando desde 2013 y está fue la quinta edición, la segunda en el New Lab. Para esta participación hablaron: Amy Congdon, curadora del evento.

La primera expositora fue [Paola Antonelli](#), curadora del MoMA, quien nos platicó acerca del evento que tendrá lugar en septiembre de este año en Milán. Su enfoque fue acerca de

la respuesta que está tendiendo el público en general acerca de los biomateriales. El enfoque de ese congreso será alrededor de la incidencia de la naturaleza en todos los aspectos de la vida cotidiana. “Nature knows best” dice para tratar de justificar. Nos contó una anécdota acerca de cómo tuvo que mentir un poco para aceptar una pieza en una exposición temporal en donde la pieza estaba viva. Parafraseándola “tuve que esperarme hasta que estuviera ahí para decirles a los encargados que estaba viva y luego la tuve que matar porque estaba creciendo demasiado rápido” hablaba de la primera obra de [Phillip Ross](#), quien a penas incursionaba con el micelio en una perspectiva completamente artística.

Hubo un panel de discusión guiado por ella en el que participaron: [Oron Catts](#), Director de SymbioticA, William Mayers, Curador y escritor y Matilda McQuaid, Deputy curatorial director. Dentro de este panel cada quien habló de su background al rededor de los biomateriales y cómo es que se han ido involucrando. Oron participa con la Universidad de Sydney en un master que es

mezcla de biología y de arte. Dice que él, a pesar de ser diseñador, incursiona con proyectos artísticos para hacer reflexionar a la gente. Tenía una visión bastante radical y obscura donde decía que si no empezamos a consumir bioplásticos para dejar los derivados del petróleo definitivamente, nos vamos a extinguir.

El siguiente bloque fue en torno al cuidado personal y a los biomateriales.

Empezó [Ara Katz](#), CEO de Seed. Ella antes era actriz, nos contó cómo tuvo una infancia muy pesada por la muerte de su madre a causa del cáncer y cómo es que decidió empezar a cuidarse a ella misma y a investigar acerca de los probióticos y finalmente lanzó Seed. Es una serie de probióticos personalizados que incrementan tu sistema inmune y te mantiene con una taza de bacterias positivas regulada para que en simbiosis con ellas te mantengas sano. Su presentación tenía una excelente calidad y diseño gráfico, al final mencionó a los de su equipo encargados de esto. Además de que la línea de trabajo fuera muy natural, habló de las relaciones laborales que busca llevar para ser coherente en todos los aspectos. Hay un diálogo abierto con todos los trabajadores y todos los materiales que utilizan son biodegradables. La mayoría de la información que han encontrado la comparten en línea porque creen en el open source.

Siguiéndola a ella habló el CEO de Geltor, [Alex Lorestani](#). Su presentación no me resultó especialmente importante, su producto trata de la síntesis de colágeno para ya no utilizar animales en su producción. La ventaja que él le ve es que se pueda lograr hacer en laboratorio y sea “vegana” sin embargo a mi no me acaba de convencer que su producto sea mucho mejor que los que si siguen procesos naturales.

Posteriormente habló [Jasmina Aganovic](#), presidenta de Mother Dirt. Ella habló de su

historia con el acné y los traumas que le fue dejando a lo largo de su infancia. Decidió, tras estudiar química en el MIT, dedicarse a buscar la mejor opción para luchar contra el acné, habiéndolo personalmente probado la mayoría de los productos disponibles. Su investigación

la llevó a un tipo de probiótico. Dice que en cantidad de células, tenemos más células bacterianas ajenas a nuestro cuerpo que las que si son de nuestro cuerpo y ADN, el chiste es que mantengamos el balance de éstas pues muchas de ellas se encargan de defendernos del medio ambiente. Finalmente su producto es una serie de bacterias que contrarresta la cantidad de veces que nos limpiamos y que hacen que esas bacterias buenas se mueran.

Después hubo una participación de [Yasmina Sheri](#), la cual nos compartió parte de la investigación que está haciendo. Ella es diseñadora y me pareció que su aproximación es más bien artística. Tuvo la suerte de entrar a trabajar a la empresa Gynko Works, los cuales se encargan de trabajar con bacterias y replicarlas en el laboratorio. Su trabajo consiste

básicamente en jugar con bacterias y encontrar fenómenos interesantes dignos de fabricar bacterias nuevas. Su principal motivación son los gestos y respuestas entre sensores y emisores.

Luego de esto hubo un panel de discusión en donde platicaron de sus backgrounds y de las distintas perspectivas que pudieran tener, aquí resaltó por ejemplo, la síntesis del colágeno que no me convencía.

El siguiente bloque fue sin duda el más importante (al menos desde mi punto de vista). Abrió el famosísimo y rockstar del micelio: [Phillip Ross](#), quien habló de cómo ha sido todo su proceso y cómo los factores iniciales para su desarrollo fueron meramente azarosos.

Dice que inició haciendo piezas de exhibición que pudieran crecer sin él tener que decidir cómo crecieran, es por eso que empezó a trabajar con los hongos. Posteriormente y

también por razones del destino, empezó a encontrar las propiedades de este material como (parafraseándolo) “aventándolo al fuego y viendo que no se quema” o “aventándolo contra cosas y viendo que eran las cosas que se rompían y este no”. Fue ahí donde empezó a hablar de lo complicado que llegó a ser certificar al nuevo material pues muchas veces los estándares de medición no aplican para las capacidades del material o simplemente hay que inventar pruebas nuevas y buscar que alguien pueda certificarlas.

Finalmente, después de 10 años de trabajo con micelio, están por lanzar su primer producto que es similar de piel aplicado a mochilas y bolsas.

Esta participación me animó mucho y al mismo tiempo me preocupó pues sin duda voy a tardar más tiempo en certificar al material que lo que tenía planeado.

El siguiente fue [Erik Klarenberg](#), otro rockstar de los biomateriales. Él es el primero que ha trabajado con las algas y sus derivados. Los productos más famosos que tiene son unas impresiones en 3D ya que a partir de los materiales que desarrolló, logró darles forma de filamento! Esto tiene varios niveles de innovación. Nos invitó a sus talleres en el sur de Francia donde cultivan directamente varios tipos de algas que ofrecen varias propiedades específicas.

Siguiendo con el tema de las algas, habló uno de los fundadores de Algix, el cual desarrolló un material a partir de algas que se pudiera tejer. Hizo junto con dos compañeros una idea conceptual para un concurso de diseño el cual ganaron. Tras haberlo ganado, decidieron seguir desarrollándose, aplicando varios años de desarrollo hasta encontrar un proceso específico que les brinda estabilidad y han logrado varios prototipos, algunos de los cuales estaban exhibidos en el congreso.

Después presentó [Jeff Beegle](#), CEO de Mobius. Esta empresa basa su desarrollo de producción en un sobrante de la madera en la producción del papel. Empezaron el proyecto tras encontrar

este deshecho y buscaron generar una cadena de ciclos cerrados donde ellos fueran los principales productores de cada paso, lo cuál los retrasó muchísimo en su desarrollo y encontraron que sería menos complicado encontrar fabricantes de varios de los pasos de producción y ellos sólo centrarse en el desarrollo del material. Ofreció puestos de trabajo porque como dice, hay mucho por hacer todavía.

La siguiente fue **Adital Ela**, CEO de Criaterra. Ella ya había presentado en el congreso anterior y no dio demasiada información acerca de su producto, sólo buscó dar un update de su proceso. En su empresa se encargan de hacer azulejos para paredes principalmente buscando que su proceso de producción sea lo más sustentable posible pero no tienen la participación de un microorganismo específicamente.

El siguiente no tenía nada que ver con biomateriales, era **Ben Kellogg**. Él conoció a Suzanne Lee pues fue el encargado de asesorar en su TedTalk, la cual la volvió mundialmente conocida. Es encargado de apoyar a gente para saber comunicar lo que trata de comunicar. Su presentación fue muy tranquila y fácil de llevar, nos enseñó más o menos cómo construir un discurso entendible para todo público, cosa que a veces a los ingenieros (sobre todo) les cuesta hacer.

El siguiente panel de discusión fue alrededor de la moda y las marcas de lujo. En este participaron Mimma Viglezio, Federico Brugnoli, **Maurizio Montalti** y Christine Goulay. El principal tema a discutir es la percepción del público en general de consumir productos que estén hechos de microorganismos, los cuales la ciencia se ha encargado de calificar como “sucios”. La conclusión fue que el dinero está en manos de los ricos que consume productos excesivamente caros y a quienes es a los primeros que hay que convencer de consumir esto. Funciona muy fácilmente, cuando un millonario compra una bolsa Louis Vuiton y lo publica, todos sus seguidores quieren tener la misma bolsa. De modo

que, hay que convencer a ese millonario de que consumir biomateriales es la mejor opción y lo más cool y chic del momento. Lo cual no es tarea fácil.

En el último bloque destaca la participación del CEO de Ecovative, **Eben Bayer**, el cual desarrolló desde cero la primera empresa que ya comercializa productos hechos con micelio, igualmente importante para mi tema de tesis.

Su plática fue retrospectiva al igual que la de Phill. Enseñó varios videos y fotos de su primera producción “controlada” y cómo hace 5 años pensaban que ya estaban listos para producir en masa y aún les faltaban al menos dos años de pruebas.

Varios expositores hablaron del proceso que han llevado los últimos años y cómo no han lanzado aún un producto por la complejidad que implica certificar un material nuevo, dentro de algunas charlas ofrecieron puestos de trabajo en varios lugares como Canadá y Francia. Además de haber hecho contacto con muchos de los expositores, también asistieron muchos estudiantes y jóvenes que están pasando por procesos como el mío y con quienes compartí datos, algunos de Stanford, Colombia y Holanda.

Sin duda es el evento más importante para biomateriales, que ocurre anualmente.

Gracias a este congreso encontré a varias personas con quienes tendría posibilidad de hacer estancias académicas, trabajar después de la maestría y colaborar en la fase del desarrollo.

## Experimentación 1

Para la primera prueba que se llevó a cabo, se utilizaron semillas de sorgo infectadas con micelio de *Pleurotus osteratus* y madera de pino en astilla y rizo mediano.

Dentro de lo que se observó en el proceso es que los métodos de higiene no tienen que ser tan meticulosos para que las muestras no sufran infección de otros hongos o parásitos.

La modalidad de la muestra resultante es en tabique, relativamente proporcional a la medida del sustrato. Es necesario dejar la muestra al menos dos semanas para dejar al micelio crecer. y en esta composición se requiere dejar espacio entre el sustrato para que éste pueda rellenar estos espacios aglomerándolo.

Observaciones de los resultados. El tiempo de crecimiento depende de las condiciones climáticas como temperatura, luz y materia orgánica disponible (obviando la presión atmosférica ya que todas las muestras se harán en la CDMX).

Estas muestras tardaron dos semanas en estar listas para su proceso de cocción para evitar que el hongo siga creciendo.

Después de analizar las posibilidades de aplicación del material, sería más grande el rango si éste pudiese ser flexible, lo que implica que el tamaño de partícula del sustrato sea más chico. Para esto debería de utilizarse otro esquema de infección del hongo pues la semilla de sorgo es demasiado grande como para que se pudiese aprovechar un material flexible.

Para contagiar al sustrato sería necesario hacer crecer el micelio por otro método que implica control de esterilización más alto en cajas petri. Para esto se anexa la investigación de este tipo de crecimiento (que no es muy complejo, pero implica mayor precisión y cuidado)

Los estudios dicen que al menos hay un 10% en muestras contaminadas y alrededor de 25% para los principiantes. Esto implica tener que hacer más muestras por el tiempo reducido de experimentación que se tiene.

## Experimentación 2

2019

En el segundo experimento se trabajó con semillas de sorgo infectadas con micelio de

*Pleutoratus osterus* Se intentó licuar las semillas para conseguir una medida más pequeña del sustrato pues éste último se molió para que las muestras fuesen más flexibles y se pudiera reducir su espesor.

Sin embargo, el licuado de la semilla no fue muy exitoso y se cualquier manera se dejaron tres muestras de éste para ver su comportamiento

Se dejaron dos muestras más con el sorgo sin licuar.

Para ambas pruebas se añadió polvo de pino pues el amaranto aún no se ha secado lo

suficiente para poder triturarlo y empezar las pruebas con éste.

Es necesario dejar las muestras dos semanas para que se del crecimiento del micelio en la oscuridad, un par de días más fuera del molde y posteriormente cocerlos en un horno a baja temperatura para inhibir el crecimiento del hongo posterior a esto.

En las imágenes de la derecha se muestra el preparado antes de dejarlo reposar.

Se tomaron fotografías a la semana de crecimiento, sin embargo para evitar la contaminación se mantuvieron dentro de la bolsa y las fotos no lograban entenderse.

## Experimentación 3

Las fotografías que se muestran a la derecha son de dos semanas posterior al crecimiento.

A la semana se sacaron del molde y se dejaron en la bolsa para continuar con su crecimiento, evitando que el molde estorbara.

Después de este tiempo, se hornearon 40 min a 200 °C en lapsos de 15 y 10 min.

Como parte de la segunda gama de muestras se alimentó a tres muestras de celulosa bacteriana con té negro y piloncillo con una concentración de 25% aproximadamente.

En la muestra número 1 se añadió un trozo sólido de madera más polvo de ésta misma

(se nuevo, de pino por falta de disponibilidad temporal del amaranto).

En la muestra número 2 se añadió sólo el polvo, esperando que ésta sea la muestra que tarde menos en transformarse

En la última muestra se añadió simplemente dos trozos de madera sólida de pino para comparar con las anteriores.

En las fotos de la izquierda se muestra la solución de celulosa bacteriana con té negro y piloncillo.

En las de la derecha, es el resultado una semana después. La muestra que sólo tenía polvo de pino no resultó muy exitosa pues se infectó con moho.

En el caso de las muestras siguientes, se limpió la celulosa con agua corriente y se añadió té con piloncillo como se haría cada semana.

Para la tercera experimentación se utilizó la planta del amaranto tradicional que se siembra para su consumo en las localidades de Milpa Alta, así como en algunas zonas de Chiapas y Oaxaca.

Las partes de la planta que fueron utilizadas para el experimento son los tallos y las hojas principalmente, aunque algunas semillas se utilizaron también.

La planta se trituró hasta alcanzar partes de máximo 2cm de largo por 1cm de grosor en las partes del tallo más gruesas. *Amaranthus audatus* silvestre.

Estas plantas fueron obtenidas en un terreno baldío cerca del mercado de flores de Tulyehualco donde comúnmente se siembra amaranto. En abril no es temporada de sembrar, sin embargo hay algunas matas que se encuentran creciendo de manera silvestre.

En esta muestra se utilizaron principalmente hojas y tallos muy esbeltos, de aproximadamente 2mm de diámetro máximo, pues la planta era joven.

En la imagen de la izquierda abajo, se puede ver la mezcla en una solución al 10% de agua con agua oxigenada para esterilizar la mezcla evitando que se infecte en el momento del crecimiento.

Después de dejar la mezcla en la solución 20 minutos, se pasó por un colador para remover el exceso de agua.

Se revolvió en una concentración del 50% con semillas de sorgo infectadas con micelio de *Pleurotus osteratus*, llamado comúnmente como semilla del hongo.

Esta mezcla fue repartida en cajas petri repartidas por 20gr en cada caja, dejando espacios en la caja para permitirle al hongo crecer en esos espacios.

En las imágenes de la izquierda se muestran

dos semanas después, tras haber dejado al hongo crecer y alimentarse de la planta.

Después de dos semanas se sacó del molde (caja petri) para dejar que el micelio crezca también en la parte inferior de la mezcla.

Después de una semana, se sacó de la bolsa y se horneó 20 minutos a 200°C por un lado y otros 10 min del otro lado, esta vez con la puerta entreabierta para dejar salir la humedad.

## Experimentación 4

Para la experimentación 4 se tomaron en cuenta varios factores, la primera: medir los parámetros y concentraciones de todos los reactivos para ir generando un sistema replicable.

En la página siguiente se muestra un diagrama de flujo del procedimiento para hacer las muestras en una caja petri de 9cm de diámetro por 13 mm de profundo.

La muestra tiene una reducción del 30% en todos los ejes después de su cocción y propia deshidratación después de tres días a 23 °C

De 82.7cm<sup>3</sup> que tiene de volumen la caja petri, la muestra queda de 25.42cm<sup>3</sup>, es decir el 30.73% del volumen original.

En las tablas superiores se muestra las condiciones de humedad (arriba) y temperatura (abajo) bajo las cuales se han hecho las muestras. Se realizaron con la información de dos semanas de cultivo y nos indican que la temperatura se encuentra siempre entre 22 y 24 °C mientras que la humedad tiene una variación considerable entre 50% y 10% con una media de 30-40%.

Se plantea utilizar los mismos factores para la experimentación 5 pero aumentar el volumen ya que las muestras anteriores de 13mm de espesor muestran una resistencia baja a la ruptura (con la manipulación regular se han roto) se plantea probar con muestras de mínimo 4cm para probar la resistencia en volúmenes más gruesos.

Tras tener muestras que resistan la manipulación regular (que tendría un usuario con

un producto normal) se formarán estándares para las pruebas de laboratorio formales.

Dentro de las muestras que se deberían de hacer hacer están:

TGA (Thermo Gravimetric Analysis) Consiste en medir la pérdida de material con el aumento de temperatura

DSC (Differential Scanning Calorimetric) Mide las temperaturas en las diferentes fases del material, vitrificación, fusión y degradación.

Espectroscopía infrarroja Consiste en mandar distintas frecuencias de onda en el rango infrarrojo y medir la respuesta del material

Densidad

Envejecimiento acelerado

Donde se somete al material a distintas temperaturas y condiciones climáticas para simular el paso del tiempo. Una unidad de tiempo equivale a tres en tiempo normal.

Y las pruebas mecánicas dentro de las cuales se ubican: tensión, compresión, flexión, dureza, textura y penetración.

Otro laboratorio donde podrían realizarse las pruebas es el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada ubicado en Querétaro de la UNAM

Experimentación IV.2

La mayoría de las muestras de esta versión resultaron infectadas. Una de las teorías es que la planta seguía un poco viva, por lo que habían nutrientes para otro tipo de hongos o bacterias.

También se cree que había mucha humedad en la muestra y por eso se infectaron.

O hubo un problema de infección al momento de preparar la mezcla ya que algo muy similar ocurrió con todas. La muestra que mejor se conservó aunque también sufrió un poco de coloración anaranjada y de partes muy húmedas en el molde, fue horneada 40 minutos a 200 grados para detener el crecimiento del hongo.

De todos modos se conservó un olor resultado de la contaminación.

Sin embargo podemos observar crecimiento

sano en algunas partes de la muestra, con una textura suave y algodonosa como es típica del micelio.

Quizá se pueda valorar en una posterior experimentación o para una siguiente etapa, utilizar

porciones controladas de otras especies para dotar de pigmentación a las muestras.

Tomando en cuenta los errores de la prueba

## Experimentación 5

anterior y anticipándose a una de las propuestas de diseño, optaron las siguientes medidas:

El sustrato inicial está seco por completo, sin presentar partes verdes, lo cual indica que ya no queda funcionamiento fotosintético en la planta y que el alimento se ha consumido dejando el cascarón.

Lo siguiente fue exprimir el sustrato tras humectarlo con agua y agua oxigenada al 10% para su desinfección, tratando de sacar la mayor humedad posible que la fuerza de la mano permitiera.

Posteriormente se hizo una investigación acerca de procesos de catalización del crecimiento del hongo, ya que las muestras pasadas han estado tardando 3 semanas mínimo y en algunos de los productos de Ecovative tardan menos de una semana. Junto con ayuda de la bióloga Jimena Barrientos, especializada en biotecnología, determinamos que el harina de trigo convencional podría ser una variable interesante de analizar, ya que proporciona almidones más disponibles que la celulosa y podría ayudar en la velocidad del crecimiento. Así que para esta muestra se hicieron capas de sustrato, semillas de micelio y harina, tratando de compactarlas para darle estructura.

## Experimentación 6

Dentro de las instalaciones de SymbioticA en la Universidad de Western Australia, se llevó a cabo la primera experimentación, la cual corresponde a la sexta del proyecto.

Lo primero para mantener una cepa de cultivo estable del micelio fue preparar la base de agar para los cultivos que se conservarán.

Por recomendación del Dr. Heng Wooi, los tipos de hongos que se planean cultivar prefieren los almidones densos, por lo que se optó por preparar cajas Petri de PDA (Potato Dextrose Agar) para pasar el medio líquido a estos y que crezcan en las cajas.

El PDA primero debe prepararse con una temperatura aproximada de 70 grados para poder diluir el agar, posteriormente debe esterilizarse la mezcla. Esta se esterilizó en una autoclave por 103 kPa a 120°C por 20 min. Para esto se requiere un recipiente de vidrio preferentemente (tiene que ser pyrex con taparosca de plástico).

Después de la esterilización, el contenido se vierte aún caliente para evitar que empiece la gelización del agar. Los recipientes se dejan reposar por una hora aproximadamente para que la temperatura baje y los discos estén listos. Es recomendado llevar a cabo este proceso en una cabina estéril. Una vez que tiene una forma sólida, la forma correcta de almacenarlos es marcar cada uno con la fecha y el contenido para poder tener un control en caso de que alguno se contamine. Se cierran y se refrigeran. Es recomendado poner parafilm cuando ya tienen algún microorganismo dentro, sino es suficiente con que estén cerrados para que no haya contaminación.

Posteriormente (o al mismo tiempo) se prepararon contenedores para el cultivo líquido. Para esto es necesario preparar botes de vidrio pyrex (o que puedan aguantar cambios bruscos de temperatura y altas temperaturas) se adecuan las

tapas para poder tener un orificio de respiración y uno de intercambio estéril, como se explica en el capítulo de cultivo líquido.

Y este líquido también se esteriliza.

En este caso se compraron jeringas con 20ml de tres especies de micelio listos para inocular el agar o el cultivo líquido. Se planea inocular ambos, en el líquido para crecer la cepa y en el agar para poder visualizar el micelio y tener patrones de crecimiento, fotografías de microscopio para entender las propiedades físicas del mismo y cultivos de crecimiento para inocular más cultivos líquidos en caso de requerirse posteriormente.

Para probar la calidad y la cualidad del cultivo líquido obtenido de granja de hongos certificada se inocularon dos cajas Petri con PDA agar por cada especie del hongo adquirido. Para empezar fue Ganoderma (Reishi) y Pleurotus blanco. Dos muestras se mantuvieron en una incubadora a temperatura ambiente, la cual dentro del laboratorio oscila entre 18 y 23 grados por la calefacción, en obscuridad parcial (dentro de la incubadora cubriendo las paredes con papel aluminio) y con las cajas selladas con parafilm.

Este no garantiza una hermeticidad del 100% pero disminuye en gran medida el flujo de aire. Las otras dos cajas se mantuvieron en refrigeración para tenerlas de respaldo en caso de alguna contaminación ya que el frío retrasa el crecimiento del micelio. Ambas con una cobertura de parafilm para evitar el contagio.

Después de 5 días se abrieron las cajas para ventilar el aire dentro de la cabina de seguridad grado 1. El micelio, así como algunos animales y plantas, llevan a cabo respiración celular donde hay un intercambio de oxígeno por bióxido de carbono. Si hay falta de oxígeno, el micelio se puede ahogar, es por eso que debe haber un flujo de aire.

Después de una semana de crecimiento podemos ver cómo el micelio ha cubierto casi la

mitad del contenedor. En ambos casos también podemos ver cómo su tipo de crecimiento es distinto y como a simple vista se puede diferenciar a las especies.

Ganoderma tiene una forma de crecimiento más esparcida, pareciera que los núcleos de crecimiento son menos con mayor área de esparcimiento. En el caso de Pleurotus, parece que ubieran más nodos de esparcimiento que actúan en menor dimensión. Los componentes del micelio son llamadas hifas y en ambos casos podemos diferenciarlas con claridad.

Se aplicó luz UV por 10 min para procurar una buena desinfección del sustrato, priori a la aplicación del micelio, además de haber sumergido este en agua destilada y un 30% de peróxido de hidrógeno por 20 min.

Así mismo se expusieron los moldes a la luz UV con el fin de volverlos estériles además de limpiarlos con 70% etanol.

En la imagen de debajo se pueden observar tres cajas Petri con inóculo de Ganoderma, Pleurotus rosa y Pleurotus blanco de izquierda a derecha.

Una anotación es que el Pleurotus blanco parece tener un poco de contaminación en uno de los extremos, un líquido amarillento. La teoría es que esta contaminación se generó debido al agua condensada que había en la tapa que con el cambio de temperatura acabó sobre el agar. Por alguna razón esto no pasó en los otros dos platos, sin embargo,

En las imágenes de arriba se muestra una magnificación de 10x de Ganoderma, en la izquierda, donde podemos observar que las hifas tienen un menor tamaño que el de las de Pleurotus (a la derecha). En el caso del micelio como el fruto del hongo, vemos que Ganoderma es menos denso, en general se requieren herramientas para poderlo cortar. En el caso de las setas (Pleurotus)

observamos un cuerpo esponjoso que fácilmente puede trozarse, entonces debe ser hasta cuidadosa su manipulación.

En el caso de las hifas observamos un comportamiento similar. Las de Ganoderma son más pequeñas, por lo que podríamos decir que son más pequeñas y están más cerca la una de la otra generando cuerpos planos (en la expresión de la caja Petri) que se vinculan entre ellos generando acomodados parecidos a neuronas por donde se comunican.

En el caso de Pleurotus podemos observar hifas alargadas y delgadas como filamentos. Este tipo de fibra genera una apariencia algodonosa y voluminosa (por lo que guarda aire dentro) y podríamos decir que es menos densa. Sin embargo, la forma de acomodarse podríamos decir que es la misma, o muy parecida, en donde encontramos acomodados similares a las neuronas con aglomeraciones en sectores determinados.

Ambas imágenes fueron tomadas en el día 9 de crecimiento y posteriormente fueron refrigeradas para detener el crecimiento.

En anotaciones generales, Ganoderma parece crecer con mayor facilidad en el cultivo líquido, el cual ha poblado casi por completo el contenedor en el día 10 de crecimiento. Se optó por utilizar 5cc de éste cultivo para inocular dos muestras crecientes en moldes con forma de agarre. En donde el sustrato es corteza de árbol, probablemente un tipo de eucalipto o árbol perenne.

## Experimentación 7

Dentro de las instalaciones de SymbioticA en la Universidad de Western Australia, se llevó a cabo la primera experimentación.

Se hicieron pruebas teniendo como inoculador de la madera, directamente, el cultivo líquido. En ambas muestras se utilizaron dos tipos de micelio, de Ganoderma y de Pleurotus blanco.

Ambas muestras estuvieron 3 semanas en gestación y no mostraron ningún tipo de crecimiento del micelio, salvo una muestra creciente en un molde con forma de agarradera de escalada. Esta mostró tras tres semanas en la incubadora, señales de crecimiento blanco del micelio. La teoría es que la cantidad de micelio administrado no fue suficiente para poder empezar a procesar lignina ya que es más tardado de digerir que con la azúcar de la miel, por ejemplo. En el caso de las otras muestras primero se encontraron señales de contaminación, probablemente por la azúcar disponible en el medio. Al añadir el cultivo líquido también se está añadiendo líquido como tal, lo cual aumenta demasiado la humedad en el ambiente del medio como para que sea la condición ideal del crecimiento del hongo.

Sólo en uno de 4 moldes se observó crecimiento del micelio de Ganoderma y se dejó por más tiempo para observar su crecimiento.

Como las muestras no están creciendo solo siendo inoculadas con cultivo líquido, se optó por empezar una serie de crecimientos de semilla de micelio en semillas de trigo.

Para esto se utilizó otro método que involucra esterilización por autoclave (en este caso una olla express).

Se requiere cocer los granos de trigo antes (en varias recetas se sugiere cualquier tipo de grano, incluso algunos recomiendan que sea el más barato de encontrar, en algunos tutoriales se utiliza comida de pájaro que tiene varios tipos de granos)

se optó por utilizar trigo ya que es disponible y barato.

Se montaron dos muestras de *Pleurotus*, dos de *Ganoderma* y una de *Pleurotus rosa*.

El método para inocular los granos empieza por remojar los granos al menos media hora, estos se dejaron dos horas. Tras remojar, se pusieron a cocer a fuego lento por media hora, una buena forma de saber cuando ya están listos es cuando empiezan a desprender la cáscara, evitar que se desprendan más así que cuando empieza hay que apagar el fuego.

Para la siguiente sesión de muestras dentro de moldes se esterilizó el material en una solución de agua y 30% de agua oxigenada. Este método se ha utilizado desde el curso de bio fabricación impartido por Edith Medina.

Se dejan los objetos a esterilizar en el medio por media hora aproximadamente.

Posterior a esto se manipulan los objetos dentro de la cabina de grado 2, para mayor esterilidad y se rocían con etanol 70%

Una vez estéril el contenido, se prosiguió por añadir una mezcla de sustrato inoculado con micelio de *pleurotus osteratus* en vegetación variada seca de corteza de árbol.

Se hicieron en total 7 moldes en dos bolsas de crecimiento. (estas bolsas son importantes pues tienen un filtro de 20 micras que permite el paso del aire, el micelio requiere oxígeno para seguir creciendo)

En la mitad de las muestras aproximadamente se optó por hacer una prueba extra como observación del crecimiento en donde se inoculó con cultivo líquido de *Ganoderma* para aumentar la humedad del cultivo y por añadir extra micelio y azúcar para fomentar el crecimiento.

Hubieron dos muestras en moldes iguales, para medir la densidad del sustrato y entender el comportamiento de éste en función del material generado. La diferencia de material fue 1:2 en el mismo espacio de contención.

En el día 5 de crecimiento podemos ya notar de manera muy clara que la muestra con poca densidad no generó ninguna muestra de crecimiento mientras que la muestra densa creció muy bien. Un detalle a considerar es que la muestra densa estuvo contenida en una bolsa de crecimiento manteniendo un ambiente húmedo dentro y la muestra poco densa en un contenedor con filtro de jeringa de 22micras de forma independiente, por lo que pudo haber habido alguna diferencia en su comportamiento.

Después de 5 días estas muestras están creciendo muy enérgicamente. Se comprueba que aquellas que fueron además inoculadas con unidades de cultura líquida con micelio de *ganoderma* crecieron con mayor velocidad. También aquellos moldes de grado alimenticio que permitían la entrada de oxígeno a mayores partes del molde.

En el día 5 de crecimiento, se sacaron las muestras para dejar que el micelio crezca en el resto del sustrato para cocerlas ya que esté completamente inoculado.

También se comprobó que tener una presión al momento de rellenar los moldes es mejor para acelerar el proceso de crecimiento.

En orden de izquierda a derecha, la primer imagen muestra micelio de *Ganoderma* en crecimiento sobre PDA (Potato Dextrose Agar), la segunda muestra el crecimiento de micelio de *Pleurotus osteratus* blanco un micelio esponjoso con textura algodonosa que tiene varias capas de crecimiento sobre el mismo tipo de agar. Dentro de la misma imagen se pueden ver las capas una sobre otra. En la imagen de la derecha se puede ver el crecimiento de micelio de *Pleurotus osteratus* rosa en el mismo tipo de agar. En la parte inferior se ve claramente una serie de hifas creciendo hacia arriba. En la parte superior se observan gotas de agua condensada en el plato, lo cual a su vez nos puede dar una idea de la escala de lo

que observamos en los tres platos ya que todos mantienen la misma escala de crecimiento. Se pueden comparar también tamaños de hifas entre las distintas especies de micelio.

## Experimentación 8

Actualmente están creciendo un par de muestras en dos moldes (uno con forma de agarre y el otro de esferas. La muestra se hizo con semillas crecidas de *Ganoderma*, gypsum y woodchips esterilizados con agua oxigenada.

El crecimiento del micelio ha sido lento. La muestra lleva 10 días, no ha habido ninguna muestra de contaminación sin embargo podemos observar que el tamaño de la partícula del sustrato (y posiblemente también del tamaño de la semilla) tiene implicaciones en la forma en la que el micelio crece.

Recordemos que el micelio es un holograma y que crece de manera sistémica y repetida en cada sección de crecimiento que analicemos. Sin embargo es posible que en esta muestra no haya habido suficiente concentración inicial de micelio o que posiblemente las partículas del sustrato deban ser más pequeñas. Quizá variar la proporción de concentración.

Por lo pronto se dejará en crecimiento y observación para analizar su comportamiento.

Otra cosa es que el sustrato se prensó para asegurar un mejor crecimiento ya que en muestras anteriores las muestras prensadas mostraron un crecimiento acelerado en comparación con las no prensadas casi del 200%

Sin embargo, las dado que el tamaño del sustrato es más grande que en las anteriores, se puede observar como el micelio al crecer dentro del espacio que se encuentra entre las partículas del sustrato, está empujando a las partículas hacia fuera del molde.

De esto podemos concluir que el molde ideal debería tener tapa o ser molde y contra-molde,

de manera que al mismo tiempo permita la ventilación para poder oxigenar las muestras.

También hay un análisis pertinente a relatar.

El acabado de las muestras parece estar vinculado también con la compresión o densidad del material. En las siguientes fotos podemos observar cómo es que se generan espacios en la superficie o espacios rellenos con “piel” de micelio.

En alguno de los videos de referencia utilizados en el crecimiento y cultivo de hongos, Alex Domm nos dice que es necesario agitar el cultivo líquido diariamente para romper las relaciones de micelio que se están generando en el interior, de la misma manera, que se va a generar una capa en la superficie del líquido hecha de micelio el cual sube porque está buscando oxígeno para poderse seguir desarrollando. Mi teoría, ya que no he leído nada al respecto hasta ahora, es que la superficie se rellena de micelio pues el hongo busca oxígeno en los bordes del compuesto o de la muestra. En algunos casos esta capa está completa y en algunos otros casos se rompe, así como se muestra en fotos a continuación, debido a una contaminación.

El micelio va a desplazarse en el sentido en el que encuentre alimento para poderse seguir desarrollando, así como explica Svetlana Tonevitskaya en su proceso de alimentación, la digestión se realiza en el exterior y luego se aprovecha para crecer. Es por esto que se requiere el espacio y después de asimilar este espacio, se ocupa con micelio.

En la imagen superior donde se muestra un cubo, podemos apreciar un gran detalle en el acabado de las esquinas del molde. Esta muestra tuvo una compresión media, el sustrato es corteza de encino, contiene un 5% de Gypsum y es crecimiento de *Pleurotus osteratus* blanco. Estuvo dentro del molde 10 días y esta foto fue tomada el 10 día al momento de sacarlo del molde. Los huecos que observamos podrían tratarse de una desigualdad en la forma de compactar el material al momento de rellenar el molde. Aunque al mismo tiempo encontramos que otras muestras

que crecieron junto con esta (en el mismo molde pero distinta cavidad) presentaron muestras de contaminación de una fuente desconocida que ha estado afectando distintas muestras en varias presentaciones.

La contaminación consiste en condensaciones líquidas a lo largo de la muestra, así como un decoloramiento amarillo cuando la contaminación parece ser más avanzada.

En la imagen que se muestra a la izquierda, podemos observar una muestra distinta. En este caso se trata del crecimiento de micelio de *Ganoderma* en un sustrato de corteza de eucalipto con tamaño de partícula de aproximadamente el doble de tamaño que la muestra anterior. Con una inoculación por semilla de micelio crecida en el laboratorio. Esta muestra estuvo 10 días en el molde y mostró un crecimiento mucho más lento que la muestra de *Pleurotus osteratus* blanco. Sin embargo, también mostro señales de una contaminación, en este caso se observa un color café, no solo amarillo. Este cambio en la intensidad de la contaminación puede deberse tanto a que sea una especie distinta como al nivel de contaminación de la muestra.

Para analizar el desarrollo del crecimiento del micelio y de la contaminación al mismo tiempo, se dejó crecer esta muestra fuera del molde para analizar su desarrollo, esperando que no genere mayor contaminación con las demás muestras. Guardado en una bolsa hermética con un filtro de respiración de 22 micras.

Otra observación interesante en esta muestra es que aparentemente la composición del micelio (en las partes sanas) parece ser mucho más resistente que la muestra de seta, sin embargo al las partículas ser más grandes y no haber sido infestadas de manera homogénea, la muestra se fractura con facilidad en las zonas donde no creció el micelio, como es de esperarse.

Eventualmente encontré una receta para la experimentación y generación de textil de micelio. Resulta muy interesante que el principio de ello sea básicamente un cultivo líquido (el cual he

estado generando para tener las colonias continuas y en preservación). Al parecer se añaden algunos componentes extras para poder mantener alimento en el líquido. Tiene sentido también que después de 5 días haya que rellenar el líquido para que siga habiendo fluido de crecimiento.

La receta que encontré aquí compartido por Elise es:

Para un litro de agua destilada, 3gr extracto de malta, 3gr extracto de levadura, 5gr Peptona, 10gr glucosa.

Recomienda esterilizar el líquido en una autoclave por 15 min a 120° así como se esterilizaría cualquier medio para el crecimiento de micelio. Se añade micelio (sin agar) específica. En varios videos he visto como si añaden el agar y por eso en mi crecimiento de semillas de micelio lo añadí, sin embargo no parece ser especialmente digerido. Quizá es mejor opción evitar añadirlo. Aunque quien sabe cuál sea el mejor método para quitar el micelio del agar.

Después de inocular el cultivo líquido, se incuba en 23-28° por 5-10 días y después de este tiempo se inyecta líquido con nutrientes. La receta no especifica qué incluye esto pero intuyo que se repite la receta anterior disminuyendo la cantidad de agua considerablemente pues el medio está flotando sobre una capa de agua destilada.

Estoy esperando la peptona para empezar los experimentos en esto ya que cuento actualmente con las condiciones para todo lo demás. Sin embargo es un enigma si habrá suficiente tiempo para poderlo crecer. 5-10 días en el peor de los casos aplicado dos veces sería 20 días para lograr una muestra.

Otra cosa interesante que se encuentra en esta receta es métodos para la deshidratación de la muestra textil y de su cocción para evitar que siga vivo el micelio.

Dice dejar secar entre 70 y 130° por varias horas. Lo cual es bastante general. En teoría si debe depender el grosor de la muestra y de las condiciones en general de humedad y temperatura a la que esté sometido. Sin embargo, normalmente es necesario aplicar calor, duda que había surgido

con anterioridad para el secado de muestras sólidas.

Por otro lado se podría secar también con una prensa caliente (cosa que quizá se podría lograr con una plancha o una de esas planchas que calientan por ambos lados)

Parte de las recomendaciones es que si se busca dar un acabado, sea antes de secar la muestra, lo cual tiene mucho sentido.

El principio es el mismo que para crecer kombucha, o suena bastante similar. No dice las especificaciones del medio en el que debe dejarse reposar pero supondríamos que el aire tiene que ser medianamente estéril para evitar contaminaciones. Me gustaría saber cómo es que logran eso fuera de un laboratorio muy profesional. Probablemente la próxima semana empezaré pruebas de esta piel de micelio.

## Experimentación 9

La última muestra de experimentos que se llevaron a cabo dentro del laboratorio de simbiótica se realizaron desde la primera forma de encontrar al micelio.

Este proceso fue enriquecedor ya que se pudieron hacer medidas de tiempo según cada proceso y de la misma forma que antes, se encontraron varias diferencias y semejanzas.

La primera fase del crecimiento es el micelio en cultivo líquido. La segunda fase es el crecimiento del micelio en la superficie superior, este proceso llevó una semana aproximadamente de crecimiento de una capa del área superficial del agar, aunque no una capa muy gruesa. Esto se vuelve relevante al momento de utilizar ese agar para inocular las semillas.

Se aplicó, así como se había hecho antes, una capa de micelio de agar (sin agar) para un bote de 8oz con trigo cocido a 2/3 partes del frasco.

Se pensaba que tomaría una semana de poblarse, ya que así ocurrió anteriormente cuando se implementó un agar más crecido (de tres semanas) incluyendo el agar.

Sin embargo esta última vez se optó por no aplicar el agar, que empezaba a derretirse y a tener un comportamiento extraño, que parecía propiciar la contaminación.

Finalmente el inóculo de las semillas llevó dos semanas para que estuvieran completamente pobladas de micelio.

Estas semillas se aplicaron al 50% es decir, en una proporción de 1:1 con la corteza de eucalipto esterilizada (que a su vez contaba con 10gr de gypsum por frasco).

La utilización del gypsum incrementó no solo la velocidad de crecimiento de las muestras y reduciendo la contaminación (aunado a la esterilización del sustrato) también parece estar catalizando el crecimiento del hongo de manera exponencial.

El día 5 de crecimiento un par de muestras se encontraban listas para ser cocinadas y el resto fueron sacadas del molde, algunas se dejaron dentro de los moldes para permitir una mejor distribución del crecimiento del micelio.

Recordemos que al sacar la muestra del molde, lo que ocurre es que las paredes que ahora tienen mayor acceso al oxígeno empiezan a desarrollar una capa delgada de micelio, el cual va a generar el acabado de la pieza.

Otro factor que se ha vuelto relevante para esta investigación es pensar en el tipo de material del que están hechos los moldes. Han trabajado mejor moldes hechos de silicón de grado alimenticio. La teoría es que permite un mejor flujo de oxígeno con el exterior y esto permite que el micelio se alimente y tenga una nutrición fluida todo dentro del molde.

En los casos en que el molde no era de silicón, (un par de muestras fueron crecidas en contenedores de PE (poliestireno) también de grado alimenticio. Parece que la comunicación de oxígeno es buena de cualquier manera, sin embargo no parece que genere mucho conflicto con el crecimiento de la muestra.

En el caso en que la pared del molde es muy gruesa, el flujo de oxígeno parece ser inexistente,

de modo que además se retiene mucha humedad dentro del molde lo cual propicia la contaminación una vez sacado del molde para los posteriores días de crecimiento.

## Anotaciones generales de Symbiótica

En un ámbito técnico, este libro habla de la parte técnica del cultivo, crecimiento y desarrollo del micelio, de los tipos y de toda la información esencial para saber acerca del micelio.

McCoy, P. (2016). *Radical Mycology*. 1st ed. Portland: Chthaeus.

pp.1 De 15 millones de especies que hay en el planeta, 6 millones son hongos. Nada más el 15% de éstos están clasificados y tienen nombre.

pp. 206 “Myceliym is a hologram”

pp. 218 la mayoría de los hongos viven en un medio de pH que varía de 4 a 8 dependiendo la especie.

pp. 220 se requiere una esterilización de al menos 15 minutos a una temperatura de 121°C para asegurar que esté libre de microorganismos.

pp. 225 Hay un método de esterilización con peróxido de hidrógeno (Hydrogen peroxide) al 27%, Rush Wayne tiene un método de esto en <http://www.mycomasters.com/>

Hay otro método de limpieza por medio de alcalinizar el medio hasta llegar a un pH12 o 13 de 4 a 12 horas, puede hacerse con lime/wood ash.

pp. 241 El método que más recomienda el autor es el del cultivo líquido el cuál explica mejor en la página 186. Otro lugar para encontrar una buena descripción es <http://mycotopia.net/topic/6079-airport-re-deux>.

pp. 242 “LC is my preferred inoculum for everyday use. Never again will I go back to working with agar for general inoculations. There is no point.”

pp. 215 airport lids RTV silicone

pp. 243 “Try to be quick and avoid breathing on the needle”

pp. 258 Como aditivo de nitrógeno se puede usar avena o rice bran. 10 partes el sustrato, 2 partes oats, rice or wheat brann, 1 part gypsum

pp.291 Buena justificación de por qué The Mycocultural revolution “The holographic growth of a mycelial network”

pp. 382 “Once an individual is truly able to think like a fungus, they are no longer held to the opinions of others. This enables one to grow beyond the limits of imposed belief systems and create a life that reflects the best desire for themselves, while still accounting for those in their community.”

En un ámbito más teórico acerca de la visualización de la estética y el diseño así como el uso de la biotecnología

ELLIOT, Kyla, 2002, LINST (Central Saint Martins College London Institute), *Industrial Revolution, Biomedical Revolution; The influence of current research in biomedical science upon product design with respect to potential future manufacture and product fabrication methods.*

pp.15 “Biomorphism, is the practice of using the natural por inspiration”

pp.18 Pharming, generar tejido con células que no hayan sido modificadas genéticamente.

pp.21 “the rising tolerance to advances of biogenetics and related engineering techniques”

La idea superponer cloning con transgénicos y células no modificadas modificando tejidos.

pp. 23 “we have been consciously manipulating plants and animals for years, through the socially accepted practices of animal husbandry and gardening, and landscape architects and gardeners design spaces using living organisms in their creations. Design fundamentally already operates within this field.”

pp.30 “Therefore it follows that as we start to split the living form into components, tolerances as it has, even with our own bodies, will expect design to operate.”

CATTS, Oron, *Design and biotechnology; an*

exploration of the possibilities of objectifying living organisms, *The Journal of the School Design*; Issue number 4, 1997

“In some cases art explores technological advances before they occur.”

“As long as they are not on the supermarket shelf”

Menciona dos ejemplos de bioartistas anteriores al 1997: Stelarc, australiano y Orlan francesa y Patricia Piccinini de Melbourne.

Stelarc es un artista performer que se implantó una oreja en el brazo, para algunas obras se puso un tercer brazo entre otras modificaciones.

Orlan tiene un discurso de la estética y la forma en la que podemos modificar el cuerpo al grado en que podemos operar el cuerpo para modificarlo y que siga las vanguardias culturales. Hizo aplicaciones de su discurso en su propio cuerpo.

“Bioethics is a scholarly field that tries to develop the ethical framework for the use of the knowledge of biological science”

“Biotechnology has the ability to ‘undo’ some of the destructive consequences of progress”.

Hace un análisis interesante de cómo es que se ha aproximado el arte a la biotecnología y propone que los diseñadores se aproximen hablando de que habrían consecuencias interesantes en esta interacción. Los ejemplos que usa son de artistas, probablemente porque no ha habido una incidencia por parte de los diseñadores para ese año (1997) lo cual es bastante revolucionario.

Esto nos marca también un ritmo de exploración en donde el arte vendría antes que el diseño y quizá la tecnología en algunos campos. Sería interesante conocer la postura actual de Oron después de estos años para saber si algunas de sus expectativas se han cumplido o no y por qué.

Donna Franklin tiene en exhibición en el museo de arte contemporáneo de Adelaide. Este vestido es una forma de cultivo de hongos, incluyendo el fruto del hongo con una tintura en rojo. Próximamente conoceré a la artista y espero aprender de su experiencia a nivel técnico del

cultivo de este ejemplar.

Tuve una charla con ella en donde platicamos de varios temas:

-Hay una investigación y una implementación de relación simbiótica entre hongos y orquídeas, con el objetivo de germinarlas llamado Mycorrhizas, se divide en dos: ectomycorrhizas y endomycorrhizas los cuales crecen dentro y fuera de la célula de la planta o se alimentan de las raíces de la planta. El encargado de esto es Mark Brundrett y trabaja en Kings Park.

-Hay una red relativamente monitoreada del crecimiento de los hongos en Perth particularmente, ya que el tipo de suelo es completamente infértil.

La relación que tienen los hongos con las bacterias, las plantas es un sistema complejo que trabaja por la conservación del medio en donde se mueven nutrientes de una zona a otra con el objetivo de mantener un balance entre las especies y ejemplares que participan.

-Una idea que se le ocurrió es hacer el crecimiento del hongo como fuente de alimento como una fuente “rápida” o sencilla para ayudar a la comunidad en términos económicos. Haciendo una torre del desperdicio aislada con una película. Recomienda que se haga una mezcla de los desperdicios con PDA (potato dextrose agar) o MEA (Malt extract agar) mas o menos al 50%, con partes del hongo. Una vez teniendo las condiciones de humedad y temperatura, hacer unos cortesitos para que salgan las setas.

-Investigar cuáles pueden ser hongos endémicos de la zona.

-Recomendaciones de marco teórico, Claire Bushby, quien habla de eco-feminismo y postcolonialismo, quien está exhibiendo obra artística en el centro de Perth y a quien conocí en la inauguración de esa exhibición. Está haciendo un PhD en UWA e Ionat Zurr es una de sus asesoras.

Suzanne Lee acaba de renunciar al puesto de Modern Meadow y esto nos habla de cómo el arte y el diseño tienen posturas distintas con respecto

al camino que debe de seguir la biofabricación. ¿existe como tal una biofabricación estable? Como parte de esta exploración está la exposición que tuvo lugar en el centro Pompidu La fabrique vivant donde se tuvo que remover /sacar una obra pues la humedad que había en la exposición fue suficiente como para que el hongo volviera a la vida y empezara a crecer o a tener moho.

Es una discusión que se puede encontrar en la trayectoria de otros personajes como Oron, y su background en diseño y luego arte. En su primer artículo habla de cómo el analiza a los artistas y su aproximación a la biofabricación y bioexporación y en el primer artículo sugiere que podría abrirse un área de oportunidad para los diseñadores en ese ámbito. Sin embargo, actualmente su trabajo se enfoca más en los cuestionamientos éticos y morales en la utilización de la biofabricación y en cómo el arte es un buen medio para hablar de estos cuestionamientos.

Sería interesante leer más de sus publicaciones o entrevistas que se le hayan hecho.

DERR, Alex, Mycoremediation, pp.7-8 “They regulate the flow of nutrients and energy through their filamentous mycelial network, sweating out powerful enzymes able to dissemble cellulose, lignin and hemicellulose to provide the vital building blocks of plant life within the universal, communal eco-exchange of the forest. When a tree falls in the forest, mushrooms pop up excreting powerful enzymes to help clean up the forest floor, metabolize this pile of cellulose and lignin, and transport these nutrients and water through its mycelial subway system in order to trade some with plants in return for some carbohydrates.”

pp. 176 Habla de la teoría de cultivos líquidos para micelios.

De las recetas que proporciona para generar el cultivo líquido, recomienda mejor la de 500ml de agua destilada y dos cucharadas de miel con una canica al fondo para agitar. También

recomienda un removedor magnético para que sea automatizado en donde puedes variar la velocidad y el tiempo de agitar.

Él ha tenido cultivos hasta en dos días cuando lo común es en 10.

El consejo que da para la tapa del cultivo es el siguiente. Normalmente hay que hacer dos perforaciones en la tapa, uno para que pueda respirar y el otro para poder inyectar el micelio o el líquido en donde ya está creciendo el hongo.

La forma común de hacerlo es con un parafilm en la parte donde va a respirar, lo cual no puede mojarse pues pierde el efecto de sello.

El otro orificio normalmente se rellena por ambos lados por silicón de alta temperatura para poder inyectar a través de él y que se auto-cierre después de sacar la jeringa.

Lo que recomienda Alex en este libro es utilizar dos cosas, para el orificio a través del cual se va a respirar, recomienda un seringe filter, el cual varía en grado de porosidad para volverse más o menos hermético en variaciones de micras dependiendo de las bacterias o agentes que se buscan evitar. La ventaja que tiene es que se puede humedecer, se puede reutilizar y se adhiere con el mismo silicón que normalmente se utilizaría.

Para el otro orificio, recomienda utilizar un self healing port, el cual es una tapa de plástico que tiene una densidad tal que puede perforarse con la jeringa y vuelve a cerrarse después. Además de que recomienda utilizar tapas de plástico en lugar de las metálicas que normalmente utiliza la gente porque son las que vienen con los botes de Mason.



Fig. ee Semillas de trigo al día uno de ser inoculadas con *Pleurotus ostriatus*.

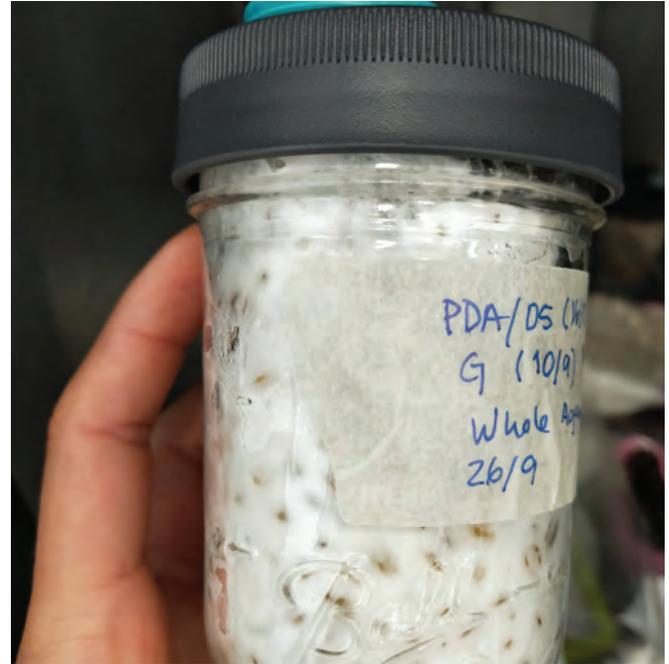


Fig. ef Semillas de trigo al día cinco de ser inoculadas con micelio de *Ganoderma steyaertnum*.



Fig. eg Muestra de piel de micelio vista superior, crecida en cultivo líquido en el bote que está al fondo.



Fig. eh Misma muestra que a la izquierda, vista lateral.



Fig. ei Imagen de Funguy con forma de maceta saliendo del molde.



Fig. ej Imagen de la misma muestra de Funguy que la izquierda.



Fig. ek Imagen de la misma muestra, la vista de la base de la maceta.



Fig. el Vista lateral de la misma muestra, mostrando los tipos de acabados que se pueden lograr.



*Fig. em Imagen de la maceta con tierra y agua.*



*Fig. en Imagen de la misma maceta que a la izquierda, dos semanas después.*



*Fig. eo Imagen de un bloque de micelio de Pleurotus ostreatus en sustrato de eucalipto.*

