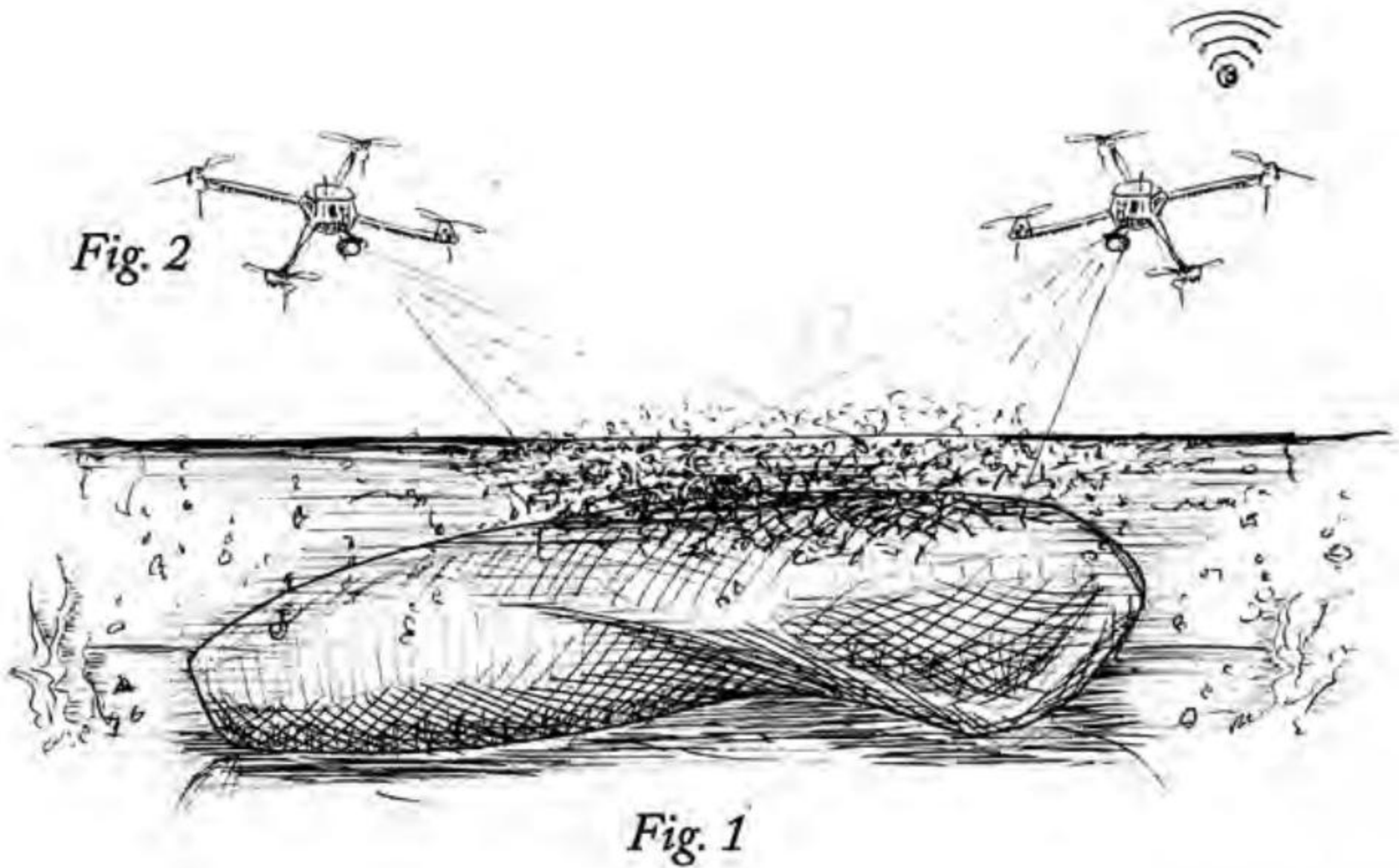


174,061,490.

LIGHT STIMULATED BIOLOGICAL  
3D PRINTING  
APPLICATION FILLED MAY. 14, 2016

Not To Be Patented  
Jul. 27, 2020

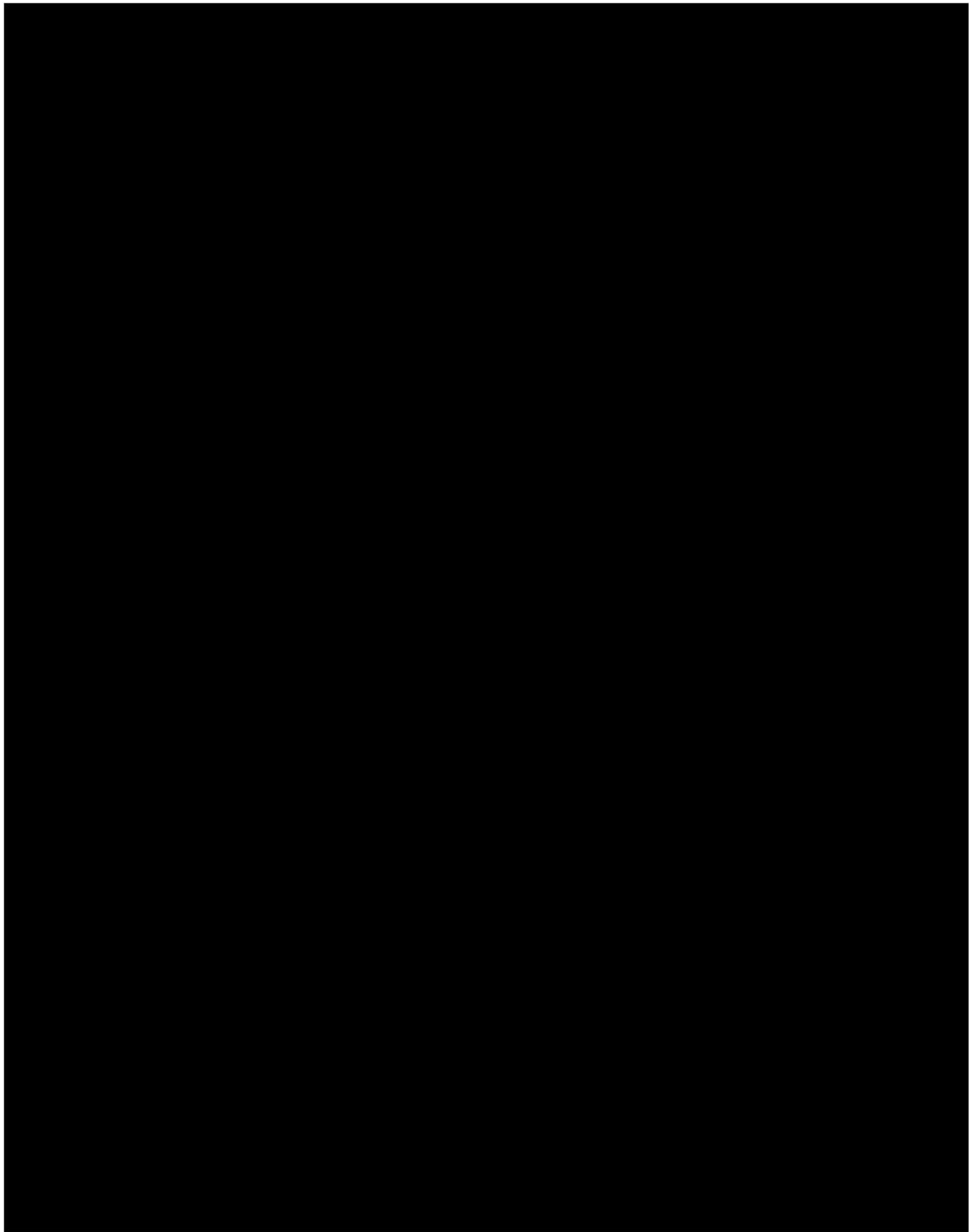
3 SHEETS-SHEET 1.



## BIOFABRICACION

MATERIALES CULTIVADOS PARA  
LA ARQUITECTURA Y EL DISEÑO

**EQUIPO DOCENTE**  
ALEJANDRO SOFFIA  
TOMÁS VIVANCO  
ANIBAL FUENTES  
SEBASTIAN RODRIGUEZ  
FERNÁN FEDERICI





Taller de Investigación  
**BIODFABRICACIÓN**

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos

2do semestre 2017

**Profesores**

Alejandro Soffia  
Tomás Vivanco

**Ayudantes**

Aníbal Fuentes  
Sebastián Rodríguez

**Estudiantes**

Elizabeth Abarca  
Josefa Ballacey  
Julia Bustamante  
Daniela Córdova  
Belén Esquivel  
Camila Garza  
Gaspar Guevara  
Galit Hojman  
Antonia Hurtado  
Mónica Kattan  
Danae Medina  
Carolina Pacheco  
Isidora Quevedo  
Claudia Rudloff  
Pedro Stekel  
Gonzalo Subiabre  
Matías Villanueva



FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO  
Y ESTUDIOS URBANOS

Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos FADEU  
Escuela de Diseño  
Escuela de Arquitectura

El Comendador 1916, Providencia  
Santiago, Chile.

Autoedición, Enero de 2018

## PRESENTACION

Los vertiginosos avances en ingeniería biológica están transformando nuestra percepción de la biología como mera fuente de materia prima a una visión que considera al sustrato biológico como medio programable para la fabricación de nuevos recursos renovables, tales como bio-computación (Qian), producción de químicos (Smolke) almacenamiento de información digital (Church) y fabricación de nuevos materiales (Chen, BioFabricate, NewHarvest, MycoWorks).

Los biomateriales proponen una solución sustentable y de bajo costo, que si bien se encuentran en una etapa experimental de desarrollo, constituyen conocimiento relevante en un área poco explorada en sus posibilidades para la arquitectura. Creemos fuertemente que esta aproximación desde la alta tecnología y pocos recursos es un modelo interesante para enfrentar el paradigma de la sostenibilidad desde el diseño arquitectónico.

Nos hemos reunido bajo el “Laboratorio de Biofabricación” UC para explorar éste desafío, y consolidar el ejercicio de la Interdisciplina como herramienta metodológica para enfrentar problemas de ésta complejidad. Nuestra corriente es tecnológica constructiva orientada a diseño, tanto en el proceso de diseño (tecnologías de representación digital) como de su construcción (tecnologías de fabricación digital).

Este proyecto convoca además a un grupo internacional de arquitectos, biólogos, ingenieros, artistas, micólogos y científicos de la computación con el objetivo de explorar la biodiversidad local Chilena como medio para el biodiseño.

Como trabajo adelantado hemos organizado las siguientes actividades:

1. BIODESIGN WORKSHOP. 1 SEM 2016.
2. FONDO VRI Seminarios Internacionales. 32 profesionales y estudiantes. Dos invitados Internacionales.
3. INVESTIGACIÓN NUEVOS MATERIALES. 2017-2018.
4. FONDO VRI Investigación Interdisciplinaria. Participa Fundación Fungi.
5. BIODESIGN LAB. 2 SEM 2017. Construcción de un Laboratorio para la biofabricación de materiales. Campus Lo Contador FONDO VRI Investigación Interdisciplinaria.
6. DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A PARTIR DE HONGOS NATIVOS. 2 SEM 2017. FONDO Programa RED SEMILLA UC. Centro de Innovación UC.
7. TALLER DE INVESTIGACIÓN en Biofabricación. 2 SEM 2017

La presente publicación está consituida por distintos productos del Taller de Investigación en Biofabricación, dictado en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Se presentan algunos aspectos de la programación inicial del curso, proyectos seleccionados y dos anexos de bibliografía y estado del arte vistos por el Taller durante el semestre.

El Taller forma parte del Laboratorio de Biofabricación de la FADEU. Éste se enfoca en la aplicación de metodologías y tecnologías de la biología sintética al diseño, a través de la fabricación de componentes y sistemas constructivos biofabricados. Este proyecto aplica un enfoque abierto, responsable, interdisciplinario y democrático al uso de la biología como medio programable para el desarrollo sustentable de nuevos recursos renovables y tecnologías de bien común.

## DESCRIPCION

El taller investigó sobre las posibilidades de los hongos en particular, y otros organismos vivos en general, como fuente para la fabricación de nuevos materiales, tecnologías y/o objetos autoportantes. Se inscribió dentro del ámbito de investigación del Biodiseño, que a su vez se aloja en el continente creado por las relaciones interdisciplinarias entre la Biología y el Diseño.

Se revisó la bibliografía existente sobre el tema y los casos más emblemáticos para construir un “estado del arte” de la biofabricación con hongos y otros organismos. Por último se identificarán futuras líneas para el desarrollo del diseño, que se ilustrarán brevemente en el formato de alternativas proyectuales.

### Objetivo General

- Aplicar una metodología de investigación científica a un proyecto de diseño

### Objetivos Específicos

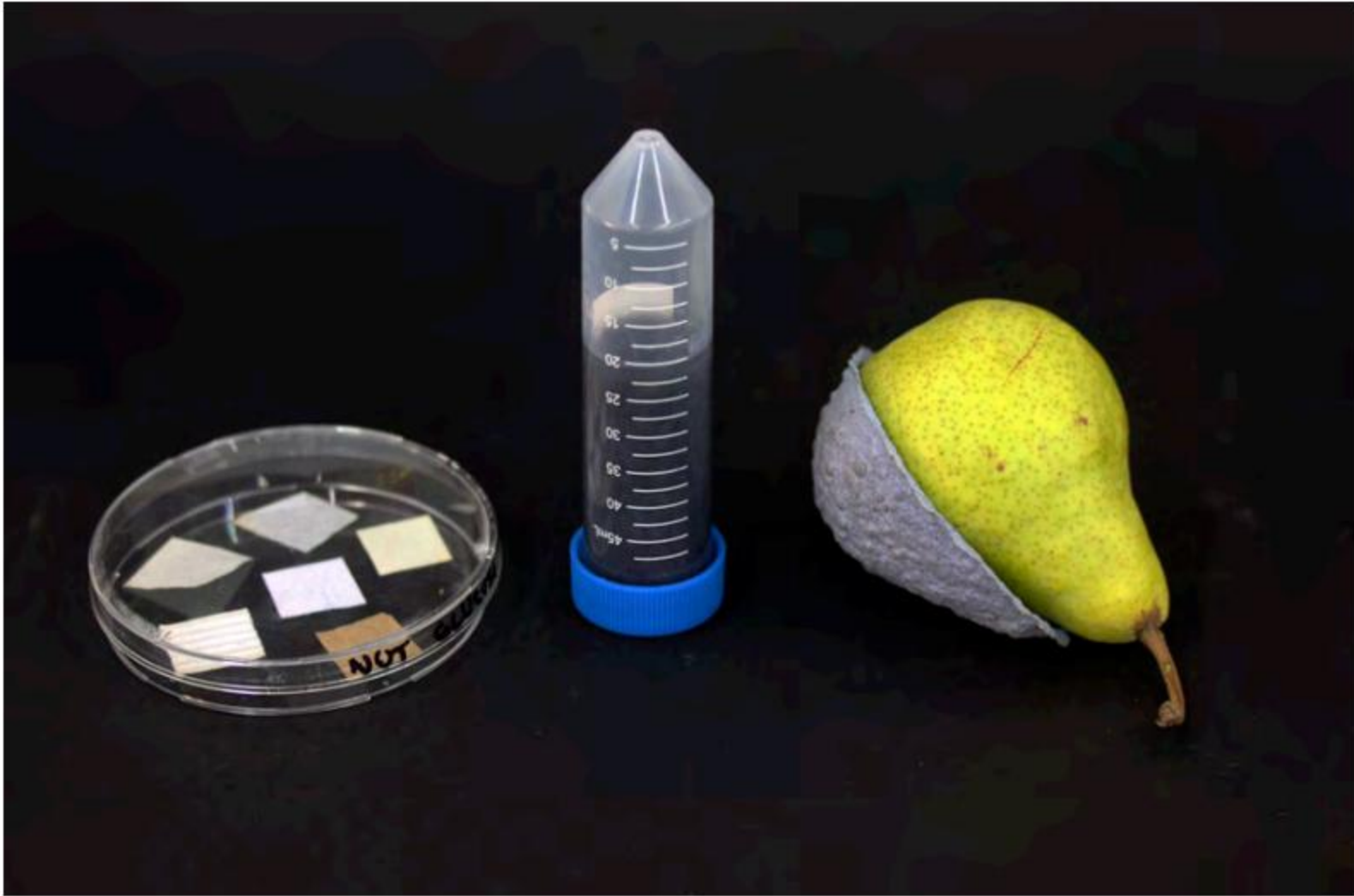
- Introducir a los estudiantes al nuevo campo de investigación de la Biofabricación
- Identificar temas de investigación de diseño, en el ámbito de la producción de biomateriales
- Ejercitar un proceso creativo interdisciplinario

# Taller de Investigación en BIOFABRICACION



**Trabajos Seleccionados:**

- 01 Gaspar Guevara
- 02 Danae Medina
- 03 Carolina Pacheco
- 04 Belén Esquivel
- 05 Claudia Rudloff
- 06 Josefa Ballacey
- 07 Pedro Stekel
- 08 Matías Villanueva
- 09 Galit Hojman



01 Gaspar Guevara

02 Danae Medina





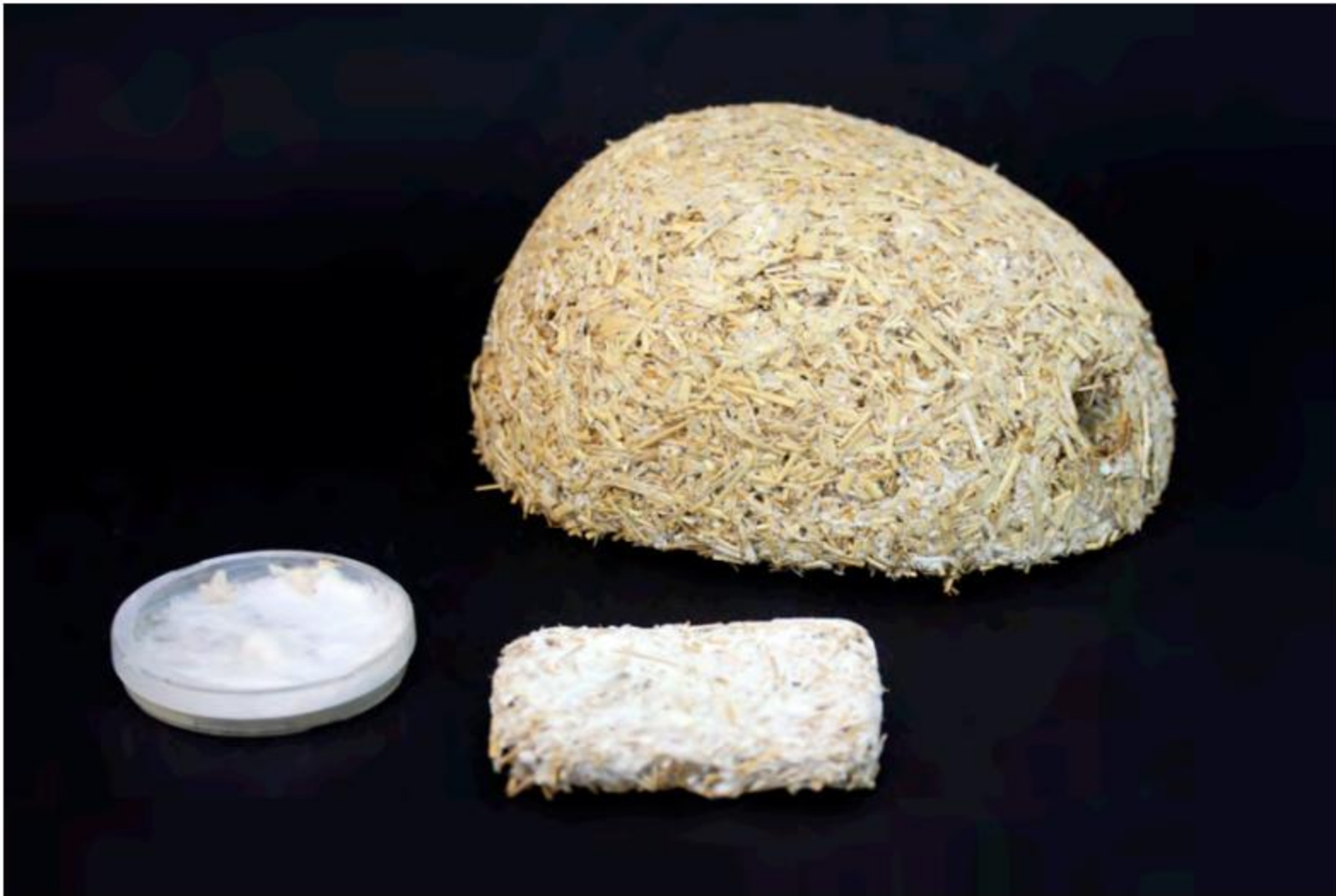
03 Carolina Pacheco  
04 Belén Esquivel



05 Claudia Rudloff



Equipo Docente: Alejandro Soffia, Tomás Vivanco, Anibal Fuentes, Sebastián Rodríguez



06 Josefa Ballacey  
08 Galit Hojman



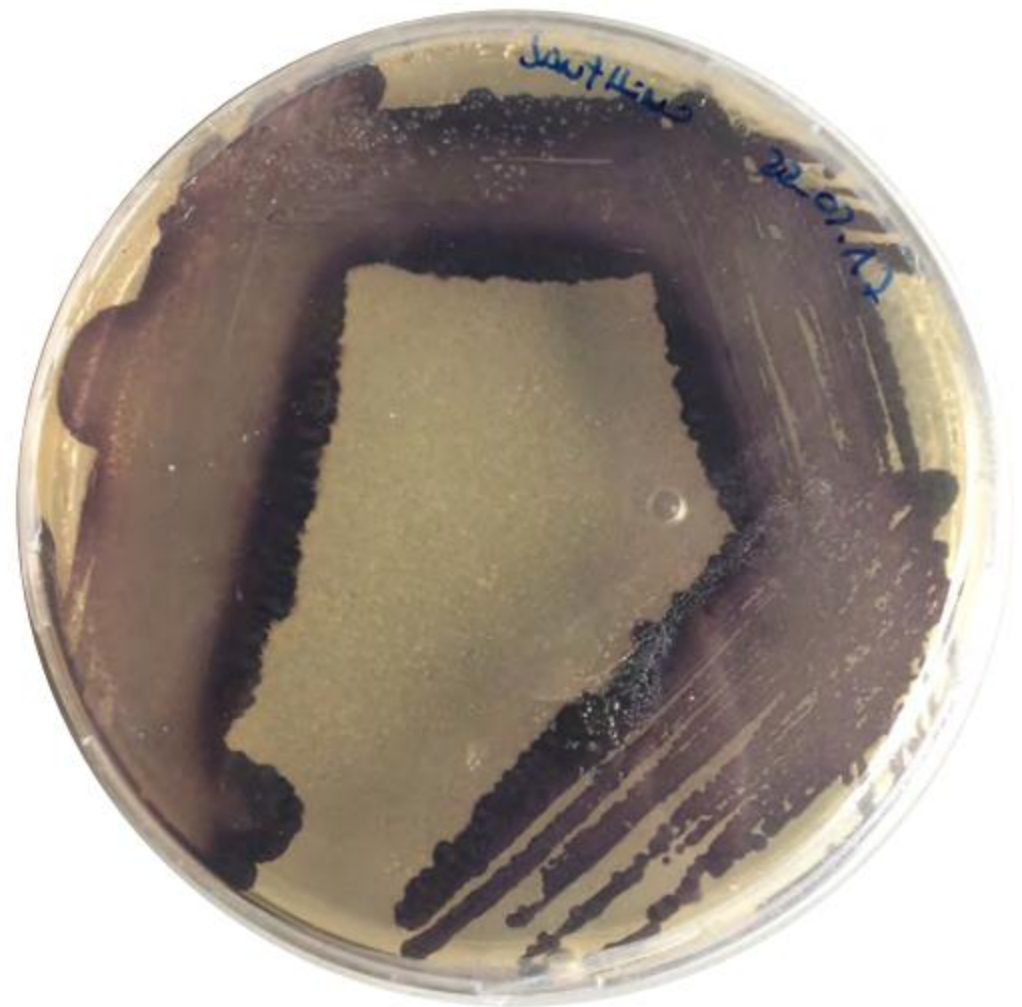
# Pigmentación con violaceína presente en la bacteria *Janthinobacterium lividum* para fabricar pulpa de papel antimicótico

## ABSTRACT

La investigación se enfoca en el estudio la pigmentación de papel con violaceína a través de la bacteria *Janthinobacterium lividum*. Un estudio del estado del arte identifico una serie de experimentos que se enfocan en la misma forma de pigmentación pero en textiles. Se pusieron a prueba una serie de hipótesis, donde se determinó que es necesario para la pigmentación del papel: una alta cantidad de humedad, alto tiempo de exposición del papel al medio acuoso con la bacteria y que el medio ideal era nutrient broth. Tomando en cuenta lo anterior se trabajó con pulpa de papel ya que era el estado de optimo del papel para la pigmentación. Así se llegó a un nuevo material que llamamos VioPulpa, que sería pulpa de papel con violaceína. Para terminar se conceptualizó un packaging, para el transporte de peras, que pretende poner a prueba las propiedades antimicóticas del pigmento en el mismo packaging, contra el hongo *Botrytis cinerea*.

## PALABRAS CLAVE:

Pigmentación, *Janthinobacterium lividum*, Packaging, Papel, Antimicótico.



*J. lividum* en placa de petri.

Taller BioFabricación

Guevara G. (2017). Pigmentación con violaceína presente en la bacteria *Janthinobacterium lividum* para fabricar pulpa de papel antimicótico.

# 1. Formulación

## 1. Contextos

### CONTEXTO BIOLÓGICO

La *Janthinobacterium Lividum* es una bacteria con forma de vara, aeróbica, se puede cultivar, y es muy interesante para el mundo científico. Últimamente se han descubierto propiedades que lo hacen importante: desde su fisiología, ecología y la medicina se destaca su importancia (Tabor-Godwin, et al. 2009). Este organismo se puede encontrar en el suelo y el agua, también lo podemos encontrar en leche vencida. Su nombre *Janthin* viene de janthinos, haciendo referencia al color violeta en latín. Sus colonias son color púrpura–negro por su pigmento insoluble llamado violaceína, el cual se produce preferentemente cuando tiene como fuente de carbono al glicerol. Se puede encontrar una correlación entre la producción del pigmento con la formación del biofilm y la búsqueda de sobrevivencia, sugiriendo que el estrés ambiental podría tener un rol importante (Duran, et al. 2012).

La violaceína en la bacteria beneficia al huésped que alberga a esta última, pues se conoce por ser tóxica contra bacterias y hongos. Existen casos en que especies de anfibios, que llevan altas cantidades de *J. Lividum*, pueden protegerse de infecciones devastadoras por la producción del pigmento antimicótico (Valdés, et al. 2015). Vemos que explotar las propiedades de la bacteria podría llevarnos a una resistencia contra distintos patógenos. Además de su producto antimicótico, la bacteria también produce sus propios antibióticos. Ya existen tres que están siendo patentados y actúan en contra de bacterias gram-positivo y gram-negativo. Estos son solo unos de los tantos beneficios y aplicaciones que podemos encontrar en la bacteria.

La violaceína es un pigmento alcaloidal (que es parecido a carbonatos de alcalinos), esto quiere decir que es derivado de aminoácidos y en consecuencia: nitrogenado. Se forma por condensación enzimática de dos moléculas de triptófano, que requieren la acción de cinco proteínas (Kimmel, et al. 1969). La bacteria que lo produce tiene una temperatura de crecimiento ideal de 25°C, sin embargo esto puede variar por cepa de la bacteria, su crecimiento ha demostrado ser más rápido en nutrient médium, además suele liberar pigmentación luego de 24 horas. Tiene un color púrpura y propiedades antimicóticas, antisépticas y anticancerígenas (Valdés, et al. 2015).

Se ha encontrado actividad inhibidora de la violaceína contra el hongo *Botrytis cinerea* (Wang, et al. 2012), este se presenta de forma cotidiana en las frutas y es el responsable de gran parte de la pérdida de la fruta al dejarla en estado de descomposición (Donmez, et al. 2011).

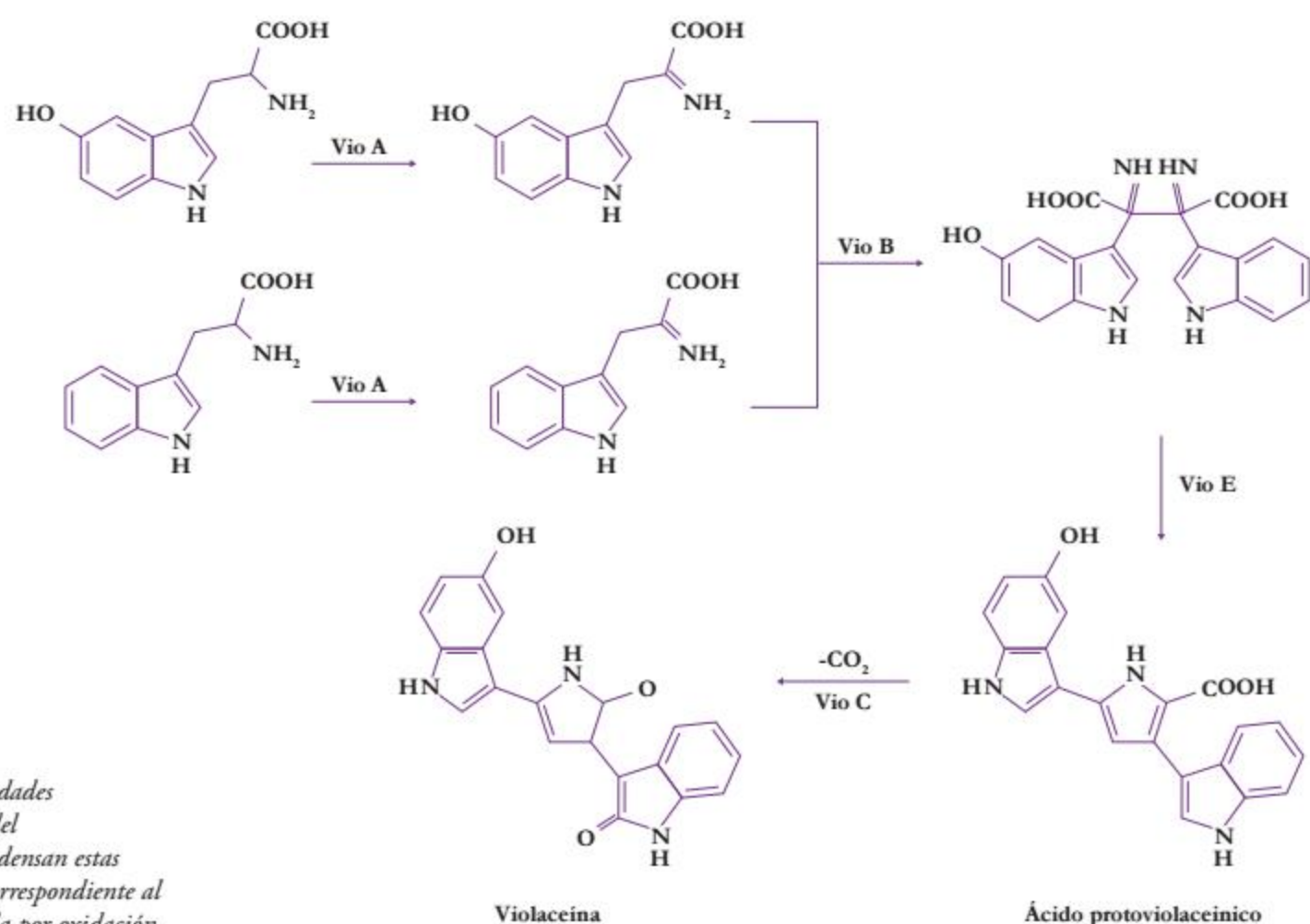


Figura 1: Biosíntesis: Derivado de dos unidades de triptófano, las iminas del triptófano y del 5-hidroxitriptófano. Posteriormente se condensan estas moléculas y se forma un anillo de pirrol correspondiente al ácido protoviolaceínico. Éste se descarboxila por oxidación para formar la violaceína.



Figura 2: Proceso de fabricación de pigmentos.

#### CONTEXTO TECNOLÓGICO

El contexto tecnológico se relaciona principalmente al mundo de la impresión y sus materias primas. La tinta para impresión cuenta de dos componentes principales: el pigmento y su vehículo, que transporta el pigmento. Este último material es generalmente espeso y pegajoso, puede llegar a tener la textura de la miel o puede ser más suave acercándose a la textura del agua. Lo que se hace es mezclar los materiales del “vehículo”, hasta que se hacen mucho más ligeros de lo que serían a temperatura ambiente, ahí se le añade el pigmento, que puede ser: amarillo, magenta, cian o negro y así se hace líquido. El siguiente paso es la molienda, se le llama así pero en realidad es una dispersión para separar las partículas del pigmento y maximizar su superficie, para esto existen dos máquinas que se usan, una mezcla bolas de metal para quebrar los pigmentos que quedan unidos y el otro, más tradicional y de mejor calidad, que usa unos cilindros que giran para mezclar mejor los pigmentos. Luego se le agregan más compuestos y se le hace una serie de tests para que la tinta sea de la calidad necesaria para su impresión (Welfare P., 2010).

El proceso anteriormente descrito generalmente usa pigmentos inorgánicos. Por ejemplo se usa el sulfato de hierro, que tiene un color verde azulado, se le agrega agua caliente y luego añaden hierro en forma de chatarra de alta calidad, junto con otros químicos, para que luego pase por una serie de procesos físicos y químicos para llegar al polvo que conocemos como pigmento (D&S Channel, 2012).

Hoy en día las tintas son un material que tienen una producción intensa en el uso de agua, durante su proceso de producción genera gases invernaderos que son muy contaminantes para el medio ambiente. Para su producción se usan cuatro metales pesados; cadmio, cromo hexavalente, plomo y mercurio. Además se usa aceites vegetales, colofonia, petróleo, derivados de celulosa,



Figura 3: Packaging actual para la distribución de peras.

etanol y edil-acetato. Esta industria no es intensiva en energía pero de todas formas si es un factor a tomar en cuenta (European Ink Association, 2013).

Por otro lado, en términos de tecnología, se ha experimentado bastante con la bacteria *J. Lividum*. Se ha usado por compañías de diseño como la neerlandesa Kukka, para la pigmentación de textiles. Usaron la bacteria inoculada al 1% en medio nutriente líquido, donde se le alimento con glicerol al 1% también para darle una fuente de carbono. Luego se remojaron los textiles en el medio con la bacteria, luego de 24 horas ya se podía notar la pigmentación de la bacteria en el textil (Luchtman, et al. 2017).



Figura 4: *Botrytis Cinerea* empezando el proceso de descomposición desde la parte de arriba de la pera.



Figura 5: Pera contaminada en casi su totalidad por *Botrytis cinerea*, se puede apreciar el micelio blanco del hongo.



Figura 6: Gráfico que muestra la cantidad de fruta desechada

PERDIDA DE FRUTA		DESPERDICIO DE FRUTA			
Agricultura	Post cosecha	Procesamiento	Distribución	Consumo	
<b>LATINO AMERICA</b>					
20%	8%	14.4%	6.9%	5.1%	54.4%
<b>MUNDO</b>					
14.4%	6.9%	8.5%	7.1%	8.8%	45.7%

### CONTEXTO PRODUCTIVO DE ALIMENTOS

Hoy en día una de las problemáticas más grandes que enfrentamos como humanidad es la falta de alimentación. Existe un departamento de la Organización de Naciones Unidas que se dedica exclusivamente a esto, llamado Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Según un estudio realizado por la organización un 54.3% de frutas y verduras se desperdicia en su ciclo, de ese total un 7.1% se debe a la distribución y un 8.8% al consumo. Para Latinoamérica la pérdida en general es 45.5%, donde 6.9% es por la distribución un 5.1% al consumo (Gustavsson, et al. 2011). Gran parte de esas pérdidas se deben a la temperatura o a otros factores que permiten el crecimiento del hongo *B. cinerea*, sobre todo en frutas como el kiwi y la pera, donde Chile es uno de los principales exportadores (UK P&I Club, 2006).

Por otro lado, se pueden ver aplicaciones para el packaging. Esta industria tiene un alto uso de tintas de impresión para fines de marketing o para entregar información al consumidor (Wagner, C., 2012), por lo que se podría bajar tanto el uso de tinta como la contaminación generada por ello. Además se puede aprovechar la propiedad antimicrobiana del pigmento para la industria del packaging de frutas y verduras, extendiendo su ciclo de vida.

Además el packaging actual de la fruta, para su transporte, es generalmente de plástico o de poliestireno expandido, lo cual no protege a nivel de microorganismos, sino que solo a nivel de impactos mecánicos. Esto lo podemos observar en el retail y en la distribución de alimentos.

## 2. Relevancia

Esto puede significar un aporte a la disciplina del diseño en el sentido en que se le puede dar una funcionalidad que va más allá de lo estético al packaging. Un pigmento que puede aumentar y mejorar las capacidades biológicas tendría impacto profundo sobre la industria del packaging. Se podría generar un papel/material que prolongue la vida útil de las frutas. También está el lado ambiental, donde se busca reemplazar formas tradicionales de pigmentación, en que se contaminan aguas con metales pesados y otros químicos.

Lo anterior sugiere una oportunidad importante. Chile como país exportador de frutas y verduras es el responsable de la distribución de ella. Esta se transporta en grandes buques que cruzan el océano para llegar a Asia, Europa y Norte América (OEC, 2017). La pera es de particular interés por su sensibilidad a *B. cinerea* en el transporte, este hongo gris se origina generalmente por infecciones en cicatrices que sufre la fruta durante la cosecha y postcosecha (Xiao, C. 2006). Además, como se mencionó anteriormente, la pérdida de fruta correspondiente a la distribución corresponde a un 8.8%, en donde golpes a la fruta la hacen mucho más sensible a patógenos. Gran parte de estos desechos orgánicos terminan en basurales donde se genera una putrefacción que genera gases tóxicos como gases invernaderos, incluyendo metano (que tiene 25 veces el potencial de calentamiento global) y óxido de nitrato (Environment Canada, 2013).

Durante el 2015 habían 793 millones de personas en el mundo que estaban subalimentadas, durante el 2016 esta cifra subió a 815 millones de personas, ósea el 11% de la población mundial sufre algún nivel de hambruna (FAO, et al. 2017). La tendencia durante los últimos años había estado a la baja por lo que este aumento es de gran preocupación para la Organización de las Naciones Unidas de alimentos y agricultura, por lo mismo una de las metas de sustentabilidad para el 2030 es cero hambre (ONU 2017). Esta medida se da en parte por la hambruna en los niños menores a 5 años que significa un aumento considerable en muertes por infecciones comunes, riesgo de su desarrollo cognitivo y un aumento de vulnerabilidad a enfermedades no contagiosas.

La producción agrícola de peras tiene un gran valor. En primer lugar la cantidad de peras que arriban a mercados mayoristas es de 133,763 toneladas para el 2016, mientras que la cantidad de otras frutas sensibles a la *B. cinerea* como el kiwi son solo 9.336.243 kilogramos (ODEPA 2017). Además la exportación de peras tuvo un valor de 127.115.104 USD (FOB) durante el 2016, donde la gran mayoría de los países a los que son exportadas pertenecen al conveniente europeo (ODEPA).

En conclusión la actual investigación tiene una relevancia ya que identifica formas de disminuir la pérdida de alimentos –en particular peras aunque se puede escalar a otras frutas– lo cual significa una disminución del hambre mundial, de la pérdida económica de esa fruta y la cantidad de desechos orgánicos en vertederos junto con su correspondiente emisión de gases con efecto invernadero.

<u>País</u>	<u>Volumen (ton)</u>	<u>Valor (USD FOB)</u>
Alemania	4,231	4,132,853
Arabia Saudita	3,027	3,866,996
Brasil	3,047	3,099,156
Bélgica	1,732	1,802,410
Colombia	20,875	18,253,486
Ecuador	8,981	7,474,371
Emiratos Arabes	1,562	1,787,656
España	5,140	6,262,150
Estados Unidos	15,257	16,655,829
Francia	1,219	808,254
Guatemala	732	767,430
Holanda	21,074	20,426,298
Italia	13,814	12,331,345
México	1,211	1,362,388
Otros países	6,365	6,422,381
Panamá	1,722	1,714,127
Perú	13,304	9,546,002
Portugal	1,528	1,552,742
Reino Unido	2,540	2,529,432
Rusia	6,400	6,319,800
Total	133,763	127,115,104

Tabla 1: Volumen y transacciones realizadas por la exportación de peras con distintos países. (ODEPA)

## OBSERVACIONES PRELIMINARES

Siempre he estado más inmerso en el mundo del diseño gráfico y he observado como esta industria desperdicia grandes cantidades de materiales en su producción junto con los residuos de los pigmentos, por lo que siempre he pensado en la problemática pero sin hacer nada concreto al respecto y esta es una oportunidad para aquello.

Por otro lado, estoy muy interesado en la sustentabilidad, en particular en la idea de economía circular. Pues mi primera carrera, de ingeniero comercial, me ha permitido vislumbrar los vacíos de la economía tradicional. En ese sentido veo la economía circular no como una opción, sino que como una necesidad urgente que tenemos como seres vivos en la sociedad que vivimos hoy en día.

También he tenido varias cercanías con profesionales de las ciencias biológicas que han sido un aporte a este proyecto desde sus inicios. Gracias a ellos pude contactar al laboratorio de Mario Tello en la Universidad de Santiago de Chile que fueron un aporte clave, ellos me dieron acceso a todos sus equipos y material biológico para experimentar.

Mi primera aproximación concreta a la bacteria fue a través de un experimento que se realizó en Kukka, firma de diseño holandesa, ellos publicaron un protocolo de teñido de textiles con *J. lividum* donde tuvieron buenos resultados en solo 3 semanas de experimentación. El corto periodo para llegar a conclusiones junto con la accesibilidad a la bacteria fueron factores clave para escoger trabajar con ella.



Figura 7: Resultado de la experimentación con textiles por Kukka.

### 3. Marco Teórico

Hoy en día nos vemos envueltos en una gran urgencia por pensar en soluciones para combatir la degradación del medio ambiente. Es por ello que empezamos a buscar soluciones en la naturaleza que alcanza equilibrios perfectos de sus flujos (Myers W. 2012). En ese sentido el bio design se abre como una nueva posibilidad para generar cambios concretos en la forma de relacionarnos con la naturaleza. Para esto tenemos que acudir a otros campos que parecían opuestos, como la bioquímica. En ese sentido este documento reconoce un organismo clave para el estudio: *Janthinobacterium lividum*, este produce un pigmento llamado violaceína que ha sido ampliamente estudiado por sus interesantes propiedades y aplicaciones en el mundo de la bio fabricación.

El pigmento violaceína se produce en distintas bacterias y en cada una de sus cepas tiene un requerimiento distinto para su secreción (Duran, N., et al. 2012). Por ejemplo en la *J. lividum* cepa DSM1522 se produce a 25°C y en 30 horas, *C. violaceum* lo hace a 27°C y en 144 horas y *Psychotropic bacterium* RT102 lo hace a 20°C y en 30 horas (Duran, N., et al. 2012). Cada una de esas temperaturas y tiempos para la producción del pigmento cambia con la cepa de cada bacteria. En esta experimentación se usó *J. lividum* cepa MTR que fue extraído del Cajon del Maipo, Chile,

esta tiene una temperatura ideal de 25°C para la liberación de violaceína y lo hace en 24 horas, lo anterior se observó en placas con medio Luria y Mueller Hinton luego de 72 horas de crecimiento de la bacteria (Valdes, et al. 2015).

Experimentaciones con el pigmento violaceína encontraron que tiene efecto inhibitor en el crecimiento de bacterias gram-positivo y también con gram-negativo pero en menor potencia, de todas formas siendo en ambos grupos efectivo (Duran, et al. 2007). También el efecto cambiaba dependiendo de la concentración de violaceína, sobre 15 g/ml causaba no solo inhibición del crecimiento de la bacteria sino también su muerte (Duran, et al. 2007). Sin embargo existen alguna bacterias sobre las cuales no hay un efecto significativo como *Flavobacterium balustinum*, *Serratia marcescens* y *Escherichia coli* (Duran, N., et al. 2007). Además la violaceína tiene aplicaciones para prevenir hongos, tumores, parásitos, virus, y es antioxidante (Durán, et al. 2007), por lo que se puede aplicar a diversos contextos que aprovechen sus propiedades.

En términos de pigmentación la violaceína ha sido probada en distintos textiles, tanto orgánicos como sintéticos. Se encontró que tiene un efecto más fuerte en el rayón y la seda satinada en comparación con el algodón, la seda y el poliéster (Ahmad, W., et al. 2012). Lo anterior se debe a la forma de absorción de cada uno de los textiles, esto se explica ya que el pigmento se introduce en

Figura 8: (a) tinta con violaceína al 0%, (b) tinta con violaceína al 0.25%, (c) tinta con violaceína al 1.24%, (d) tinta con violaceína al 3.05%,



forma acuosa por lo que depende de cada composición de sus fibras (Ahmad, W., et al. 2012). Es importante mencionar que en ese mismo experimento se encontró que no existe una correlación entre el origen del textil, ósea si es orgánico o sintético, respecto al nivel de adhesión del pigmento a ella (Ahmad, W., et al. 2012).

También se experimentó con la violaceína en forma de pigmento con resina y solvente para usarlo en un lápiz de punta redonda, el resultado fue evaluado en sus pruebas gráficas al contacto con el papel que fueron bastante exitosas, sin embargo el proceso consistía en la extracción de la violaceína como pigmento para luego aplicarla al papel (Ahmad, W., et al. 2012). Esto ya es un avance importante en el mundo del diseño gráfico ya que ocupa un pigmentos orgánico, mientras que los inorgánicos son muy contaminantes como se mencionó anteriormente, pero se sigue necesitando un vehículo líquido para el pigmento junto con una solución ácida de buffer (Ahmad, W., et al. 2012).

Otro estudio que realizó un estudio llamado Kukka, desarrolló un proyecto llamado Living Colours, liderado por Laura Luchtman, donde se tiñeron textiles con violaceína a través de la bacteria *J. Lividum*, ellos usaron la bacteria en un medio líquido para dejarlo crecer y luego remojar el textil en él para que libere el pigmento después de 24 horas, alcanzando un intenso color azul (Luchtman 2017). En vista a lo mencionado anteriormente vale la pena destacar

que la aplicación de esta forma de bio fabricación en textiles ha sido ampliamente explorada y no se han visto otras variaciones de aplicación para esta forma de bio fabricación en otros materiales. Es por ello que en esta investigación se plantea desarrollar un protocolo de pigmentación para el papel y a través de la bacteria, es decir, sin otros químicos contaminantes.

Por otro lado, el encuentro de los dos aspectos, la pigmentación y su propiedad antiséptica, son muy importantes. Al dar pigmentación a textiles con violaceína se encontró una actividad antimicótica a hongos patógenos como la *Rosellinia necatrix* (Durán, et al. 2007). También se encontró un efecto similar para *Botrytis cinerea* (Wang, et al. 2012), la cual se puede encontrar frecuentemente en frutas y verduras que comienzan su etapa de descomposición. En este caso la violaceína se presenta como un medio que no permite el crecimiento del organismo, de esa forma se podría generar un packaging que proteja a la fruta a un nivel molecular.

Por lo que existe la oportunidad de estudiar las propiedades de la violaceína en el mismo papel, ese es el ámbito que se desarrollará para ser un aporte a la disciplina. Lo importante es estudiar cómo se pueden transferir de forma efectiva el pigmento para que se impregne en el papel y verificar si se pueden transferir sus propiedades antimicóticas.

## 4. Hipótesis y objetivos

### HIPÓTESIS

Se puede transferir al papel las propiedades antimicóticas del pigmento natural **violaceína** para innovar en la industria del packaging de alimentos.

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar un material para disminuir las enfermedades micóticas en el transporte de fruta.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar la propiedad antimicótica de la violaceína en el papel.
- Determinar un procedimiento que maximice el traspaso de violaceína al papel.
- Identificar el efecto de la violaceína en los alimentos.

## 4. Estado del arte

A continuación se presentan 4 casos que hablan sobre el estado del arte para este proyecto. Se encuentran en orden cronológico.

## PÚRPURA DE TIRO

Durante la edad de Bronce, en la ciudad de Tiro, se producía un pigmento llamado púrpura de Tiro. Este se extraía de un caracol de mar llamado *Murex Brandaris* y era comercializado por los fenicios. Se necesitaban matar 10.000 caracoles para tener 1 gr. del pigmento, que solo servía para una prenda de la época, esto lo hacía muy caro.

## FICHA TÉCNICA

Fenicios, Ciudad de Tiro

entre 3.000 y 1.200 a.c.

**Materialidad:** *Murex Brandaris*

**Función:** Pigmentar textiles



Figura 9: Seda de Carlomagno, con púrpura de Tiro y oro.



Figura 10: *Murex Brandaris*.  
Figura 11: Pigmento en polvo.

## SYMBIOSIS

La industria de los medios impresos tiene un impacto inmenso en nuestro planeta. Como respuesta nace Symbiosis, tipografía viva.

Utiliza bacterias en medios de crecimiento donde usa nutrientes para guiar su crecimiento. Esto les permite cambiar de forma, crecer, cambiar de color y eventualmente morir. Utilizó formas de fabricación de tipografía tradicionales para hacerlas más legibles.

## FICHA TÉCNICA

Jelte van Abbema – Lab van Abbema

2009, prototipo

**Materialidad:** Bacteria (escherichia coli), papel, medio de crecimiento

**Función:** Gráfica con bacterias.



Figura 12: Afiche publicitario con bacterias



Figura 13: A hecha con bacterias  
Figura 14: Prueba de bacterias



## LIVING COLOURS

Este proyecto, como se mencionó anteriormente, es un proyecto de la firma holandesa Kukka. Ellos desarrollaron un protocolo de pigmentación para textiles con la bacteria *J. lividum*. Ahí se experimentó con ondas de sonido para ver su impacto en la secreción del pigmento por parte de la bacteria.

## FICHA TÉCNICA

Laura Luchtman – Kukka

2017, prototipo

**Materialidad:** *J. lividum* y textiles.

**Función:** Pigmentación de textiles sustentable.



Figura 15: Textil pigmentado

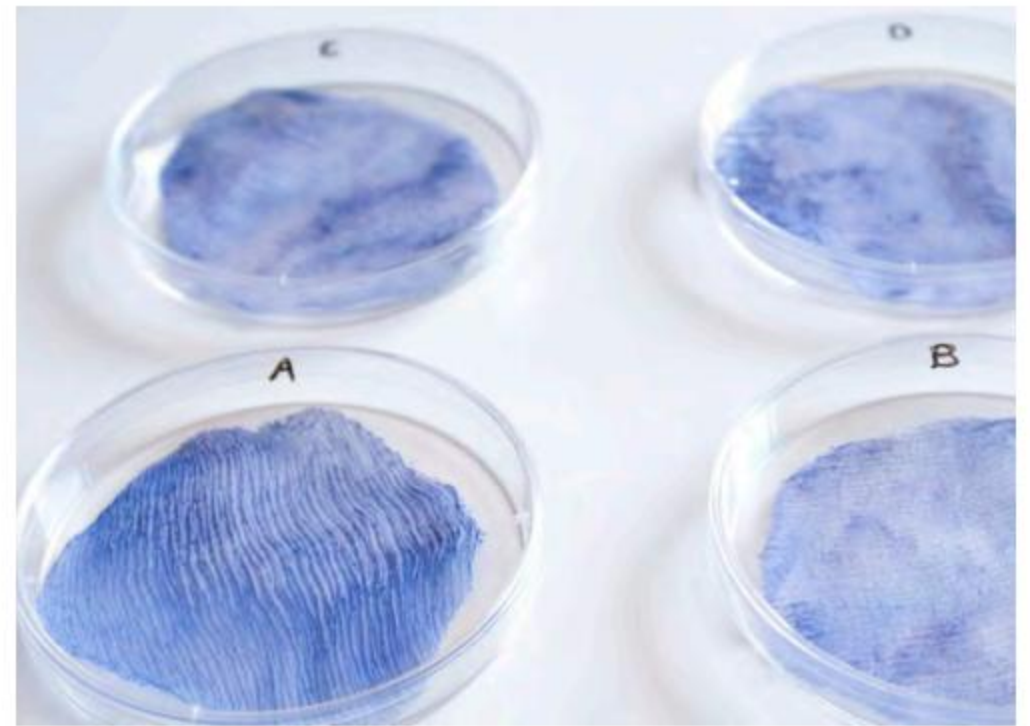
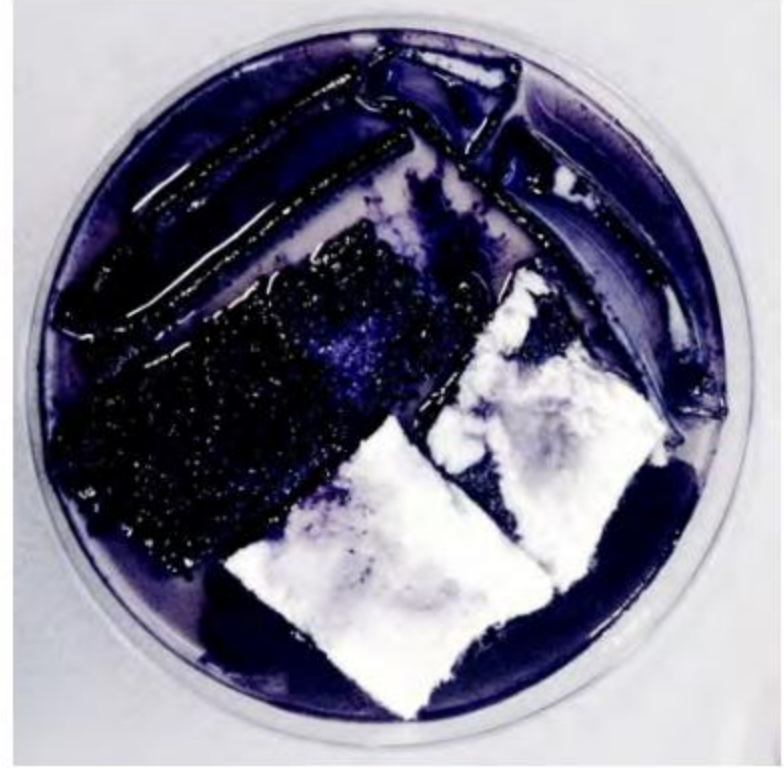


Figura 16: Textil en proceso de pigmentación

Figura 17: Pruebas de pigmentación

FABER FUTURES, EXPERIMENT NO. 5

En Faber Futures Natsai Audrey desarrolla proyectos enfocados en la investigación. En el numero 5 desarrolló un protocolo de pigmentación con actinobacterias para generar patrones en textiles. La variable de diseño fue el tiempo, dejó seda inoculada por 816 días, articulando sus condiciones para explorar resultados.

FICHA TÉCNICA

Natsai Audrey

2017, prototipo

**Materialidad:** Actinobacterias y seda.

**Función:** Pigmentación de patrones en textiles.



*Figura 18: Textil pigmentado en patrones*



*Figura 19: Seda pigmentada en patrones con bacterias*

*Figura 20: Pruebas de pigmentación*



## B. Validación

### 1. Materiales y metodos

Toda la experimentación se realizó en el laboratorio encargado de Mario Tello, de la facultad de bioquímica de la Universidad de Santiago de Chile. También se ocuparon sus equipos entre los que se incluyen tubos de centrifuga de 50 ml., placas petri, agitador de laboratorio, refrigerador, a 20°C, medios de cultivo para bacterias líquidos con nutriente (NUT) y Luria Bertani (LB), micro pipetas, matraces, autoclave, luz UV y una campana de gases. Además se utilizaron 6 tipos de papeles: bond, bond ahuesado, cartón microcorrugado, kraft, papel mantequilla y papel crepe.

#### PROCEDIMIENTO BASE PARA COMPROBAR HIPÓTESIS

Se inoculó la bacteria *J. lividum* en los tubos de 50 ml. que estaban con el medio NUT y LB al 1%, esto quiere decir que se usaban 99 ml. de medio y 1 ml. con la bacteria, para hacer esas medidas precisas se usaron las micropipetas. Luego se esperaba 24 horas de crecimiento para que la cantidad de bacterias pudiese aumentar. Ahí el papel, que había pasado por la luz UV durante 15 minutos para que quede estéril, fue sumergiendo en el medio con la bacteria para que lo pueda absorber. Esto se hizo frente a la campana del laboratorio para que no se contaminen las muestras. Se dejaban en placas petri que posteriormente eran depositadas en el refrigerador a una temperatura de 20°C y con aireación ya que la bacteria lo necesitaba para producir violaceína.

Las matraces se utilizaron para hacer la pulpa de papel, que eran papel triturado con agua, en ellas se mezcló 50% del medio NUT o LB y 50% de la pulpa que luego fueron esterilizadas en la autoclave. Una vez que se tenía el medio listo se procedió a inocular con la bacteria. Luego los matraces se dejaron por 48 horas en el agitador con 200 RPM.

Figura 21: Imagen del comienzo de la experimentación.

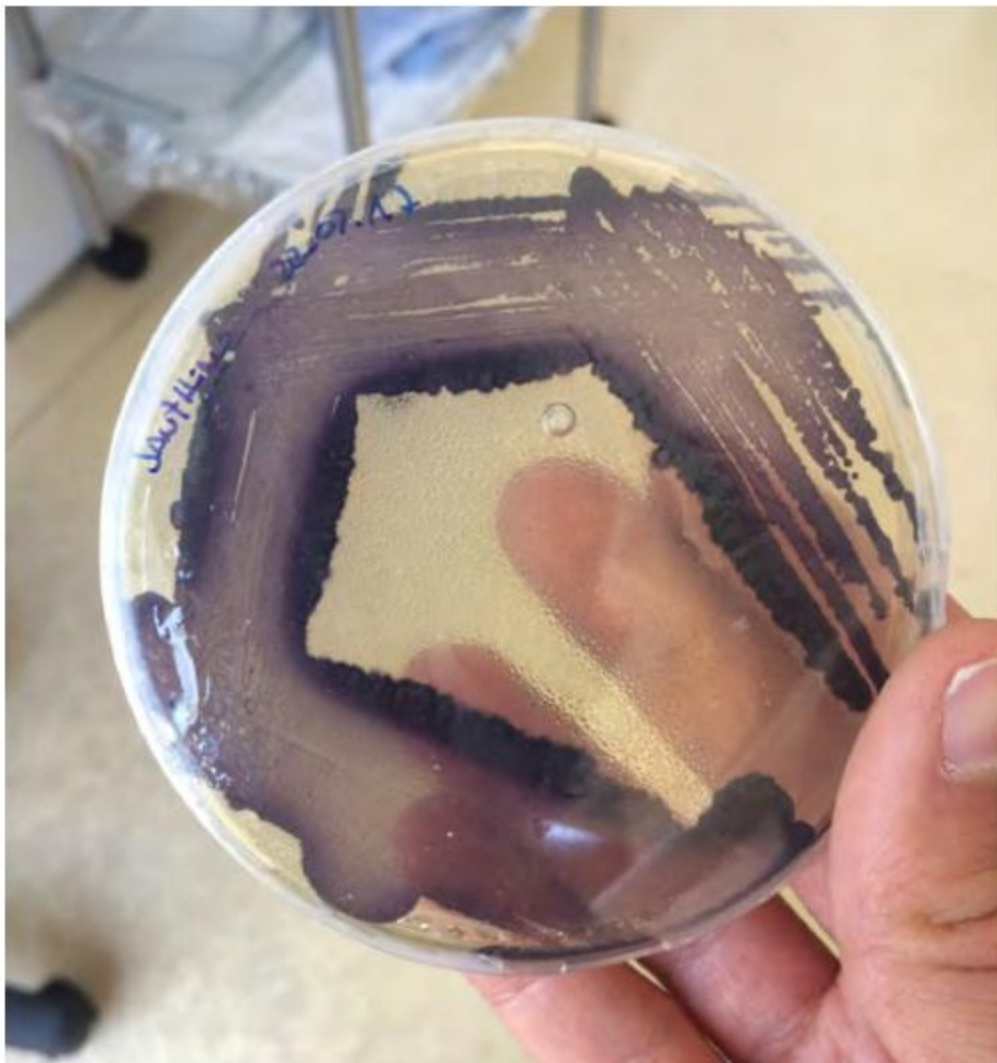


Figura 22: Placa de petri con *J. lividum*

**ETAPA 1: PRIMEROS ENCUENTROS DE LA BACTERIA CON EL PAPEL**

Acá se experimentó con la hipótesis más importante: la bacteria *J. lividum* puede liberar el pigmento en el papel y teñirlo. Acá fue donde se remojó el papel para luego dejarlo en las placas petri a una temperatura de 20°C y aireación. Dado que esta etapa estaba más enfocada a la experimentación se utilizaron 6 papeles distintos que fueron escogidos según lo que se ocupa actualmente en la industria del packaging de frutas y verduras, estos los podemos observar en cualquier supermercado o feria de abastos. Esos también fueron considerados por su bajo costo, lo cual era necesario para hacer cualquier tipo de packaging. Los que se ocuparon son: cartón micro corrugado, bond ahuesado, bond 180, papel kraft, papel crepe y papl mantequilla. Además en el estudio bibliográfico se identificaron

autores que hablaban sobre que no había una correlación entre la liberación de violaceína en los textiles con su origen productivo (si era orgánico o sintético).

Se varió con la cantidad de tiempo que se exponía el papel al medio con la bacteria, se hizo por 30 segundos y por 2 minutos. También se varió con el medio en que crecía la bacteria y su fuente de carbono, se uso NUT sin fuente de carbono, NUT con glicerol al 1% y NUT con glucosa al 1%, LB sin fuente de carbono, LB con glicerol al 1% y LB con glucosa al 1%. Luego se dejó a 20°C, con aireación y sin agitación.

	LB –	LB Glicerol	LB Glucosa	NUT –	NUT Glicerol	NUT Glucosa
micro corrugado						
bond ahuesado						
bond 180						
kraft						
papel crepe						
papel mantequilla						

2 minutos

Figura 23: Tabla con resultados después de 48 horas de inculación en papel

Los resultados fueron bastante positivos, se encontró una fuerte correlación entre el tiempo expuesto al medio con la cantidad de pigmentación observada, era necesario un tiempo de 2 minutos de exposición para observar color en las muestras de papel. También se identificó una notoria diferencia entre el medio, donde NUT era el que mejor funcionaba y los que tenían glucosa en los dos medios generaron la mayor cantidad de pigmento. Por último el papel que más se pigmentó fue el bond ahuesado, el bond blanco y el papel crepe. De todas formas todos los papeles se encontraron secos después de las 24 horas del contacto con el medio y la coloración no fue absoluta, quizás era necesaria más humedad.

	LB –	LB Glicerol	LB Glucosa	NUT –	NUT Glicerol	NUT Glucosa
micro corrugado						
bond ahuesado						
bond 180						
kraft						
papel crepe						
papel mantequilla						

30 segundos

Figura 24: Tabla con resultado después de 48 horas de inculación en papel

**ETAPA 2: EVALUANDO LA HUMEDAD DEL MEDIO Y SU IMPACTO EN LA PIGMENTACIÓN**

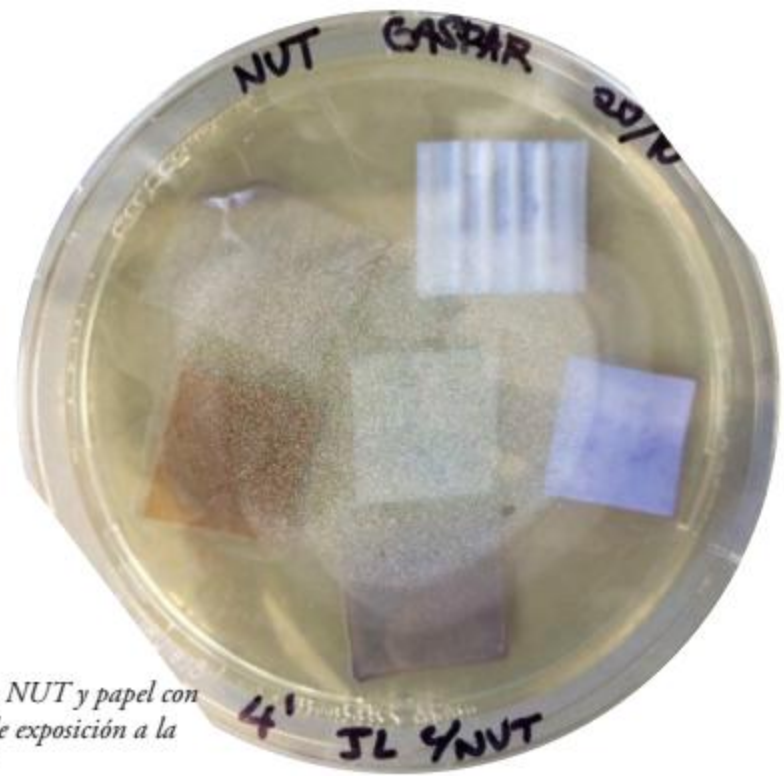
Ahora que estaba validada la hipótesis de que el papel si era un medio en que la bacteria podía liberar el pigmento se necesitaba ver como aumentar la liberación de violaceína y así llegamos a la segunda hipótesis: la humedad del medio es importante para liberar violaceína. Para verificar esta hipótesis se realizó un experimento muy parecido al de la etapa 1, pero esta vez se usó más tiempo de exposición al medio con la bacteria, ahora se hizo con 2 y 4 minutos, también se usó solo NUT pero en la placa se uso NUT y LB en forma de gelatina. Esto se dejó a 20°C y con aireación.

La cantidad de pigmentación incremento drásticamente, luego de las 24 horas ya se podía apreciar violaceína en casi todos papeles menos en el kraft. Los que tenían LB en la placa también contaban con una menor cantidad de pigmentación, mientras los que tenían NUT mostraban una pigmentación más fuerte. Ahora la cantidad de tiempo expuesto al medio con la bacteria no significó un cambio perceptible en la cantidad de pigmentación. Como no varió la cantidad de pigmentación con el factor tiempo había que preguntarse si el verdadero factor eran los minutos de exposición a la bacteria o si solo era necesario solo estar en contacto con ella en un medio más húmedo.

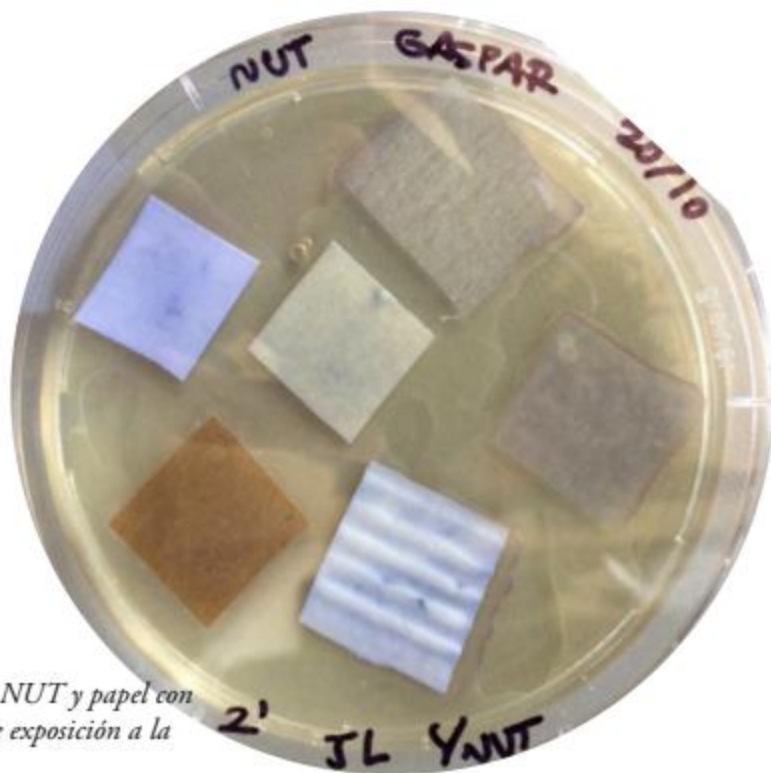
Figura 25: Resultado después de 48 horas de inculación en papel. Se conservaron en una placa de petri con distintos tipos de agar.



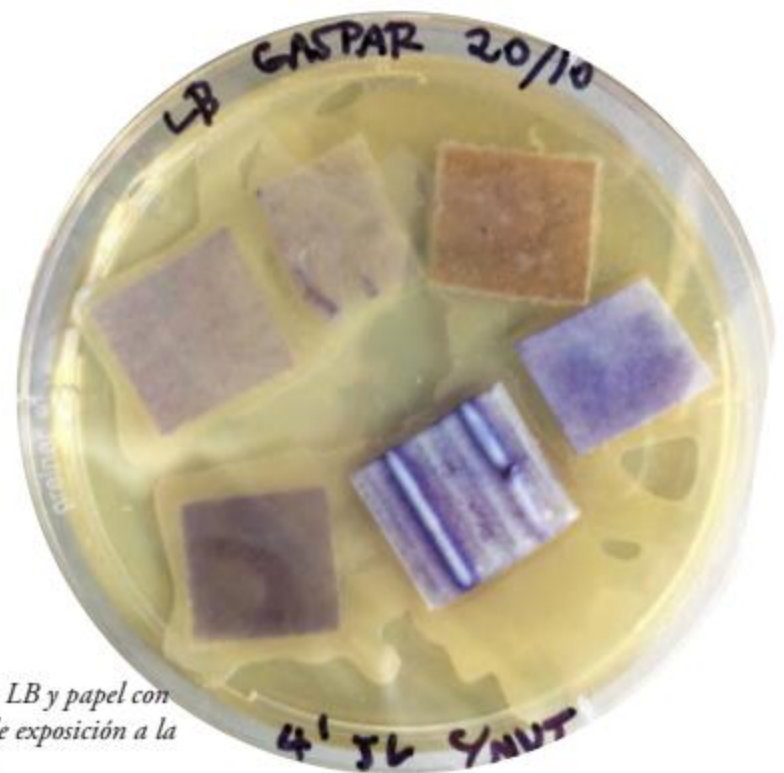
Agar con LB y papel con 2 min. de exposición a la bacteria



Agar con NUT y papel con 4 min. de exposición a la bacteria



Agar con NUT y papel con 2 min. de exposición a la bacteria



Agar con LB y papel con 4 min. de exposición a la bacteria

### ETAPA 3: IMPACTO DEL TIEMPO EN LA PIGMENTACIÓN

Si bien vimos una diferencia importante con el tiempo de exposición en la primera etapa no se pudo apreciar lo mismo en la segunda etapa, por lo que ahora la nueva hipótesis era que el tiempo no tiene un impacto sino que la humedad y el contacto con la bacteria era lo importante para la liberación de violaceína. Para comprobarlo se usó el método de césped, en el se inocula la bacteria que esta en medio liquido NUT en una placa petri con agar NUT y luego se pusieron encima los 6 papeles.

El resultado fue nula pigmentación por lo que se comprobó que un tiempo de exposición al medio con la bacteria si es un factor importante para lograr una pigmentación considerable.

Al terminar esta experimentación ya contábamos con dos hipótesis validadas, por un lado la bacteria si es capaz de liberar pigmentos en el papel y por otro lado el tiempo de exposición al medio liquido con la bacteria junto con la humedad si son factores determinantes en la liberación de violaceína.

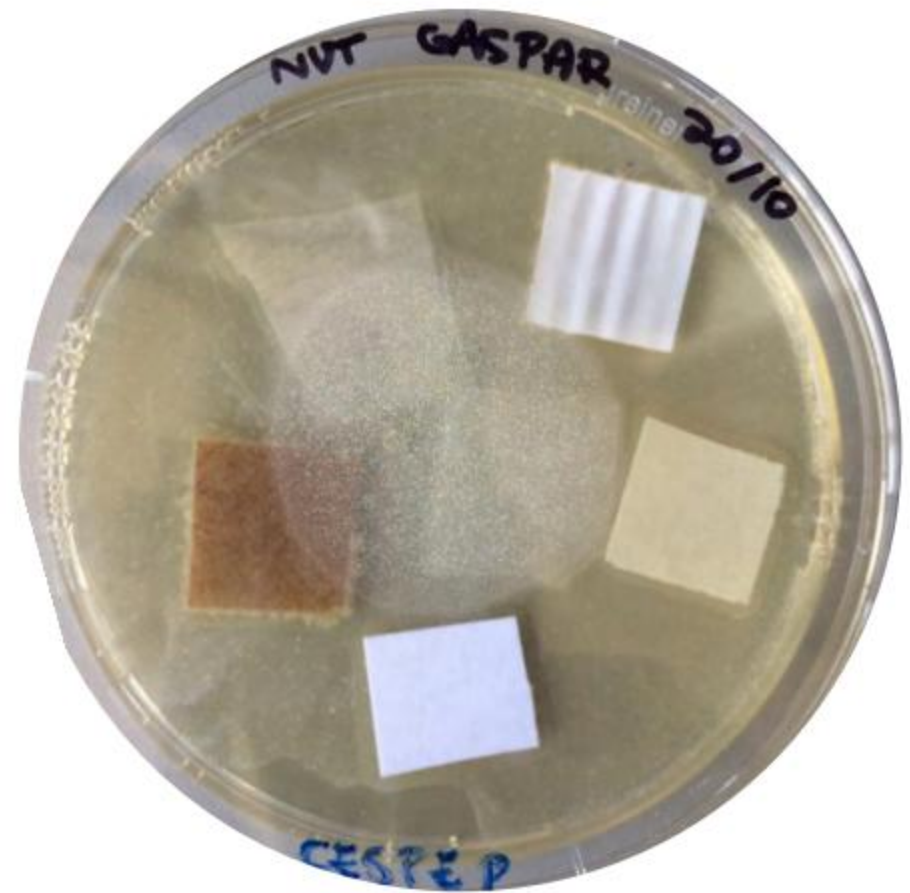


Figura 27: Resultado después de 48 horas de inoculación con método de césped.

### ETAPA 4: PULPA 1

Dado que la mejor forma de que la bacteria liberara la violaceína en el papel era con humedad y un contacto prolongado al medio se decidió hacer pulpa de papel, donde la hipótesis era que la pulpa de papel se podía inocular con la bacteria para que liberara el pigmento. Para esto se usó el papel bond ahuesado y el papel crepe, ambos los que mejor funcionaron con las primeras etapas de experimentación. Luego se hizo una mezcla en una matraz de 50% la pulpa y 50% el medio NUT, y otro con medio LB. Se dejaron ambos sin agitación a 20°C.

El resultado no fue muy exitoso, se liberó violaceína pero solo en la superficie de la mezcla en forma de biofilm, ósea no se estaba pigmentando todo el papel, sino que solo lo que estaba en la superficie. Esto significó que algo estaba fallando ya que la bacteria si sobrevivió en el medio pero solo pigmentó lo que estaba en contacto con el aire.



Figura 28: Resultado después de 48 horas de inoculación en pulpa de papel crepe con medio LB, sin agitación y a 20°C.



Figura 29: Resultado después de 48 horas de inoculación en pulpa de papel bond con medio NUT, sin agitación y a 20°C.

## ETAPA 5: PULPA 2 Y SECADO

Cuando se analizaron los resultados anteriores se llegó a una nueva hipótesis: es necesario movimiento para una liberación uniforme en toda la pulpa. Por esto fue que replicamos el experimento pasado pero con un shaker a 200 RPM a 20°C. Luego de 48 horas habían resultados positivos, se podía apreciar un fuerte color en la pulpa, se hizo mas intenso a las 72 horas. Funcionó para ambos tipos de papel con ambos medios.

El último paso era el secado, que era importante para ver qué tan adherido estaba la violaceína al papel. Para el secado se usó un plástico donde se aplicó la pulpa mojada, se presiono con un retazo de textil para sacar el exceso de agua. Luego se dejó secando a temperatura ambiente por 24 horas. La pulpa secada mostraba aún un color intenso por lo que la violaceína seguía ahí.



Figura 30: Resultado después de 48 horas de inculación en pulpa de papel crepe y bond con medio NUT



Figura 31: Resultado después de 96 horas de inculación.



Figura 32: Resultado después de 96 horas de inculación.



Figura 33: Proceso de secado



## ETAPA 6: VALIDACIÓN DE PROPIEDADES ANTIMICÓTICAS

Esta es la última validación que actualmente se sigue realizando. La hipótesis era que el packaging al estar pigmentado con violaceína tendría sus propiedades antimicóticas. Para esto se construyó un packaging de prueba y uno de control sin el pigmento, de dejó una pera en cada uno y se dejaron a temperatura ambiente. Este proceso lleva 48 horas por lo que aún falta tiempo para poder validar o rechazar la hipótesis.



*Figura 34: Moldaje de packaging de prueba*



*Figura 35: Pera con packaging de VioPulpa para validación de propiedades antimicóticas*

## C. Proyecto

### CARACTERIZACIÓN DEL BIOMATERIAL: VIOPULPA

El material que fue desarrollado se puede identificar como pulpa de papel con violaceína: VioPulpa. El papel que se termino por usar en la pulpa es bond ahuesado, en su estado crudo cuenta con un color beige, no blanco, por eso su apellido "ahuesado". El papel esta hecho de madera a la cual se le extrae la celulosa con un acido, luego el resultado de eso se blanquea con oxigeno y peróxido para terminar en una pulpa blanca que se puede prensar para hacer el papel bond, la versión ahuesada del bond cuenta con un menor proceso de blanqueamiento.

Una vez que se tiene la pulpa en su estado líquido se mezcla con el medio NUT y se inocula con la bacteria. Esto es de gran importancia, pues el material resultante contiene la pulpa de papel con residuos del medio de la bacteria, que son fuentes de carbono como extracto de carne y extracto de levadura. Además el nuevo material contiene a la misma bacteria muerta, que después de su secado y fin de su fuente de carbono terminar por expirar. Y lo más importante: contiene violaceína, el pigmento que le da el color morado, este pigmento es también lo que le podría dar la propiedad de ser antimicótico, esto significa que el material impediría el crecimiento de hongos como la *B. cinerea* que generalmente lleva a las frutas a su descomposición.

Las características físicas del material son muy parecidas a la de la pulpa de papel que conocemos de las cajas de huevo. Eso significa que en un formato planimétrico tiene propiedades flexibles, pero es duro ya que es difícil de romper o separar.



Figura 36: VioPulpa seca

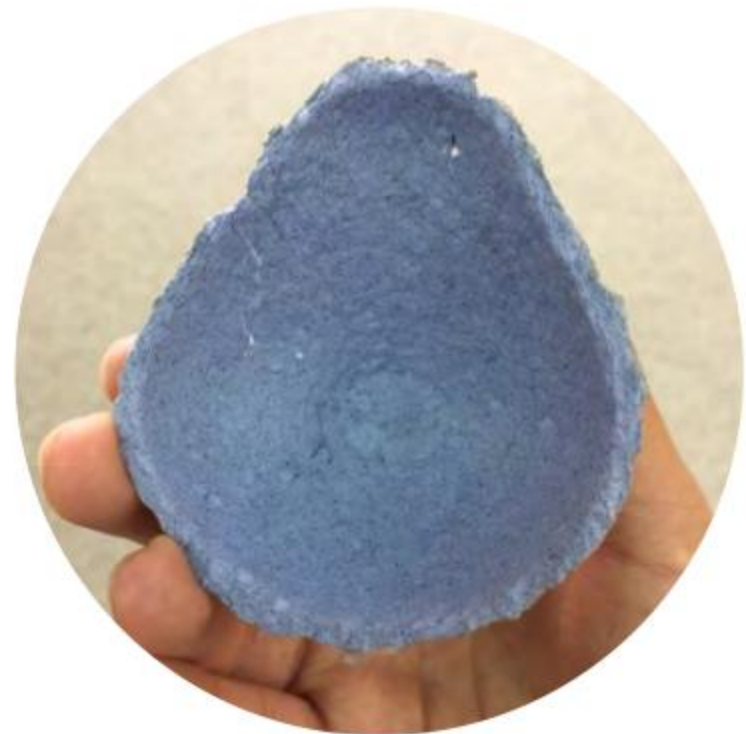
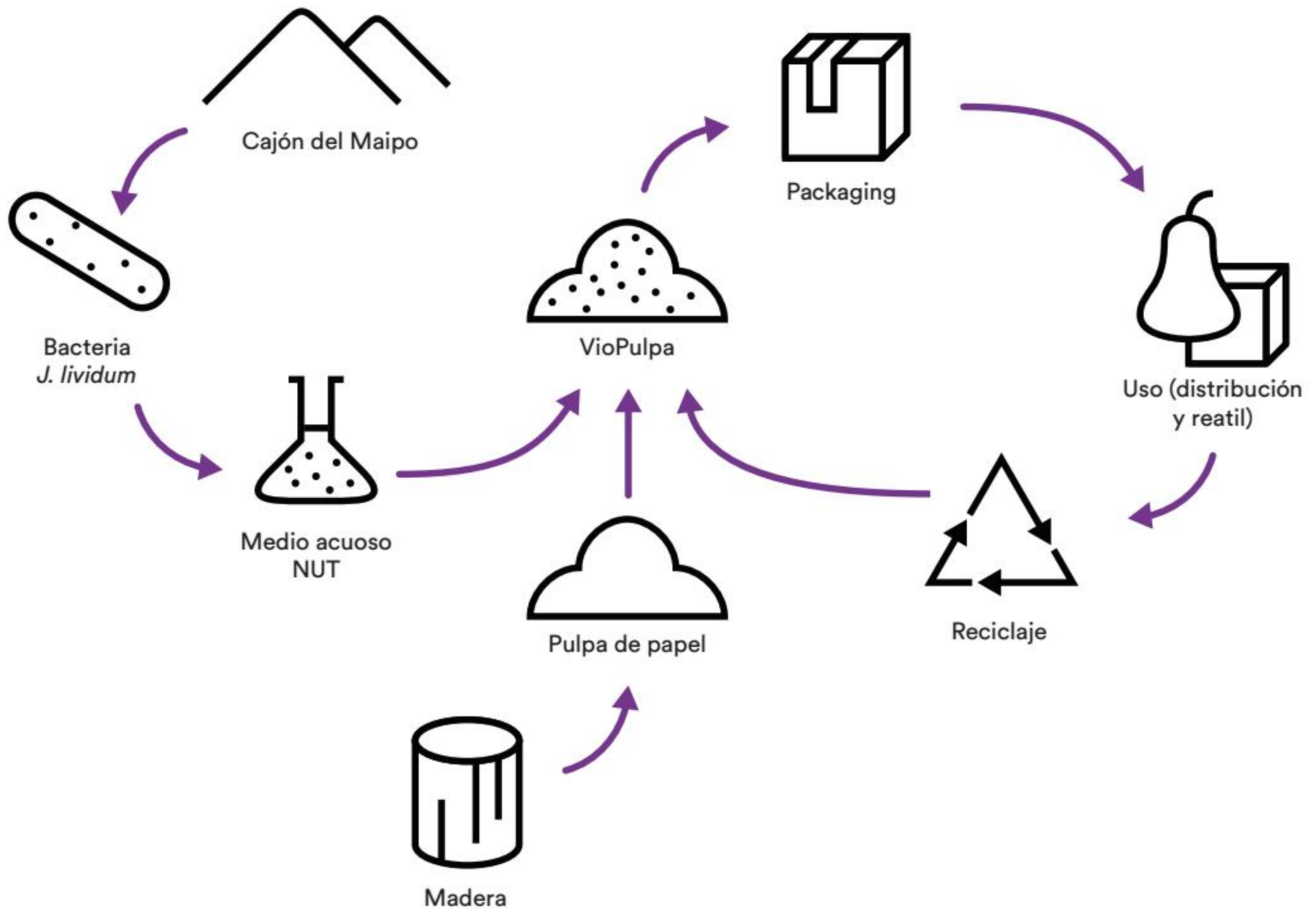


Figura 38: VioPulpa seca



**CUANTIFICACIÓN DE FORMA Y ESCALA**

Dado que el material desarrollado podría tener propiedades antimicóticas, se decidió usarlo para el transporte de frutas y verduras, para combatir el hongo *B. cinerea* que se presenta frecuentemente dados cambios de temperatura y golpes a la fruta. Además se decidió trabajar con la pera, pues es una de las frutas que más se exporta y se caracteriza por ser bastante sensible al hongo anteriormente mencionado.

Otro factor importante fue el ámbito de intervención, el alcance que puede tener este material se enfoca en la distribución de la fruta, donde actualmente se desperdicia un 7.1%.

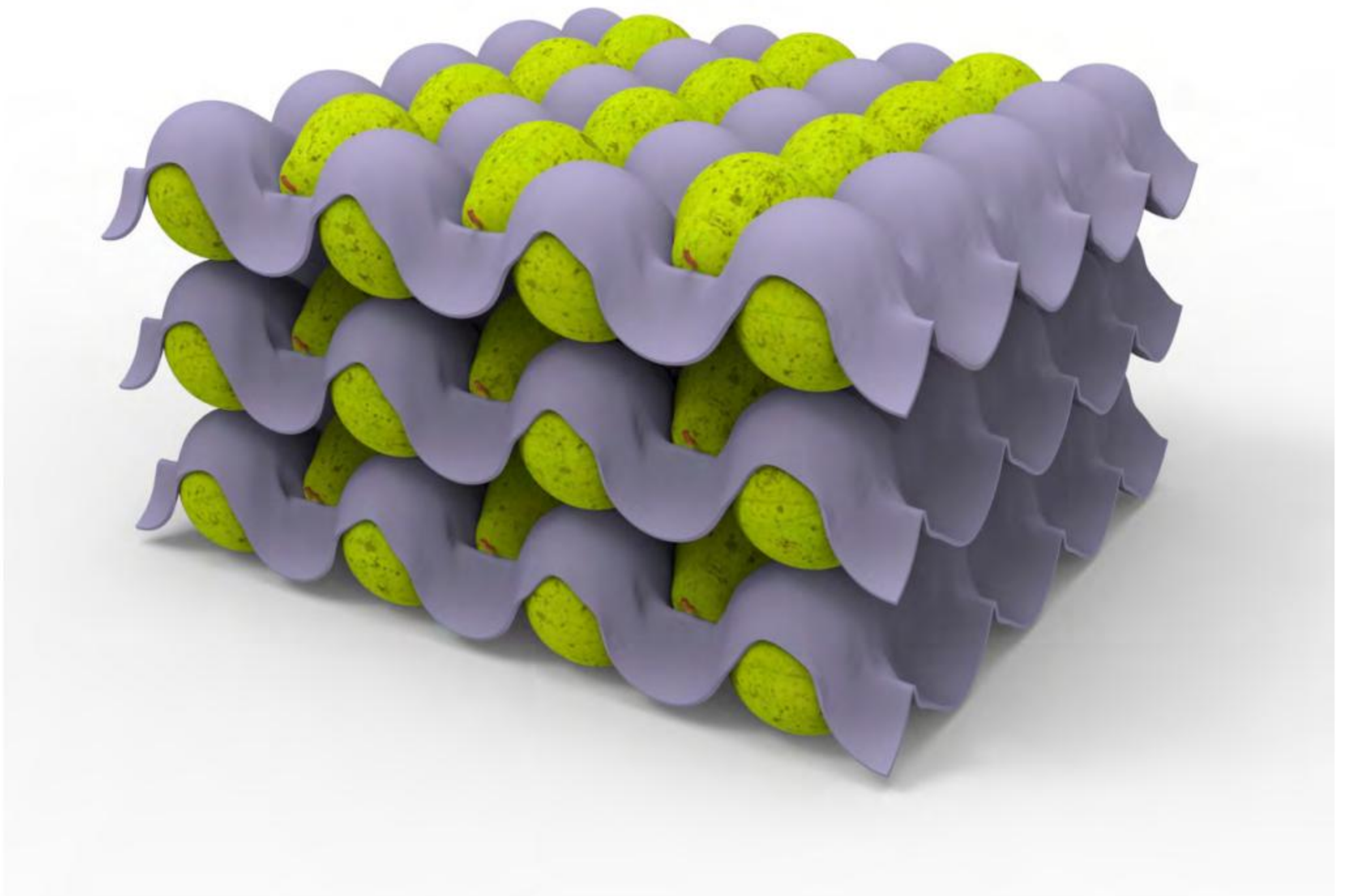
La propuesta conceptual para la distribución se fundamenta en la maximización de espacio y en el hecho que se empaqueten frutas del mismo tipo juntas, esto se ve en la apilabilidad de las bandejas y en la forma en que está pensada para el mismo tipo de fruta.

**PRESENTACIÓN DE PROYECTO FINAL**

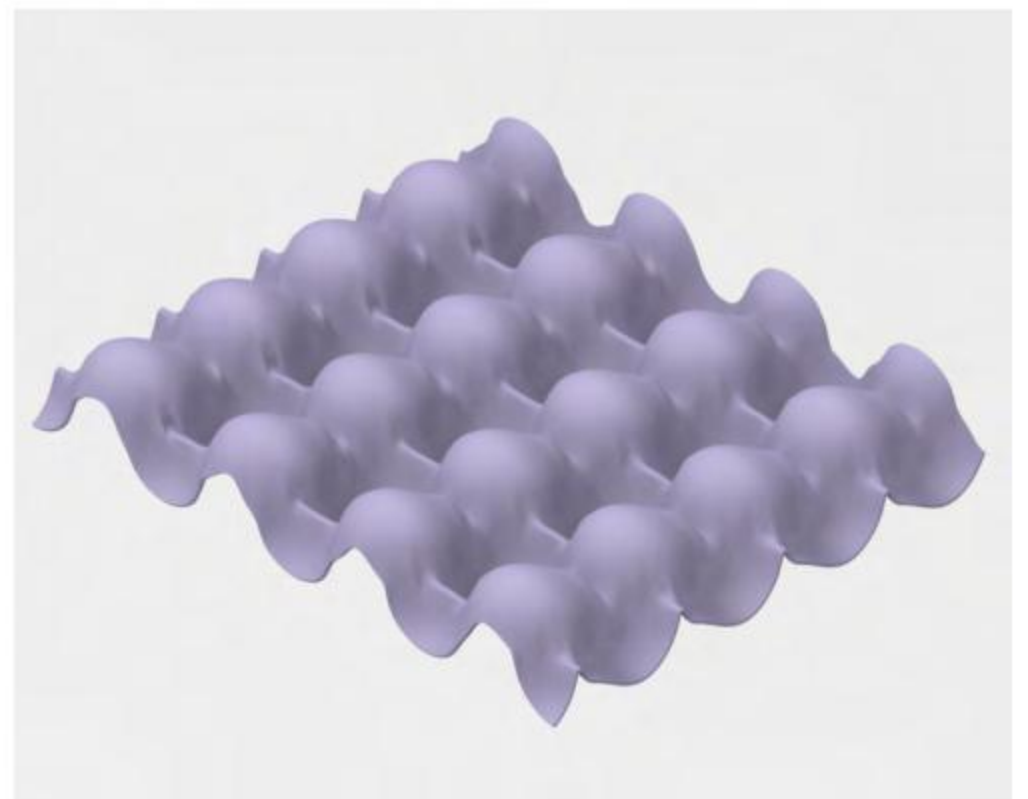
PLANCHA PARA TRANSPORTE

La plancha está diseñada para que pueda soportar la mayor cantidad posible de peras, para esto se hizo una teselación de la pera en que se aprovecho su forma "triangular". Las medidas de las circunferencias están pensadas para que quepa la pera común, que no es la más chica, ni la más grande pero claramente se podría variar en tamaño para que quepan más. Además la teselación está pensada para que ninguna de las peras tenga contacto con la otra, de esta forma se minimiza la posibilidad de contagio u emisión de gases tóxicos. Por último, el packaging cubre la mitad de la pera pero también tiene contacto en la otra mitad para maximizar el material de VioPulpa y la área de superficie en contacto.

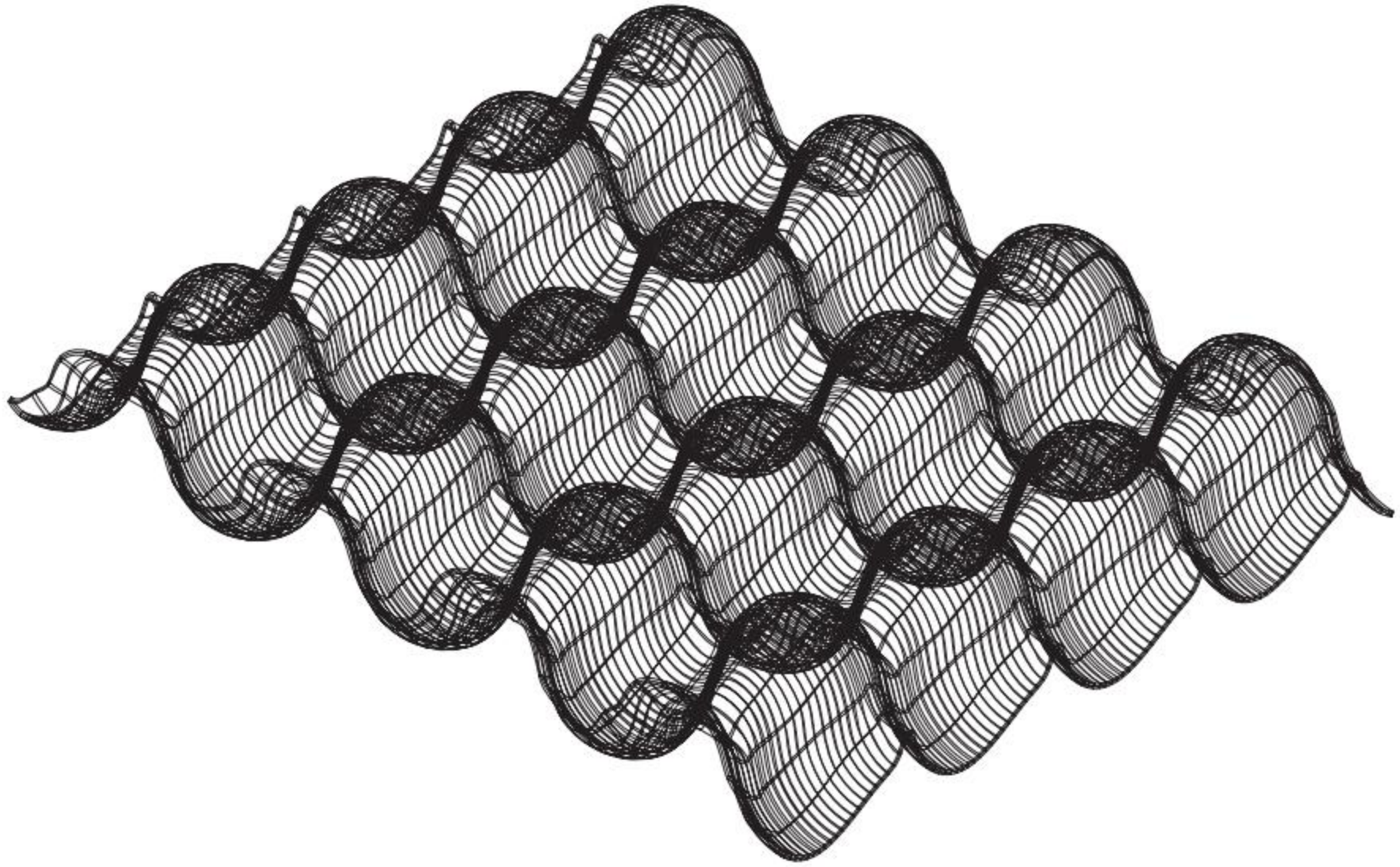
*Figura 39: Render de perspectiva del uso de planchas de VioPulpa*



*Figura 40: Render isometrica de plancha de VioPulpa*



*Figura 41: Isometrica  
de plancha*



*Figura 42: Modulo tesclado*

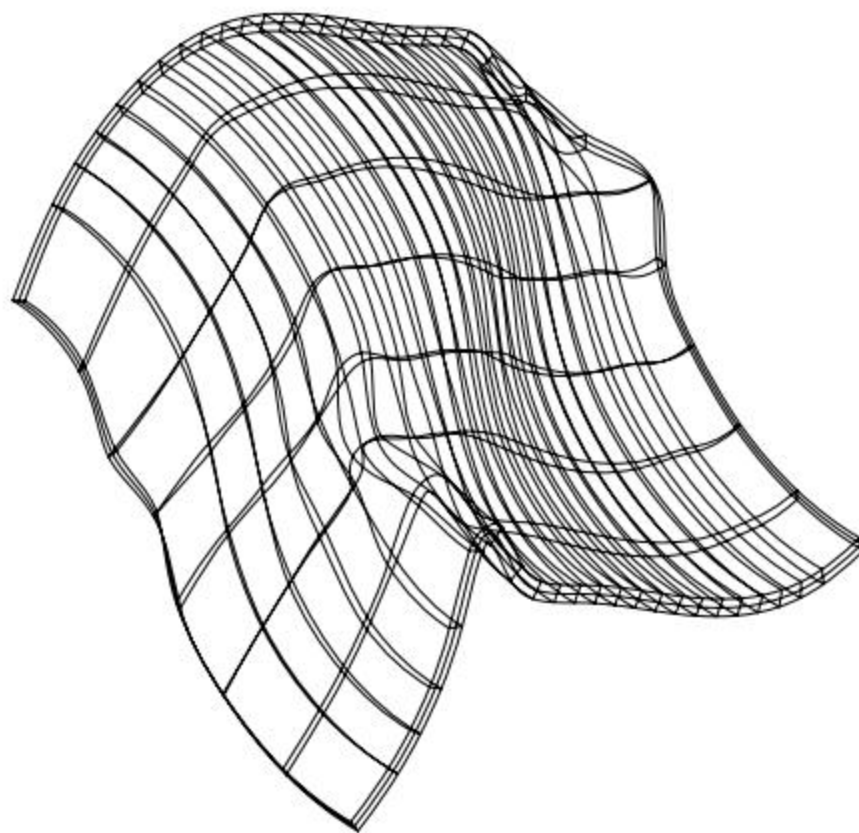


Figura 43: Cortes laterales

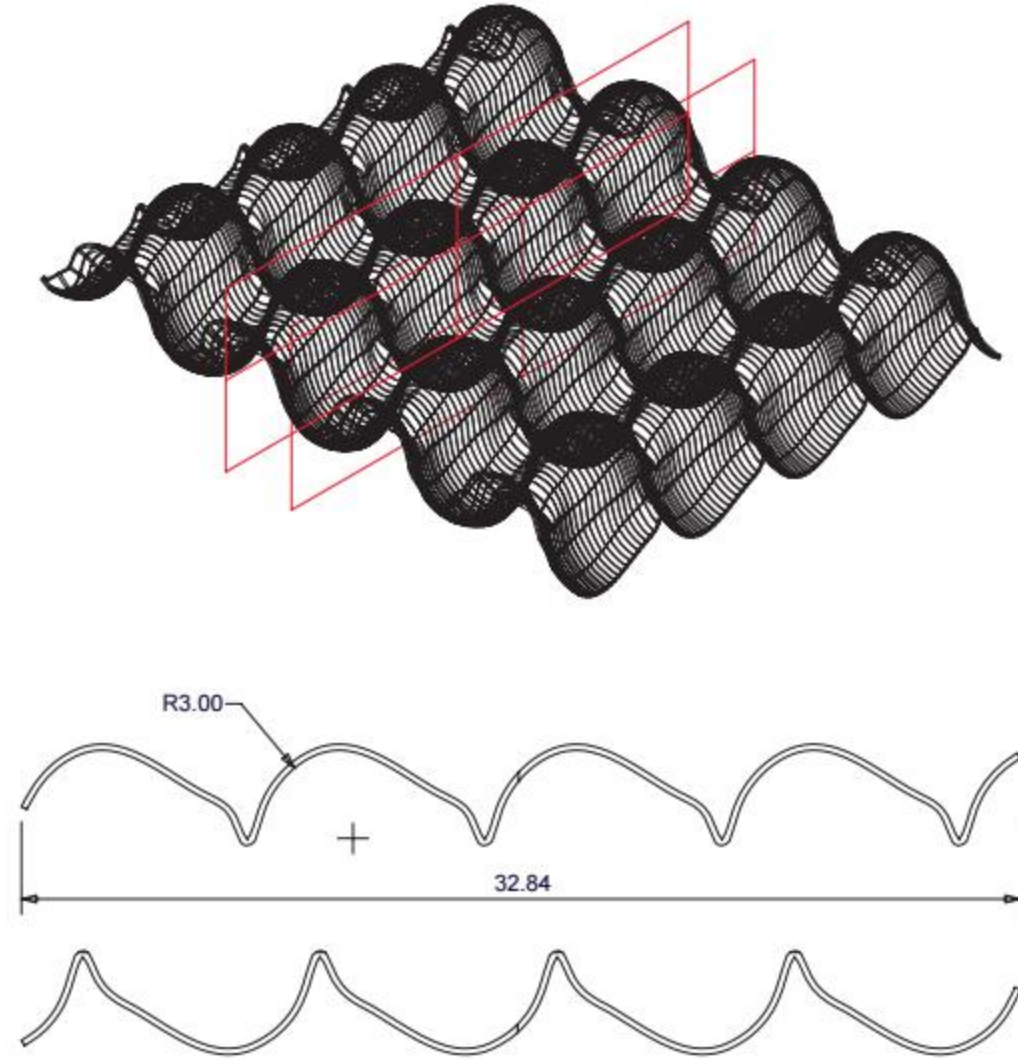
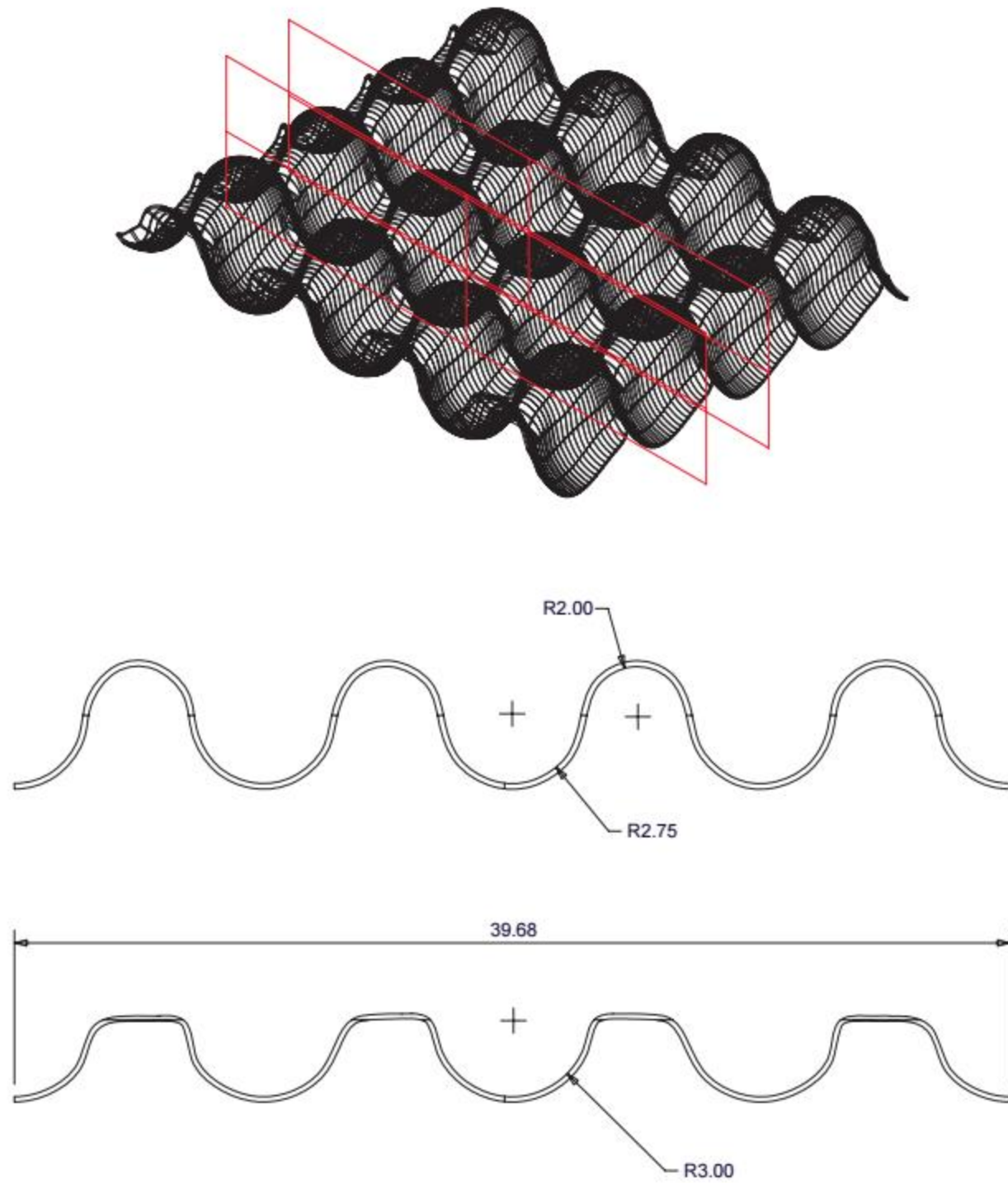


Figura 44: Cortes frontales



## CONCLUSIONES

Durante el proceso de investigación se fueron comprobando una serie de hipótesis que se tenían. Primero se comenzó analizando la forma en que la bacteria se puede integrar al papel a nivel molecular para que desde ahí se produjera la pigmentación, esto fue exitoso por lo que se empezaron a identificar variables para potenciar la liberación, siendo las más importantes la humedad, el tiempo de exposición del papel al medio líquido con la bacteria y el medio en que se encontraba la bacteria.

Posteriormente se siguió experimentando para determinar de qué forma se deben articular las condiciones de la bacteria para que se potencie la liberación del pigmento en el mismo papel. Así se determinaron formas o factores para programar el comportamiento de la bacteria. Se pudo validar que era necesaria una cantidad de humedad constante para que la bacteria pudiese liberar de forma eficiente el pigmento y que el medio ideal para que liberara un alto contenido de violaceína era NUT. Luego se apreció que el tiempo de exposición del papel al medio con la bacteria era clave para que se maximizara su adhesión a esta. Por lo mismo, al reconocer todo lo descubierto durante la etapa de experimentación, se decidió hacer pulpa de papel, ese formato cuenta con un alto nivel de humedad dado que el papel se encuentra sumergido en agua, además permite un contacto prolongado con el medio y la bacteria, y se puede dejar en ese estado por largos periodos de tiempo sin que se deteriore el papel, pues es parte del proceso de la pulpa. De esta forma llegamos al VioPulpa, que sería pulpa de papel pigmentado con violaceína.

En consecuencia esta investigación significa un avance a la disciplina de la bio fabricación, ya que identifica protocolos claros para el desarrollo de un bio material que presenta características estéticas especiales por su pigmentación, sin un impacto ambiental negativo y con propiedades que mejora al la existente pulpa de papel que todos conocemos en las cajas de huevo. Respecto a lo anterior también es importante notar que protocolos de pigmentación con *J. lividum* ya existían, pero en textiles, siendo ese el mayor referente y un claro indicador de un avance por sobre el estado del arte.

El nuevo material, VioPulpa, gracias a su pigmentación con violaceína, podría contar con propiedades antimicóticas. Esto abre muchas posibilidades de aplicación, en este caso se conceptualizó su uso en la industria del packaging de alimentos, en específico de frutas y verduras. Ese uso es de especial interés dada la problemática a nivel mundial de hambruna, pérdida de fruta y acumulación de esas pérdidas en vertederos que potencian la liberación de gases invernaderos. Además ahorra la actual pigmentación artificial que se hace en la pulpa de papel con fines mercadotécnicos, teniendo otro impacto positivo para el medio ambiente.

Para finalizar, vale la pena destacar que esta investigación, al tener diversas posibilidades de aplicación, abre muchas posibilidades para variaciones o otros ámbitos de impacto ya que el pigmento cuenta con una serie de otras propiedades que también se podrían explotar de diversas formas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, W. A., Ahmad, W. Y. W., Zakaria, Z. A., & Yusof, N. Z. (2012). Application of bacterial pigments as colorant. In *Application of Bacterial Pigments as Colorant* (pp. 57-74). Springer Berlin Heidelberg.
- Donmez, M. F., Esitken, A., Yildiz, H., & Ercisli, S. (2011). Biocontrol of *Botrytis cinerea* on strawberry fruit by plant growth promoting bacteria. *J. Anim. Plant Sci*, 21(4), 758-763.
- Duran, M., Ponezi, A. N., Faljoni-Alario, A., Teixeira, M. F., Justo, G. Z., & Duran, N. (2012). Potential applications of violacein: a microbial pigment. *Medicinal Chemistry Research*, 21(7), 1524-1532.
- [Discovery and Science Channel's]. (2012). How It's Made Inorganic Pigments episode [Archivo de video]. Extraído desde: <https://www.youtube.com/watch?v=Fypi6dAJB8E>
- Environment Canada. (2013). Technical document on municipal solid waste organics processing.
- European Ink Association. (2013). Environmental impact of printing inks.
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF (2017). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria. Roma, FAO.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste (pp. 1-38). Rome: FAO.
- Kimmel, K. E., & Maier, S. (1969). Effect of cultural conditions on the synthesis of violacein in mesophilic and psychrophilic strains of *Chromobacterium*. *Canadian journal of microbiology*, 15(1), 111-116.
- Luchtman L., Siebenhaar I. (2017). *Living Colour*. Kukka.
- Myers, W. (2012). *Bio design*. Museum of Modern Art.
- OEC (2017). Where does Chile export Manzanas y Peras to? Extraído desde: [https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree\\_map/hs92/export/chl/show/0808/2016/](https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/export/chl/show/0808/2016/)
- ONU (2017). *The Sustainable Development Goals Report*. Roma, FAO.
- ODEPA. Volúmenes de frutas y hortalizas arribados en mercados mayoristas del país (informe por producto). Desde: <http://www.odepa.gob.cl/volumenes-de-frutas-y-hortalizas-arribados-en-mercados-mayoristas-del-pais-informe-por-producto/>
- ODEPA. EXPORTACIONES DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS (FUENTE SAG). Desde: [http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2017/10/Tabla-1\\_Exportaciones-anuales.xlsx](http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2017/10/Tabla-1_Exportaciones-anuales.xlsx)
- Tabor-Godwin J. Stuart R. León R. y Rajakuberan C. (2009). *Small Things Considered*.
- UK P&I Club. (2006). *Carefully to carry: Fresh fruits and vegetables* (pp. 1-7).
- Valdes, N., Soto, P., Cottet, L., Alarcon, P., Gonzalez, A., Castillo, A., ... & Tello, M. (2015). Draft genome sequence of *Janthinobacterium lividum* strain MTR reveals its mechanism of capnophilic behavior. *Standards in genomic sciences*, 10(1), 110.
- Wagner C. (2012). *Printing inks in food contact materials*. Food Packaing Forum.
- Wang, H., Wang, F., Zhu, X., Yan, Y., Yu, X., Jiang, P., & Xing, X. H. (2012). Biosynthesis and characterization of violacein, deoxyviolacein and oxyviolacein in heterologous host, and their antimicrobial activities. *Biochemical engineering journal*, 67, 148-155.
- Welfare P. (2010). *How Ink is made*. Printing Ink Company.
- Xiao, C. L. (2006). Postharvest fruit rots in d'Anjou pears caused by *Botrytis cinerea*, *Potrebniomyces pyri*, and *Sphaeropsis pyriputrescens*. Online. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2006-0905-01-DG.

## ÍNDICE DE IMÁGENES

- Fig. 1: Mephisto SPA. (2012).
- Fig. 2: [Discovery and Science Channel's]. (2012).
- Fig. 3: Op Corma. (2013). *Packaging de pera*.
- Fig. 4-5: Xiao, C. L. (2006).
- Fig. 6: FAO. (2011).
- Fig. 7: Luchtman L. (2017). *Living Colours*.
- Fig. 8: Ahmad, W. A. (2012).
- Fig. 9-11: Cartwright M. (2016).
- Fig. 12-14: van Abbema J. (2009).
- Fig. 15-17: Luchtman L. (2017). *Living Colours*.
- Fig. 18-20: Chieza N. (2017).
- Fig. 21-44: Elaboración propia



Taller: Biofabricación

## Tratamiento del olor de la Kombucha a partir del manejo de pH para su utilización como biotextil

Alumna: Dánae Medina



Fig.1: Muestra de Kombucha

### Palabras clave:

Kombucha, pH, aromas, experiencia, industria textil.

### Abstract:

En este proyecto se analizó la industria textil como una de las industrias más contaminantes para el medio ambiente, debido a esto se estudió dos fenómenos ligados a ella, estos son el Fast Fashion y el Slow Fashion, estos muestran dos caras de la industria. Debido a esto se estudió la posibilidad de un nuevo material biotextil, que sea biodegradable, asimismo se indagó sobre la Kombucha, ya que mostraba características potentes para generar este biotextil. A base de esto conocieron sus características, enfocándose en una de ellas que contenía un vacío de información, esta fue el olor que produce, ya que era un factor negativo para el uso de este material, por esto se experimentó, el por qué se generaba este factor y como resolverlo.

## A. Formulación

### 1. Contexto

#### 1.1 Industria Textil:

En los últimos años la Industria textil ha producido más 88,5 millones de toneladas por año, convirtiéndose en las industrias de mayor envergadura a nivel mundial en cuanto a fabricación. Recientemente, la participación de los países en desarrollo alcanzó el 58,6% del mercado global de contenido textil; Se espera que aumente a fin de satisfacer la demanda creciente (Research and Markets 2011; UNCTAD 2015). Debido a la alta demanda y a las lógicas productivas con las que enfrenta, esta se ha convertido en la tercera actividad más contaminante del mundo, generando impactos en las diversas etapas de su proceso, como por ejemplo a nivel extractivo (tanto en telas naturales como sintéticas), a nivel de teñido, lavado, y por último en desecho.



Fig. 2: Indonesia,

#### 1.1 Fast Fashion:

A finales de los años 90, aparece una nueva tendencia, llamada Fast Fashion o moda rápida, esta se fue implementada en el mercado por reconocidas marcas tales; Zara, H&M, TopShop y Forever 21. Esta tendencia tenía como finalidad que todo el público tuviera acceso a una prenda de pasarela a un menor precio. Para lograr este objetivo la industria utilizó una estrategia productiva sustentada en dos pilares: por un lado, establecer trabajos de bajos costos en países tercermundistas y por otro crear prendas de materiales derivados del petróleo. Por lo tanto, dichas actividades han producido diversos impactos negativos en la biosfera; uno de ellos es el aumento de desechos textiles, los que además no logran biodegradarse en el ambiente. (López, 2012).



Fig. 3.

#### 1.2 Slow Fashion:

En el año 2007, Kate Fletcher acuña el término Slow Fashion, logrando un nuevo entendimiento en el mundo de la textilería. Sus principales características recaen; en la conciencia del uso del material, la reutilización de prendas, comercio justo y la creación de nuevos materiales biodegradables. Este último aspecto podemos encontrar el desarrollo de materiales a partir de organismos biológicos como hongos y bacterias. En realidad el cultivo y procesamiento de fibra natural también tiene un gran impacto para el medio ambiente. Al cultivar 1 kg de algodón, por ejemplo, consume hasta 8000 litros de agua (un promedio estimado en toda la cosecha mundial de algodón). En comparación a la producción de 1 kg de poliéster utiliza poca o nada de agua. La fabricación de poliéster, sin embargo, consume el doble de la energía necesaria para producir la misma cantidad de algodón. Estos son los principales desafíos de sostenibilidad en la producción de fibra para diferentes materiales. (Fletcher, 2008). Por esto es importante que los materiales tengan una estrategia de producción y un ciclo de vida determinado que no afecte a gran impacto al medio ambiente.

Dentro de dicho contexto constatamos el trabajo con biotextiles de la diseñadora Suzanne Lee, quien trabaja con kombucha -una simbiosis entre bacterias y levaduras que viven en el té- creando prendas y accesorios. Lee definió el concepto de “cultivar tu ropa en casa”, una prenda sin residuos tóxicos, con baja huella de carbono, disminuyendo la cantidad de agua en el proceso y generando la posibilidad de una economía distribuida. Se cultiva sólo lo necesario. No hay desperdicios. Debido a esto se podría hacer todo con desechos; por ejemplo con desechos de azúcar de una planta de procesamiento de alimentos. Y al final, una vez usados, se podría biodegradar naturalmente junto con las cáscaras de vegetales. (Lee, 2011).



Fig. 4. Prendas a base de Kombucha - Suzanne Lee.

Respecto al material de Kombucha, esta proviene del Asia del Este y se usaba como un producto medicinal. Aproximadamente hace 2.200 años se dice que en China lo utilizaron para llegar a la inmortalidad. El consumo del té fermentado se descubrió por primera vez en Manchuria, 220 años a.C., luego se extendió a Rusia, Alemania (durante la segunda guerra mundial) y finalmente a Francia, donde su consumo se volvió muy popular, al igual que en Estados Unidos. (Morales, 2014).

El crecimiento de la kombucha, es un proceso de crecimiento en un lapso de ocho a catorce días dependiendo de las condiciones ambientales, alcanzando un grosor de siete a doce milímetros. Cuando el té presenta un sabor ligeramente a espumante, es el momento de cosecharlo, ya que si sigue fermentando se acidificará, y se avinagrará. Su sobre fermentación (más de catorce días) provocará que el azúcar disminuya, aumentando la concentración de alcohol. El té ya fermentado, se guarda en el refrigerador con el objeto de inhibir el crecimiento bacteriano, dándole un aspecto estético apelativo al consumidor. (Stevens, N. 2003).

Los usos como material contienen varias características favorables:

1. Fácil de cultivar.
2. Uso en estado húmedo y se puede secar, quedando una superficie flexible.
3. flexibilidad.
4. Adaptación al espacio de crecimiento.
5. Diferentes tipos de espesor.
6. Variación en sus uniones, puede ser cosida, por otra parte logra unirse por sí misma en su estado húmedo.
7. Se puede teñir.

Al mismo tiempo este biomaterial contiene algunas complejidades al ser usado, estos son:

1. No es impermeable, al mojarse vuelve a su estado natural, absorbiendo la humedad o líquidos, volviendo a hincharse.
2. Contiene problemas con el roce en el cuerpo, quebrándose o rompiéndose.
3. Al ser una simbiosis, esta genera una fermentación para crecer, botando ácido acético generando un olor a vinagre. Este no logra irse, hasta al secarlo.

## 2. Relevancia

Las empresas que se rigen bajo el modelo Fast Fashion han generado grandes cantidades de prendas que se convierten en desechos, ocasionando que la industria textil provoque problemas medio ambientales.

Si bien se han creado diversas campañas que fomentan la reutilización de las telas y prendas, estas no han sido suficientes para disminuir las problemáticas ambientales. Ya que, el problema subsiste en la materialidad de por sí, existe por lo tanto una oportunidad de crear un nuevo material biodegradable a partir de organismos vivos. Dicha medida contribuiría a disminuir las tasas de contaminación por las empresas textiles, estos materiales no buscan reemplazar los anteriores si no que ser parte de una opción. Como estos materiales siguen en periodo de creación contienen vacíos de información, como la Kombucha crece generando una fermentación que esta produce el ácido acético generando un olor penetrante derivado a los olores del vinagre. Este factor es sumamente importante de modificar para el medio a que se dirige, la indumentaria, para que este logre ser un material más atractivo para el usuario debe ser estudiado para lograr quitarle o disminuirle su olor.

## 3. Observaciones preliminares

Esta investigación comenzó debido a una inquietud personal por el medio ambiente, juntándose con un área del diseño que me satisface mucho el área, al trabajar en este espacio encontré su lado negativo, la cantidad de contaminación y desechos que genera. Sentía que este proceso no podía seguir siendo así. Por esto comencé a estudiar diferentes organismos vivos que generaran un material cercano a una superficie flexible como un textil. Debido a esto encontré a la Kombucha y al trabajo realizado por Suzanne Lee, al analizar el material y las características que contiene, me di cuenta que había un factor que causaba rechazo a él, su olor, ya al ser un biofilm con textura gelatinoso produce rechazo, al tener cercanía con el olor más aun, era una gran problemática este vacío de cómo tratar este factor. Por esto comencé a investigar, ya que sentía que más allá de su olor, era un potente material para la indumentaria o más productos.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Olores y experiencia en la indumentaria:

En la sociedad la intolerancia de la nariz a ciertos olores ha tenido efectos serios y duraderos en el estatus del olfato en nuestra sociedad. Se marca bastante

una decadencia ética, moral y mental este es un sello para diferentes cosas. (Siseel Tolaas, 2009). En la indumentaria el cómo nos vemos o cómo nos sentimos es un factor que es relevante, Por esto mismo es sumamente importante nuestro olor corporal como en nuestra vestimenta, el olor en un factor que influye en nuestra comodidad propia. Una relación más cómoda con el olor genera una actitud más optimista ante las cuestiones medioambientales; cambia el estado de ánimo. (Siseel Tolaas, 2009).

La colección de aromas responde a razones culturales, sociales, de procedencia y hasta de estatus social. Para poseer memoria olfativa hay que haber estado expuesto a una experiencia. Es posible conocer el aroma asociado a los condimentos de nuestra cocina, pero desconocemos la de otras regiones, ya que el cerebro reconoce olores, es posible que cause rechazo al encontrar en lugares o prendas que no está acostumbrado a sentir las ahí Debido a esto en la indumentaria estamos acostumbrados a que siempre huelan bien, o contenga un aroma que este asociado a algo nuevo o limpio, esa conexión haremos al querer usar las prendas, al querer tener contacto directo con ellas. Por esto tanta es la potencia del olfato que la verbalización del objeto oloroso hace que se activen áreas cerebrales que permiten imaginar la sensación olorosa que se da al abrir el bote de Cola-Cao: aroma a chocolate, polvoriento, que satura la nariz, al tiempo que se evocan recuerdos y emociones. Más aún, cuando existe una experiencia «dolorosa», como ocurre con el limón, cuya simple exposición puede llegar a producir salivación, debido a esto se muestra que el olor cumple un rol en el ser humano que es super importante, ya que es un factor de acercamiento a los productos nuevos donde generen nuevas experimentaciones con ellos, porque podrá generar un vínculo conectado con experiencias ya vivida, como asociar un olor a un recuerdo. (Navalles, 2011).

## 4.2. Química del olor

El sentido del olfato es un receptor químico en donde las partículas aromáticas desprendidas de los cuerpos volátiles ingresan por el epitelio olfatorio ubicado en la nariz y son procesadas por el sistema olfativo, por lo que el olor es la sensación resultante provocada por estas partículas; tal como sucede con otros sentidos, varios factores psicológicos pueden desempeñar cierto papel en la percepción de los mismos, cada uno de ellos está asociado a una experiencia vivida, tan positiva como negativa. Nuestro cuerpo generara un estímulo al sentir cada olor, creando una experiencia en el acto de reconocerlos. (Rivera, 2014). Debido a esto la importancia de los aromas para la comunicación proviene de la memoria olfativa, que favorece la identificación, el recuerdo y la evocación de emociones, además de permitir una amplia discriminación de aromas, lo que ayuda a diferenciarlos uno de otros,

como si de una gama cromática de colores se tratase. (Synnott, 2013). Además, nuestra paleta olfativa está conformada en gran parte por nuestras preferencias de consumo. Ello justifica el criterio de inclusión de un estudio sobre el olfato y la identificación de marca comercial. La colección de aromas responde a razones culturales, sociales, de procedencia y hasta de estatus social. Para poseer memoria olfativa hay que haber estado expuesto a una experiencia. Es posible conocer el aroma asociado a los condimentos de nuestra cocina, pero desconocemos la de otras regiones, y nos enfrentamos a su prueba con interés por aprender e integrarlo, y al mismo tiempo con la reserva de no ser agredidos por ese nuevo aroma. También, por una razón de precio, determinados productos no están al alcance del gran público. (Navalles, 2011). Por esto los aromas ambientales mejora la experiencia de compra por el ambiente creado, incrementando el deseo de compra en un 14.8%, prolongar la permanencia del cliente en un 15% y fijar la marca en la memoria son algunos de los beneficios de estos aromas (Gómez, 2017)

## 4.3. Olor de Kombucha

La Kombucha es una simbiosis, como se mencionó anteriormente es una mezcla de hongos y bacterias que viven en comunidad generando una superficie flexible en un medio ácido alimentado por té y azúcar. En su periodo de fermentación esta produce el ácido acético que en este se encuentra en el vinagre, este es el principal responsable de su sabor y olor agrios. Debido a esto se podría generar rechazo a este material, ya que el vinagre es un líquido miscible en agua, con sabor agrio, que proviene de la fermentación acética del alcohol, como la de vino y manzana (mediante las bacterias *Mycoderma aceti*). El vinagre contiene una concentración que va del 3% al 5% de ácido acético en agua. Los vinagres naturales también contienen pequeñas cantidades de ácido tartárico y ácido cítrico. Debido a esto es un factor que generalmente genera rechazo por el usuario. (Morales, 2014). Debido a esto es un impedimento el generar un material para la indumentaria derivado a un olor tan ácido, es un olor sumamente penetrante que no logra quitarse fácilmente (Morales, 2014).

## 5. Hipótesis

Al inhibir el ácido acético de la kombucha en su proceso de fermentación esta será más atractiva para el usuario.

## 6. Objetivos

### 6.1. Objetivo general

Controlar el olor del material a base de Kombucha a partir del control del pH en sus etapas de producción.

### 6.2. Objetivos específicos

6.2.1. Comprender la relación entre pH y olor de fermentación del biomaterial.

6.2.2. Determinar la cantidad óptima del bicarbonato para manejar los olores versus flexibilidad.

6.2.3. Comprobar que el biomaterial resultante es útil para la fabricación de la indumentaria

## 7. Estado del arte

### 7.1 BioCouture

Biocouture es un proyecto que consiste en la fabricación de un biomaterial semejante al cuero hecho en base a té verde, azúcar, levadura, bacterias y tintas naturales. Este "cuero vegetal" está hecho básicamente de celulosa bacteriana de Kombucha, que se forma a partir de un proceso de fermentación que tarda entre dos y tres semanas. Una vez secado, el material resultante se puede manipular igual que cualquier otro textil.

Lee crea el concepto "cultivar en casa" esto se debe a disminuir los residuos causados por la industria del textil creando diferentes accesorios a través de este material. Además al generar este materia por medio propio consideras una cantidad de agua adecuada, sin residuos tóxicos, y además es biodegradable, demora en desintegrarse al igual que la cascara de un vegetal.

Autor: Suzanne Lee

Año: 2007

Lugar: London, UK

Materialidad: Kombucha

Función: Material para confección de textiles y prendas de vestir



Fig. 5. Eco Kimono a base de Kombucha- Suzanne Lee.



Fig. 6. Muestras de teñidos - Kombucha- Suzanne Lee.



Fig. 7. Muestras de teñidos -Corte láser- Kombucha- Suzanne Lee.

### 7.2. 5 WAYS

5 Ways fue un proyecto conjunto entre Kate Fletcher y Becky Earley y se compone de cinco enfoques interconectados para el diseño textil de moda. Reúne la creatividad y el pensamiento ecológico en forma de tela y ofrece una gama de puntos de partida para comprender mejor qué cualidades ecológicas como la diversidad, la participación y la eficiencia pueden significar para los textiles de moda.

Fletcher y Early se propusieron explorar qué significan para el mundo de la moda cualidades propias de la sostenibilidad tales como la participación, la diversidad y la eficiencia.

## Local

Fue un intento de prestar atención a aquello que se tiene más cerca, que se encuentra en el vecindario. Son esos productos que pueden inspirar a la comunidad en la que se crean, proporcionar puestos de trabajo y utilizar recursos del área geográfica más próxima



Fig. 8. bolso realizado con restos de cuero recogidos - Kate Fletcher

### Actualizable

Circuló en torno a la idea de que la ropa de moda captura un instante y luego se olvida rápidamente.

### Sin lavar

se propuso diseñar ropa que no tuviera que lavarse sin recurrir, no obstante, a emplear tejidos repelentes de la suciedad.

### Nueve vidas

Se enfocó en el potencial de resurrección de la vestimenta al entender que todo en ella puede reutilizarse. Siguiendo el modelo de la permacultura, en la que los desechos de un componente se convierten en «alimento» para otros, los diseñadores trabajaron sobre la idea de intercambio y de ciclo. De esta manera, la falda y la blusa a que dieron lugar estos conceptos contemplaban en su diseño una futura transformación cuando su usuaria se hubiera cansado de ellas.



Fig. 9. Nueve vidas: falda con guía de bordado para una futura remodelación.- Kate Fletcher

Autor: Rebecca Earley y Kate Fletcher

Año: 2002 - 2003

Lugar: London, UK , AHRC and Chelsea College of Art and Design

## 7.3. NASALO

Teniendo en cuenta que nuestras sociedades han desarrollado un lenguaje para el color, es notable que aún no hayamos desarrollado uno para el olfato. Es por eso que comencé a inventar las primeras palabras para un lenguaje de olores, el diccionario NASALO. Aunque hice estas palabras yo mismo, ciertamente no son arbitrarias.

En un experimento, los sujetos calificaron el olor corporal como más agradable cuando se etiquetó como "cheddar" que cuando se lo etiquetó como "olor corporal". Otro experimento demostró que una simple etiqueta era suficiente para que los sujetos imaginaran un olor, incluso cuando olían aire puro. Entonces, cómo describes lo que hueles tiene influencia sobre cómo percibes el olor. En otras palabras, las etiquetas de olor tienen poder. Es por eso que las palabras en NASALO tienen que ser palabras de fantasía completamente libres de contexto.



Fig. 10. Sissel Tolaas



Fig. 13. Oliendo queso con bacterias. Sissel Tolaas



Fig. 11. Sitio de trabajo. 2500 moléculas. Equipos. Sissel Tolaas



Fig. 14. Producción de olores. Sissel Tolaas

Nasalo es un diccionario de olores. Es un intento de describir olores mediante conceptos. A través del proyecto „City Smell Research“ recojo olores de distintas ciudades del mundo, como México D.F., París, Liverpool, Detroit o Ciudad del Cabo -olores de comidas, bebés, transpiración o incluso de habitaciones o de barrios- y los reproduzco. A continuación llevo los olores de vuelta a su correspondiente realidad y planteo cuestiones analíticas: ¿cómo puedo describirlos mediante palabras? ¿Qué nos transmite un olor sobre las empresas, los cuerpos, las ciudades, los materiales, los productos? Estos enunciados se analizan en colaboración con antropólogos y lingüistas y se reformulan usando conceptos concretos, que después se utilizan entre otras cosas en sistemas de comunicación, como guías turísticas, programas de formación o en el sector de las relaciones públicas y la publicidad.

Autor: Sissel Tolaas

Año: 2011

Lugar: Berlin

La tolerancia es la palabra clave para un nuevo acercamiento a nosotros mismos y nuestro entorno. Tenemos que aprender a vivir juntos de una manera diferente. Para poder hacer esto, tenemos que regresar al cuerpo y aprender las funciones de las herramientas que tenemos.(Tolaas, 2011)



Fig. 12. Oliendo bacterias. Sissel Tolaas

## Parte II: Validación

### 8. Materiales y Métodos:

#### 8.1. Tareas de Diseño:

I. Análisis sobre la kombucha: Se entenderá de donde viene y cómo se produce.

II. Investigación sobre la fermentación y los aromas: En esta tarea se investigará sobre el proceso de fermentación que produce la Kombucha y su pH. Por otro lado, se indagará cual es el factor de su aroma.

III. Diseño de tipos de experimentación: Con la información desarrollada en los puntos anteriores, se realizará diferentes formas de cultivo en las Kombuchas y los distintos pH que necesita para crecer, se analizará si el pH es un factor de su olor.

IV. Conclusiones: Con el levantamiento de información sacada de las etapas anteriores se generará una conclusión sobre la Kombucha y sus procesos de crecimiento, fermentación y pH.

V. Desarrollo del sistema: En esta etapa se generará un sistema para continuar con los procesos, el cultivo de Kombuchas y sus diferentes métodos de crecimiento.

VI. Detalles de los componentes: Se generará una lista con los futuros componentes que ayudarán a quitarle los aromas de fermentación de la Kombucha.

VII. Diseño de experiencia: Como final se diseñará por qué son importante los aromas en los textiles y la importancia de su manejo.

#### 8.2. Tareas de Prototipos:

I. Acceder al Material Biológico

II. Reproducir el organismo vivo

III. Comportamiento de la Kombucha: En el proceso de producir la Kombucha se irá analizando y entendiendo los comportamientos que ella tiene en sus etapas.

IV. Entender procesos de crecimientos: En este periodo se tomará nota de cuanto se demora en crecer la Kombucha y cuánto tiempo necesita para dejar ir su aroma.

V. Alternativas de uso: Luego de entender su crecimiento y comportamiento se definirán los usos de este producto.

VI. Prototipo I

VII. Prototipo II

VIII. Conclusiones

IX. Registro y edición gráfica

### 9. Hipótesis, Registro, Observaciones y Conclusiones por Etapa:

#### 9.1. Experimentos 1:

Hipótesis: En este experimento se logrará ver si con el pH de los distintos tipos de té, la Kombucha logra disminuir su olor a fermentación.



Fig. 15. Materiales de cultivo.

#### Materiales a usar:

- I. Frascos de vidrio de 1 litro
- II. Kombucha
- III. Té de hojas (verde, rojo y negro)
- IV. Azúcar
- V. Colador
- VI. Hervidor
- VII. Bisturí
- VIII. Toalla nova
- IX. Alcohol
- X. Agua

Probeta 1- Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr.+ Kombucha.

Probeta 2- Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr.+ Kombucha.

Probeta 3. Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml.+ Kombucha.

Probeta 4-.Té Rojo 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Kombucha.

Probeta 5- Té Rojo 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr. + Kombucha.

Probeta 6- Té Rojo 50 gr. + Agua 500 ml. + Kombucha.

Probeta 7- Té negro 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Kombucha.

Probeta 8- Té negro 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr. + Kombucha.

Probeta 9-Té negro 50 gr. + Agua 500 ml.+ Kombucha.





Fig. 16. Probeta 1



Fig. 17. Probeta 2



Fig. 18. Probeta 3



Fig. 19. Probeta 4



Fig. 20. Probeta 5



Fig. 21. Probeta 6

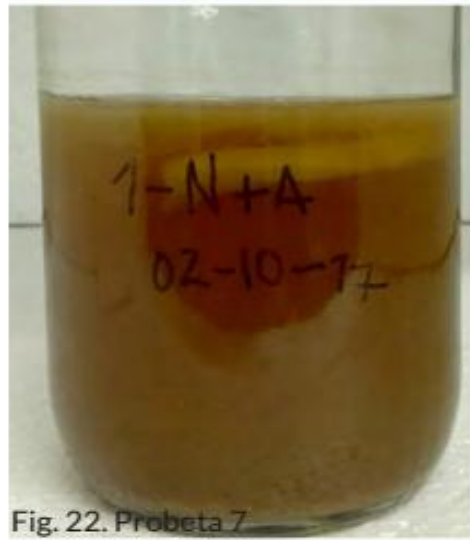


Fig. 22. Probeta 7



Fig. 23. Probeta 8



Fig. 24. Probeta 9

#### Observaciones:

Se crearon estos experimentos para entender la diferencia de pH en los distintos tipos de té, el pH de cada uno y los diferentes tipos de crecimiento que se podrían llegar a crear por el diseño de las probetas utilizadas.

En las probetas 1, 4, 7 se estudió el crecimiento en cada tipo de té, para comprender sus tiempos de crecimiento, el tipo de pH de cada uno, el espesor que genera durante las semanas, su proceso de fermentación y el olor que forma derivado del ácido acético.

Se observó que cada té contiene un pH diferente, el pH del té verde fue 6, el pH del té rojo fue 7 y el pH del té negro fue 5.5. Cada uno contiene un proceso de crecimiento diferente, se dedujo que la probeta 1, con té verde, creció bastante rápido, durante las primeras dos semanas, formando un espesor adecuado para su uso, al pasar las cuatro semanas esta ya contenía el doble de espesor en comparación a las otras probetas. Se creyó que esto es por el pH adecuado para el crecimiento de la Kombucha, no contiene un olor bastante ameno en comparación a los otros, aportando a que el olor de fermentación no sea tan fuerte.

La probeta 4, de té rojo, mostro un crecimiento más lento, creando un gran olor a fermentación, este mostro un crecimiento adecuado a las dos semanas, no logró superar a la probeta 1, pero muestra un crecimiento normal.

La probeta 7, de té negro, mostro un crecimiento adecuado, formando el espesor adecuado, pero sin superar a la probeta número 1. Se observó que genera más reacción de fermentación que las otras probetas, mostrando burbujeos en los primeros días. Esta mantiene un olor sutil en su proceso de fermentación. En las probetas 2, 5, 8 se colocó el bicarbonato en la primera etapa de crecimiento. Asimismo se conoció si el biofilm de Kombucha lograba crecer en este medio, al mezcla bicarbonato en las probetas generaría que el pH aumentara, bajando el medio acido que vive de esta forma se disminuiría el olor.

En las probetas 3, 6, 9 se observó si el medio de cultivo lograba crecer sin el azúcar, ya que este podría ser un supuesto factor que aumenta el olor de fermentación. Al pasar las semanas el medio de cultivo comenzó a crecer con mayor lentitud creando el biofilm más débil en comparación a las probetas que contenían azúcar. También se observó que su olor se mantuvo al momento de crear su fermentación.

#### Conclusiones:

Se concluyó que el té verde contiene el pH adecuado para el biofilm, generando un crecimiento bastante rápido. Por consiguiente se observó que en las probetas mezcladas con bicarbonato no lograron crecer, debido que este no permite crear el medio acido que vive la simbiosis. Además las probetas sin azúcar crecen más expuestas a contraer infección, porque no contienen la alimentación necesaria para crecer. Para finalizar se optara por usar el té verde en las próximas experimentaciones de este biomaterial.

## 9.2 Experimento número 2:

### Materiales a usar:

- I. Frascos de vidrio de 1 litro
- II. Kombucha
- III. Té de hojas verde
- IV. Azúcar
- V. Colador
- VI. Hervidor
- VII. Bisturí
- VIII. Toalla nova
- IX. Alcohol
- X. Agua

1. Probeta: colocar bicarbonato en el inicio del cultivo - Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr.+ Kombucha-

2. Probeta: poner bicarbonato en la mezcla cuando la Kombucha tenga dos semanas - Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr.+ Kombucha-

3. Probeta: colocar bicarbonato cuando la Kombucha tenga cuatro semanas - Té Verde 50 gr. + Agua 500 ml + Azúcar 55 gr. + Bicarbonato 9 gr.+ Kombucha-

4. Probeta: poner bicarbonato 9gr sobre la Kombucha antes de secar.

En este experimento lograremos ver si al subir el PH al medio ácido de la Kombucha, se lograría bajarle el olor de ella o quitárselo por completo.

La probeta 1, fallo, debido que al introducir el bicarbonato en la primera etapa de crecimiento aumento su pH impidiendo que generara el medio ácido necesario para que crezca.

En las probetas 2 y 3 al introducir el bicarbonato en la mezcla género una reacción química, generando espuma, este subió de inmediato el pH, cortando el crecimiento de cada uno, pero al sacarlas de los frascos para ponerlas a secar se observó que este aporte a disminuir un poco el olor.

En la probeta 4 logró con éxito, donde se logró subir el pH a la muestra quedando inolora, tanto en su estado húmeda como seco. También se observó que el bicarbonato permitió crear una nueva propiedad, generando una flexibilidad mayor que la muestra sin bicarbonato. Sin embargo se comprobó que el bicarbonato genera una deshidratación en el material, ya que es una sal, generando que el espesor de este disminuya. Debido a esto es muy importante saber el peso de la kombucha para saber cuánto bicarbonato se le agregará.



Fig. 25. Probeta 1



Fig. 26. Probeta 2



Fig. 27. Probeta 3



Fig. 28. Probeta 4

## 10. Validación

Hipótesis: Al subir el pH de la Kombucha hará que disminuya el olor en ella.

Observaciones: Se observó que la probeta 4 del experimento 2, se logró con éxito quitar el olor de la kombucha una vez cumplida las 4 semanas, en comparación a los otros este experimento no invade la mezcla, ni genera impedimentos para que sigan creciendo las kombuchas en las mezclas, debido a que no mata a la madre Kombucha.

Por otra parte, debido a varias experimentaciones con el secado para entender su espesor, se observa que es necesario colocar la cantidad exacta de bicarbonato, ya que esta genera una rápida deshidratación generando que el espesor sea menor a las kombuchas sin bicarbonato. Por esto se entendió que el bicarbonato tiene que estar bien esparcido en las dos caras del material. Para que el espesor sea el mismo en toda la superficie.

Para verificar este experimento se generó una encuesta a ocho personas, mostrándole el material con y sin olor, se usaron las probetas a, b, c y d para verificar su diferencia, y además se mostró una muestra de Kombucha seca sin algún tratado.

Asimismo, se creó una encuesta para entender la reacción del usuario ante el material con las 4 probetas. Se observó que el usuario reacciona con rechazo al material en su estado húmedo, comenta sobre que el olor es fuerte, en las primeras 2 probetas, no se acerca mucho a esas muestras, al pasarle la probeta

4 sin olor, comienza a buscar el mismo olor sentido anteriormente, al no encontrarlo se sorprende, generando una mayor cercanía y aceptación.

Conclusión:

Se concluye que la probeta numero 4 logra cumplir con la hipótesis planteada, ya que logra quitar el olor del biomaterial, ayudando a potenciar este. Además, se observó que la prueba generó nuevas características como mayor flexibilidad en el material, una textura más lisa, menor tiempo de secado debido que el bicarbonato es una sal, ayuda a deshidratar más rápido el biofilm. Potenciando este a tener nuevas posibilidades y menor rechazo.

Personas	Kombucha sin tratar	Probeta 2
1	Siente olor.	Siente olor, pero comenta que no es fuerte.
2	Siente olor.	Siente olor, pero comenta que no es fuerte.
3	Siente olor.	Siente olor a vinagre pero dice que es suave.
4	Siente olor.	Siente olor a vinagre pero dice que es suave.
5	Siente olor.	Siente un olor leve.
6	Siente olor.	Siente un olor leve.
7	Siente olor.	Siente un olor leve.
8	Siente olor.	Siente un olor leve.

Personas	Probeta 3	Probeta 4
1	Dice que siente más olor que en la probeta B.	No se siente nada de olor, le parece más atractivo.
2	Dice que siente más olor que en la probeta B.	No se siente nada de olor, le parece más atractivo.
3	Dice que siente más olor que en la probeta B.	No se siente nada de olor, le parece más atractivo.
4	Dice que siente más olor que en la probeta B.	Le sorprende no sentir nada de olor.
5	Siente un olor más fuerte que el anterior.	Le sorprende no sentir nada de olor.
6	Siente un olor más fuerte que el anterior.	Le sorprende no sentir nada de olor.
7	Logra sentir un olor más fuerte que la probeta anterior.	No logra sentir olor.
8	Logra sentir un olor más fuerte que la probeta anterior.	No logra sentir olor.

Fig. 29. Validación de experimentos

## Parte III Proyecto

### 11. Presentación Proyecto Final:

En este proyecto creará un material biotextil a base de Kombucha.

Se desarrollarán moldes con forma de un patrón de sudadera, para demostrar que este material puede hacer hasta lo más básico de la indumentaria y reconocible por todos. Se crearan dos prototipos escala 1:2 y escala 1:1. Estos moldes se conforman por cuatro piezas que crean una polera, también permitirán no generar residuos de material ya que crecerán con la forma necesaria para crear la sudadera. Para generar las uniones se utilizará su carácter de unión en estado húmedo. Se humedecerá los extremos para unir cada lado.

Además, para completar este proyecto se usará los análisis y experimentos anterior, usando el bicarbonato en la fase final de secado para quitar por completo el olor de ella, además se harán crecer con té verde, para aumentar su crecimiento

Principales etapas de producción del material.

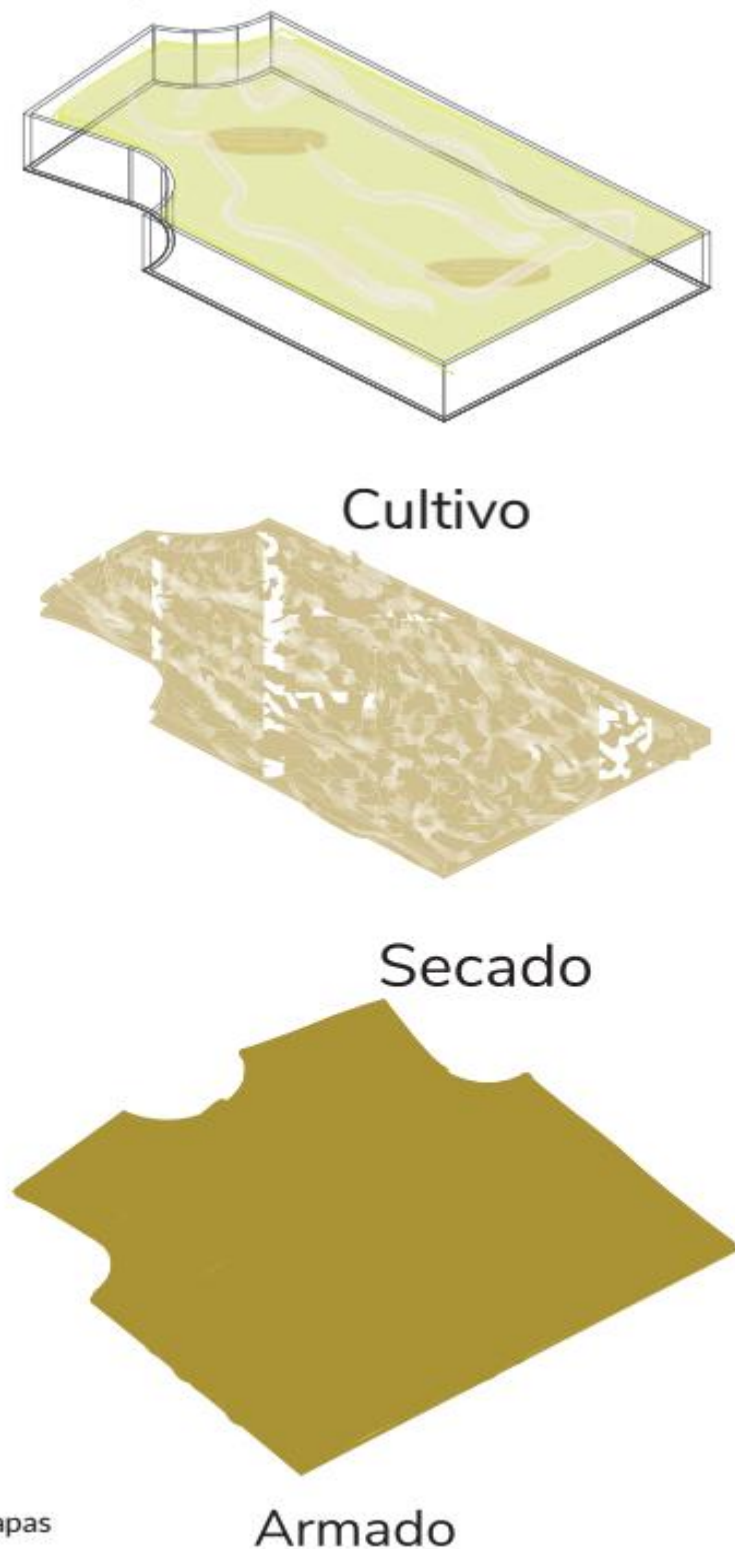
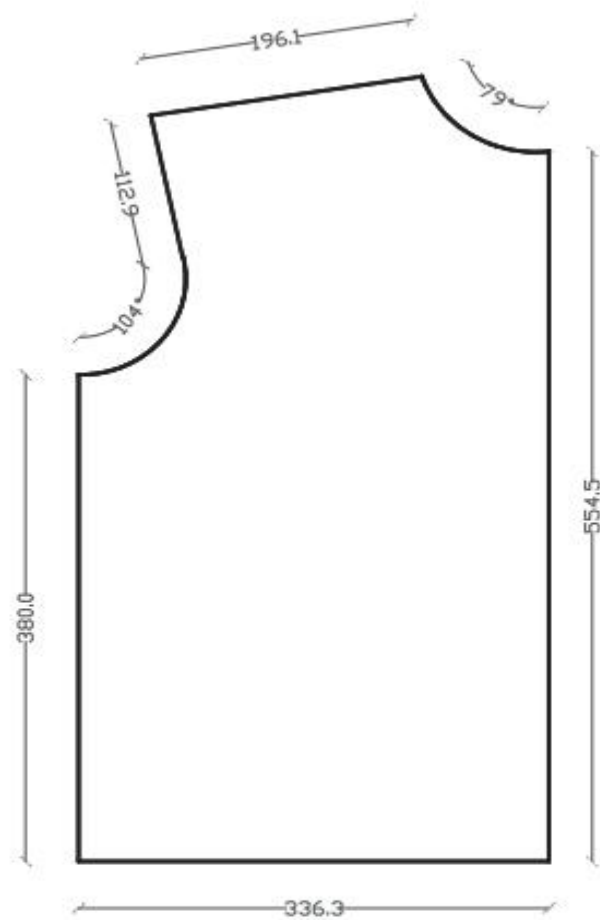
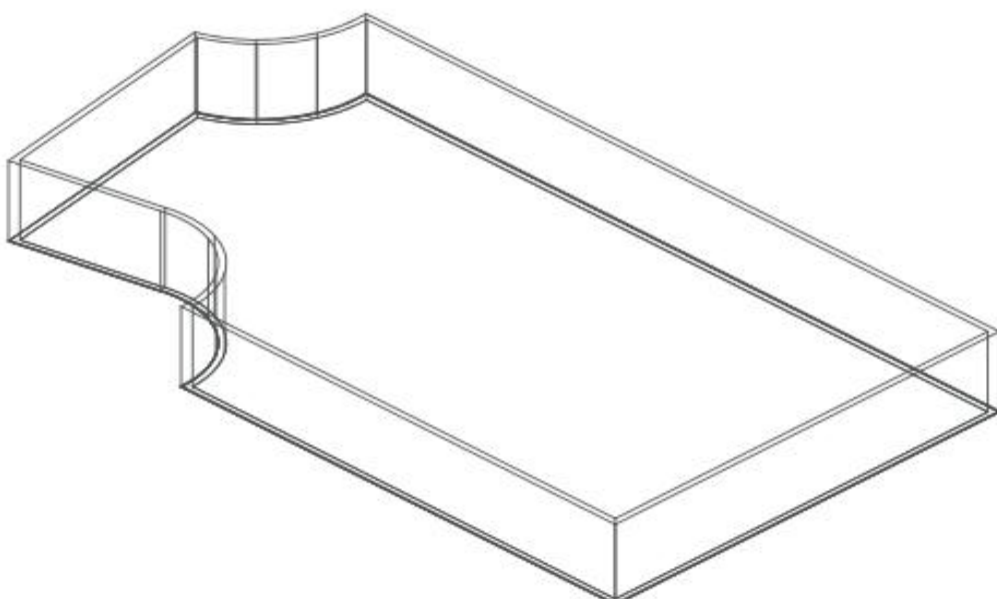


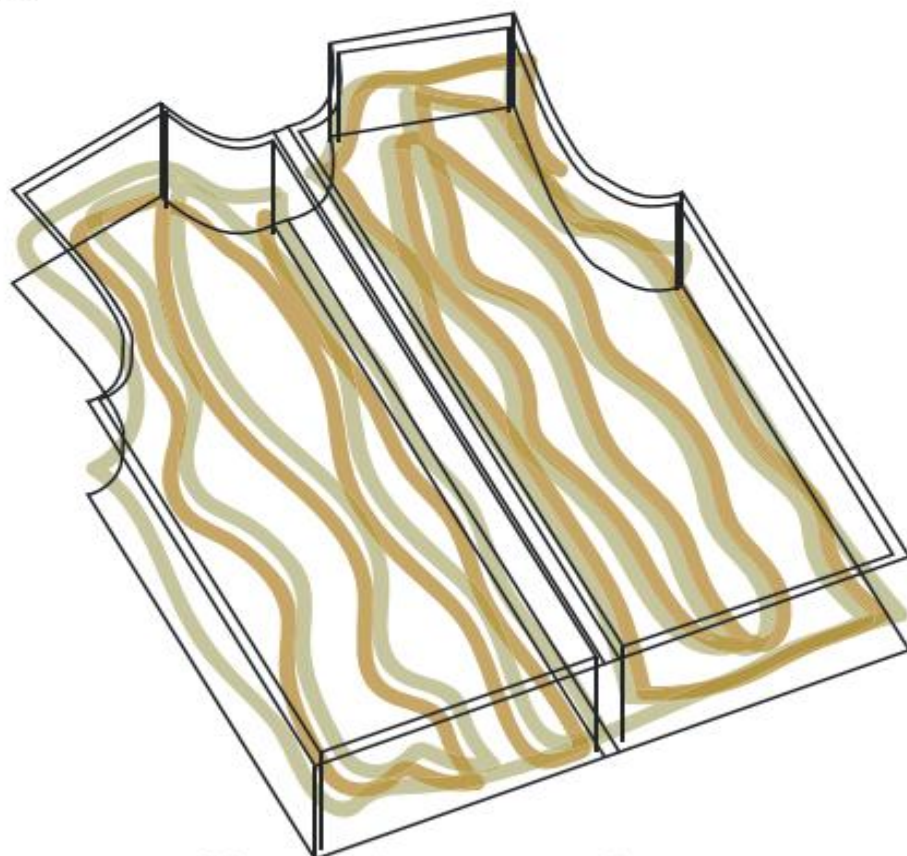
Fig. 30. Etapas



Planta del Molde 1:1  
Fig. 31.



El molde es de 7 cm de altura, fue hecho de pai, para que sea resistente al agua y se pueda desinfectar.  
Fig. 32.



Son cuatro moldes que forma una polera.  
Fig. 33.

## 12. Caracterización Material

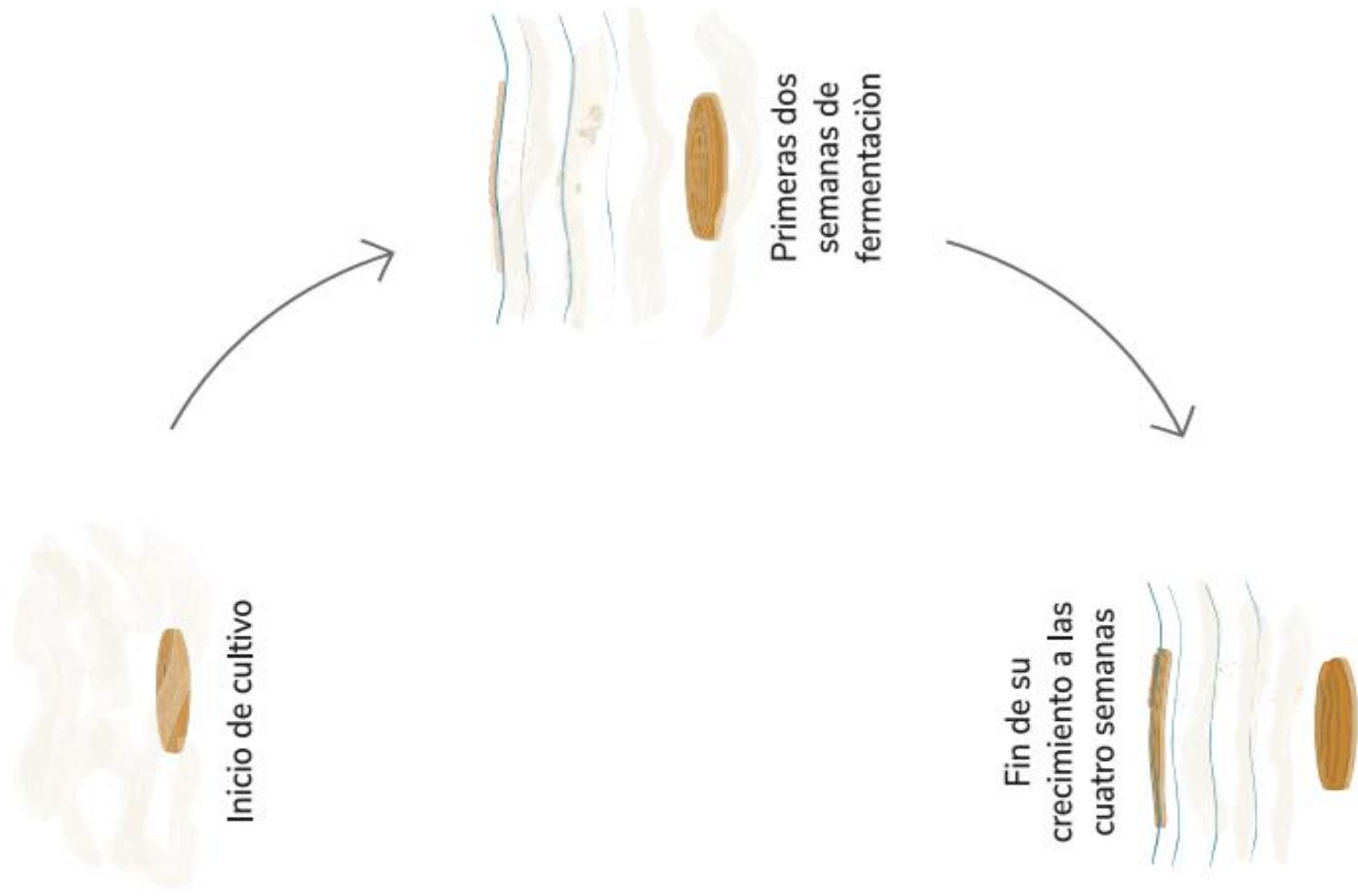
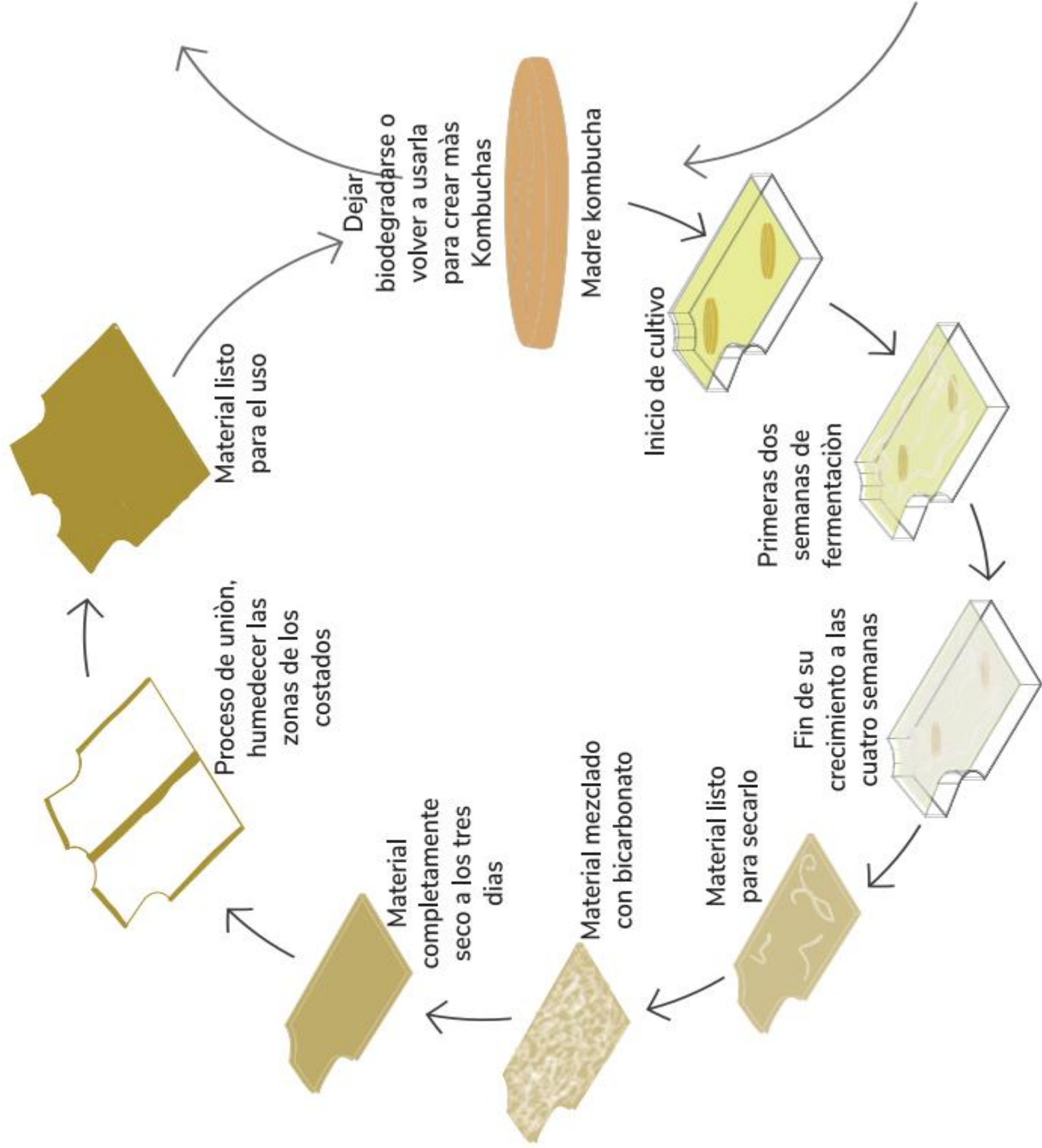
Las características de este biomaterial son:

1. Fácil de cultivar.
2. Uso en estado húmedo y se puede secar, quedando una superficie flexible.
3. flexibilidad.
4. Adaptación al espacio de crecimiento.
5. Diferentes tipos de espesor.
6. Variación en sus uniones, puede ser cosida, por otra parte logra unirse por sí misma en su estado húmedo.
7. Se puede teñir con diferentes cosas naturales, como verduras, frutas, etc.
8. Es reutilizable
9. Es biodegradable

FIBRA NATURAL	FIBRA SINTETICA
LANA	NYLON
<p>Se suele reservar este vocablo para nombrar el pelo que recubre el cuerpo de las ovejas.<sup>5</sup> Es la principal fibra textil natural.<sup>6</sup> Las dos características más valoradas de la lana son su elasticidad y su capacidad para absorber la humedad. La raza más extendida es la oveja merina; otras razas valoradas por ser de lana larga son Lincoln y Cheviot.</p>	<p>Se trata de fibras resistentes y elásticas, por lo que se suelen mezclar con fibras naturales para darles resistencia. Son termoplásticas y no se tiñen con facilidad</p>

Fig. 34.

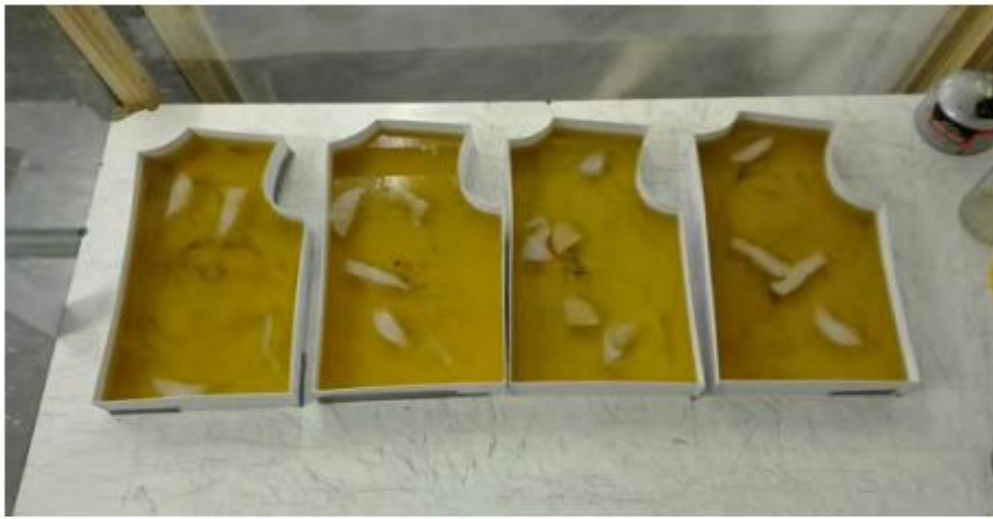
### 13. Ciclo de vida



Dejar biodegradarse o volver a usarla para crear más Kombuchas

Madre kombucha

## 14. Proceso de prototipo escala 1:2:



Primera etapa de cultivo con Kombuchas.  
Fig. 35.



Primera semana de cultivo.  
El material comenzó a adaptarse al espacio, tomando perfectamente la forma.  
Fig. 36.



Fig. 37.



Fig. 38.  
Segunda semana de cultivo, comenzo a crear el biofilm con exito, generando un espesor adecuado en todo el molde.  
Se observa que continua tomando la perfecta forma del molde



Fig. 39.

## 14. Proceso de prototipo escala 1:1:



Fig. 40.



Fig. 41.



Fig. 42.



Fig. 43.



Primera etapa de cultivo con Kombuchas.  
Fig. 44.



Primera semana de cultivo con Kombuchas5  
Fig. 45.

Durante la primera semana de cultivo se genero una gran contaminación en todas las probetas, generando un retraso en su crecimiento. Se tu que descontaminar cada probeta quitando la contaminación. Se cree que la contaminación se genero en el momento de cultivo.



Fig. 46.

Después de la semana de contaminación, las probetas vuelven a crecer con normalidad, volviendo a generar el biofilm en la superficie.



Fig. 47.

Durante la segunda etapa de crecimiento esta comienza a generar el biofilm adecuado, se logra que crezcan más rápido cubriendolas con telas.

## 15. Conclusiones finales

En esta investigación se ha podido comprobar la relevancia de los biomateriales en el contexto actual dentro del campo del diseño y la oportunidad que representa un material como la Kombucha en el mundo del textil e indumentaria. A través de este estudio y proceso de experimentación se demostró la versatilidad que tiene este material al trabajarlo e intervenirlo químicamente, para adaptar sus cualidades físicas hasta transformarlo en una prenda usable.

La problemática central de este proceso, desarrollada en torno a la eliminación del olor que la Kombucha expele a partir de su fermentación, dio origen a una serie de hipótesis sobre tratamiento y materiales que fueron puestos a prueba, hasta comprobar su efectividad. Al comprender la influencia del bicarbonato de sodio sobre el PH del material, se pudo aplicar sobre éste durante su cultivo de manera estratégica para equilibrar su PH, minimizando de manera considerable tanto en su proceso de cultivo como en la etapa final de secado.

Al entender la problemática del PH, donde el manejo del olor estaba ligado al tipo de té utilizado para el cultivo y la etapa de fermentación, se cultivó el material bajo estas condiciones, observando en detalle su crecimiento. En este punto, se experimentó durante las distintas fases de crecimiento de la Kombucha mezclando el té que lo contenía con ácido carbónico ya que este ayuda a alcalinizar la mezcla. Esto se realizó al inicio del cultivo, después de dos semanas, cuatro semanas y en la etapa de secado del material. Así mismo se analizó que en las primeras tres etapas al alcalinizar la mezcla la Kombucha no siguen generando su crecimiento debido a que necesitan un medio ácido para formarse y generar su simbiosis, ya que el ácido acético genera la energía de crecimiento, sin este medio el material no crece, se estanca. En comparación con la etapa cuatro, como es antes de su secado y el material ya cumplió su tiempo de crecimiento generando el espesor necesario para utilizarse, se observó que a la mezcla el material con el ácido carbónico, generaba una reacción química ya que como es Sal que se forma a partir de ácido carbónico, comienza a deshidratar el material, aumentando su pH y ayudando a que su secado sea más rápido. Además, se observó que en esta etapa como es externa a la mezcla donde crece, no mata las otras Kombuchas, ni detienen el crecimiento.

Los únicos problemas de este experimento fue, que la Kombucha al ser una superficie flexible a base de agua con té, en un cuerpo que se deshidrata muy rápido al mezclarlo con el ácido bicarbonato, al ser una sal, genera una deshidratación mucho mayor que cuando se seca sin él, pero debido a esto se estudió la cantidad necesaria de aumentar el pH para lograr quitar su



olor de fermentación sin perjudicar que el espesor se disminuya drásticamente.

Este biomaterial tiene varias características positivas para implementarlo en el área del textil, al haber manejado la característica de su olor, debido a esto es un impedimento, por la experiencia del usuario, ya que generan un rechazo al material y a la prenda realizada con él. Por eso se observó que era sumamente importante trabajar ese punto. Al manejarlas se logra crear un material, que obtiene ser muy versátil, en su flexibilidad, tipos de secado, intervenciones con teñidos naturales, reutilización, formas de crecimiento, la cantidad de agua que usa en comparación a la de un textil normal y además que es biodegradable. Genera varias posibilidades positivas para su uso. Por esto es un material que posee futuro en el área, aportando a ser una opción para ayudar a la contaminación del medio ambiente.

La única limitación que se analizó fue que este material aún contiene características que no han sido tan estudiadas, debido a los vacíos que contiene, como, por ejemplo, como es un cuerpo a base de agua y el té, tiene una gran capacidad de absorción, por esto no es un material impermeable, que al momento de usarlo en el caso y querer lavarlo no se podría porque este tornaría a su estado natural volviendo a hincarse. Pero esto no es un impedimento que permita el no usar este material para el área.

La proyección de este material es bastante amplia ya que se podrá lograr establecer diferentes objetos con él, tal vez más allá de la indumentaria, como es tan flexible a diferentes cualidades, este puede ser usado en el área de gastronomía, como alimento nutritivo para el cuerpo, productos tales como lámparas, tapicería, packaging. Logrará ser un biomaterial potente en varios ámbitos, aportando disminución al medio ambiente, además que para crearlo es sumamente barato en comparación a otros materiales, el ya quitarle su olor es solo con bicarbonato un producto global, a la mano de todos. La cantidad de agua es menor, el té y el azúcar lo adquirimos en cualquier lugar. Debido a esto será un material que logre aportar al medio ambiente y a las personas, generando positivismo en distintos objetos de diseño.

## 16. Bibliografía

- I. Audrey Ng. (2017) Grown Microbial 3D fiber art, Ava: fusión of traditional art with technology. Singapor.
- II. Jane Wood. Are Microbes the Future of Fashion? Manchester Metropolitan University : Senior Lecturer in Textile Technology
- III. Mike Press, Rachel Cooper. (2009). El diseño como experiencia. Barcelona: Gustavo Gili, SL.
- IV. Sofia Moreno-Marcos and York Hon John Liang. (2014). Will we soon be growing our own vegan leather at home? 2016, de QUT media Sitio web: [https://theconversation.com/will-we-soon-be-growing-](https://theconversation.com/will-we-soon-be-growing-our-own-vegan-leather-at-home-68498)

[our-own-vegan-leather-at-home-68498](https://theconversation.com/will-we-soon-be-growing-our-own-vegan-leather-at-home-68498)

- V. Lorena Elizabeth Morales Chicaiza. (2014). Desarrollo, elaboración y optimización bromatológica de una bebida de té negro fermentada a base de manchurian fungus (kombucha) y evaluación de su actividad como potencial alimento funcional. Riobamba - Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo Facultad de ciencias escuela de bioquímica y farmacia
- VI. Kate Fletcher. (2008). Sustainable Fashion & Textiles. Londres, Inglaterra: earthscan.
- VII. STEVENS, N., La Kombucha. El té extraordinario., 3 ed., Barcelona - España., Editorial Sirio., 2003., Pp. 18 - 57. E-Book: <http://books.google.com.ec/books?id=QqITo033pMgC&pg=PA18&dq=kombucha+%28Manchurian+fungus%29&hl=es-419&sa=X&ei=nQQ7UsjTPJC88wTo5oHgAQ&ved=0CDcQ6AEwAQ#v=onepage&q=kombucha%20%28Manchurian%20fungus%29&f=false>.
- VIII. Greenpeace.org. (2012) Toxic threads: the big fashion stitch up. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/toxics/Water%202012/ToxicThreads01.pdf>. Accessed 4 Mar 2016
- IX. Fashionbi (2013) Fast fashion market report. <http://fashionbi.com/market/fast-fashion/all>. Accessed 15 Feb 2016
- X. Kyung Eun Lee. Environmental Sustainability in the Textile Industry
- XI. M. M. Yacout & M. S. Hassouna. (2016). Identifying potential environmental impacts of wastehandling strategies in textile industry. -: Switzerland.
- XII. Tommy Crawford, Toby Cotton. (2012). Puntadas tóxicas: El desfile de la contaminación. Madrid: Lance Lee/ Greenpeace.
- XIII. Siseel Tolaas, Monhen Mostafavi. (2009). Urbanismo ecológico. Harvard University: Editorial Gustavo Gili, SL.
- XIV. Anthony Synnott. (2003). Sociología del olor. México

## 17. Índice de imágenes

1era Parte: Formulación

Fig. 1: elaboración propia

Fig. 2: Greenpeace, 2013

Fig. 3: Greenpeace, 2013

Fig. 4: Suzanne Lee, 2016

Fig. 5: Suzanne Lee, 2016

Fig. 6: Suzanne Lee, 2016

Fig. 7: Suzanne Lee, 2016 Fig. 8. Chen, W. (2000).

Fig 8: Kate Fletcher, 2003

Fig. 9: Kate Fletcher, 2003

Fig. 10: Siseel Tolaas, 2011

Fig. 11: Siseel Tolaas, 2011

Fig. 12: Siseel Tolaas, 2011

Fig. 13 Siseel Tolaas, 2011

Fig. 14 Siseel Tolaas, 2011

## 2da Parte: Formulación

Fig. 15: Elaboración propia  
Fig. 16: elaboración propia  
Fig. 17: elaboración propia  
Fig. 18: elaboración propia  
Fig. 19: elaboración propia  
Fig. 20: elaboración propia.  
Fig. 21: elaboración propia.  
Fig. 22: elaboración propia.  
Fig. 23: elaboración propia.  
Fig. 24: elaboración propia.  
Fig. 25: elaboración propia.  
Fig. 26: elaboración propia.  
Fig. 27: elaboración propia.  
Fig. 28: elaboración propia  
Fig. 29: elaboración propia.

## 3era parte: Proyecto

Fig. 30: elaboración propia.  
Fig. 31: elaboración propia.  
Fig. 32: elaboración propia.  
Fig. 33: elaboración propia.  
Fig. 34: elaboración propia  
Fig. 35: elaboración propia.  
Fig. 36: elaboración propia.  
Fig. 37: elaboración propia.  
Fig. 38: elaboración propia.  
Fig. 39: elaboración propia.  
Fig. 40: elaboración propia.  
Fig. 41: elaboración propia.  
Fig. 42: elaboración propia.  
Fig. 43: elaboración propia.  
Fig. 44: elaboración propia.  
Fig. 45: elaboración propia.  
Fig. 46: elaboración propia.



# Fabricación de filamento biobasado resistente a la tracción

Caracterización de filamento a partir de derivados de macroalgas pardas, crustáceos y moluscos.

*Carolina Pacheco Glen*

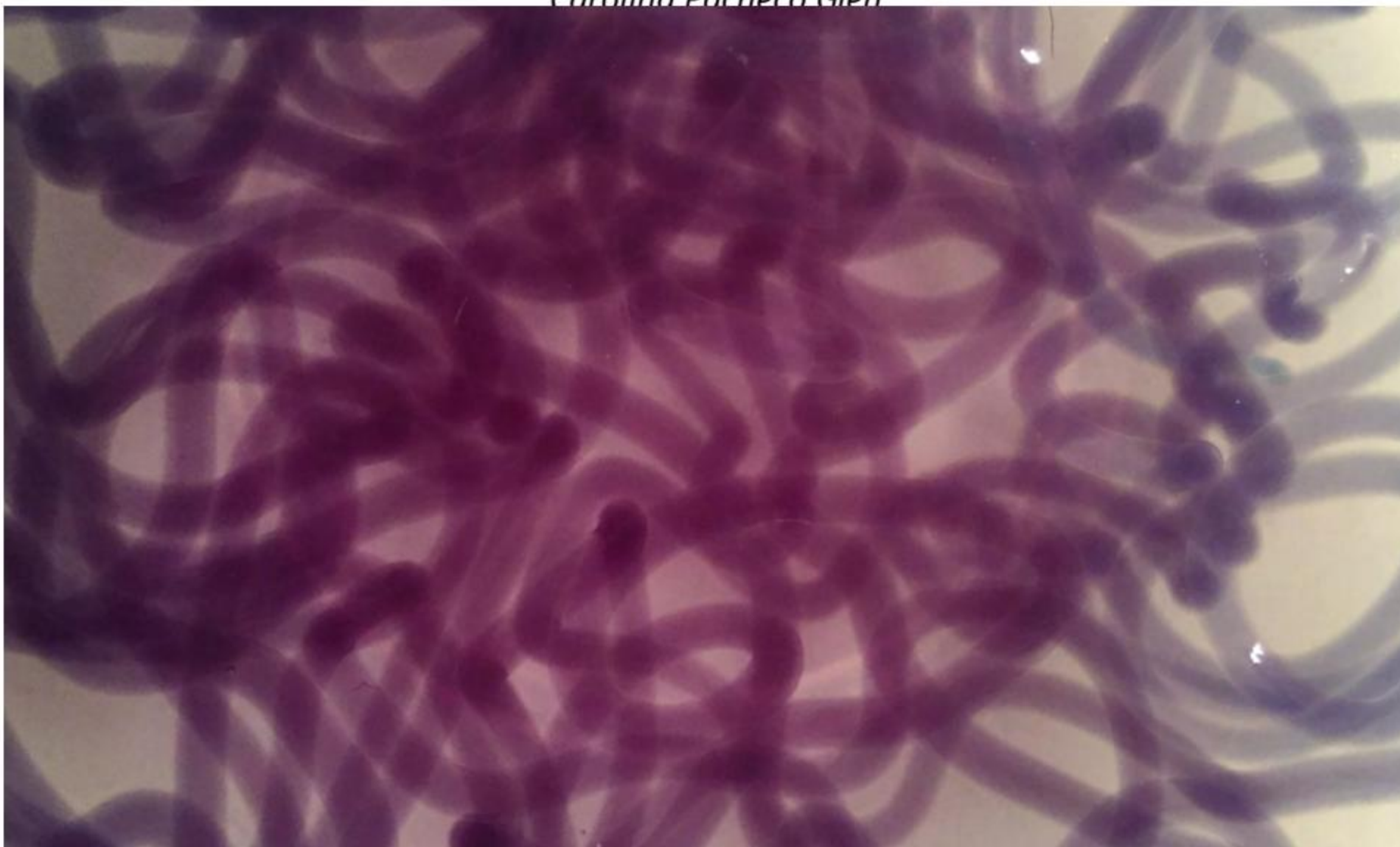


Fig. 1 Filamentos de alginato en solución de cloruro de calcio

## **Palabras Clave:**

alginato, quitosano, cloruro de calcio, biobasado, filamento

## **1. Resumen**

El poco cuidado y manejo de residuos, ha generado exceso de desechos plásticos en playas y costas marítimas del ecosistema marino. Las artes de pesca y embarcaciones son uno de los principales contribuyentes a esta problemática cuando pierden o desechan sus herramientas de pesca u otro tipo de residuos en el mar. El principal objetivo de esta investigación es la fabricación de un filamento hecho a partir de

derivados de algas pardas y crustáceos como alternativa a los polímeros utilizados en la industria pesquera. Se investigará la aplicación de geles de alginato extruido en soluciones de cloruro de calcio y quitosano para la formación de un filamento resistente a la tracción. El estudio presenta distintas metodologías y procesos para la caracterización del material. Finalmente se obtienen 4 tipos de filamentos con distintas propiedades y posibles aplicaciones proyectuales.

## 2. Contexto

### 2.1. Físico

La presente investigación se plantea dentro del marco costero y reconoce la situación actual del océano y como se ha convertido en un depósito de plásticos y desechos en todo el mundo. La acumulación de plásticos está afectando a distintos animales del reino marino, causando daño o muertes a grandes mamíferos, así como a organismos de menor tamaño. Las causas pueden ser por estrangulamiento, enredo o ingestión (Elias, 2015). Según un estudio realizado por Gall y Thompson, de un total de 340 publicaciones, un 85% informa la ingesta o enredo de los organismos en residuos (2015). De este estudio se reportó el plástico como material más encontrado con un 92% (Elias, 2015).

Entre los desechos que se pueden encontrar están los macro-plásticos, aquellos como bolsas, envases, botellas y los micro-plásticos aquellos producidos por la fragmentación de plásticos más grandes (Elias, 2015). Si bien existen varios tipos de plástico, entre los más comunes encontrados en el océano están: el polietileno (PE), el polyester (PET), el polipropileno (PP) y el polivinilo (PVC). El polietileno es un polímero hecho a partir del etileno, se utiliza principalmente en bolsas, láminas y películas de plástico. El poliéster es un termoplástico muy común utilizado en fibras de ropa, contenedores para comida y bebidas y películas de rayos X. El polipropileno se obtiene a partir de la polimerización del propileno, es utilizado en muebles de jardín, electrodomésticos o cuerdas. Y por último el polivinilo encontrado en tuberías, cables o mangueras (Greenpeace, 2015).

La contaminación por plásticos en el océano se genera por el ingreso de estos mediante ríos y caudales, también por el manejo inconsciente de las personas en playas y consecuentemente los vientos que arrastran el material hacia el mar.

Las embarcaciones también cumplen con un rol importante en esta problemática al liberar grandes cantidades de plástico al mar, a pesar de

que existen acuerdos internacionales que prohíben estas prácticas.

Uno de los desechos plásticos más encontrados en el fondo del océano son las redes de pesca. Estas están hechas en su mayoría con nailon y kuralon, dos polímeros sintéticos utilizados por sus propiedades mecánicas. En la pesca, son usados principalmente por su poca visibilidad y eficiencia de captura (Bjordal, 2005). Si bien cumplen con su función, las redes de pesca a veces pueden perderse en el fondo marino, ya sea por desprendimiento o accidentes. Este desecho luego pasa a ser una trampa mortal para los diversos organismos marinos que pueden quedar atrapados por décadas (Allsopp, Walter, Santiago, & Johnston, 2007). Este problema se conoce como "pesca fantasma", y ocurre particularmente con las redes agalleras, nasas y trasmallos (Bjordal, 2005). En Estados Unidos se reportó un caso de una red de 1500 metros de largo que recorrió durante un mes más de 11 kilómetros. Al ser encontrada, contaba con 99 aves marinas, 2 tiburones y 75 salmones (Allsopp et al., 2007). Esto también sucede con los corales, cuando las redes marinas son arrastradas por el fondo oceánico acabando con arrecifes (USA EPA, 2007). Por el otro lado están las nasas de pesca, estas suelen tener una estructura rígida especialmente diseñada para capturar ciertos organismos. Al estar construido con un material rígido, el oleaje no permite destruir fácilmente las nasas, por lo que permanecen pescando por más tiempo que las redes. (Allsopp et al., 2007) Algunos pescadores han incluido fibras biodegradables en las trampas o vías de escape para evitar la pesca fantasma (Bullimore, Newman, Kaiser, Susanne, & Lock, n.d.)

Las redes de pesca abandonadas no sólo pueden ser un problema para el ecosistema marino, sino que también para los pescadores y otros navegantes. Estas pueden enredarse en los motores y propulsores, como en las anclas de las embarcaciones. En 1993 ocurrió un accidente en Corea a causa de una red de nylon de 10 metros que se enredó en las hélices del barco, causando el hundimiento de este y la muerte de 292 pasajeros (CETMAR & Pérez, 2009). Por el otro

lado, el alto índice de basura marina, genera un gran costo económico en la industria turística costera, los desechos no son atractivos y su extracción es laboriosa y costosa. (Elias, 2015)

## **2.2. Social**

Dentro de esta problemática global, son los pescadores quienes cumplen un rol importante en el flujo de actividades marítimas. No solo por su responsabilidad frente a la temática sino también por su nivel de interacción con el ecosistema marítimo. La basura que genera la pesca comercial incluye redes, sedales y sogas, flejes, cajas de cebos y bolsas, boyas flotadoras de las redes de enmalle o de arrastre, así como restos de las cocinas y de la limpieza de los buques (Allsopp et al., 2007). Se considera que la falta de cumplimiento y la falta de educación en estas temáticas han dado como resultado una gran descarga de polímeros en el medio marino (Derraik, 2002; OSPAR, 2009).

Es de interés poder integrar a estas comunidades en la resolución de esta problemática global. Si bien, no son los principales contaminadores, si son los más ligados a la temática y directamente afectados. Es por eso que es necesario generar un vínculo entre los pescadores y su responsabilidad frente a la contaminación marítima a través de la fabricación de materiales de pesca biodegradables y amigables con el medio ambiente.



Fig\_2. Restos de plástico entre botes de pescadores

## **2.3. Tecnológico**

El marco tecnológico refiere a la plataforma constructiva productiva y comercial que se emplea actualmente por pescadores artesanales y comerciales. El arte de pesca se identifica generalmente en actividades pasivas o activas. Las formas pasivas son prácticas más antiguas donde se espera a la captura de la especie, por lo contrario, las activas buscan la persecución directa. Si bien existen diversas técnicas y tipos de recursos implementados para la pesca, se hará referencia al uso de redes y estructuras textiles para la extracción de recursos pesqueros. Entre ellos se pueden identificar estructuras como la atarraya, nasas de pesca, palangre de deriva y vertical, rastras, red de arrastre, red de cerco, red de enmalle, red de playa, red surípera, salabre, entre otros (Ross Salazar, 2014).

La materialidad de los productos con los que se trabajan en el medio costero no es la adecuada en relación al impacto medioambiental que generan. En un mundo que requiere una descontaminación de desechos, surge la necesidad de fabricar a partir de recursos naturales. Este acercamiento a la biofabricación se desarrolla en primera instancia en el contexto de la medicina y biotecnología con la producción de órganos y tejidos (Karana, Giaccardi, Nimkulrat, Niedderer, & Camere, 2017). Sin embargo, últimamente diseñadores y arquitectos han trabajado en este rubro fabricando productos a partir de organismos vivos como algas, hongos y bacterias.

## **2.4. Natural**

En la Zona Costera se pueden reconocer 4 componentes geológicos: la planicie costera, el borde litoral, la plataforma continental y las aguas que la cubren (Valenzuela & Sepúlveda, 2010). El borde litoral es aquel en donde ocurre la interacción entre el territorio marino y terrestre. Es en el ecosistema arenoso de las playas donde hay gran dinamismo e intercambio entre organismos. En la zona central del país se pueden encontrar pulgas de mar, machas, almejas, estrellas, jaivas, navajuelas, gusanos y peces. (Valenzuela & Sepúlveda, 2010). El siguiente caso

de estudio comprende la utilización de recursos derivados la costa del país como algas, crustáceos y conchas de mar.

### **Algas**

Las algas marinas son los productores primarios de las cadenas tróficas de los ecosistemas que habitan. Esto significa que gracias a ellas millones de otras especies pueden existir. Chile cuenta con más de 900 especies de algas marinas donde un 30% son endémicas (Ramirez, 1991). Estas se encuentran en toda la costa del Pacífico generando una gran biodiversidad a lo largo del país. Las algas marinas bentónicas son representadas en algas rojas, *Rhodophyceae*, algas verdes, *Chlorophyceae* y las algas pardas *Phaeophyceae*. Las algas pardas, de género *Phaeophyceae*, tienen un rol ecológico bastante importante al ser el hábitat de numerosos invertebrados y peces litorales. Se conoce como praderas de "huirales" aquellos conjuntos de algas pardas, en la zona intermareal baja y poco profunda de las costas de Chile, como los géneros *Lessonia*, *Macrocystis* y *Durvillaea*. (Ramirez, 1991). En el aspecto económico, el alga chilena tiene una gran importancia debido a la extracción de sus hidrocoloides para uso comercial y la exportación de la materia prima. Además, las algas son consideradas un recurso importante para la industria alimenticia, la industria farmacéutica y para la biotecnología (Hamed, 2016). Los polisacá

### **Crustáceos**

Los crustáceos marinos comprenden uno de los grupos zoológicos con mayor número de especies registradas. (Brusca & Brusca, 2003) A estos se les ubica en el grupo de los artrópodos (término que significa "apéndices articulados"), e incluyen desde las pulgas de agua (*Artemia*) hasta los más conocidos como las langostas, camarones y cangrejos. (Simoes, Miquelajauregui, Ordoñez Lopez, & Addison Herrera, 2010) En las aguas chilenas se encuentran 77 familias, más de 200 géneros y 431 especies de crustáceos. (Retamal & Moyano, 2010). Los crustáceos tienen una gran importancia económica, de forma directa en la

industria alimentaria (consumo humano), e indirecta como eslabón fundamental en las cadenas tróficas acuáticas (García Moreno, Outerelo, Aguirre, Almodóvar, & Alonso, 2012).

### **Molusco**

Después de los artrópodos, los moluscos comprenden el grupo animal de mayor diversidad (Osorio, 2002). Las conchas de mar son el refugio de muchos moluscos bivalvos como la almeja, macha, chorito y ostra o de los univalvos como el loco, la lapa y el caracol (Castro Rivera, 2004). Los moluscos tienen una gran importancia económica en la industria alimenticia por su consumo y por la labor empleada por marisqueros y pescadores. Por el otro lado, las conchas han sido usadas históricamente como instrumentos cortantes, objetos de adorno, para captura de peces y para el uso doméstico (Osorio, 2002). Además se usa industrialmente para mejorar las propiedades mecánicas de extrusión del papel y el plástico, como también lo hace en pinturas, adhesivos y cauchos (Rojas Cáceres, 2008).

## **3. Relevancia**

La contaminación marítima es un problema global de gran magnitud, que está dañando el ecosistema y generando grandes efectos nocivos para las especies y para nosotros como consumidores. La escasa degradación del plástico ha causado un gran impacto en los océanos de todo el mundo. Si bien existen alternativas para reutilizar el plástico y entregar una segunda vida a los residuos, esta opción no es rentable y sigue siendo más barata la producción a partir de derivados del petróleo (Elias, 2015).

La aplicación de los recursos naturales como materia prima es una opción innovadora y que pretende democratizar la producción de herramientas y productos pesqueros. Los polímeros naturales presentes en los organismos costeros plantean un nuevo uso de este material. La presente investigación busca poder entregar una alternativa económica y recursiva a los pescadores como opción de fabricación de

herramientas de pesca naturales y biodegradables con polímeros presentes en su ambiente.

Es importante mencionar la relevancia del usuario a cargo del producto. Es este el que debe tomar una iniciativa en su campo de trabajo. El pescador debe llegar a ser el agente de cambio en su propio contexto. La inclusión en el método productivo de sus herramientas de trabajo, genera una conciencia aún mayor en cuanto a la relación y al valor otorgado al objeto que maneja en su día a día.

#### **4. Observaciones**

El corto ciclo de vida de los productos ha generado muchos desechos en el mundo, al ser utilizados materiales tóxicos que no son biodegradables ni reutilizables. El rol del diseñador es asegurarse que el ciclo se complete y que la producción considere el retorno del producto al medioambiente. Al incorporar polímeros naturales en los productos que se usan diariamente, la interacción y percepción hacia ellos es enfrentado desde otra perspectiva. El hecho de que el proceso de producción sea más lento y que el resultado final sea parte de una exploración con diversos organismos, genera una forma distinta de interactuar con nuestro entorno. Además, es provechoso utilizar recursos naturales, ya que muchos tienen propiedades mecánicas con capacidades estructurales pertinentes a la fabricación de materiales.

Se debe pensar en una forma de sustentabilidad autónoma que no dependa de las grandes industrias productoras. De la misma forma que la industria alimenticia está liderando este modo de vivir con el concepto de huertos urbanos o ecovillas, cultivando alimentos libres de pesticidas y hormonas, el diseño debería ser percibido de la misma forma. Centros de Fabricación Digital potenciados por las mismas comunidades donde se utilizan las herramientas de código abierto, pero además se recurre a la naturaleza como mecanismo y fuente de producción.

### **5. Marco Teórico**

#### **5.1. Polímeros de la Zona Litoral**

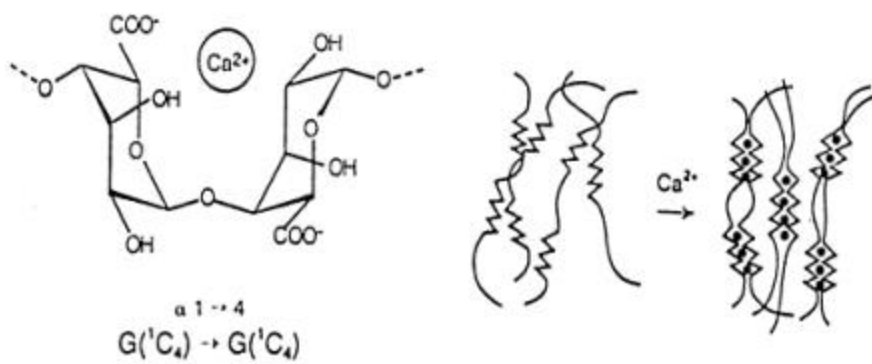
Dentro del marco costero, es posible reconocer diversos organismos que presentan en su estructura celular sustancias bioactivas llamadas polisacáridos. Estos poseen una estructura organizada molecularmente integrada a la materia viva de la especie. (Macarulla & Goñi, 1993). En el ecosistema marino se pueden encontrar polisacáridos en algas y en el exoesqueleto de crustáceos. Estos hidrocoloides se comportan como principal soporte estructural en la pared celular de dichos organismos (Vargas & González Martínez, 2006). Por el otro lado, los moluscos producen un químico llamado carbonato de calcio que se encuentra cristalizado en sus conchas adherido sobre una matriz orgánica.

#### **Alginato**

Los alginatos, el agar y el carragenano son los principales polisacáridos extraído de algas rojas, pardas y verdes. El alginato se encuentra únicamente en la pared celular de las algas pardas. Este compone entre un 20% y 40% de su peso en seco (Calvo, 2011). Este polisacárido es utilizado comercialmente por sus propiedades gelificantes en la industria alimenticia y como componente cicatrizante y estabilizador en la biomedicina. Se puede encontrar en la gastronomía molecular en forma de caviar, o en varias pastillas del mundo de la medicina. Sin embargo, últimamente ha tenido un mayor desarrollo en el campo de bioplásticos, siendo empleado sobre papel, textiles y packaging (Rinaudo, 2014) (McHugh, 2003).

Una de las propiedades más importantes del alginato es su capacidad de formar un hidrogel en la presencia de calcio. Molecularmente se conoce la estructura como "caja de huevos", ya que los iones de calcio se sitúan como puentes entre los grupos con carga negativa del ácido gulurónico (Calvo, 2011).

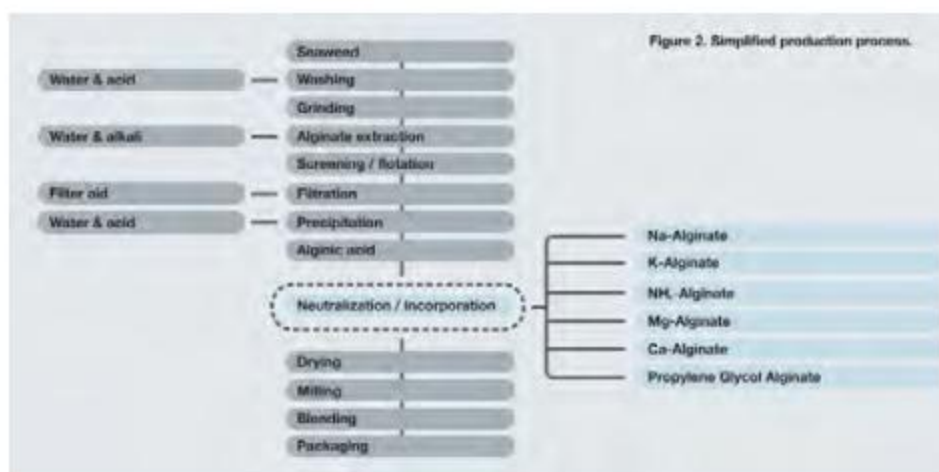




Fig\_3. Formación de estructura de doble hélice formada por alginato y calcio.

A diferencia del agar, otro polisacárido extraído de algas rojas y verdes, el alginato es irreversible térmicamente una vez que está gelificado con calcio. Es decir, este no cambia su estado sólido al aplicarle calor. Es por esta capacidad que es también empleado en alimentos que requieren ser calentados en microondas y deben mantener su forma gelificada (Albert, Salvador, & Fiszman, 2012).

El proceso de extracción del alginato, requiere de maquinaria industrial y químicos especiales. Es por esto que dentro del marco de esta investigación se utilizará alginato en polvo previamente extraído y comercializado



Fig\_4 Proceso de extracción de alginato empleado por la empresa FMCBiopolymer.

## Quitosano

Quitosano es el nombre que reciben un grupo de polímeros obtenidos a partir de la desacetilación de la quitina. (Vargas & González-Martínez, n.d.) El quitosano ha sido catalogado como el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza después de la celulosa (Ayala Valencia, 2015). Este es un polisacárido biocompatible, biodegradable y no tóxico (Duma, Zaritzky, & Sequeiros, 2013) por lo que permite

su aplicación en diferentes industrias tales como: alimentos, farmacéutica y de cosméticos, así como en la agricultura y en la remoción de metales pesados para el tratamiento de aguas residuales (Ayala Valencia, 2015).

Para poder obtener el quitosano es necesario un proceso químico y alcalino por lo que para el marco de la investigación se decide conseguir el producto ya procesado industrialmente.

## Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio se encuentra calcificado en forma cristalizada en la concha de los moluscos marinos. La concha de los moluscos está constituida por dos capas, una no calcificada denominada periostraco, y la porción calcificada constituida por el mesostraco e hipostraco, siendo su composición química de carbonato de calcio (Baqueiro & Aldana Aranda, 1995). El proceso metabólico por el cual se forma esta concha es llamado como la biomineralización. Estos materiales están compuestos por partes orgánicas e inorgánicas, por lo que comúnmente se les conoce como *biocomposites* (Esteban, 2006). Actualmente el carbonato de calcio, extraído de moluscos o piedras calizas, tiene diversas aplicaciones industriales y comerciales.

## 5.2. Metodologías de Fabricación y Caracterización del Biomaterial

La aplicación de dichos hidrocoloides y minerales costeros ha constituido un valor comercial en industrias productoras. Sin embargo, el presente estudio pretende la elaboración y fabricación del biomaterial dentro de condiciones domésticas y al alcance de una escala más pequeña de producción. Para poder lograr dichos objetivos, es necesaria la revisión teórica y metodológica empleada por diversos autores para la replicación o reproducción de dichos procesos.

## **Métodología de fabricación de Neri Oxman & Laia Mogas Soldevila (2015)**

Investigadores del MIT realizaron un estudio para lograr la fabricación digital con un material biobasado. Para ello utilizaron agua como componente principal en soluciones de quitosano, alginato y polvo de celulosa microcristalina. En la naturaleza el agua es capaz de ensamblar moléculas para formar estructuras complejas y multifuncionales. En la fabricación aditiva es fundamental como (1) agente iniciador, ya que permite formar químicamente la solución; (2) como agente activador, porque permite lograr la viscosidad y propiedades de fabricación; (3) como agente morfológico; (4) como agente reciclador, para su reutilización (5) y como sostenedor de vida, ya que permite la formación de nuevo micro organismos (Soldevila & Oxman, 2015). Esta investigación tuvo éxito en su realización. Sin embargo, cabe destacar que no utilizaron cloruro de calcio para la gelidificación del alginato ya que buscaban que el material pudiera ser disuelto en agua. De todas maneras, se pretende explorar su metodología proyectual.

### **Detalles Experimentales**

Los materiales utilizados por las investigadoras son: quitosano desacetilado al 85%, ácido acético, polvo de celulosa microcristalina, alginato de sodio y polvo de quitina. Las proporciones fueron de 3%, 6% y 10% (w/v) de quitosano en una solución de 1% ácido acético. Solución de alginato de sodio al 4% (w/v) en agua, celulosa al 5% en una solución de 10% de quitosano, y un 16% de polvo de quitina. Las soluciones luego fueron extruidas en jeringas de 0,7 a 9 mm por un brazo mecánico. Los elementos fueron curados y fabricados a temperatura ambiente para poder demostrar su escalabilidad en lugares domésticos (Soldevila & Oxman, 2015).

La experimentación comenzó con la impresión de películas de quitosano, este presentó una fuerza de [UTS] 40 MPa. Sin embargo, al agregarle a la mezcla alginato de sodio, esta quedó más viscosa y con mejores propiedades de extrusión. Para probar la

estructura, las investigadoras imprimieron una simulación de un ala de libélula de unos 3 metros de largo. En ella se varió la concentración de quitosano y alginato de sodio de 1% CHI en 10% de SA y viceversa. Otra estructura que resultó ser bastante rígida es la combinación de microfibras de celulosa 100% [w/v] en 3% de quitosano. Para comprobar su biodegradabilidad, sumergieron 15 gr de quitosano compuesto en agua y este solo demoró 20 minutos en disolverse. De todas maneras, recomiendan sumergir los prototipos en una solución de 4% de Hidróxido de sodio para darle mayor estabilidad al material.



Fig 5. Prototipo impreso con resina de quitosano

Por último, también integraron “filler” naturales a las mezclas de quitosano y alginato. Entre ellos ocuparon arena, tierra, fibra de cáñamo, semillas, carbonato de calcio y bicarbonato de sodio (Soldevila & Oxman, 2015).

### Metodología de fabricación de Teresa Cuadros, Olivier Skurtis, José Aguilera (2012)

Esta investigación fue realizada por profesionales de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Técnica Federico Santa María de Chile, por lo que resulta de interés su análisis y posterior contacto con los profesionales. El proyecto requería la extrusión a un diámetro constante de filamentos de alginato de sodio recubiertos por cloruro de calcio para la aplicación alimenticia del polisacárido.

#### Detalles Experimentales

El alginato de sodio fue conseguido en Gelymar (Extractos Naturales S.A. Chile). Utilizaron concentraciones entre 1.25% y 2.5% w/v. Se tiñeron los componentes con una laca roja al 0,5% (w/w) para poder diferenciar los filamentos en el medio acuoso. Finalmente se utilizó Cloruro de Calcio en distintas proporciones dependiendo del peso y concentración. Las soluciones fueron dejadas por 24 horas a 4°C antes de usarlas (Cuadros, Skurtys, & Aguilera, 2012). Para la producción de los filamentos, utilizaron un dispositivo para microfluidos (MFD) mostrado en la Figura 8. Este dispositivo contaba con dos microagujas. Una interior que contenía el alginato de sodio y otra exterior con la solución de cloruro de calcio. La recolección de los filamentos fue realizada en solución de 1000 m3 de cloruro de calcio en las mismas concentraciones del extruido.

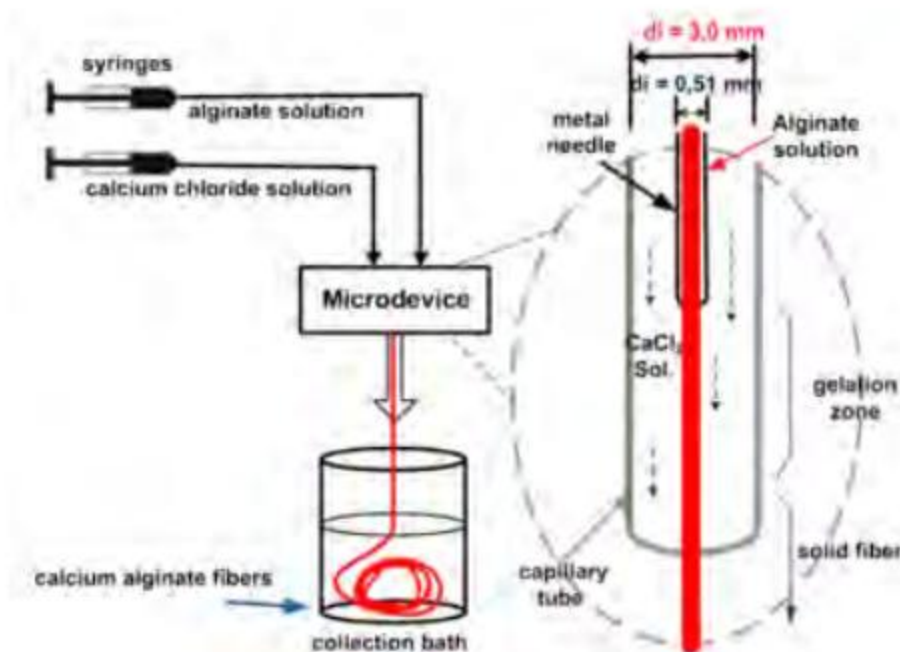


Fig 6. Esquema de la generación de filamentos por Cuadros et., al.

Las mejores condiciones de los filamentos se encontraron en soluciones de [Ag] = 2.5% y [CaCl<sub>2</sub>] = 0.5%, también para [Ag] = 1.25% y [CaCl<sub>2</sub>] = 2.5% y por último para [Ag] = 1.875% y [CaCl<sub>2</sub>] = 1.5%. El experimento fue llevado con éxito y para las muestras de alginato se demostró que su resistencia a la tensión era mayor en una concentración de cloruro de calcio cercano a los 1.4%.

### Metodología de fabricación de Hiroshi Tamura, Yukihiro Tsuruta, Seiichi Tokura (2002)

El propósito de esta investigación era poder generar un filamento de alginato recubierto con una fina capa de quitosano el cual le otorga una superficie más lisa y aumenta la resistencia a la tensión. Esto se debe a la apropiada interacción iónica entre estos dos polisacáridos. Los investigadores proponen una nueva metodología para el procedimiento aplicado en fibras para la cura de heridas en biomedicina.

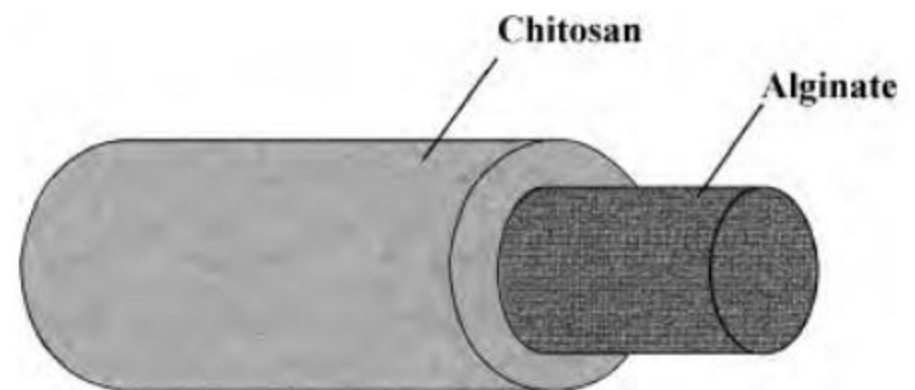


Fig 7. Representación del recubrimiento del quitosano en el filamento de alginato. (Tamura, Tsuruta, & Tokura, 2002)

#### Detalles Experimentales

La caracterización de las soluciones consistió en disolver 1 gramo de alginato en 100 ml de agua desionizada. Posterior a eso, 1 gramo de quitosano en polvo fue disuelto en una solución acuosa de 100 ml de 2% [v/v] de ácido acético. Una vez dejadas reposar las mezclas se añade el quitosano reservado a una solución de 700 ml de 3% de cloruro de calcio. El proceso consiste en la extrusión del alginato en el baño de CaCl<sub>2</sub> y Qo. Los investigadores desarrollaron una máquina para controlar el tiempo de exposición al baño acuoso y para mejorar la tensión del filamento.

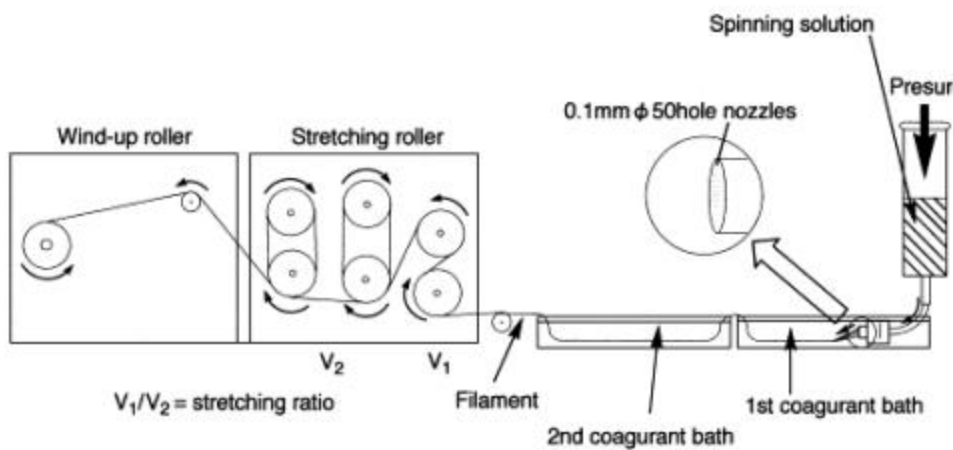


Fig 8. Aparato para el "spinning" del filamento de alginato recubierto en quitosano.

### 5.3. Pertinencia de tipo de redes y métodos de hilado

#### Estructura de las redes

Los materiales de construcción de las redes pueden ser naturales o sintéticos. Estos son hilados a partir de una cuerda que se denomina "línea". El filamento se teje formando una trama de ventanas o malla. Cada espacio interior se le denomina como "luz de malla" u "ojo de malla" (Acosta, n.d.)

#### Tipos de redes

Como se mencionó anteriormente, la relevancia del proyecto incide directamente en la producción de secciones de redes de pesca que sean biodegradables para evitar la pesca fantasma. De los tipos de redes, se ha registrado que las más amenazadoras son las redes agalleras, las nasas y atarraya.

Las redes agalleras o trasmallos son del tipo de arte de pesca pasivo. Estas son empleadas en el fondo marino y puestas horizontalmente para atrapar a las especies que se quiere recolectar (CETMAR & Pérez, 2009).

Por el otro lado, están las nasas, otro tipo de arte pasivo, se usan en arrecifes y fondos marinos. Las nasas están hechas a partir de la red y un material estructural que puede ser madera, metal, mimbre, entre otros. (CETMAR & Pérez, 2009). Las nasas son usualmente dejadas durante todo el día y revisadas una o dos veces. Las nasas pueden ser

consideradas como un tipo de pesca responsable, sin embargo, tienen bastantes regulaciones que evitan la pesca fantasma. (Ross Salazar, 2014)

Finalmente están las redes atarrayas o redes de lance. Estas son una forma de pesca activa utilizada desde embarcaciones o en pocas profundidades. Estas son circulares y son generalmente hechas a partir de un monofilamento de nylon. Esta lleva pesos en el borde que hacen que se hunda y pueda capturar los peces. (Ross Salazar, 2014)



Fig 9. Red circular o atarraya.

#### Pertinencia de insumos pesqueros y herramientas del rubro como alternativa proyectual

Es pertinente poder establecer una alternativa proyectual a la fabricación de redes de malla. Esto es relevante ya que en la investigación se está elaborando una hipótesis frente al material experimental. Es por esto que las características mecánicas que pueda llegar a tener el producto son desconocidas hasta el momento.

Sin embargo, se pretende generar un filamento a partir de las probetas. Por lo que se presentará a continuación una búsqueda de referentes constructivos y formatos de fabricación digital y análoga como medio de producción que utilicen fibras o filamentos para la conformación de estructuras.

## Estructuras tridimensionales con resistencia a la compresión

Es el caso del proyecto realizado por Oluwaseyi Sosanya quien desarrolló un sistema de impresión 3D para la tejer hilo. Es pertinente analizar este sistema constructivo ya que se utiliza un filamento para la formación de una estructura resistente a la compresión. En la máquina creada por Sosanya, el hilo es recubierto con una resina para asegurar su estabilidad y rigidez en la estructura. En él se pueden observar estructuras interesantes y flexibles. Como alternativa proyectual, se pueden emplear esta forma de estructura en otro tipo de insumos de pesca que también pueden contribuir a la contaminación del océano. Como se mencionó anteriormente las cajas de cebos, bolsas, boyas flotadoras restos de las cocinas y de la limpieza de los buques son también objetos que terminan contaminando el mar y son utilizados por las embarcaciones o pescadores artesanales (Allsopp et al., 2007).

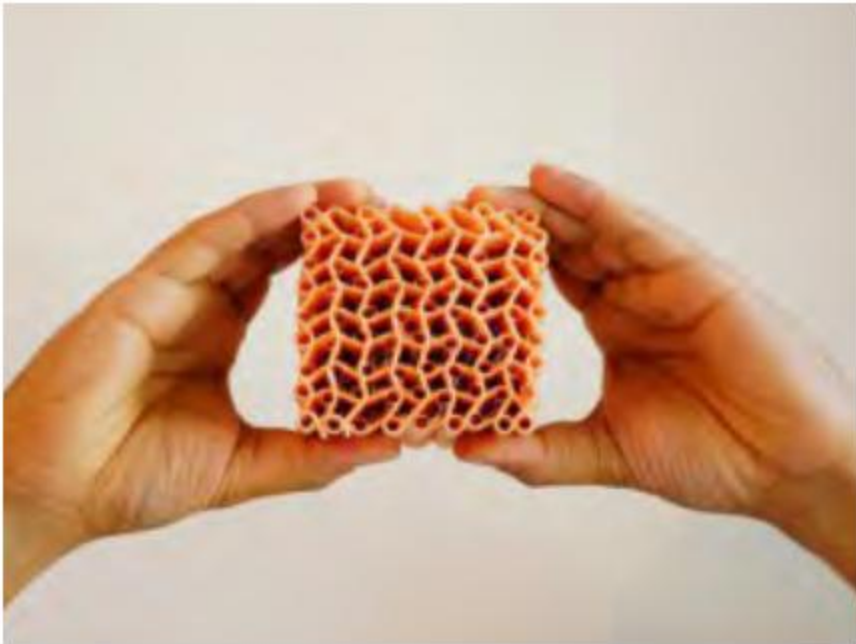


Fig 10. Estructura a partir de hilos encerados por Oluwaseyi Sosanya.

## 6. Hipótesis

La mezcla acuosa de distintas soluciones de polisacáridos del medio costero permite la fabricación de un filamento resistente a la tracción.

## 7. Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un filamento resistente a la tracción para la elaboración de mallas o tejidos destinados al arte de pesca.

### Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de las soluciones acuosas de alginato, cloruro de calcio y quitosano
- Elaborar un sistema de manufactura y confección del filamento
- Producir una estructura textil resistente a la tracción a partir de los filamentos creados.

## 8. Estado del Arte

El estado del arte de la investigación, comprende principalmente a aquellos proyectos que involucren, en su producto o material: alga, agar, quitosano o carbonato de calcio. Además, se consideran sólo proyectos dentro de la última década por su nivel de innovación y originalidad.

### **Proyectos con Alginato**

Lo más relevante son los proyectos que declaran utilizar el alginato como principal componente de su material desarrollado.

### **Proyectos con Agar**

Dentro del estado del arte, también son considerados los proyectos con agar, polisacárido extraído de algas rojas y verdes, ya que sus propiedades son muy parecidas a las del alginato.

### **Proyectos en base a algas como materia prima**

Son aquellos proyectos que involucran en su producción el alga como materia prima en su producto final.

### **Algiknit**

Dentro del marco y área de interés hay un proyecto de diseño textil que declara trabajar principalmente con alginato como polisacárido principal del filamento. El proyecto se llama Algiknit y está siendo desarrollado actualmente por estudiantes y profesores de FIT en Nueva York (FIT, 2017). Este proyecto experimental es el principal referente y antecedente de la investigación ya que el propósito de esta investigación es la caracterización de un filamento útil para la contaminante industria textil. Su tecnología está en estado de patente, por lo que no declaran procesos ni materiales. Sólo el uso de alginato y quitosano para la elaboración de los filamentos.

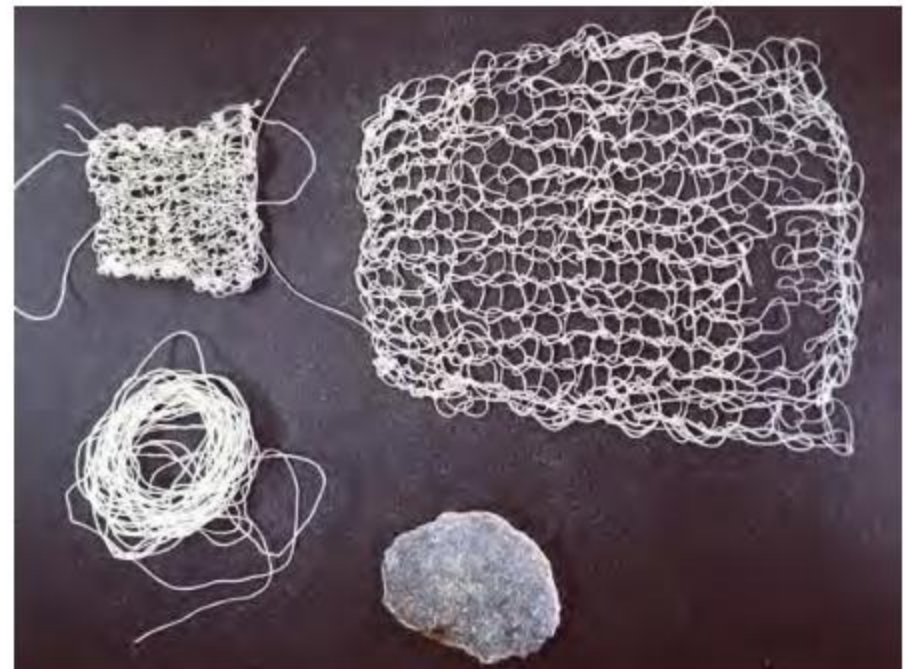


Fig 11. Muestra de filamentos elaborados por Algiknit (2016).

## **Seame**

*Autores: Nienke Hoogvliet*

*Pais: Dinamarca*

*Año: 2014*

*Material: Fibra de celulosa de alga*

Dentro del mismo marco danés, Nienke Hoogvliet desarrolla una línea de productos hechos a partir de una fibra de alga. Esta fibra tiene un aspecto parecido a la lana y una gama de colores teñidos también con los pigmentos del alga. Si bien la diseñadora no declara el proceso de manufactura de la fibra, si reitera que está hecha a partir de celulosa de alga. Los productos son una crítica a la contaminante industria textil. Para ello elabora una alfombra con anudados de la fibra sobre una malla de pesca en desuso. Esto establece un llamado a la toma de conciencia en cuanto a los organismos que se están viendo afectados por la cantidad de desechos en el medio marino.

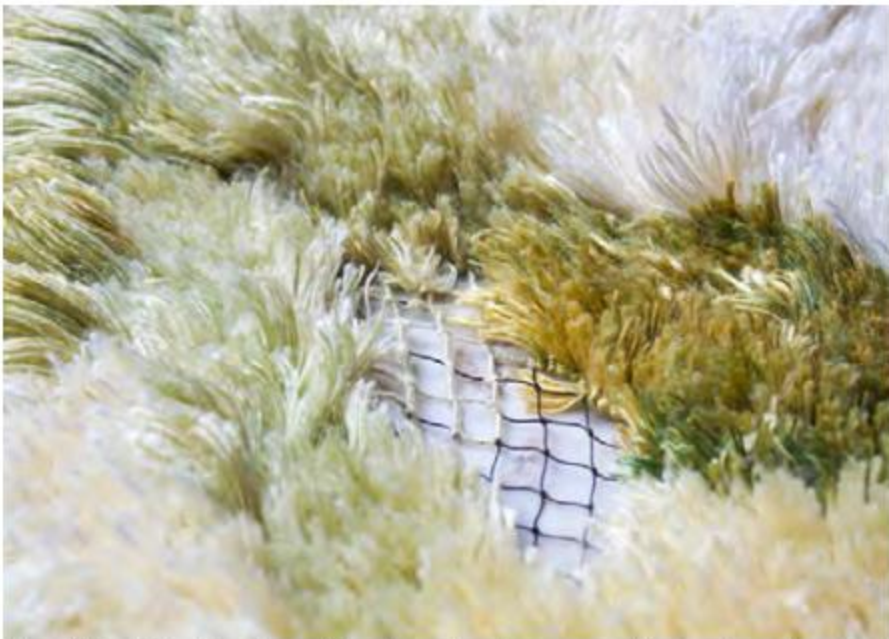


Fig 12. Detalle de alfombra hecha con fibra de algas y entretejido en una malla de red en desuso.

## **Agari**

*Autores: Ari Jónsson*

*Pais: Islandia*

*Año: 2016*

*Material: Agar*

En Islandia, el estudiante de diseño, Ari Jónsson, desarrolló una botella de agua hecha a partir de agar extraído de algas rojas mezclado con agua. Para su fabricación Jónsson calienta la mezcla para luego incorporarla en un molde congelado. Posterior a eso introduce el molde en un cubo con agua fría y lo somete a un rotomoldeo. Mientras que la botella está con agua, esta mantiene su forma, pero una vez que se desocupa, la botella comienza a degradarse lentamente. Esta adquiere el sabor al agar y es posible comérsela si el usuario lo prefiere. Ari Jónsson crea este concepto de botella como una crítica a la contaminación por plástico en el medio ambiente.



Fig 13. Proceso de degradación de botellas de agua hechas a partir de agar extraído de algas rojas.

### **Agar Plasticity**

*Autores: AMAM*

*Pais: Japón, desarrollado en Inglaterra*

*Año: 2016*

*Material: Agar, algas y restos de conchas*

AMAM es el nombre que se proclama el colectivo de tres diseñadores japoneses creadores de *Agar Plasticity*. Preocupados por la toxicidad de los materiales sintéticos existentes, desarrollaron una línea de productos hechos a partir de agar. Realizaron tres versiones del material donde; en el primero, utilizaron sólo el agar en polvo; en el segundo mezclaron agar en polvo con materia de alga roja; por último, utilizaron restos de conchas marinas en polvo con agar. Luego de mucha experimentación lograron crear una línea de productos como packaging, envoltorios o recipientes.



Fig 14. Exposición de experimentación con las tres materialidades hechas a partir de agar.

### **That's It**

*Autores: Austeja Platukyte*

*Pais: Lituania*

*Año: 2016*

*Material: Agar, algas y restos de conchas*

That's it es una línea experimental de productos realizada por la diseñadora Austeja Platukyte en Lituania. Similar al proyecto desarrollado por AMAM, la alumna también diseñó una línea de packaging experimental hecho con agar, carbonato de calcio y cera emulsionante a base de vegetales. Su investigación en materiales busca encontrar un proceso sustentable y poco contaminante. Durante su proceso guardó toda la basura producida para elaborar otro proyecto. Además tiene plantado su material y confirma constantemente la biodegradabilidad de este.



Fig 15. Muestras de la experimentación



### ***Terroir Project,***

*Autores: Jonas Edvard & Nikolaj Steenfatt*

*Pais: Dinamarca*

*Año: 2015*

*Material: Algas pardas y papel*

Este proyecto resulta interesante para el marco de la investigación, ya que considera y reconoce la presencia de alginato como adhesivo estructural en la pared celular de las algas. Elaborado en Dinamarca por Jonas Edvard y Nikolaj Steenfatt, quienes recolectaron algas de la costa danesa. Las algas fueron cocinadas hasta formar un pegamento natural al que luego añadieron papel reciclado para hacer una pasta. Finalmente se moldeó y dejó secar, formándose un material liviano parecido al corcho.



Fig 16. Silla de alga y papel, parte de la colección Terroir Project.

### ***De Algarum Natura***

*Autores: Officina Corpuscoli*

*Pais: Italia*

*Año: 2015*

*Material: Algas y agar*

Interesados en poder desarrollar una gama de productos que respondieran a las exigencias de un mundo que necesita productos compostables y biodegradables, Maurizio Montalti desarrolla una línea de productos que utiliza la biomasa de alga mezclada con agar extraído de la misma para crear un nuevo material.



Fig 17. Silla de alga y papel, parte de la colección Terroir Project.

## 1. Etapas de Experimentación

Para lograr la caracterización del material y su comprensión mecánica es necesaria la realización de diversas experimentaciones que potencien y revelen las propiedades físicas pertinentes a la producción del material. Para esto se realizó una búsqueda bibliográfica sobre distintas concentraciones y métodos de fabricación que fueran acorde a los materiales a utilizar.

### 1.1. Caracterización de concentraciones de soluciones acuosas

#### Objetivos

El primer acercamiento a la fabricación del material es determinar los componentes necesarios para elaborar una solución acuosa capaz de formar un filamento.

#### Hipótesis

La mezcla entre alginato en polvo con una solución de alga molida, se gelificará en presencia de cloruro de calcio y formará un filamento fibroso. Por el otro lado el cruce entre concentraciones de alginato de sodio con cloruro de calcio forma un hidrogel filamentosos. La incorporación de quitosano en la solución de cloruro de calcio, aumenta la estructura y propiedades mecánicas del filamento de alginato.

#### Materiales y Métodos

El alga *Macrocystis pyriphera* se obtuvo a partir de la costa del litoral central en la comuna de Maitencillo. Se realizó un procedimiento de lavado, diseccionado y deshidratado para obtener un polvo de alga. El cual fue posteriormente cocinado con agua de llave para formar una pasta. Para el secado de las algas, se utilizó un Deshidratador Blanik. Luego fueron molidas en un procesador de alimentos. El polvo fue posteriormente cocinado en una hoja con agua.

En paralelo se obtuvo alginato de sodio y cloruro de calcio en Cherry Chile Ltda (Av. Manuel Montt 88, Santiago, Providencia, Región Metropolitana). Además, se obtuvo quitosano en tabletas, para consumo como suplemento alimenticio, en la Farmacia Cruz Verde. Estas fueron molidas para obtener un polvo de ellas. Por último se adquirió ácido acético en Productos Químicos Chile Ltda. (Santa Victoria #0372, Providencia). Este es utilizado para la correcta disolución del quitosano. Una vez obtenida la materia orgánica, se procedió a la caracterización y mezcla de ella.

En un principio se realizaron mezclas con agua de la llave, luego se procedió a utilizar agua destilada para la obtención de mejores resultados. Esta se consiguió en botellas de 500 ml en la Farmacia Carmen Av. Pedro de Valdivia 12, Providencia, Región Metropolitana.

Para poder almacenar las distintas mezclas de concentraciones, se compraron diversos frascos de 150 ml en Todo Envase (Las Bellotas 270, Local 6, Providencia, Región Metropolitana).

La medición de los materiales y diluyentes, se realizó con una pesa gramera y un recipiente con mililitros marcados. Para la correcta disolución de los polvos en las mezclas, se utilizó un mezclador Molecule-R. Además se utilizaron colorantes de cocina para teñir el alginato de sodio. Estos fueron aplicados desde la Mezcla 1 en adelante. Finalmente se ocuparon jeringas de 0,5; 2 y 3,5 de diámetro.

## SOLUCIÓN 1

### Registro y Observaciones:

La primera aproximación a la formación del material fue el trabajo con soluciones acuosas de cloruro de calcio con alginato de sodio para verificar la formación de un gel al contacto entre estas dos concentraciones. Cabe destacar que en esta parte de la experimentación no hubo mucho apoyo bibliográfico si no que fue un procedimiento guiado por el instinto de la autora y el conocimiento básico sobre los polisacáridos y procesos de gelificación. La prueba consistió en la preparación de una solución de 1,5 gr de alginato en 100 gr de agua de la llave, debido a la lenta degradación de los cristales de alginato en agua, fue necesario utilizar una licuadora de alimentos. Posterior a ello, se mezclaron 2 gr de cloruro de calcio en 100 gr de agua, el cloruro si presenta una rápida disolución en agua.

Luego la solución de alginato fue introducida en una jeringa para extruir su contenido en el baño de cloruro de calcio. Según lo esperado, el alginato obtuvo una forma filamentosa. Inmediatamente se retiraron los filamentos del agua y dejaron separados para el secado. Esta muestra también se vertió sobre un molde para observar su capacidad plástica una vez seca.

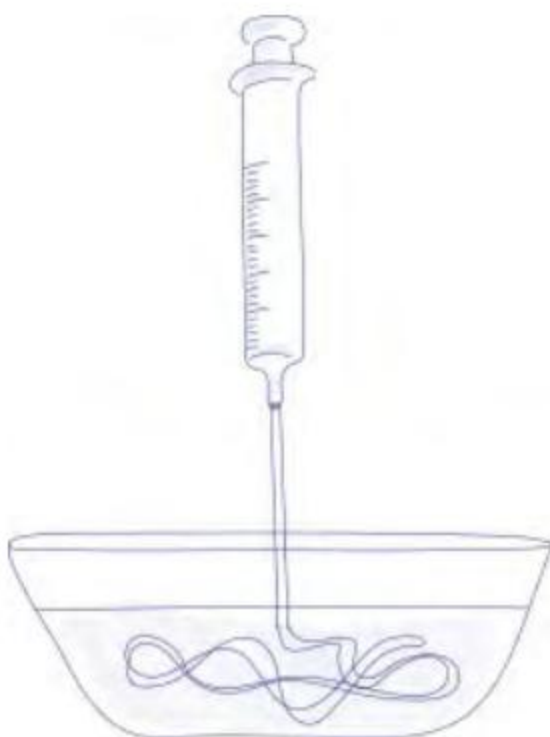


Fig 18. Diagrama de flujo de trabajo para la elaboración de la Solución 1.

### Conclusiones

#### 1. FILAMENTO EN GEL: Diámetro de extrusión poco homogéneo y se quiebra al manipularlo

Los filamentos de esta solución presentaron ser muy frágiles al tacto, si bien lograron mantener una forma gelosa en la superficie, en el interior la solución de alginato resultó ser muy líquida y no se logra gelificar en la solución de cloruro de calcio.

#### 2. FILAMENTO SECO: Poco resistente

El proceso de secado duró más de dos días por el gran contenido de agua. En estado seco los filamentos se rompen al manipularlos.

#### 3. ERRORES en el procedimiento de elaboración de la solución

Posterior a la realización de esta solución, se pudieron notar ciertos errores claves que contribuyeron al fallo experimental. Estos fueron verificados al consultar la literatura y expertos en el ingeniería química y biomateriales.

##### a. Burbujas en la solución y filamentos

Se observa la presencia de burbujas en el interior del filamento. Estas burbujas generaron puntos de quiebre en el filamento una vez que este se secó. Para evitar burbujas en los filamentos, en los siguientes experimentos se dejar reposar la solución de alginato con un mínimo de 10 horas o hasta lograr la desaparición de burbujas.

##### b. Calcificación de filamentos

En torno a los malos resultados del experimento, se acude al Profesor Sergio Benavides, del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos para mejorar la producción de filamentos. El Profesor hace una observación importante en cuanto al tiempo de curado de los filamentos. Informa que estos deben mantenerse

en la solución de cloruro de calcio por lo menos 24 horas para que el calcio pueda penetrar hasta el interior de los filamentos.

### c. Tipo y cantidad de agua

Por último, a partir de una consulta exhaustiva a la literatura, se pudieron notar dos errores importantes del experimento. Estos estaban directamente relacionados con el agua. Por un lado, el agua de la llave no es la mejor para estas soluciones, ya que la presencia de minerales y cloro no permiten predecir el resultado del experimento, es por esto que se prefirió utilizar agua destilada en las siguientes mezclas.

Por el otro lado, en este experimento se utilizó por cada mezcla 100 gramos de agua, cuando en realidad se deben utilizar 100 mililitros de agua por cada concentración del polímero. Esto se refiere a la nomenclatura utilizada en procesos químicos como [w/v], en inglés, *weight/volumen*. Por ejemplo; una solución del 1% [w/v] de alginato de sodio, significa que 1 gr de alginato se mezcla en 100 ml de agua.



Fig 19. Burbujas en filamentos de la Solución 1.



Fig 20 y 21. Filamentos estirados para dejar secar y detalle que muestra la poca constancia del diámetro

## SOLUCION 2

Para la solución 2 se considera la utilización de la materia prima del alga *Macrocystis pyriphera* en la concentración del filamento. Se cree que como el alga posee alginato en su pared celular la pasta extruida en cloruro de calcio se gelificaría al potenciarla con alginato en polvo.

### Registro y Observaciones

Las algas recolectadas del litoral, fueron lavadas repetidas veces para liberar el exceso de arena y presencia de otros organismos. Luego estas fueron hervidas en la hoya presión para terminar el proceso de esterilización. Finalmente fueron seccionadas y deshidratadas en la máquina Blanik. Las algas secas fueron trituradas para formar un polvo que luego fue mezclado con 100 ml de agua hirviendo. Finalmente, a la mezcla se le agregaron 1,5 gr de alginato de sodio. Esta fue incorporada en una jeringa y extruida en una solución de cloruro de calcio. Similar al proceso de la solución anterior, una vez extruidos los filamentos se sacaron de la solución de cloruro de calcio. Sin embargo, estos no lograron gelificarse ni mantener su forma fuera de la solución.

### Conclusiones

#### 1. Poca consistencia y estabilidad del filamento

Al extruir el filamento en la solución de calcio, este si mantiene una forma de diámetro controlado. Sin embargo al sacarlo de ella, el filamento no se mantiene y se disuelve. Sin embargo, en este experimento aún no se tenía conocimiento de la importancia de mantener el filamento por 24 hrs en la solución. Por lo que podría hacerse nuevamente con estas especificaciones.



Fig 22. Filamentos de Solución 2 en cloruro de calcio. 27/09/17

#### 2. Aparición de hongo en pasta de la solución.

Semanas después de la realización del experimento, se encontró la pasta de alga rodeada de un micelio blanco de hongo. Resulta interesante saber que es un buen sustrato para el crecimiento de dicho hongo y en el marco de la biofabricación y biodiseño es interesante para análisis de otra investigación futura.



Fig 23. Micelio de Hongo creciendo en la Mezcla 2. 28/10/17

## SOLUCIONES 3 y 4

En base a los experimentos fallidos realizados con anterioridad, la estudiante realizó una investigación de procedimientos específicos para lograr una adecuada gelificación del alginato y formación del biopolímero. Es así como experimenta con la Mezcla 1, usando únicamente alginato de sodio y cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) basado en la investigación de Cuadros, Skurtis y Aguilera (2012).

A su vez, se realiza otra mezcla experimental en base a la investigación de Hiroshi Tamura, Yukihiko Tsuruta, Seiichi Tokura (2002) con un recubrimiento de quitosano (Qo) en el exterior del filamento.

Por otro lado, se descarta el uso de carbonato de calcio para la elaboración de un filamento ya que no se logra conseguir Glucono- $\delta$ -lactona en el mercado a un precio accesible para la investigación. Esta enzima es necesario para bajar el pH del agua y lograr la disolución de este mineral en agua. Sin embargo, para un próximo caso de estudio sería ideal poder trabajar con el carbonato y alginato, ya que este permite una gelificación más gradual del filamento en el interior de él (Lee & Mooney, 2012).

### Registro y Observaciones

La investigación de Cuadros et al. propone 3 combinaciones distintas entre las concentraciones de Alginato de Sodio y Cloruro de Calcio. Estas se describen en la Tabla 1.

Nombre mezcla	Alginato de Sodio	Cloruro de Calcio
3A	2,5 % (w/v)	0,5 % (w/v)
3B	1,25 % (w/v)	2,5 % (w/v)
3C	1,875 % (w/v)	1,5 % (w/v)

Tabla1. Combinaciones entre CaCl<sub>2</sub> y Alginato (Cuadros et al., 2012).

Por el otro lado, la investigación de Tamura et. al (2002) propone un baño de cloruro de calcio con quitosano para mejorar las

propiedades mecánicas a tracción del filamento y lograr un hilo más uniforme.

Nombre mezcla	Alginato de Sodio	Quitosano	Cloruro de Calcio
4A	1 % (w/v)	1 % disuelto en 100 ml de 2% (v/v) ácido acético	700 ml de 3% (w/v)

Tabla2. Combinaciones entre Alginato, CaCl<sub>2</sub> y Qo (Tamura et al., 2002).

En base a estas tablas se realiza un desarrollo experimental de la fabricación de filamentos con los polímeros y materiales necesarios.

Para la correcta realización de los experimentos se establece una metodología a seguir para el resto de las pruebas. Esta consta de los siguientes pasos:

1. *Obtención de soluciones acuosas*
  - a. *Pesado de reactivos en polvo en la pesa electrónica.*
  - b. *Mezclado con 100ml de agua destilada y dos gotas de colorante de comida con herramienta Molecule-R.*
  - c. *Reposo de la mezcla durante mínimo 3 horas para la desaparición de burbujas.*
2. *Fabricación del Filamento*
  - a. *Extrusión en jeringas de 0,5; 2 y 3,5 mm de diámetro de la solución de alginato en solución acuosa de CaCl<sub>2</sub>.*
  - b. *Reposo durante 24 horas para la gelificación homogénea de los filamentos.*
3. *Secado y obtención del hilo*
  - a. *Filamento en gel colgado o enrollado para dejar secando en un mínimo de 7 horas.*
  - b. *Obtención del hilo*

Este proceso se realizó por cada submezcla de la Mezcla 3 y 4 en los tres diámetros correspondientes de la jeringa.

## Conclusiones

### a. Formación de filamentos resistentes a la maleabilidad

La extrusión de todas las mezclas dio origen a filamentos con distintas características pero con capacidades mecánicas óptimas para el desarrollo del proyecto.. Esto afirma que el apoyo bibliográfico es clave para la correcta caracterización del material. En segundo lugar, afirma la teoría que se puede crear un biofilamento a partir de polisacáridos extraídos del ecosistema costero como lo es el alginato y el quitosano.

### b. Variables de concentraciones en la solución, afectan el resultado final del filamento.

Se puede crear ciertas conclusiones en cuanto a la característica de cada filamento en relación a la concentración de las soluciones acuosas empleadas en su composición. Por ejemplo, se concluye que la concentración de cloruro de calcio en la solución de "curado" afecta la resistencia de los filamentos. La mezcla 3A es una de las más resistentes, por ende, se entiende que a menos concentraciones de  $\text{CaCl}_2$ , el filamento tendrá mejor resistencia a la tracción.

### a. Encogibilidad como variable constante en el proceso de deshidratado.

Por el otro lado se reconoce el cambio de fase desde la fabricación del filamento hasta su estado deshidratado. El diámetro de cada extrusión disminuye notablemente una vez que este está seco. Cambiando además sus propiedades de flexión y tracción.



Fig 24 y 25, Filamentos de alginato en solución de cloruro de calcio. Fig 26. Filamento en estado gel. 30/10/17

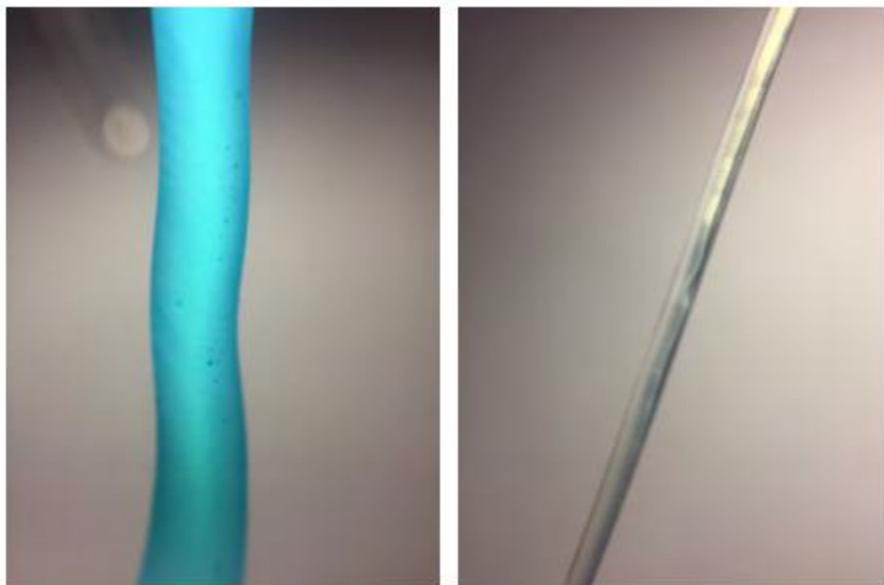


Fig 27. Nudo de filamento de solución 4 y diámetro 2.  
Fig 28 y 29. Detalle del filamento en estado gel. 3/11/17



	DIÁMETRO 0,5	DIÁMETRO 2	DIÁMETRO 3,5
MEZCLA 3A			
MEZCLA 3B			
MEZCLA 3C			
MEZCLA 4A			

## 2. Caracterización del Filamento según su resistencia a la tracción.

### Objetivos

El objetivo de este experimento es poder clasificar los filamentos fabricados del Experimento1 en cuanto a su resistencia a la tracción.

### Hipótesis

Las muestras 3A y 4A de diámetro 2 son las más resistentes a la tracción por sus características visuales y de manejo en estado seco.

### Materiales y Métodos

Para poder clasificar los filamentos en base a sus características mecánicas se realizó una prueba de resistencia a la tracción. Por cada filamento seco se utilizaron 15 cm de cada uno para verificar su resistencia al someterlo a distintos pesos.

Los pesos de la Figura 22 corresponden a 17gr, 170 gr y 1 kg respectivamente de izquierda a derecha y de arriba abajo.



Fig 30. Cargas aplicadas a los filamentos.

### Registro y Observaciones

La metodología se aplica y se somete cada filamento a 3 cargas. En las siguientes tablas se describen los resultados de las pruebas.

#### Mezcla 3A

Peso carga/ Diámetro de extrusión	17 gr.	170 gr.	1 kg
0,5	Resiste	Resiste	Falla
2	Resiste	Resiste	Resiste
3,5	Resiste	Resiste	Resiste

Tabla3. Tabla de resistencia para la mezcla de filamentos 3A.

#### Mezcla 3B

Peso carga/ Diámetro de extrusión	17 gr.	169 gr.	1 kg
0,5	Resiste	Resiste	Falla
2	Resiste	Resiste	Falla
3,5	Resiste	Resiste	Resiste

Tabla4. Tabla de resistencia para la mezcla de filamentos 3B.

#### Mezcla 3C

Peso carga/ Diámetro de extrusión	17 gr.	169 gr.	1 kg
0,5	Resiste	Falla	Falla
2	Resiste	Resiste	Resiste
3,5	Resiste	Resiste	Resiste

Tabla5. Tabla de resistencia para la mezcla de filamentos 3C.

### Mezcla 4A

Peso carga/ Diámetro de extrusión	17 gr.	169 gr.	1 kg
0,5	Resiste	Falla	Falla
2	Resiste	Resiste	Resiste
3,5	Resiste	Resiste	Resiste

Tabla5. Tabla de resistencia para la mezcla de filamentos 4A

### Conclusiones

Los filamentos soportan mayor peso del esperado abriéndose el campo de aplicaciones del material. A partir de este resultado se puede explorar la tejibilidad del hilo para ser aplicado en productos que necesiten soportar carga, como por ejemplo un bolso o una malla para estructuras o toldos.

### 4. Validación

A partir de la línea de materiales experimentales creados, se abre la posibilidad a que cada uno de estos pueda ser aplicado en un producto diferente debido a sus características mecánicas. Los experimentos dieron resultados excepcionales y la hipótesis de que se puede fabricar un filamento a partir de polisacáridos del ecosistema costero fue afirmada.

Es importante mencionar que para la creación del biomaterial es necesario seguir cada paso de la metodología. Es de suma importancia el correcto uso de los materiales e insumos como también lo es respetar los tiempos de reposo y secado.

Por el otro lado, los filamentos creados permiten la confección de un telar enmallado parecido a una red de pesca. Sin embargo, el filamento presenta una falla importante al ser aplicado en este producto. Esto refiere a la propiedad del filamento de pasar de un estado seco a un estado geloso si este se humedece. En

estado gel, el filamento pierde sus propiedades de tracción y es más frágil.

Sin embargo, si podría ser aplicado en sectores de nasas o trampas para pescados o crustáceos. Se puede incluir el filamento trenzado al resto de la malla y así si esta es abandonada al hincharse se degrada y permite la salida de organismos que puedan quedar atrapados. (Bullimore et al., n.d.)

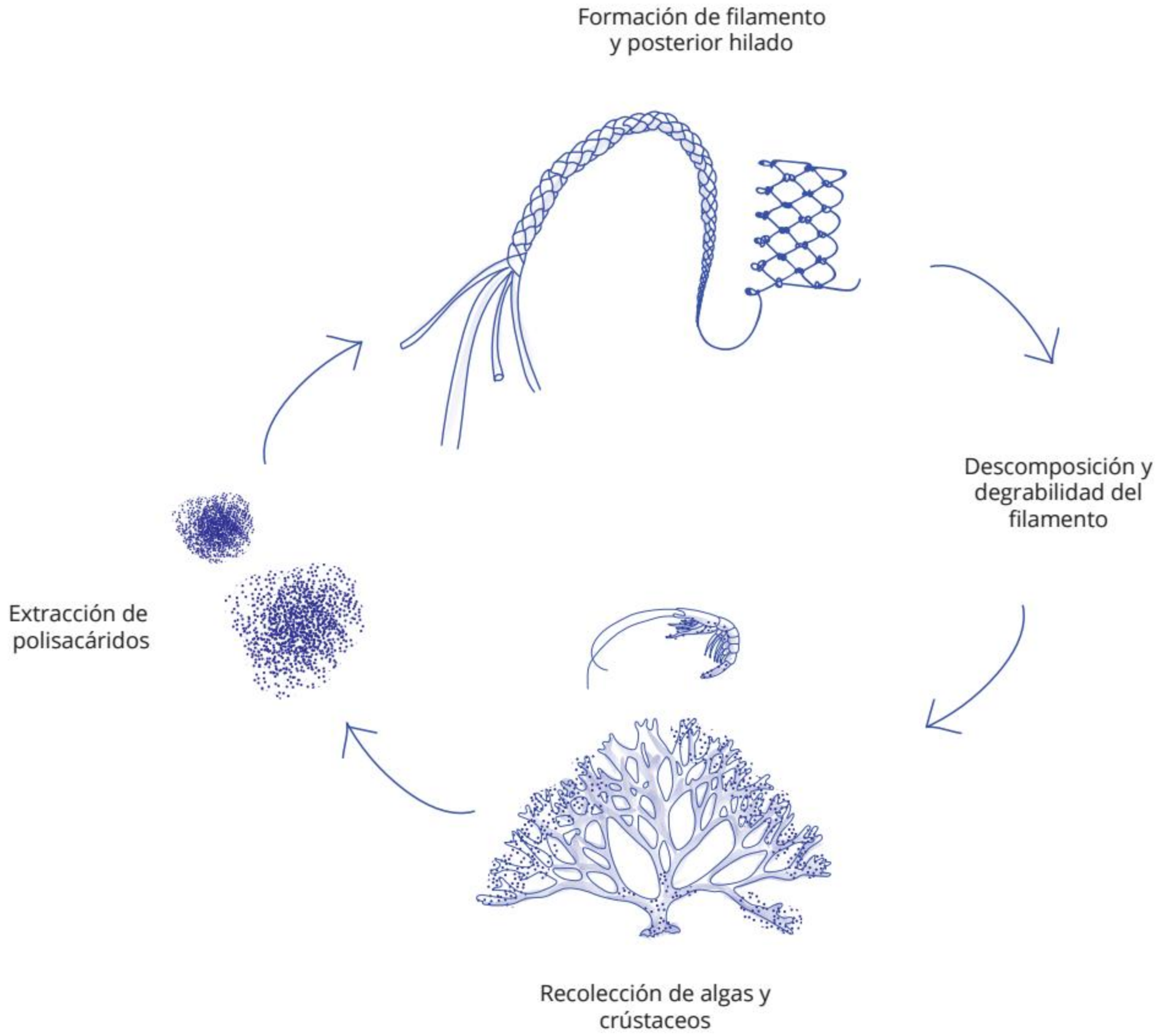
### 5. Caracterización del Material

Si bien cada filamento presenta una característica distinta, esto no pone en desventaja uno en relación a otro. Si no que más bien se le puede encontrar una aplicación específica para cada uno. Por ejemplo, aquellos creados con el diámetro más pequeño conformarían un excelente hilo para suturar heridas. En este caso podría ser utilizado el hilo de diámetro 0,5 (en gel) de las mezclas 3A y 4A. Específicamente la 3A por poseer mayor resistencia a la tracción lo que lo hace fácil de manipular sin que este se rompa a no ser de que se le aplique una fuerza que exceda la tracción de 1 kg. Por el otro lado El filamento de la mezcla 4A posee quitosano en su cobertura. Vale destacar que el quitosano es un excelente reactivo antimicrobiano (Ayala Valencia, 2015).

Por el otro lado los filamentos 1B y 2A en el diámetro de 2 cm presentaron características de flexibilidad en el material y suavidad al tacto. Su aspecto es más parecido a la silicona y el acabado que tienen en su exterior es suave y no áspero como los demás filamentos. Esto abre la posibilidad de la aplicación de estos materiales a productos con propiedades parecidas a la silicona. Estos se pueden encontrar en productos de limpieza, de cocina o incluso en calzados.

Finalmente se abre el campo de posibilidades de trabajo con los filamentos creados. El siguiente paso es poder lograr la tejibilidad de estos, en estado gel y seco para la formación de estructuras textiles resistentes a la tracción. De la misma forma, el aspecto plástico y parecido a la silicona propone un reemplazo de este material tóxico, por lo que se puede aplicar en diversos productos.

## 6. Ciclo de Vida



## 7. Conclusiones Finales

Luego de un proceso reiterado e iterativo, la investigación y aplicación experimental generan un aporte para la caracterización de un biomaterial hecho a partir de polisacáridos del ecosistema costero. Se puede afirmar que la fabricación del material cumple con los requisitos que corresponden al contexto. Esto refiere al fácil acceso a los materiales e insumos de producción. Además de un proceso de fabricación acorde a las exigencias de las metodologías de “hazlo tú mismo” y de código abierto.

Cabe destacar que lo más importante de esta investigación, es la creación de un material a partir de un organismo que se reproduce constantemente, como lo son las algas, y un desecho de la industria alimenticia como lo son los caparzones de crustáceos. Además del ciclo cerrado que evidencia el producto

Es importante demostrar el hecho de que se logró esta caracterización con tan sólo poseer conocimientos básicos en química y polímeros naturales. Esto demuestra que el proyecto es muy escalable y accesible para la fabricación autodidacta de personas interesadas en el rubro.

En un escenario especulativo, los pescadores disponen del material en las costas del litoral ya que tienen a disposición algas pardas y el exoesqueleto de crustáceos. Estos son recolectados para luego, a través de un proceso químico de purificado y extracción del alginato y quitosano en polvo (no especificado en esta investigación), puedan fabricar sus propias herramientas e insumos para practicar su arte.

Las características del material abren las posibilidades de aplicarlo en otros productos que requieran una materialidad atingente a este biopolímero. Con una iteración experimental se podría llegar a fabricar matrices y más pruebas de compresión y tracción que demuestren la gama de aplicaciones en productos.

## 8. Bibliografía

- Acosta, R. M. (n.d.). Tejer Redes de Pesca Trasmallo y Atarraya. Retrieved October 12, 2017, from <https://www.scribd.com/doc/95668864/Tejer-Redes-de-Pesca-Trasmallo-y-Atarraya>
- Albert, A., Salvador, A., & Fiszman, S. . (2012). A film of alginate plus salt as an edible susceptor in microwaveable food. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 421–426. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.11.005>
- Allsopp, M., Walter, A., Santiago, D., & Johnston, P. (2007). Contaminación por plásticos en los océanos del mundo. *Greenpeace*. Retrieved from <http://www.bionica.info/biblioteca/allsopp2007contaminacion.pdf>
- Ayala Valencia, G. (2015). Efecto antimicrobiano del quitosano: una revisión de la literatura. *Scientia Agroalimentaria*, 2(2339–4684), 32–38.
- Baqueiro, E., & Aldana Aranda, D. (1995). Mecanismo de formación de conchas de moluscos. Retrieved from [http://www.mda.cinvestav.mx/recmar/draaldana\\_cv/Mecanismo\\_de\\_formacion\\_de\\_conchas\\_de\\_moluscos\\_1995.pdf](http://www.mda.cinvestav.mx/recmar/draaldana_cv/Mecanismo_de_formacion_de_conchas_de_moluscos_1995.pdf)
- Bjordal, A. (2005). *Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/008/y3427s/y3427s04.htm>
- Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2003). Invertebrados. Retrieved from <https://ocondedemontecristo.files.wordpress.com/2012/02/invertebrados-brusca-port-cap-sumario-e-cap-1.pdf>
- Bullimore, B. A., Newman, P. B., Kaiser, M. J., Susanne, G. E., & Lock, K. M. (n.d.). A study of catches in a fleet of "ghost-fishing" pots. Retrieved from <http://fishbull.noaa.gov/992/bul.pdf>
- Calvo, M. (2011). ALGINATO. Retrieved September 12, 2017, from <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/alginate.html>
- Castro Rivera, M. A. (2004). Viabilidad de la reutilización de las valvas de moluscos en procesos alternativos industriales. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fec355v/pdf/fec355v.pdf>
- CETMAR, & Pérez, J. P. (2009). *Recuperación y reciclaje de los residuos sólidos propios de la actividad pesquera y portuaria*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=3R-FISH\\_Informe\\_sensibilizacion\\_redes.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=3R-FISH_Informe_sensibilizacion_redes.pdf)
- Cuadros, T. R., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2012). *Mechanical properties of calcium alginate fibers produced with a microfluidic device*.
- Duma, D. J. B., Zaritzky, D. N., & Sequeiros, D. C. (2013). Obtención de quitina y quitosano a partir de exoesqueletos de crustáceos patagónicos: caracterización y aplicaciones. Retrieved from <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/4.-Obtención-de-quitina-y-quitosano-a-partir-de-exoesqueleto-de-crustáceos-patagónicos-caracterización-y-aplicaciones-J.-Dima.pdf>
- Elias, R. (2015). Mar del plástico: una revisión de los problemas del plástico en el mar. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.* 27: 83-105, (February).
- Esteban, F. J. (2006). *Caracterización Microestructural y Cristalográfica de la Concha Prismatofoliada de Pectinoidea, Anomioidea y Ostreoidea (Pteriomorpha Bivalvia). Implicaciones Evolutivas*. Retrieved from <https://hera.ugr.es/tesisugr/16526922.pdf>

- FIT. (2017). AlgiKnit. Retrieved October 12, 2017, from <https://www.algiknit.com/>
- Gall, S. ., & Thompson, R. . (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.MARPOLBUL.2014.12.041>
- García Moreno, R., Outerelo, E. R., Aguirre, J., Almodóvar, A., & Alonso, J. J. (2012). Prácticas de Zoología Estudio y diversidad de los Artrópodos Crustáceos. *Reduca (Biología). Serie Zoología*, 5(3), 17-27. Retrieved from <http://www.ucm.es/data/cont/docs/568-2013-12-16-06-Crustaceos.pdf>
- Greenpeace. (2015). *Plásticos en los océanos*. Retrieved from [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos\\_en\\_los\\_oceanos\\_LR.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf)
- Hamed, I. (2016). The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1104-1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12227>
- Karana, E., Giaccardi, E., Nimkulrat, N., Niedderer, K., & Camere, S. (2017). Alive.Active.Adaptive. Retrieved from [https://static1.squarespace.com/static/576953f3beba5359bfb528/t/5975e891cd39c316492d0e9c/1500899550482/EKSI G2017\\_Alive+Active+Adaptive\\_Proceedings\\_low+resolution2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/576953f3beba5359bfb528/t/5975e891cd39c316492d0e9c/1500899550482/EKSI G2017_Alive+Active+Adaptive_Proceedings_low+resolution2.pdf)
- Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106-126. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003>
- Macarulla, J. M., & Goñi, F. M. (1993). *Biomoléculas : lecciones de bioquímica estructural*. Reverte. Retrieved from <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=WUzrV3z3NogC&oi=fnd&pg=PA1&q=polisacaridos+de+reserva+y+estructurales&ots=tlqhYLIZHC&sig=zT8K7-xS5ZQOmW28p9AYs1xf8w#v=onepage&q&f=false>
- McHugh, D. J. (2003). Production and utilization of products from commercial seaweeds. Retrieved September 12, 2017, from <http://www.fao.org/docrep/x5822e/x5822e04.htm>
- Osorio, C. (2002). Moluscos Marinos en Chile, Especies de importancia económica. Retrieved from <http://www.turismocientifico.cl/admin/apps/filemanager/repository/áreas del conocimiento/Fauna y dinámicas poblacionales/Fauna Marina/Moluscos marinos de Chile especies de importancia económica - C. Osorio>
- Ramirez, M. E. (1991). *Diversidad de especies, Algas Marinas Bentónicas*. Retrieved from [http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/articles-45206\\_recurso\\_3.pdf](http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/articles-45206_recurso_3.pdf)
- Retamal, M. A., & Moyano, H. I. (2010). Zoogeografía de los crustáceos decápodos chilenos marinos y dulceacuícolas. *Am. J. Aquat. Res*, 38(3), 302-328. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue3-fulltext-1>
- Rinaudo, M. (2014). Biomaterials based on a natural polysaccharide: alginate. *TIP*. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70322-5](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70322-5)
- Rojas Cáceres, J. P. (2008). Estudio Mineralización de Carbonato de Calcio usando como matriz quitosano y mezclas de quitosano con polímeros sintéticos hidrosolubles. Retrieved from [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/rojas\\_j/sources/rojas\\_j.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/rojas_j/sources/rojas_j.pdf)
- Ross Salazar, E. (2014). *Artes, métodos e implementos de pesca*. Fundación MarViva.San José, Costa Rica. Retrieved from <http://www.marviva.net/Publicaciones/g>

uia.pdf

- Simoes, N., Miquelajauregui, M., Ordoñez Lopez, U., & Addison Herrera, P. (2010). Biodiversidad y Desarrollo humano en Yucatán - Crustáceos. Retrieved from <http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap4/29Crustaceos.pdf>
- Soldevila, L. M., & Oxman, N. (2015). Water-based Engineering & Fabrication: Large-Scale Additive Manufacturing of Biomaterials. Retrieved from <http://www.mrs.org/spring-2015-call-for-papers-nn/>
- Tamura, H., Tsuruta, Y., & Tokura, S. (2002). Preparation of chitosan-coated alginate filament. *Materials Science and Engineering: C*, 20(1-2), 143-147. [https://doi.org/10.1016/S0928-4931\(02\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0928-4931(02)00024-3)
- USA EPA. (2007). A LEARNING GUIDE ON MARINE DEBRIS. Retrieved from [https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/2015\\_TurningTideonTrash\\_HiRes\\_Final.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/2015_TurningTideonTrash_HiRes_Final.pdf)
- Valenzuela, N., & Sepúlveda, J. (2010). *Flora y Fauna de la Costa Central de Chile*. Retrieved from [http://www.subpesca.cl/portal/618/articulos-60021\\_recurso\\_1.pdf](http://www.subpesca.cl/portal/618/articulos-60021_recurso_1.pdf)
- Vargas, M., & González-Martínez, C. (n.d.). QUITOSANO: UNA ALTERNATIVA NATURAL Y SOSTENIBLE PARA LA CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS. Retrieved from [https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p1-calidad-agroalimentaria\\_PDF/1-7-QUITOSANO-VARGAS.PDF](https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p1-calidad-agroalimentaria_PDF/1-7-QUITOSANO-VARGAS.PDF)



## 9. Índice de Imágenes

Fig1

Fotografía del autor

Fig2

Greenpeace. (2006). Waste survey exposes extent of plastic pollution in Manila Bay | Greenpeace Philippines. Retrieved October 12, 2017, from <http://www.greenpeace.org/seasia/ph/News/new-stories/rubbis-at-the-bay/>

Fig3

Cuadros, T. R., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2012). *Mechanical properties of calcium alginate fibers produced with a microfluidic device.*

Fig4

Fig4Fmc BioPolymer. (n.d.). *A WORLD OF POSSIBILITIES LIES JUST BELOW THE SURFACE.* Retrieved from <http://www.fmcbiopolymer.com/Portals/Pharm/Content/Docs/Alginates.pdf>

Fig5

Soldevila, L. M., & Oxman, N. (2015). Water-based Engineering & Fabrication: Large-Scale Additive Manufacturing of Biomaterials. Retrieved from <http://www.mrs.org/spring-2015-call-for-papers-nn/>

Fig6

Cuadros, T. R., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2012). *Mechanical properties of calcium alginate fibers produced with a microfluidic device.*

Fig7 y 8

Tamura, H., Tsuruta, Y., & Tokura, S. (2002). Preparation of chitosan-coated alginate filament. *Materials Science and Engineering: C*, 20(1-2), 143-

147. [https://doi.org/10.1016/S0928-4931\(02\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0928-4931(02)00024-3)

Fig9

Acosta, R. M. (n.d.). Tejer Redes de Pesca Trasmallo y Atarraya. Retrieved October 12, 2017, from <https://www.scribd.com/doc/95668864/Tejer-Redes-de-Pesca-Trasmallo-y-Atarraya>

Fig 10

Sosanya, O. (n.d.). *3D WEAVER.* Retrieved from <https://vimeo.com/98775817>

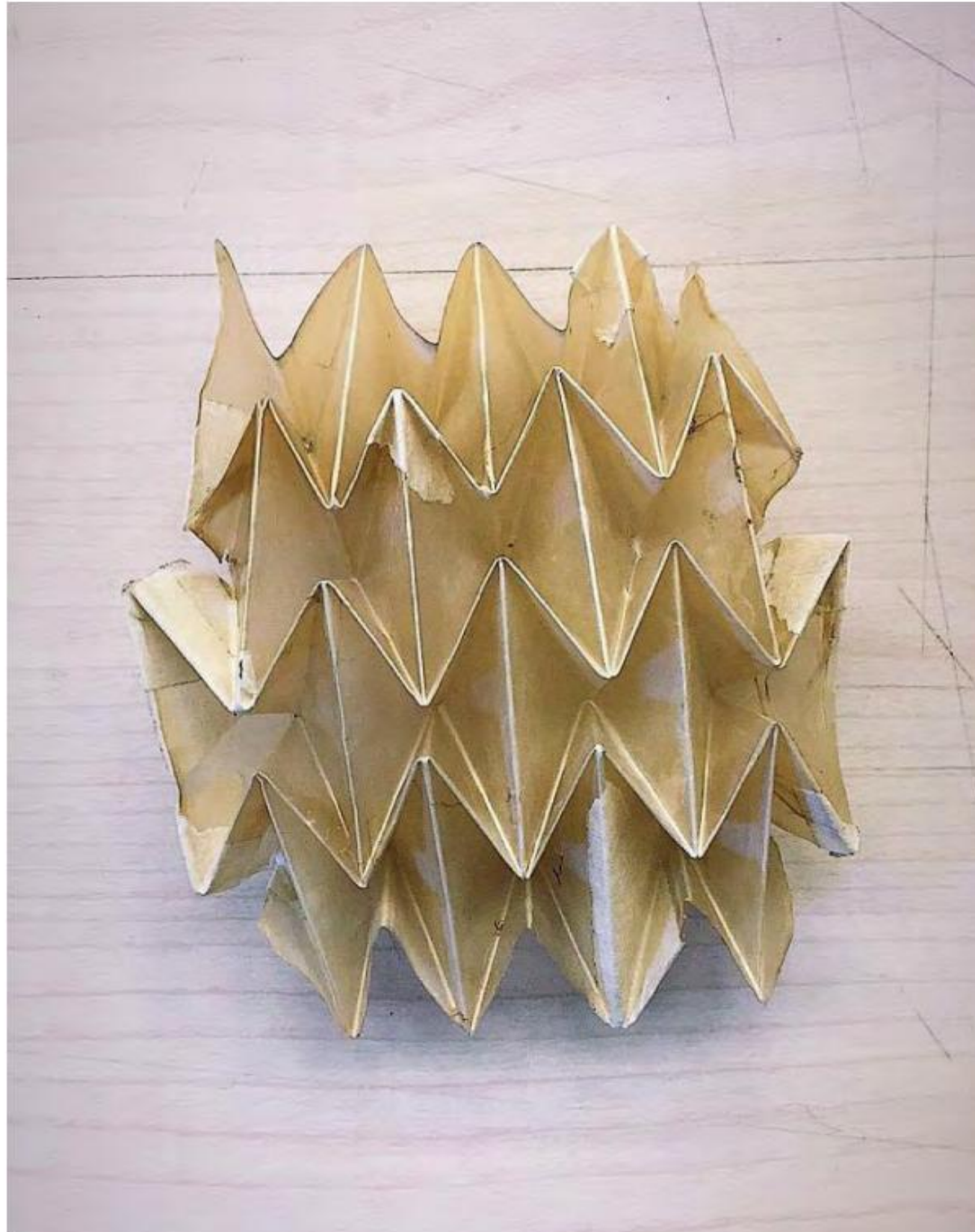
Fig 18 – 30 Elaboración del autor

# Rigidización del Biopolímero de Celulosa Bacteriana para la Conformación de Estructuras Planas con Forma Estable

Elaboración de Packaging a Partir de Estructuras Planas de Celulosa Bacteriana

Belén Esquivel Siraqyan  
Escuela de Diseño UC

17 de Noviembre 2017



*Fig. 1 Estructura plegada compuesta de celulosa bacteriana de kombucha.  
Elaboración Propia.*

## I. Formulación

### Palabras Clave

Celulosa Bacteriana, Kombucha, Biopolímero, Rigidez, Packaging

### Abstract

El presente proyecto de investigación consistió en la exploración de métodos de rigidización del biopolímero compuesto de celulosa bacteriana de Kombucha, para la conformación de estructuras planas con forma estable.

La celulosa bacteriana es un biopolímero obtenido a partir del cultivo de Kombucha, un té que se fermenta en base a una colonia simbiótica de bacterias y levaduras (SCOBY). Las principales bacterias de esta simbiosis, *Gluconacetobacter xylinum*, producen nanofibrillas de celulosa que se autoorganizan generando este material nanoestructurado.

La investigación se desarrolló dentro de un contexto de carácter exploratorio, por lo que se realizaron una serie de experimentos enfocados en entender las propiedades morfológicas y de rigidez del material en base al plegado y moldeado de este. Además se buscó determinar las posibles variables que influyen en la capacidad de construir estructuras a partir del material, dependiendo de la técnica de rigidización aplicada.

En base a los resultados y nuevos conocimientos obtenidos se proyectó y desarrolló una línea de packaging

elaborada en base a este material biodegradable, con el propósito de proponer una alternativa ecológica que permita reducir la cantidad de desechos sólidos producidos por esta industria.

### Contextos

#### Contexto Medioambiental

La investigación se enmarca dentro de un contexto en donde la fabricación y el uso indiscriminado de productos sintéticos ha ocasionado un daño importante en el medio ambiente, debido a la cantidad de agentes contaminantes que se producen tanto en sus procesos de manufactura como al final de su vida útil.

Además de esto, la mayoría de estos productos tienen un sistema diseñado de forma lineal y no circular, por lo que van directo desde *“la cuna a la tumba”*, lo que en otras palabras implica que no se les da una segunda vida útil después de que ya no se requiere más su uso.

Por ejemplo, *“en Estados Unidos más del 90% de las materias extraídas para fabricar bienes duraderos se convierten en basura casi inmediatamente”* (McDonough, 2005, p.24)



Fig. 2 Desechos Producidos en Chile.

En el caso de Chile puntualmente, “cada chileno produce anualmente en promedio 384 kg de residuos domiciliarios, totalizando en todo el territorio nacional cerca de 6,5 millones de toneladas al año, de lo que sólo se recicla el 10%” (Baeza, A, 2012). Cifra bastante alarmante que nos categoriza como el País que más basura produce dentro de Latinoamérica.

Un claro ejemplo de productos sintéticos

que generalmente no poseen un sistema de diseño circular y que se desechan casi instantáneamente después de su primer y único uso son los packaging.

El año 2010, el gobierno de Chile realizó un diagnóstico con la intención de determinar la generación de los residuos de Empaques y Embalajes (EyE) dentro del país, a partir del cual se obtuvieron los siguientes indicadores:

Subsector	Año 2009				Proyección Año 2020		
	EyE disponibles en el país (toneladas)	Generación per cápita (kg/hab.-año)	EyE Recicladados (toneladas)	Disposición destino desconocido (toneladas)	EyE disponibles en el país (toneladas)	EyE Recicladados (toneladas)	Disposición destino desconocido (toneladas)
Papel y cartón	438.099	25,9	355.990 (81%)	82.149	922.133	749.306	172.911
Vidrio	276.796	16,3	147.567 (53%)	129.230	582.616	310.606	272.009
Metal	61.399	3,6	33.193 (54%)	28.206	129.236	69.856	59.369
Madera	64.624	3,8	35.630 (55%)	28.994	89.455	49.320	40.134
Plástico	327.957	19,4	40.875 (12%)	287.082	690.301	86.036	604.265

Fig. 3 Tabla de diagnóstico acerca de la generación de los residuos de EyE en Chile.

### Contexto Productivo

En cuanto a los métodos de producción que se utilizan actualmente, se debe hacer referencia a uno de los hitos más significativos que marcaron la historia de la industria, la revolución industrial. Durante la revolución industrial la producción de bienes estaba enfocada totalmente en el capital, por lo que el fin más importante de esta revolución se centraba en encontrar la manera de “producir de la forma más eficiente posible, y hacer llegar la mayor cantidad de bienes a la mayor cantidad de personas” (McDonough, 2005, p.19) en el menor tiempo posible. Esto solo fue factible gracias a la implementación de nuevas tecnologías que facilitaron la producción en grandes masas. En su momento, este cambio trajo

consecuencias sociales y económicas sumamente positivas, en donde hubo una mejora significativa en la calidad de vida de las personas.

Sin embargo, durante esa época habían muchos factores que no se tomaban en cuenta a la hora de producir, y que ahora no se pueden pasar por alto debido a la influencia directa que tienen con el deterioro del medio ambiente. Algunos de estos factores son la utilización de fuentes no renovables para la producción de materiales, debido a que en ese entonces se creía que era casi imposible que alguna vez estas escasearan. Así también la producción de materiales sintéticos, como el plástico, que tardan años en degradarse y que muchas veces poseen componentes tóxicos y nocivos para el medio ambiente.

Lamentablemente, hoy en día el modo de producción de las industrias sigue siendo bastante parecido al que se comenzó a desarrollar desde la revolución industrial. De aquí surge la pregunta, si es que ahora ya conocemos todos los daños que produce esta forma de manufactura, ¿Por qué no hemos modernizado los métodos de fabricación en base a crear materiales más sustentables y amigables con el medio ambiente?

#### Contexto Social

Sumado a esto, la sociedad de hoy en día se caracteriza por ser altamente consumista. Llegamos a un punto en que consumimos más de lo que necesitamos, y muchas veces nos inventamos necesidades que no tenemos para seguir consumiendo, sin tomar en cuenta la cantidad de desechos que se producen cotidianamente a causa de esto.

“Tan solo en las tres últimas décadas, se ha consumido un tercio de los recursos naturales del planeta” (Leonard. A, 2007, p. 13).

#### Contexto Tecnológico

A partir de esta problemática, se ha impulsado recientemente una búsqueda por encontrar o desarrollar nuevos materiales que ofrezcan una alternativa ecológica y sustentable en cuanto a la producción de bienes. Una de estas materialidades alternativas son los biopolímeros, que se caracterizan por ser polímeros producidos a partir de la naturaleza. Estos poseen la ventaja de ser biodegradables y de no generar ningún tipo de residuo tóxico que pueda dañar el medio ambiente.

Existen varios tipos de biopolímeros entre los cuales podemos encontrar los que están producidos a partir de microorganismos. Dentro de esta categoría se puede identificar la celulosa bacteriana, siendo esta un biopolímero obtenido a partir del cultivo de Kombucha, un té fermentado en base a una colonia simbiótica de bacterias, levadura y ácidos, mejor conocido como SCOBY (symbiotic culture of bacteria and yeast). Este cultivo de microorganismo está compuesto principalmente de las bacterias *Acetobacter Ketogenum*, *Acetobacter Xylinum* y *Gluconobacter Suboxydans*, además de la levadura. La especie *Acetobacter Xylinum* se encarga de realizar el papel más fundamental, que es procesar el azúcar y convertirlo en celulosa.

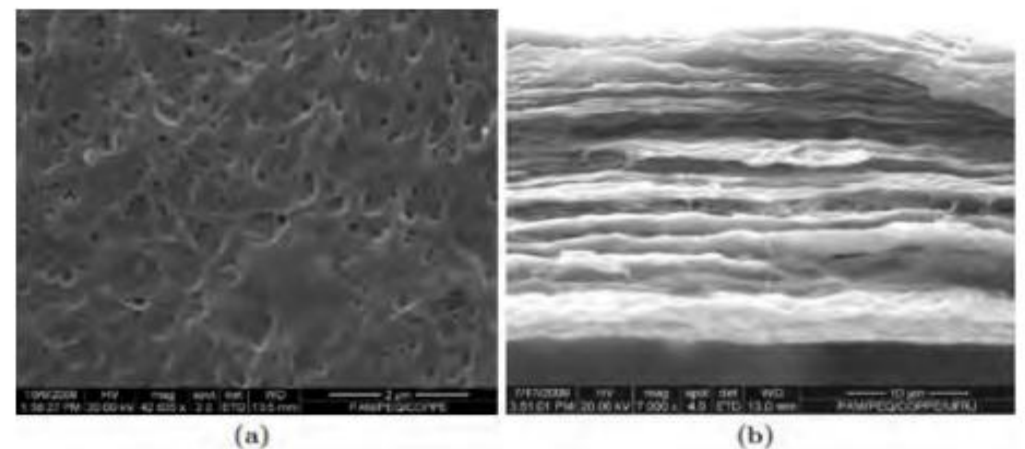


Fig. 4 (a) superficie y (b) transversal de una membrana de celulosa bacteriana.

Se podría decir que la celulosa bacteriana es un material prácticamente nuevo, del cual se conoce muy poco, a pesar de que “su formación fue reportada por primera vez en 1886 por J. Brown, sólo ha sido objeto de atención a partir de la segunda mitad del siglo XX” (Carreño, Caicedo y Martínez, 2012, p. 309). Por otra parte, “debido a su alto grado de cristalinidad, pureza, conformación reticulada y estructura tridimensional” (Carreño, Caicedo y

Martínez, 2012, p. 310) este polímero resulta ser bastante atractivo como material alternativo en la producción de bienes.

La celulosa bacteriana también se caracteriza por ser 100% pura, “que la distingue de la celulosa vegetal usualmente asociada a otros componentes como hemicelulosa y lignina.” (Carreño, Caicedo y Martínez, 2012, p. 310).

## **Relevancia**

Este proyecto pretende buscar una solución frente a la problemática anteriormente abordada, a partir de la cual surge la necesidad de encontrar una materialidad ecológica y sustentable que sea capaz de utilizarse en la fabricación de bienes que actualmente se elaboran con materiales de recursos finitos y/o nocivos para el medio ambiente. Gracias a los avances tecnológicos y a los nuevos conocimientos adquiridos durante los últimos años, se ha abierto una puerta dentro del mundo de la biología, que permite explorar esta área en relación al diseño y manufactura de productos.

A partir de esta oportunidad de diseño, se pretende introducir y desarrollar la celulosa bacteriana de kombucha, la cual tiene un método de producción completamente sostenible que no requiere entrada de energía externa para que las colonias de bacterias produzcan el material. Es por esto que se considera que la celulosa bacteriana tiene un potencial importante, debido a que requiere de una pequeña cantidad de recursos para su producción, que además de ser renovables, poseen un bajo costo

en relación a otras materialidades utilizadas cotidianamente en la industria. Por ejemplo el plástico, uno de los materiales sintéticos más usados dentro de la industria, se elabora con derivados del petróleo, que debido a que es una fuente de recurso no renovable, es cada vez más escaso y costoso. A diferencia del plástico, la celulosa bacteriana solo necesita té, agua y azúcar para su producción (más adelante se tratará más en detalle el método de producción de esta).

Por otra parte, la presente investigación resulta ser relevante también para poder tener un acercamiento mayor a este material, que hasta ahora no se ha investigado mucho. Con el fin de poder elaborar efectivamente productos en base a este material, se hace necesario explorar en cuanto a los aspectos morfológicos de este, y la posibilidades de conformar estructuras estables en base a distintas técnicas de rigidización. Por consiguiente, en base a los resultados y conocimientos adquiridos, se podrán reducir las posibles aplicaciones a las cuales se puede atribuir la celulosa bacteriana, logrando determinar usos más puntuales y concretos.

## Observación Preliminar

Existe un interés personal por trabajar con celulosa bacteriana debido a que se destaca por ser un material innovador y poco conocido, con un gran potencial para producir bienes materiales de manera sustentable.

Debido a que es un material relativamente nuevo, del cual no se conoce mucho, surge la necesidad de explorar en cuanto al comportamiento de este, en la medida en que se le intenta dar una forma determinada. De esta manera, se pretende profundizar en el estudio y conocimiento que se tiene acerca de este biopolímero en cuanto a las maneras de generar formas y estructuras estables y rígidas, que permitan bajar este material a una aplicación específica y concreta en base a los resultados obtenidos.

Por otra parte también se considera interesante el hecho de que este material crezca a partir de más de un tipo de microorganismo, en donde se logran entender las distintas funciones que realiza cada uno de ellos. En otras palabras entender cual es el rol fundamental que desarrolla cada uno y que lo hace estar presente dentro de la colonia simbiótica .

Por último, considero que lo más significativo de poder trabajar con este material es que el resultado al cual se espera llegar puede influir enormemente en los métodos de producción que se utilizan actualmente. Se proyecta que este material podría perfectamente trabajarse dentro de la industria del packaging, siendo esta una de las que más residuos produce actualmente.

## Marco Teórico

Para poder hacer un estudio acerca de la conformación de estructuras rígidas a partir de celulosa bacteriana, se deben aclarar y definir algunos términos relacionados al tema.

- Rigidez: Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
- Estructura: Conjunto de piezas o elementos que sirve como soporte rígido de una cosa.

Antes de continuar, es importante aclarar que en esta investigación no se pretende conformar una estructura totalmente rígida a partir de la celulosa, es decir, que el cuerpo formado sea incapaz de doblarse o torcerse por fuerzas externas. La celulosa bacteriana no tiene las propiedades físicas ni mecánicas para poder conformar un tipo de estructura así. Más bien se pretende rigidizar en el mayor grado posible el material, con el objetivo de poder conformar una estructura capaz de mantener una forma definida por si sola.

Para lograr conformar estructuras rígidas con este material, primero se realizó un análisis de algunos modelos estructurales planteados en el Libro " The Function of Form" para así también lograr entender la funcionalidad que hay detrás de cada tipo de estructura.

### **Modelos estructurales**

En el libro "The Function of Form" escrito por la arquitecta Farshid Moussavi, se proporciona una crítica acerca de la relación opuesta que ha existido durante toda la historia entre la función y la forma. Farshid plantea que se debe dejar a un

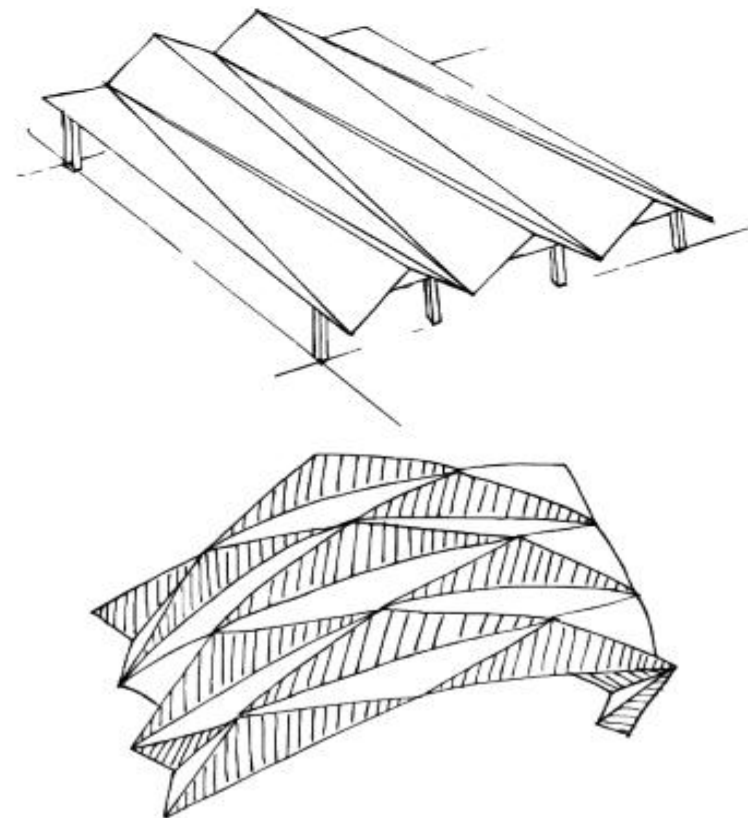
lado por un momento la definición de función como utilidad, para así poder alinearla con cómo se define la función en matemáticas, biología o música. Para ello se debe considerar no solo la manera en que se producen los edificios, sino también en cómo se perciben sensorialmente. En base a ello el libro ofrece una visión estimulante de distintas posibilidades más amplias de la forma arquitectónica en relación a su función.

Dentro del libro se abarcan una serie de modelos estructurales en relación a su función, tanto en términos arquitectónicos como sensoriales. Para el desarrollo de la investigación se decidió investigar más en detalle dos de estos modelos estructurales, que se considero eran más pertinentes en cuanto al objetivo del proyecto. Los modelos escogidos se decidieron tomando en cuenta las propiedades del material y su manera de comportarse tanto en su estado seco, como en su estado húmedo y activo. A si mismo también se tomo en cuenta la factibilidad de poder recrear dichos modelos estructurales a partir de esta celulosa.

#### **Folded Plates | Placas Plegadas**

Los modelos estructurales de placas plegadas funcionan básicamente bajo la lógica de los pliegues, tal como si uno plegara una hoja de papel. Estas estructuras son conjuntos de placas planas conectadas rígidamente a lo largo de sus bordes de tal manera que el sistema estructural es capaz de soportar cargas sin la necesidad de vigas de soporte adicional. Esto se explica bajo la lógica de que estas estructuras

distribuyen las cargas a lo largo de las superficies de sus placas y a lo largo de las intersecciones entre los pliegues, produciendo estructuras compuestas de elementos lineales y superficiales.



*Fig. 5 Dibujos de estructuras de placas plegadas. Elaboración Propia.*

#### **Shells | Estructuras laminares de doble curvatura**

Los modelos estructurales de doble curvatura consisten de un tipo de estructura de placa delgada y curvada, que se conforma de tal manera que logra transmitir las fuerzas aplicadas mediante esfuerzos de compresión y tracción. Estas fuerzas aplicadas actúan en el plano de la superficie. Cuando las cargas o fuerzas aplicadas se distribuyen uniformemente a lo largo del plano de la superficie, la estructura adquiere la mayor eficiencia de resistencia.



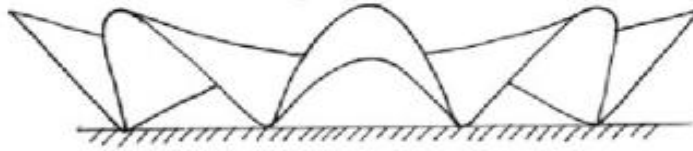
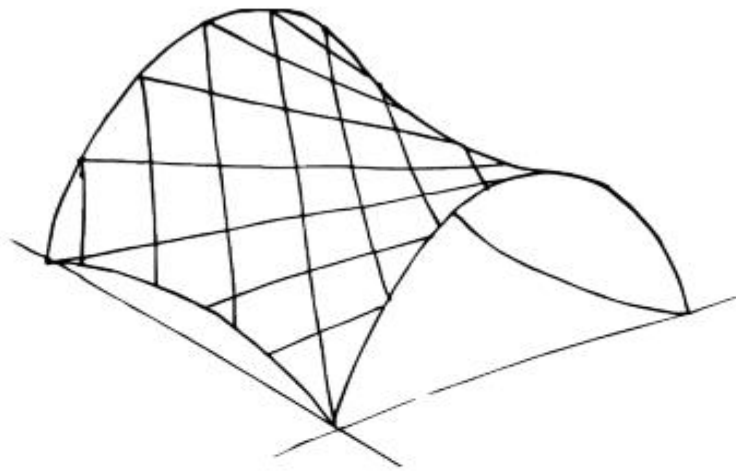


Fig. 6 Dibujos de estructuras de doble curvatura. Elaboración Propia.

## Hipótesis

Se rigidiza la celulosa bacteriana mediante el plegado y moldeado del material, logrando la conformación de estructuras planas con forma estable.

## Objetivos de la investigación

### Objetivo General:

Lograr la conformación de distintos tipos de estructuras rígidas a partir de celulosa bacteriana de kombucha.

### Objetivos Específicos:

1. Experimentar cómo se comporta el material de acuerdo a las distintas técnicas de rigidización aplicadas.
2. Identificar qué variables o factores de cada técnica influyen en la rigidez de las estructuras logradas.
3. Analizar las posibles aplicaciones que se le pueden atribuir a la celulosa bacteriana rigidizada de acuerdo a sus características.

## Estado del Arte

### *Xylinum Cones*

Berlín, 2013

Stefan Schwabe & Jannis Hülsen

*Diseñadores alemanes enfocadas en desarrollar proyectos exploratorios en cuanto a nuevos materiales biotecnológicos.*

Xylinum Cones es un proyecto desarrollado por Stefan Schwabe y Jannis Hülsen, diseñadores que elaboraron una línea de objetos geométricos conformados con celulosa bacteriana de kombucha. El objetivo detrás de este proyecto de investigación fue utilizar la celulosa bacteriana a modo de explorar la percepción que se tiene en cuanto a nuevos materiales biotecnológicos.

“La celulosa bacteriana tiene propiedades diferentes en relación a la celulosa vegetal proveniente de las plantas y se caracteriza por tener un alto grado de pureza y de resistencia como también una mayor capacidad de retención de agua y de moldeabilidad” (Schwabe, 2013).

A partir de esta última cualidad se logró la conformación de las piezas geométricas, en donde se realizaron dos tipos de moldes diferentes para poder darle forma al material. El primer molde se utilizó durante la etapa de cultivo, en donde la celulosa bacteriana fue madurando al interior y adoptando la forma de este mismo por un periodo de tres semanas. Posteriormente el resultado obtenido fue secado al exterior de un nuevo molde, logrando que este mantuviera la forma deseada.



Fig 7:

- a) *Celulosa madurando en molde suspendido.*
- b) *Secado de la celulosa en molde suspendido.*
- c) *Cono seco.*
- d) *Instalación en Berlín de “17 conos”.*

## **Skin**

Amsterdam, 2014

Sammy Jobbins Wells

*Diseñadora australiana enfocada en la experimentación de nuevas tecnologías y organismos vivos.*

Skin es un proyecto desarrollado por la estudiante de diseño Sammy Jobbins Wells, quien fabricó un objeto estructural diseñado para usar en el cuerpo humano a partir de celulosa bacteriana de kombucha. El proyecto explora el potencial estético y funcional de los materiales orgánicos, biológicos y vivos que se utilizan en el contexto de la fabricación digital. Su objetivo era “estimular una conversación, debate e incluso crítica sobre la futura implicación de los biomateriales en la fabricación de objetos físicos” (Jobbins, 2014).

Para llevar a cabo este proyecto primero se pensó una forma estructural, la cual se diseñó digitalmente aplicándole el algoritmo de triangulación Delaunay para crear las distintas formas. Luego se llevó a cabo físicamente, en donde se conformó la estructura a partir de marcos de madera cortados con láser. Después se procedió a secar la celulosa bacteriana sobre esta estructura, la cual se adhirió a esta debido a la propiedad del material de contraerse y endurecerse alrededor de una superficie mientras se seca.

Dado que la “celulosa bacteriana es capaz de fusionarse a sí mismo mientras se seca” (Jobbins, 2014), el proceso de cubrir toda la estructura no fue tan complejo ya que simplemente se posicionaron distintos trozos uno encima del otro logrando crear una única pieza.

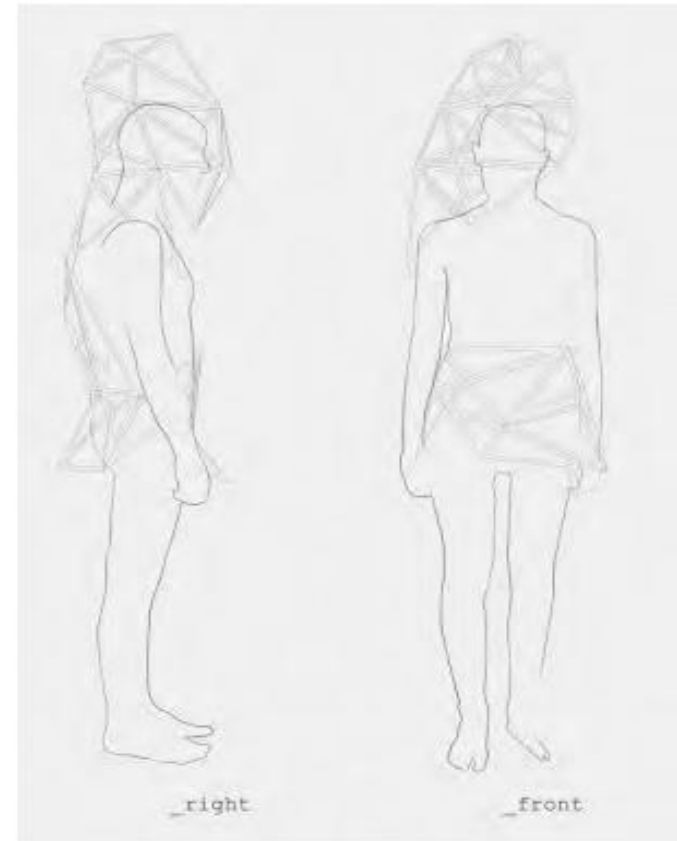


Fig 8:

- a) *Diseño digital de la pieza.*
- b) *Objeto generado algorítmicamente a partir de celulosa bacteriana.*
- c) *Objeto de celulosa bacteriana.*

### **Ava: Grown Microbial 3D Fiber Art**

Singapore, 2017

Audrey Ng

*Proyecto de Investigación de estudiante de diseño de Nanyang Technological University, Singapore.*

Tomando en cuenta el concepto de sustentabilidad como aspecto primordial para el futuro del área textil, Ava es el resultado de un proyecto investigativo que pretendía explorar nuevas formas de confeccionar vestimenta en base a biomateriales. El resultado de esta investigación es un tejido microbiano crecido en 3D con luces incrustadas, desarrollado por la estudiante de diseño Audrey Ng. El proyecto explora los usos potenciales de las artes tradicionales, como lo es el origami, en las aplicaciones de tecnología actuales, específicamente dentro del ámbito de la biotecnología.

Además de utilizar la técnica de Origami con fines estéticos, se aplicó también debido a las propiedades funcionales que esta proporcionaba. El Origami permite que materiales inelásticos, como lo es la celulosa bacteriana en su estado seco, puedan realizar movimientos flexibles, tales como doblarse y estirarse, dependiendo de los diferentes patrones que se le realicen.

En este caso, los pliegues se ejecutaron mediante un proceso de "intercalado" de celulosa bacteriana entre 2 moldes que ya se habían plegado previamente de acuerdo al patrón que se quería generar. Los moldes de origami luego se apilaban y ataban para asegurar la forma firmemente, y luego se dejaba secar la celulosa completamente antes de ser retirada.

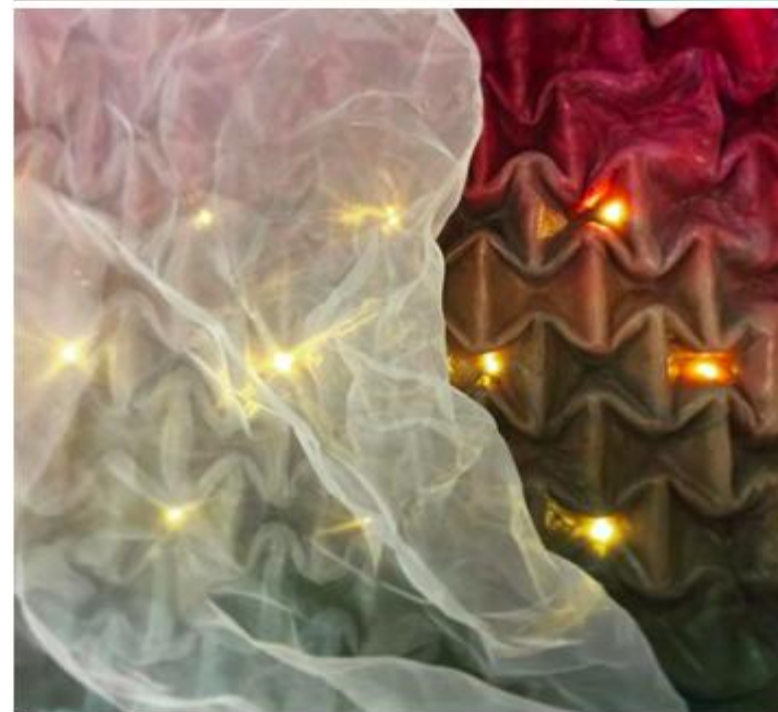


Fig. 9:

- a) Audrey Ng presentando Ava.
- b) Celulosa bacteriana plegada en estado seco.
- c) Celulosa bacteriana con luces.

**Plaited Microbial Cellulose & Microbial Cellulose Structure Prototype**

ecoLogicStudio & Urban Morphogenesis Lab

*Laboratorios que pertenecen a The Bartlett School of Architecture, University College London en donde se estudia el diseño urbano en base a especulaciones.*

ecoLogicStudio y Urban Morphogenesis Lab desarrollaron dos proyectos en base a la experimentación formal con la morfología de la celulosa bacteriana.

La primera investigación analiza cómo la celulosa bacteriana cultivada a partir de fuentes de algas se puede utilizar para dar forma a nuevos materiales conformados mediante microorganismos. El proyecto busca experimentar con diferentes formas de cultivo y deshidratación de la celulosa microbiana para manipular sus morfologías emergentes.

Para el segundo proyecto crearon una estructura de cinco metros de largo que utiliza celulosa microbiana a base de algas para explorar y especular una nueva forma de estructura arquitectónica. Esta experimentación fue básicamente una prueba material para un proyecto más grande que aborda el diseño urbano como una forma de práctica material. Este prototipo desencadena una reacción entre la microescala de las bacterias (como las microalgas) y la macroescala de la forma urbana. La pigmentación de los prototipos depende directamente de las microalgas originales utilizadas en el medio de cultivo.



Fig. 10:

- a) *Exploración de estructuras en base a celulosa bacteriana de algas.*
- b) *Estructura compuesta de celulosa.*
- c) *Celulosa bacteriana de alga plegada.*
- d) *Estructura de celulosa bacteriana de 5 mts de largo.*

## II. Validación

### Materiales & Métodos

Para realizar las experimentaciones de la investigación se llevaron a cabo dos metodologías de trabajo. En una primera instancia se realizó el cultivo de la celulosa bacteriana. Los materiales y métodos utilizados en el transcurso de esta etapa se definieron en base a los empleados durante el práctico para cultivar kombucha, que se desarrolló dentro del taller de Biodiseño, como también de acuerdo al instructivo open source publicado por la diseñadora Suzanne Lee, que permite a cualquiera cultivar kombucha en su casa.

Posteriormente, la segunda etapa de trabajo consistió en el secado y rigidizado del material a través de las dos técnicas estudiadas.

Para la etapa 1, los materiales y métodos utilizados fueron los siguientes:

#### **Materiales:** (para 1 litro de Kombucha)

- Dos bolsas de té verde o 50 grs de té verde en hoja.
- 55 grs de azúcar (6 cucharaditas).
- 750 ml de agua hervida.
- 250 ml de té fermentado de un cultivo anterior: Esto es para que aporte la acidez inicial necesaria para obtener condiciones higiénicas que prevengan posibles contaminaciones.
- un SCOBY (1 circunferencia de 8 cm de diámetro): En algunas ocasiones se dividió esta circunferencia hasta máximo en 6 trozos, lo cual sólo influyó en que

el nuevo SCOBY creciera más lento.

#### **Insumos:**

- Recipiente de vidrio o plástico con profundidad de al menos 6 cm: Lugar donde se cultivará la kombucha.
- Toalla de papel o Tela delgada limpia: Necesaria para sellar el recipiente y así evitar que se introduzcan insectos u hongos que pueden contaminar el cultivo, además de ayudar a conservar la temperatura.
- Elásticos: Para afirmar la tela o toalla de papel.
- Alcohol: Utilizado para desinfectar y esterilizar el lugar de trabajo y los implementos usados, y así resguardar las condiciones higiénicas.
- Bisturí: Empleado para cortar el SCOBY que se utilizará en el cultivo.
- Balanza milimétrica: Necesaria para pesar los materiales con exactitud.

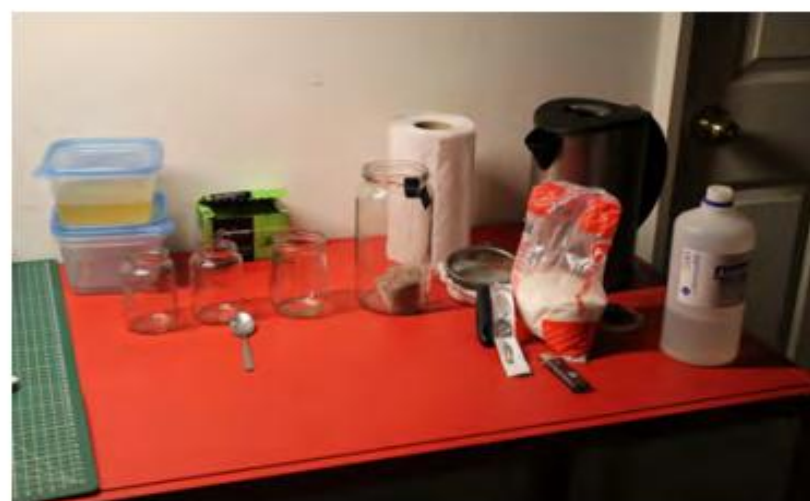


Fig. 11 Materiales e Insumos. Elaboración Propia.

## Procedimiento:

### Paso 1: Preparación del líquido

- Hervir 750 ml de agua.
- Vertir en un contenedor, agregarle las bolsitas de té, y dejar reposar 7 min.
- Pesarse el azúcar mientras se prepara el té.
- Remover el té y agregar azúcar.
- Revolver hasta que se disuelva.



Fig. 12 Preparación del té con azúcar.

### Paso 2: Agregar el SCOBY

- Dejar que el líquido se enfríe (bajo 30° C).
- Vertir en el contenedor de cultivo.
- Agregar el té fermentado de una kombucha anterior.
- Agregar el SCOBY.



Fig. 13 Agregado del SCOBY.

### Paso 3: Crecimiento y cultivo

- Tapar el contenedor con una toalla de papel o tela delgada respirable.
- Durante el crecimiento, mantener a 25° C aproximadamente, en un lugar sin movimiento y sin recibir luz directa.
- La fermentación empieza después de 48 - 72 horas.
- Con el tiempo un nuevo SCOBY se comienza a formar en la superficie.
- Una vez que el material alcanza entre 1 - 2 cm de espesor, se remueve del contenedor (después de 2 - 4 semanas)
- Se lava con agua fría.



Fig. 14 Crecimiento y cultivo de la celulosa bacteriana.

De este punto en adelante el SCOBY se procederá a llamar celulosa bacteriana debido a que, al ser retirado de la kombucha (el té), la simbiosis de microorganismos pasa a un estado inactivo. Es por esto que a partir de este punto se utilizará el término celulosa bacteriana, haciendo referencia al material obtenido a partir del cultivo.

Para la etapa 2, los insumos y métodos utilizados fueron los siguientes:

**Insumos:**

- Superficie de secado: ya sea un molde o superficie plana de madera o cartón.
- Regla: necesaria para medir el tamaño de la celulosa bacteriana a cortar según la medida requerida.
- Alcohol: Utilizado para desinfectar y esterilizar el lugar de trabajo y los implementos usados, y así resguardar las condiciones higiénicas.
- Bisturí: Empleado para cortar la celulosa bacteriana de acuerdo a las medidas necesarias.
- Superficie de corte: lugar donde poder cortar la celulosa bacteriana.

Los procedimientos realizados durante esta etapa serán especificados a continuación de acuerdo a los distintos experimentos que se llevaron a cabo.

**Experimento 1: Espesor de la Celulosa Bacteriana**

*¿Cómo el espesor de la celulosa bacteriana, determinado por el tiempo de cultivo, influye en la rigidez que va a tener esta una vez ya seca?*

**Hipótesis:**

A mayor espesor de la celulosa bacteriana, más rígido es el material una vez ya seco.

Variable dependiente: Rigidez del material.

Variable independiente: Tiempo de cultivo / Espesor del material.



Fig. 15 Tres de las cuatro muestras realizadas para este experimento.

**Procedimiento:**

Para este experimento se realizaron 4 muestras distintas en 4 frascos iguales, en donde cada una de ellas se cultivó por una cantidad de tiempo diferente. El tiempo de cultivo varió entre 1 - 4 semanas, con una semana de diferencia entre cada muestra. Las condiciones de cultivo se mantuvieron iguales para todas las muestras. A partir de esto, se midió el espesor de la celulosa bacteriana de cada muestra antes y después de haber sido secadas.

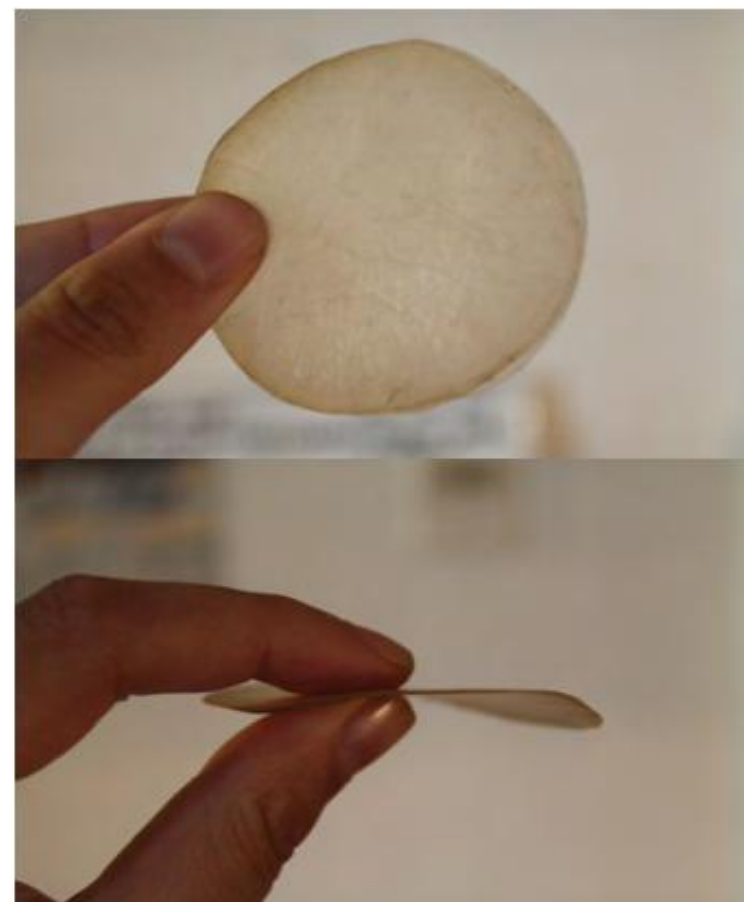


Fig. 16 (a) y (b) Muestra de espesor N°3 seca.



Luego se midió la rigidez del material, en donde se le aplicó un pliegue a cada muestra, y después se les puso encima un mismo peso (10 grs) para ver con qué rapidez volvían a su estado plano. Cada muestra se midió tres veces y se sacó un promedio del tiempo.

De este modo se pudo comparar la rigidez de las muestras, debido a que entre más se demoraba el material en volver a su estado plano, más rígida era la muestra. Es importante declarar que el método aplicado para medir y comparar la rigidez entre las muestras es solo un aproximación de los resultados.

**Método:**

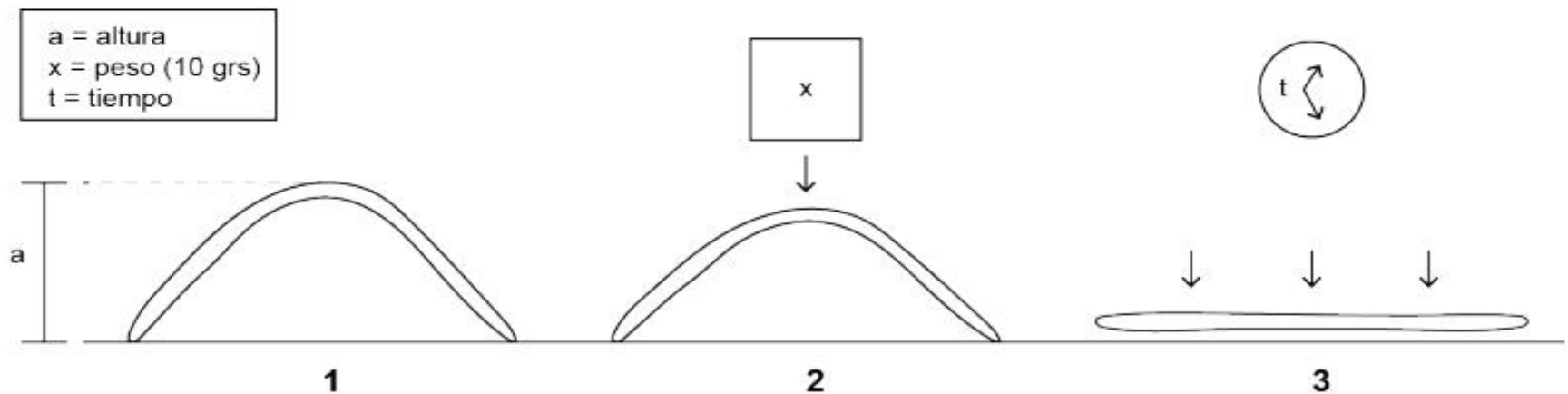


Fig. 17 Método de medición de rigidez de las 4 muestras de espesor

Variable dependiente: Tiempo con que tarda en volver a su estado plano después de aplicarle el peso encima.

Variable independiente: La altura y el peso que siempre son constantes. La rigidez de cada muestra.

**Esquemas del experimento:**

N° de muestra	Fecha de cultivo	Espesor antes	Espesor después
1	2/10/17 - 10/10/17	1,3 mm	0,2 mm
2	2/10/17 - 17/10/17	7,2 mm	1,1 mm
3	2/10/17 - 24/10/17	10,1 mm	1,3 mm
4	10/10/17 - 7/11/17	11,7 mm	1,6 mm

N° de muestra	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Promedio
1	0,25 s	0,19 s	0,16 s	0,20 s
2	1,27 s	1,57 s	1,94 s	1,59 s
3	1,89 s	1,79 s	1,72 s	1,8 s
4	1,93 s	1,88 s	2,04 s	1,95 s

Fig. 18: Tablas de resultados del experimento 1

**Resultados:**

De acuerdo a lo observado, efectivamente el material se vuelve más rígido en la medida en que su espesor es mayor. Sin embargo, esto es aplicable hasta cierto punto, debido a que la diferencia entre el espesor de cada muestra después de las dos semanas (una vez ya secas) tiende a ser bastante similar, teniendo una diferencia de espesor menor a 1 mm. En base a esto se puede determinar que después de las dos semanas de cultivo las muestras se reducen al mismo espesor una vez ya secas, teniendo una diferencia casi insignificante en cuanto a su rigidez.

**Experimento 2: Comprobación de las Técnicas de Rigidización Elegidas.**

*¿Se puede efectivamente rigidizar y darle forma a la celulosa bacteriana a partir de las dos técnicas elegidas?*

**Hipótesis:**

Ambas técnicas son capaces de rigidizar y dar forma a la celulosa bacteriana.

Variable dependiente: Rigidez del material / capacidad de conformar una forma definida.

Variable independiente: Técnica de rigidización.

**Procedimiento:**

Para poder comprobar esta hipótesis se estudió cómo se comportaba el material al aplicarle ambas técnicas de rigidización, estas siendo el uso de pliegues y moldes.

Antes de realizar el experimento, se desarrolló una exploración en papel de distintas estructuras plegadas para

determinar cuál sería la estructura a conformar. A si mismo se eligió un tipo de molde hecho de plástico capaz de contener algo en su interior. Las estructuras elegidas se escogieron bajo el criterio de que tuvieran un bajo nivel de complejidad para este primer acercamiento de rigidización.

Para conformar la estructura con pliegues, el material se cultivó durante 3 semanas, el cual luego se procedió a secar sobre una superficie plana de cartón a temperatura ambiente dentro de una habitación. Esta tardó alrededor de 3 días en secar completamente. Posteriormente se le aplicaron los distintos pliegues necesarios para conformar la estructura escogida.

En el caso de la estructura conformada a partir de moldes, esta también se cultivó durante 3 semanas, para luego ser secada directamente sobre el molde escogido. Las condiciones de secado fueron iguales a la muestra anterior, por lo que también tardó aproximadamente 3 días en secar completamente.

**Resultados:**

Ambas técnicas fueron capaces de rigidizar y de conformar una forma estable a partir de la celulosa bacteriana.

Una observación importante que se levantó a partir de esta experimentación fue que al intentar posicionar el trozo de celulosa bacteriana sobre el molde, resultaba ser complejo que éste adoptará su forma adecuadamente, debido a que tendía a arrugarse sobretodo en las esquinas. Esto sucedió también porque el trozo de celulosa que se estaba intentando posicionar era muy grueso.

En base a esto se decidió realizar una nueva estructura a partir de un molde en donde se utilizó una celulosa bacteriana más delgada que tenía 1 semana de cultivo, la cual se adoptaba mejor a la forma de este. Además, se optó por utilizar varios trozos pequeños en vez de uno grande, los cuales se fueron posicionando uno encima del otro, de manera que cubrieran toda la superficie de este. Para que la estructura no quedara tan delgada, se realizaron dos capas de celulosa.

El resultado de esta nueva estructura fue positivo, debido a que fue bastante más fácil conformar el molde además de que al secarse, los pedazos se unieron entre sí, sin dejar evidencia de que estaba compuesta por varios trozos separados.

#### Prototipo 1:

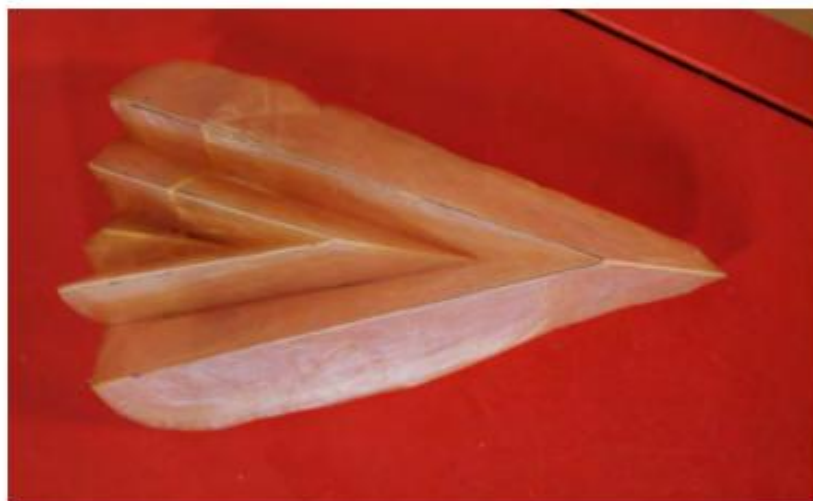


Fig. 19

(a) Celulosa bacteriana secando sobre superficie plana.

(b) y (c) Celulosa bacteriana plegada en estado seco .

#### Prototipo 2:



Fig. 20

(a) Moldeado 1 de celulosa bacteriana.

(b) detalle de las arrugas generadas en las esquinas del molde.



(c) Moldeado 1 de celulosa bacteriana seca.  
Elaboración Propia.

Prototipo 3:



Fig. 21  
(a), (b) y (c) Moldeado 2 celulosa bacteriana.

**Experimento 3: Conformación de las Estructuras “The Function of Form” con Ambas Técnicas**

¿Se logran conformar los tres modelos estructurales estudiados del libro “The Function of Form” mediante las dos técnicas desarrolladas?

**Hipótesis:**

Mediante ambas técnicas se logran conformar Los tres tipos de estructuras definidos a partir del libro.

Variable dependiente: capacidad de conformación de cada estructura

Variable independiente: Técnicas de rigidización.

**Procedimiento:**

Para llevar a cabo este experimento, se decidió experimentar con la conformación de cada modelo estructural (2) mediante ambas técnicas de rigidización (2). Por cada modelo estructural se realizaron dos estructuras diferentes (2). Lo que sumo un total de 12 probetas, para comprobar la hipótesis de este experimento. En base a esto se desarrolló una tabla para llevar un registro más ordenado de los resultados.

En una primera instancia se buscaron varios referentes de cada modelo estructural para poder replicarlos mediante el plegado y moldeado de la celulosa bacteriana. Un referente importante, fue el libro “Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form” de Paul Jackson, a partir del cual se utilizaron varias

### III. Proyecto

## Bibliografía

Angélica Baeza Palavecino. (2012). *Chile lidera producción de basura anualmente en Latinoamérica*, de La Tercera Sitio web:

<http://www.latercera.com/noticia/chile-lidera-produccion-de-basura-anualmente-en-latinoamerica/>

Ashley Shade. (2011). *The Kombucha Biofilm: a Model System for Microbial Ecology*. Final report on research conducted during the Microbial Diversity course, Marine Biological Laboratories, Woods Hole, MA, 1-19.

Audrey Ng . (Septiembre 2017). *Grown Microbial 3D Fiber Art, Ava: Fusion of Traditional Art with Technology*. ISWC , 11–15, 209 - 2014.

César Augusto Ramírez Giraldo. (2012). *La celulosa bacteriana: Un mundo de nanopotencialidades*. Revista Univeristas Científicas, 16-19.

Chávez- Pacheco, Juan Luis; Martínez Yee, Suri; Contreras Zentella, Martha; Escamilla Marván, Edgardo. (2004). *Celulosa bacteriana en gluconacetobacter xylinum: biosíntesis y aplicaciones*. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, vol. 7, núm. 1, 18-25.

Daniella Balin. (2016). *Reciclaje del Plástico en Chile*, de Salmón View Sitio web: <http://www.salmonexpert.cl/noticias/recicla-je-del-plastico-en-chile/>

Ellen Rykkelid. (2015). *Exploration of Bacterial Cellulose*. Oslo School of Architecture and Design. Sitio web: <http://growingproducts.tumblr.com/post/11>

6720831406/what-is-bacterial-cellulosemore-in-this

Esam J. AL-Kalifawi, Inaam A. Hassan. (2013). *Factors Influence on the yield of Bacterial Cellulose of Kombucha (Khubdat Humza)*. Baghdad Science Journal , Vol.11(3)2014, 1420-1428.

Farshid Moussavi. (2009). *The Function of Form*. New York : Actar and The Harvard University Graduate School of Design.

Jaramillo, L. Ruben PhD, Perna, M. Olga Ingeniera Química, Benito Revollo, P. Adrian , Arrieta, M. Carlos , Escamilla, M. Edgardo PhD.. (2012). *Efecto de Diferentes Concentraciones de Fructosa Sobre la Producción de Celulosa Bacteriana en Cultivo Estático*. Rev. Colombiana cienc. Anim. , 5(1): 116-130.

Luz Dary Carreño Pineda, Luis Alfonso Caicedo Mesa y Carlos Arturo Martínez Riascos. (2012). *Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión*. Ingeniería y Ciencia, vol.8 no.16.

McDonough, W., & Braungart, M. (2009). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. London: Vintage.

Matías Alonso. (2016). *Bacterias: motor de la industria*, de Universidad Nacional de San Martín Sitio web: <http://www.unsam.edu.ar/tss/bacterias-motor-de-la-industria/>

Martínez García Mariela. *Té de Kombucha una alternativa como sintetizador de biopolímeros*. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 15.

Neil Stevens. (1996). *Kombucha, El té extraordinario*. Barcelona: EDITORIAL SIRIO, S.A.

Pacheco Gina., Flores, Nydia C., Rodríguez-Sanoja Romina. (2014). *Bioplásticos*. *BioTecnología*, Vol. 18 No. 2, 27-36.

Paul Jackson. (2011). *Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form*.

London: Laurence King.

R. Malcolm Brown, Jr.. (2008). *Microbial Cellulose: A New Resource for Wood, Paper, Textiles, Food and Specialty Products*, de Department of Botany, The University of Texas at Austin, Austin, Texas Sitio web:

<http://www.botany.utexas.edu/facstaff/facpages/mbrown/position1.htm>

Sammy Jobbins Wells. (2014). *Skin*.

Cargo Collective. Sitio web:

<http://cargocollective.com/sammyjobbinswells/skin>

Sara M. Santos de Dios. (2015).

*Aplicación de la Celulosa Bacteriana a la Restauración del Patrimonio Bibliográfico y Documental en Papel*. Universidad Politécnica de Madrid, 260.

Stefan Schwabe. (2013). *Xylinum Cones*, de Science Gallery/ Dublin. Sitio web:

<http://stschwabe.com/work/XylinumCones/dublin.php>

(2010). *Diagnóstico Producción, Importación Y Distribución De Envases Y Embalajes Y El Manejo De Los Residuos De Envases Y Embalajes*, de Gobierno de Chile, Ministerio de Medio Ambiente Sitio web: [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55497\\_Diagnostico\\_envases\\_embalajes\\_2010.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55497_Diagnostico_envases_embalajes_2010.pdf)

(2017). *What's in my Kombucha?*, de Cultures for Health Sitio web: <https://www.culturesforhealth.com/learn/kombucha/kombucha-bacteria-yeast/>

; written and created by Annie Leonard ; director, Louis Fox ; producer, Erica Priggen. (2007). *The story of stuff*. [Berkeley, Calif.] :Free Range Studios,

### índice de Imágenes

Fig. 1: Estructura plegada compuesta de celulosa bacteriana de kombucha. Fuente: Elaboración Propia.

Fig. 2: Desechos Producidos en Chile.

Fuente:

<http://www.chileresiduos.cl/articulos/egundo-plazo-para-cumplir-con-los-requerimientos-de-la-resolucion-n-483-del-ministerio-del-medio-ambiente/>

Fig. 7:

- a) Secado de la celulosa en molde suspendido.
- b) Cono seco.
- c) Instalación en Berlín de "17 conos".

Fuente:

<http://stschwabe.com/work/XylinumCones/dublin.php>

Fig 8:

- a) Diseño digital de la pieza.
- b) Objeto generado algorítmicamente a partir de celulosa bacteriana.
- c) Objeto de celulosa bacteriana.

Fuente:

<http://cargocollective.com/sammyjobbinswells/skin>

Miércoles 17 de noviembre de 2017

Nuevas posibilidades de materiales biobasados de micelio de hongo  
*Pleurotus Ostreatus* en un sustrato mayoritariamente inorgánico

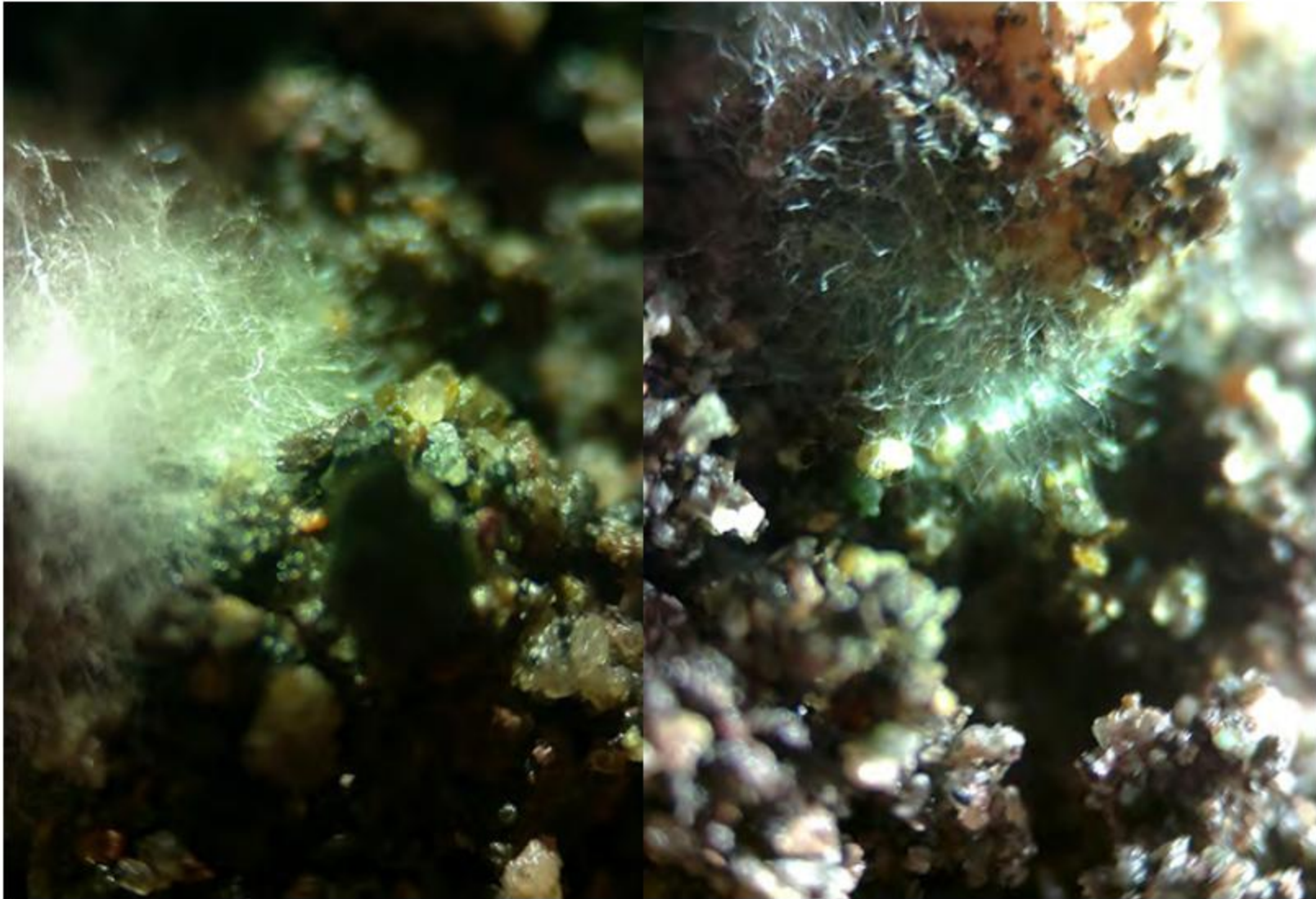


Fig. 1: *Pleurotus Ostreatus* colonizando el sustrato de arena.

Claudia Rudloff  
Escuela de Diseño, Pontificia Universidad Católica de Chile  
Taller de Biofabricación - Segundo semestre 2017



# I) Primera parte: Formulación

## Palabras Clave

*Pleurotus Ostreatus*, Áridos, Medio alimenticio.

## Abstract

Esta investigación surge desde una inquietud con respecto a la premisa de que el sustrato que se debe utilizar para la creación de biomateriales basados en micelio de hongo debe corresponder necesariamente a desechos orgánicos que funcionen a la vez como su alimento. Por seguir tal premisa, las características del material final quedan sujetas a las características de ese elemento. A partir de esto, se procede a experimentar con la posibilidad de dejar de atribuir esa doble función al sustrato y separarlo en dos partes: una parte orgánica con la función de otorgar el alimento para el hongo y que este pueda crecer a través de la composición, y una parte no orgánica con la función de otorgar estructura al biomaterial.

En la presente investigación se utiliza el hongo *Pleurotus Ostreatus* para que crezca a través de un sustrato compuesto por un árido, que corresponde al elemento estructural no orgánico, bañado en una solución orgánica compuesta por harina, dextrosa y agua, la cual se desempeña como el alimento para el hongo.

## Contextos

### Contexto ambiental

Los materiales no biodegradables abundan en nuestra sociedad, están presentes en la mayor parte de nuestros objetos y estructuras cotidianas. *“La industria del hormigón resulta una de las que más huella medioambiental deja.”* (Meyer, 2009). *“Las emisiones de CO<sub>2</sub>,*

*(...) los requerimientos energéticos, el consumo de agua y la generación de residuos de construcción y demolición, son factores que contribuyen a que el hormigón no sea ambientalmente amigable ni compatible.”* (Meyer, 2009). Este es un problema de gran importancia y que requiere una solución urgente. A través de estos procesos de producción estamos lentamente destruyendo el planeta en el que vivimos. A raíz de esto, es necesaria la búsqueda de alternativas ante tales procesos y materiales. Actualmente, está apareciendo un interés creciente por los materiales biobasados, los cuales son biocompatibles y biodegradables en su proceso de producción, composición y desecho, ya que están creados con elementos orgánicos e incluso con algunos organismos vivos de la naturaleza. *“Hoy, la fabricación de materiales en base a hongos y desechos agrícolas, pueden actuar como remplazo de los materiales típicos para la construcción, los que provienen de procesos industriales en base a petróleo.”* (Vergara, 2014).

Según Vergara (2014), *“este sistema puede convertirse en una alternativa capaz de eliminar radicalmente el uso de contaminantes, la generación de tóxicos en su vida útil y en su proceso productivo, y los complicados procesos de transformación, necesarios para su reciclaje.”*

### Contexto tecnológico

El incipiente mundo de los materiales biobasados está siendo estudiado en diferentes partes del mundo, sin embargo es aún acotado. Uno de los materiales que han surgido a partir de este corresponde a Ecovative, cuyos creadores son Eben Bayer y Gavin McIntyre, ambos graduados de la Universidad Politécnica Rensselaer en Troy, Nueva York. *“Ecovative es un material biocompuesto en el que se emplea el reino fungi en una variedad*

*de productos, los cuales reemplazan al poliestireno y a los aldehídos.” (Zeller, 2012). Sin embargo, en el contexto de los materiales biobasados, aún no se ha explorado completamente, específicamente en cuanto al sustrato que se utiliza y en el cual se deja crecer el hongo. Como aseguran los creadores de Ecovative, “los materiales que pueden ser adheridos mediante micelio de hongo son aquellos que corresponden a fuentes de carbono tales como arpillera, cáñamo, yute, chapas de madera, fibra de vidrio e incluso fibra de carbono.” (Zeller, 2012).*

*“Los hongos tienen la extraordinaria capacidad de alimentarse de casi todo, incluyendo plásticos y la mayor parte de desechos agrícolas. Como sustrato puede usarse cualquier material rico en celulosa, tales como paja, madera y cáñamo.” (Lelivelt, 2015).*

Podemos ver que estos materiales se han creado a partir de la premisa de que el sustrato debe corresponder necesariamente a elementos orgánicos, agrícolas o que sean fuentes directas de carbono, es decir, que el sustrato debe corresponder a la vez su alimento. Dicha presunción limita la exploración de otras posibilidades, y por tanto la ampliación de estas.

A partir de esto, me hago la siguiente pregunta: ¿tendrá necesariamente que ser el alimento del hongo a la vez su sustrato? ¿qué pasaría si realizamos una división de estas funciones en dos “ingredientes” distintos?

Es a partir de esto, que la presente investigación se basa en poner en cuestión dicha premisa, y probar a través de la experimentación. En vez de asumir que el sustrato debe estar compuesto únicamente por sustancias que sirvan de alimento para el hongo, se explorará la posibilidad de separar el sustrato en dos partes, con el propósito de dejar de depender de las características del sustrato-alimento, las cuales definen las características del

material final. En esta investigación, se experimenta con la separación del sustrato en las siguientes dos partes: una orgánica y una no orgánica, con el fin de poder diseñar el resultado y desempeño del material creado a partir de las características del material no orgánico agregado.

### **Contexto industrial**

Para llevar a cabo esta investigación, se ha determinado que el elemento a agregar como no orgánico, de acuerdo a las características estructurales que puede otorgar al material final, corresponde a los áridos. La elección de los áridos como material no orgánico a utilizar dentro del sustrato, se realizó a partir de la masiva utilización de este recurso en el ámbito de la construcción y la arquitectura. Ya que los áridos corresponden a un material mineral particulado, puede posibilitar que el hongo crezca a través de él, obteniendo su alimento en la solución orgánica en la que el árido se encuentra bañado, rodeando sus partículas. De esta manera, se podrían obtener resultados novedosos, un material de características y propiedades diferentes a aquellos que se han creado hasta hoy, pues como se dijo anteriormente, en su gran mayoría se han utilizando desechos orgánicos de la industria agrícola como sustrato.

Si el hongo es capaz de crecer a través de un sustrato de tales características, se podría ampliar en gran medida el abanico de posibilidades en el mundo de la biofabricación, ya que se podrían elegir los elementos del sustrato a partir de las propiedades físicas, mecánicas, u otras, que podrían otorgarle al material final.

## Relevancia

Es evidente que nos encontramos actualmente un contexto en el cual los materiales que se están utilizando para la conformación de estructuras están dañando altamente el medioambiente, tanto en el proceso de producción del mismo y en su posterior desecho. La alternativa que se está construyendo en los últimos años, la de los materiales biobasados, puede significar un cambio radical en cuanto a la manera en que vivimos y nos relacionamos con nuestro planeta Tierra. Existe la posibilidad de reemplazar gran parte de los materiales y procesos que conllevan un impacto ambiental grave, por otros caminos y alternativas que están a nuestro alcance y dependen de un cambio de mentalidad y de actitud con respecto a nuestra presencia en la Tierra. La implementación masiva de estos biomateriales, en este caso aquellos creados a partir de hongos y sustratos naturales podría beneficiar tanto al ecosistema como a todos aquellos que vivimos en él. Por lo mismo, es sumamente relevante la iniciativa de intentar expandir los conocimientos, descubrimientos, estudio y exploración en torno a estos materiales, para ampliar las posibilidades y lograr potenciales descubrimientos que pueden contribuir a este necesario cambio.

Hasta ahora, debido a que existe la presunción anteriormente mencionada, de que el hongo debe crecer en un sustrato que corresponda a la vez a su alimento, se han utilizado como principalmente desechos orgánicos de la industria agrícola como sustrato, tales como a rastrojos de maíz, cáscaras de frutos secos y aserrín, entre otros. Esto quiere decir que al sustrato se le atribuye una doble función: estructural y de alimento, lo cual implica necesariamente a que el material resultante y las características del

mismo están sujetas a las propiedades de sus componentes: el micelio de hongo y el desecho orgánico utilizado.

Se persigue el objetivo de probar si el hongo es capaz de crecer en un sustrato compuesto por elementos no orgánicos mezclado con elementos orgánicos que le sirven de alimento, de manera que, en caso de obtener resultados positivos, el material del sustrato pueda ser elegido de acuerdo a sus propiedades, independiente de que no sirva como alimento para el hongo. Si se logra cumplir con tal objetivo, podría significar la creación de un material alternativo a utilizar en estructuras, como lo es el hormigón.

## Observaciones Preliminares

Lo que me hizo llegar a esta propuesta, se basa principalmente en dos aspectos. Por un lado, estaba la inquietud que me generaba el hecho de la acotada exploración que existe en torno al mundo de los materiales biobasados. Está claro que esto puede deberse a que es un ámbito muy reciente, sin embargo, creo que hay que aventurarse a probar nuevas posibilidades y no descartar opciones antes de probar de manera práctica y experimentar. Por otro lado, mi curiosidad en cuanto a usar la arena como sustrato, proviene de un caso en particular al que llegué en la etapa de investigación del Taller. En este proyecto llamado "Dupe", el estudiante Peter Trimble logró la confección de un asiento a partir de la acción de la bacteria *Sporosarcina pasteurii* en arena fina de playa, al agregar urea. Ese proyecto me inspiró para extrapolarlo a la biofabricación con hongos, pues me hizo pensar que, ante la presencia de una sustancia, existía la posibilidad de hacer crecer el hongo a través de un material mineral particulado.

## Marco Teórico

### ***Pleurotus Ostreatus***

Para llevar a cabo esta investigación, resulta fundamental el conocimiento acerca del hongo a utilizar, tanto de sus características como de su forma de alimentarse.

El hongo elegido para llevar a cabo esta investigación corresponde al hongo ostra (*Pleurotus Ostreatus*), ya que es una especie de hongo que ha sido utilizado para la creación de biomateriales, además de que tiene un alto nivel de disponibilidad y acceso. Este hongo posee características ideales para realizar esta experimentación, pues como dijo uno de los creadores de Ecovative, Eben Bayer, para la revista Fungi, *“nosotros hicimos nuestros primeros prototipos con el hongo ostra, y todavía es mi favorito. Admiro su tenacidad para crecer bajo casi cualquier condición en casi cualquier sustrato.”* (Zeller, 2012). El hongo *Pleurotus Ostreatus*, es un descomponedor primario de madera y residuos vegetales. (Zadrazil & Kurtzman, 1981). Puede ser encontrado naturalmente en selvas tropicales y subtropicales, y puede ser artificialmente cultivado. (Maziero, Bononi, Capellari, 1992).

*“El hongo Pleurotus Ostreatus ha sido intensamente estudiado en diferentes partes del mundo: tienen un alto valor gastronómico, son capaces de colonizar y degradar una amplia variedad de residuos lignocelulósicos, requieren poco tiempo de crecimiento comparado con otros hongos comestibles, demandan poco control ambiental, (...) y pueden ser cultivados de manera simple y módica.”* (Jwanny, Rashad, & Abdu, 1995; Patrabansh & Madan, 1997).

### **Dextrosa**

Se determinó la dextrosa como una de las sustancias constituyentes del alimento para el hongo, debido a su

presencia en uno de los medios más utilizados en el mundo de la fabricación de materiales biobasados, que corresponde al medio PDA (papa, dextrosa, agar). Como dicen los investigadores Hoa y Wang, *“las influencias de temperatura y condiciones nutricionales en el crecimiento del micelio del hongo fueron investigadas en experimentos de laboratorio. (...) Los resultados indicaron que la papa, dextrosa, agar (PDA) y el camote, dextrosa, agar (YDA) fueron los medios más adecuados para el crecimiento del micelio de hongo Pleurotus Ostreatus.”* (Hoa & Chun-Li Wang, 2015).

### **Harina**

Se determinó la harina como la otra de las sustancias que componen el alimento para el hongo, ya que es un elemento que ya ha sido utilizado como parte de sustrato de proyectos de creación de biomateriales con micelio. En su tesis, el investigador Rodríguez declara que *“se usó un método parecido al que utiliza Ecovative en su kit GIY, Grow it Yourself (Ecovative 2016), por lo mismo a las muestras se le añadió agua y harina como estructurante para desarrollar un mejor micelio.”* (Rodríguez, 2016).

### **Áridos**

La elección de los áridos como componente principal del sustrato se debe a la utilización de este material en el ámbito de la construcción. Los áridos son materiales pétreos compuestos de partículas duras, de forma y tamaño estable. Habitualmente se dividen en tres fracciones: grava, gravilla y arena. (Ministerio de Obras Públicas).

Como se declara en el documento *“Los áridos en Castilla y León”* de la Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA), los áridos consisten en

*“Son un sector estratégico, puesto que suministra gran cantidad de materiales imprescindibles para el sector de la construcción. No hay que olvidar que los áridos son la materia prima a partir de la cual se fabrican hormigones, morteros, bases y subbases, escolleras, balasto, etc.” (SIEMCALSA, 2008).*

Los áridos se pueden clasificar de acuerdo a su granulometría, es decir, al tamaño de sus gránulos, como se muestra en la siguiente tabla:

<b>ÁRIDOS GRUESOS</b>
Gravón o morro > 32 cm.
32 cm. > Grava gruesa > 16 cm.
8 cm. > Gravón mediana > 8 cm.
8 cm. > Gravilla > 4 cm.
40 mm. > Almendrilla > 20 mm.
20 mm. > Garbancillo > 10 mm.
10 mm. > Piñoncillo > 5 mm.
<b>ÁRIDOS FINOS</b>
5 mm. > Arena gruesa > 2,50 mm.
2,5 mm. > Arena mediana > 1,25 mm.
1,25 mm. > Arena fina > 0,63 mm.
0,63 mm. > Arenilla > 0,32 mm.
0,32 mm. > Polvo > 0,16 mm.
0,16 mm. > Polvillo > 0,08 mm.
0,08 mm. > Limos > 0,04 mm.

Fig. 2: Denominación de los áridos según su tamaño.

En esta investigación se han seleccionado dos tipos de áridos para trabajar: uno corresponde a la arena fina de construcción, y el otro corresponde a la arena gruesa de construcción. La decisión de utilizar estos dos en específico, fue tomada de acuerdo a la escala en la que se trabajará, pues las granulometrías de dichos áridos son coherentes con esta. Por otro lado, se pensó en la capacidad de mantención o retención de la humedad. Las piedras de un tamaño mayor a las de la arena gruesa, tales como la grava y la gravilla, poseen una menor capacidad de retención de humedad debido a su mayor superficie, su menor capacidad de absorción, además de su granulometría

## Hipótesis

Es posible la creación de un biomaterial, inoculando hongo *Pleurotus Ostreatus* en un sustrato compuesto por un árido integrado con un medio alimenticio basado en harina, dextrosa y agua.

## Objetivos

### Objetivo general:

Producir un biomaterial a partir de la unión entre micelio del hongo *Pleurotus Ostreatus* y un sustrato compuesto por un árido y un medio alimenticio para el hongo.

### Objetivos específicos:

- Lograr la colonización del hongo *Pleurotus Ostreatus* en un sustrato principalmente inorgánico.
- Determinar la mezcla adecuada de la parte orgánica del sustrato, que le proporcionará el alimento al hongo, la cual posibilite lograr el objetivo de que este crezca y colonice el sustrato completo.
- Establecer las medidas de cada componente para la preparación del sustrato de más adecuada y permitir la reproducción del proceso en cualquier escala.
- Proyectar el futuro de la experimentación a largo plazo, a partir de las observaciones y conclusiones que se presenten a partir de esta investigación de tiempo acotado.
- Proyectar los posibles usos y aplicaciones que se le puede dar al biomaterial resultante.

## Estado del Arte

### Dupe

Peter Trimble, estudiante de la Universidad de Edimburgo creó un material alternativo al concreto mediante la unión de la bacteria *Sporosarcina pasteurii*, urea y arena. Con este material, él creó una silla. La producción de los objetos se realiza a través de la máquina portátil a la cual Trimble llamó "Dupe". Se necesita un molde lleno de arena, de la forma del objeto que se desea crear. A este se introduce la solución bacteriana y luego se agrega la orina como fertilizante y una solución de cloruro de calcio. La bacteria utiliza la urea de la orina como energía para absorber el cloruro de calcio, y convertirlo en carbonato de calcio, una mezcla parecida al cemento. El producto final corresponde a una silla, la cual tiene aproximadamente el 70% de la fuerza del concreto.



Fig. 3: Silla Dupe de Peter Trimble.

La relevancia de este proyecto con respecto a la presente investigación, corresponde a que, en primer lugar, fue a partir del cual surgió la idea principal y la inspiración a probar el presente método. En el Dupe, Trimble logró la creación del biomaterial gracias a la acción de la bacteria, ante la presencia de una sustancia, en este caso, la urea de la orina. Fue a partir de esto que me

surgió la idea de aplicar el mismo principio en el proyecto de investigación, es decir, de la posibilidad de hacer crecer el hongo través del sustrato de arena si se le baña en una sustancia que le proporcione alimentación.

### MycoFoam

Eber Bayer y Gavin McIntyre crean en 2010, fundadores de Ecovative Design, crean un material biocompatible, alternativo a los plásticos y espumas utilizadas en packaging de productos. Este material se crea con desechos agrícolas esterilizados mediante pasteurización y micelio de hongo. Estos son introducidos dentro de un molde, para determinar la forma del material resultante, y se deja crecer por una semana en oscuridad. El hongo se alimenta del sustrato y crece a través de este, finalmente rellenando el molde. Por último, se mata el hongo mediante calor, para que deje de crecer. El resultado es una sola pieza de material. Se obtienen materiales de diferente peso, densidad, textura y fuerza, dependiendo de las proporciones utilizadas.

La relevancia de este proyecto en la presente investigación, va en la utilización del hongo *Pleurotus Ostreatus* como especie aglomerante del sustrato, además del uso de moldes, los cuales son construidos de acuerdo a la forma del objeto que se quiere crear a partir del proceso, al igual como se aplica en esta investigación.



Fig. 4: Material MycoFoam creciendo en su respectivo molde.

## II) Segunda parte: Validación

### Hipótesis, Registro, Observaciones y Conclusiones por Etapa

#### 1) Primera Experimentación / Primera aproximación a lo práctico

La primera experimentación, se desarrolló con el fin de tener una primera experiencia y aproximación a la interacción con los materiales y lo práctico. El formato del hongo utilizado fue un kit de cultivo adquirido en el supermercado Jumbo, el cual fue cultivado por una semana y media, a través del riego diario.



Fig. 5: Kit de cultivo de *Pleurotus Ostreatus* en crecimiento.



Fig. 6: Cuerpo fructífero de *Pleurotus Ostreatus* desarrollado.

Se llevó a cabo en el domicilio del investigador y se utilizaron los siguientes materiales:

- Kit de cultivo de *Pleurotus Ostreatus*
- Arena fina de playa
- Dextrosa
- Agua
- Recipiente
- Cuchara
- Alcohol
- Gasa esterilizada

En la primera aproximación a llevar a la práctica la investigación, se comenzó limpiando todos los utensilios y superficie de trabajo con alcohol y gasa esterilizada. En un recipiente plástico cilíndrico de 12 cm. de diámetro, se mezcló la arena, dextrosa y agua. Las medidas utilizadas fueron:

- 6 cucharadas de dextrosa
- 2 ½ cucharadas de agua
- 2 cucharadas de arena.

Desde el kit de cultivo, se extrajeron tres trozos de sustrato con micelio de hongo, a partir de la base de los cuerpos fructíferos, con un cuchillo previamente esterilizado con alcohol. Al sustrato se le introdujeron los trozos de hongo, los cuales fueron ubicados en la superficie de la mezcla. Por último, se procedió a cerrar con la tapa.





Fig. 7: Procedimiento.

La probeta fue dejada en reposo por el tiempo de una semana, con la cual no se obtuvieron resultados positivos. En primer lugar, las proporciones de los elementos del sustrato no fueron acertadas, ya que la cantidad de agua fue excesiva, y cada día la arena decantaba, quedando una capa de agua sobre la superficie. Además, el micelio de hongo no mostró crecimiento ni desarrollo alguno. Es probable que esto se haya debido a la falta de aire, al haber estado cerrado con la tapa del recipiente, además de un posible ahogo debido a las capas de agua que se formaban en la superficie del sustrato. Por último, vale mencionar que la arena no fue previamente esterilizada, y al ser arena de playa, presenta niveles altos de salinidad, lo cual no contribuye al crecimiento del hongo.



Fig. 8: Primera experimentación.

A partir de esta primera etapa se sacaron las correspondientes conclusiones y se pudieron tomar diversas decisiones de cómo continuaría el trabajo de investigación y las experimentaciones.

## 2) Acceso y preparación de materiales definitivos

La segunda experimentación fue llevada a cabo en el laboratorio de biomateriales del campus Lo Contador de la Universidad Católica, en el cual se presenta un ambiente controlado. En este laboratorio existe un espacio aislado, mediante una carpa con cierre, destinado a evitar posibles contaminaciones. Dentro de este espacio se realizaron todos los procedimientos experimentales y prácticos de esta segunda parte de la experimentación, o sea, las pruebas de sustrato, la preparación de mezclas y la confección de las probetas.

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Semillas de trigo inoculadas con micelio de hongo *Pleurotus Ostreatus*
- Arena fina (saco de 25. kg)
- Arena gruesa (saco de 25 kg.)
- Harina sin levadura
- Dextrosa
- Agua
- Moldes de plástico de 400 mL.
- Moldes de madera de 1 L.
- Pesa digital
- Mechero
- Toalla de papel de cocina
- Elásticos
- Cuchara
- Alcohol
- Recipientes plásticos de 1 L.
- Recipiente plástico con medidas en mL.

Debido a que el sustrato está compuesto por dos partes, se hará referencia a cada una de la siguiente manera, para facilitar la lectura y comprensión del desarrollo de de la experimentación:

- a la parte orgánica, que constituye el alimento para el hongo, compuesta por harina, dextrosa y agua se le denominará HDA o sustrato-alimento.
- a la parte no orgánica, correspondiente al árido, se le denominará sustrato-estructura.

Los materiales a utilizar en esta experimentación fueron adquiridos en diversos establecimientos comerciales. Los únicos elementos que fueron necesarios de preparar corresponden a los áridos, pues venían húmedos en sus respectivos sacos de 25 kilos. Esta preparación consistió en la esterilización de 4 kilos de cada árido en recipientes de cerámica, en un horno a 120°C por un tiempo de 30 minutos, requiriendo revolver cada 10 minutos.



Fig. 9: Esterilización de áridos en el horno.

### 3) Confección de moldes

Se definió la cantidad y forma de los moldes, dentro de los cuales se formaron las probetas.

Para cada tipo de árido (arena fina y arena gruesa), se determinaron dos moldes diferentes:

- Un molde de madera, confeccionado en el taller de herramientas de la Universidad, con capacidad de 1 litro. Las medidas del molde corresponden a 8cm x 8cm x 10cm. La probeta que se obtendría de este molde corresponde a un paralelepípedo del material. La forma de este molde ofrece la posibilidad de realizar posteriores pruebas de material, debido a su morfología de ladrillo. Sin embargo, debido a su opacidad, sólo ofrece la posibilidad de ver la cara superior de la probeta, para lo cual es necesario destapar el molde.
- Un molde de plástico transparente con forma de trapecio, con una capacidad de 400 mililitros. La transparencia del recipiente ofrece la posibilidad de tener visual hacia el interior del mismo, de manera que se puede observar desde fuera y en los 6 diferentes

ángulos lo que está sucediendo en su interior, es decir, el comportamiento del micelio en del sustrato.



Fig. 10: Materiales.

#### 4) Pruebas de sustrato

En esta experimentación práctica, se decidió realizar los procedimientos con mayor rigurosidad y pruebas de sustrato previas, de las cantidades para definir la fórmula de sustrato más adecuado, antes de introducir las semillas inoculadas con el hongo.

En primer lugar, se accedió a los materiales necesarios para llevar a cabo la experimentación. El sustrato se compone en su totalidad de cuatro elementos: árido, harina, dextrosa y agua.

Para constituir el sustrato, se realizaron una serie de pruebas previas, realizando mezclas con diferentes proporciones de sus elementos, midiendo y registrando las cantidades utilizadas.

Para que el hongo tenga posibilidades de crecer a través del sustrato, resulta fundamental respetar los siguientes aspectos:

- Mantener cierta aireación dentro del sustrato, para que el hongo posea espacio para crecer.

- Encontrar las proporciones adecuadas de harina, dextrosa y agua para la HDA, cuidando que el sustrato-alimento solamente bañe al árido, pues si el sustrato queda mojado resulta contraproducente, como fue observado en la experimentación número 1.
- Mantener al árido como material de mayor presencia dentro del sustrato, pues esta esta investigación gira en torno a dicho material.

En una primera prueba de sustrato, se mezclaron en un recipiente:

- 50 gramos de arena fina
- 5 gramos de dextrosa
- 25 gramos de harina
- 25 gramos de agua

Estos materiales fueron mezclados hasta obtener una mixtura homogénea. Sin embargo, las medidas con las que fue constituido el sustrato no resultaron adecuadas, de acuerdo a los aspectos anteriormente mencionados, para posibilitar el crecimiento del hongo a través de él. El sustrato que se obtuvo resultó componerse principalmente de masa, dentro de la cual se encontraba introducida la arena, con todos sus gránulos separados los unos de los otros, aglomerados por una gran y única masa. Dicho sustrato no ofrece al hongo espacios de aireación dentro de él, fundamentales para que este pueda crecer.



Fig. 11: Resultado primera prueba de sustrato.

A partir de dicha observación, se procedió a acudir a una estrategia diferente. Primero, se preparó el sustrato-alimento, es decir, la mezcla de harina, dextrosa y agua (HDA) partiendo desde la decisión de lograr una sustancia con una consistencia específica. Esta debe ser líquida, para que pueda bañar al árido sin convertir al sustrato en masa.

En esta iteración, se optó por definir las cantidades con proporciones, registrando su volumen en mililitros para poder reproducir la fórmula en futuras iteraciones de manera rápida y estratégica, aplicable a cualquier cantidad o volumen de probeta, a través de cálculos matemáticos simples de razones y proporciones.

En esta prueba de sustrato, se mezcló en un recipiente:

- 2 partes de harina
- 1 parte de dextrosa
- 6 partes de agua

En otro recipiente, con 150 mL de arena fina, se agregaron 15 cucharadas de HDA, las cuales equivalen a 35 mL. Al mezclar ambas partes del sustrato, se obtuvo el resultado esperado, pues la HDA logró humedecer la arena, manteniendo una distribución natural de sus partículas, con espacios de aireación entre ellas.

Antes de comenzar a agregar las semillas inoculadas con *Pleurotus Ostreatus* al sustrato-estructura, se realizó una última prueba de sustrato, para verificar si la mezcla 2:2:6 de HDA era efectivamente la más adecuada.

Se mezcló la misma cantidad de arena fina (150 mL.) con 20 cucharadas de HDA, es decir, 5 más que las empleadas en la prueba anterior. Con esta nueva cantidad, la mezcla ya procedía a convertirse en una especie de masa y las partículas de árido se pegaron entre sí. A partir de esta cuarta prueba, se determinaron las medidas oficiales con las que se procedió a trabajar, es decir, con las definidas en la experimentación 3.



Fig. 12: Resultado prueba de sustrato.

### 5) Confección de probetas

Tras la definición de las medidas del sustrato, se procedió a realizar las probetas, en las cuales las semillas inoculadas con *Pleurotus Ostreatus* se introducen al sustrato definido en la etapa anterior.

Para la confección de las probetas, se realizaron cálculos previos para determinar las cantidades correspondientes de cada elemento, adecuando las proporciones determinadas en las pruebas anteriores a las medidas de los moldes. Para realizar dicho cálculo, se utilizó el siguiente dato:

- Para 150 mL. de árido se necesitaron 35 mL. de HDA, a partir de lo cual fue posible calcular las proporciones correspondientes de las dos partes de sustrato.

El cálculo arrojó las siguientes medidas:

- Para los molde plásticos de 400 mL., corresponden 325 mL. de árido y 75 mL. de HDA.
- Para los moldes de madera de 1 L., corresponden 812 mL. de árido y 188 mL. de sustrato.

Se preparó en un recipiente la solución de harina, dextrosa y agua (HDA), respetando la proporción de 2 partes de harina, 1 parte de dextrosa y 6 partes de agua.

- Para cada molde de plástico de 400 mL. se necesitan: 16,6 mL. de harina, 8,3 mL. de dextrosa y 49,8 mL. de agua.
- Para cada molde de madera de 1 L. se necesitan: 41,8 mL. de harina, 20,9 mL. de dextrosa y 125 mL. de agua.

Estas cantidades corresponden a 526 mL. de HDA en total, que para ser agregado a cada probeta, se midió con un recipiente con medidas.

En otro recipiente, se introdujo la cantidad de árido específica para cada probeta, a la cual se agregó la cantidad de HDA correspondiente, y se procedió a mezclar de forma homogénea.

Luego, se agregó a cada recipiente una cucharada de semillas inoculadas con *Pleurotus Ostreatus* por cada 100 mL. de sustrato. Las semillas fueron introducidas y se procedió a revolver con una cuchara la totalidad de la mezcla, de manera homogénea pero aleatoria, es decir, sin calcular ni

posicionar las semillas en puntos específicos. Se trabajó de esta manera, ya que se quiso simular el método que se utiliza en la construcción para la mezcla de hormigón, en la máquina hormigonera. Si el hongo es capaz de crecer en este sustrato, podría replicarse la metodología de manera industrial, con la maquinaria correspondiente.



Fig. 13: Semillas de trigo inoculadas con *Pleurotus Ostreatus*.

Las cuatro probetas que resultaron de esta etapa son:

Probetas con arena fina:

- Probeta A.F. 1: Recipiente plástico de 400 mL. Probeta compuesta por 325 mL. de arena fina, 75 mL. de HDA y 4 cucharadas de semillas.
- Probeta A.F. 2: Molde de madera de 1 L. Probeta compuesta por 821 mL. de arena fina mezclada, 188 mL. de HDA, y 10 cucharadas de semillas.

Probetas con arena gruesa:

- Probeta A.G. 1: Recipiente plástico de 400 mL. Probeta compuesta por 325 mL. de arena gruesa, 75 mL. de HDA y 4 cucharadas de semillas.
- Probeta A.G. 2: Molde de madera de 1 L. Probeta compuesta por 821 mL. de arena

gruesa, 188 mL. de HDA y 10 cucharadas de semillas.

Cada probeta fue tapada con toalla de papel de cocina y un elástico, para evitar el contacto de la mezcla con el exterior, permitiendo a la vez la respiración al interior de los moldes. Las probetas fueron dejadas dentro de un cubículo en el laboratorio de biomateriales.



Fig. 14: Probetas A.F. 1 y A.G. 1, en sus moldes plásticos de 400 mL.



Fig. 15: Probetas A.F. 2 y A.G. 2, en sus moldes de madera de 1 L.

A los dos días desde realizada la creación de las probetas, se hicieron visibles las primeras hifas del micelio en el sustrato, tanto en los moldes transparentes como en los moldes de madera. El molde transparente, al ofrecer la visual hacia el interior desde todas las caras, posibilitó evidenciar que desde las semillas inoculadas con *Pleurotus Ostreatus* sí fue posible que el micelio creciera, lo que implica que pudo obtener alimento desde la HDA.



Fig. 16: Probeta A.F. 2, tras dos días de crecimiento del micelio.



Fig. 17: Probeta A.G. 2, tras dos días de crecimiento del micelio.



Fig. 18: Detalle probeta A.G. 2.

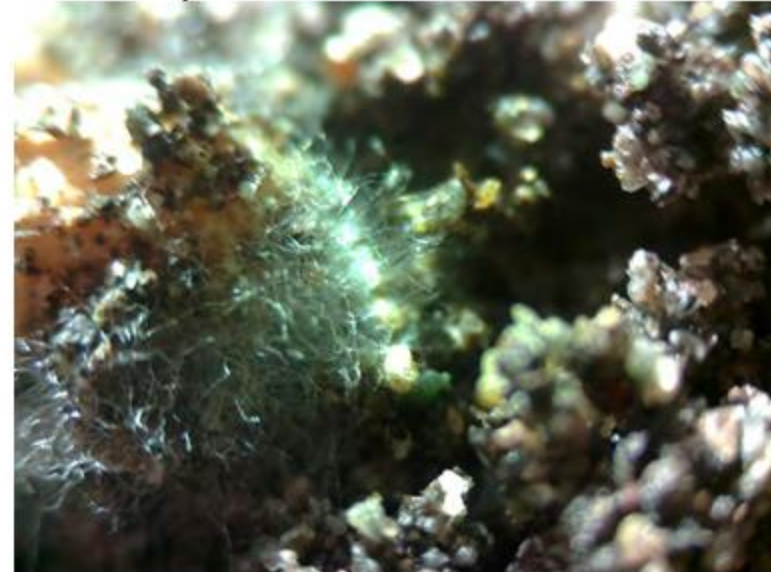


Fig. 19: Detalle probeta A.F. 2.



Fig. 20: Probeta A.G. 1 bajo el microscopio.

Fig. 21: Probeta A.F. 1 bajo el microscopio



El micelio se vio más desarrollado en las probetas con arena gruesa, mientras en las probetas con arena fina el micelio tenía un aspecto más débil y menos desarrollado.

Transcurrida una semana de la creación de las probetas A.F. 1, A.F. 2, A.G. 1 y A.G. 2, pudieron verse los avances de crecimiento del micelio del hongo, principalmente en las probetas de arena gruesa. Esto puede deberse a que las partículas de arena fina no ofrecen la aireación más adecuada para permitir un crecimiento del micelio a través del sustrato. En cambio, en el caso de la arena gruesa, sus gránulos dejan espacio de aireación entre ellos, a través de los cuales el micelio de hongo puede desarrollarse y crecer.

El crecimiento del micelio resultó ser más lento de lo esperado, lo cual implica que no se pudo conseguir un crecimiento del mismo a través de todo el volumen del sustrato en ambos casos de moldes, es decir, ni en los moldes de 400 mL. de volumen ni en los moldes de 1 L. de volumen. A partir de esto, se tomó la decisión de fabricar probetas más pequeñas, para que sea posible el crecimiento del micelio a través de ellas en un tiempo más acotado.

Utilizando las mismas proporciones de elementos del sustrato de las probetas anteriores, se construyeron dos probetas, una para cada árido. Las probetas fueron creadas en moldes hechos de madera, de 4cm. x 4cm., con una capacidad de 40 mL. Siguiendo las proporciones establecidas, en cada probeta se utilizó 8 mL. de HDA y 33 mL. de árido. El HDA se compuso de 1,8 mL. de harina, 0.9 mL. de dextrosa y 5,4 mL. de agua.

Las probetas fueron denominadas como:

- A.F. 3: con arena fina
- A.G. 3: con arena gruesa

En estas probetas, sin embargo se realizó un cambio importante. En las probetas anteriores, se introdujo una cucharada de semillas inoculadas por cada 100 mL. de sustrato. Este puede ser un factor importante y determinante de la lenta colonización que se observó en las probetas. Debido a esto, en las probetas N°3, para posibilitar una colonización más rápida y exitosa, se decidió introducir una cucharada de semillas inoculadas por cada 10 mL. de sustrato, es decir, se necesitaron cuatro cucharadas en cada probeta.



Fig. 22: Probeta A.F. 3.



Fig. 23: Probeta A.G. 3.



Fig. 24: Probetas A.F. 3 y A.G. 3.





Fig. 25: Totalidad de las probetas.

### Validación

En cuanto a la validación de la hipótesis, en la cual se postula que “Es posible la creación de un biomaterial, inoculando hongo *Pleurotus Ostreatus* en un sustrato compuesto por un árido integrado con un medio alimenticio basado en harina, dextrosa y agua”, podemos decir que ha sido parcialmente confirmada. Por un lado, el micelio de hongo *Pleurotus Ostreatus* sí ha sido capaz de crecer en un sustrato principalmente no orgánico, como lo son los áridos, alimentándose de la sustancia en el que éstos se encontraban bañados. Por otro lado, no se ha podido verificar hasta la actual fecha un crecimiento del micelio a través del sustrato en su totalidad de volumen. Para confirmar este segundo punto, es necesario un tiempo más prolongado de crecimiento que el que se tuvo en esta investigación, además de que ese tiempo no puede predecirse o calcular una aproximación certera.

Sin embargo, a partir de lo observado hasta el momento, se puede proyectar una continuación del crecimiento del

micelio, pues ya ha comenzado a crecer de manera observable y continua con el transcurso de los días. Una evaluación total de la hipótesis se podrá llevar a cabo una vez que haya pasado el suficiente tiempo para que el micelio haya crecido a través del volumen completo del sustrato. Por consiguiente, la evaluación del material resultante también podrá realizarse una vez transcurrido dicho tiempo.

### III) Tercera parte: Proyecto

#### Caracterización Material

Por razones evidentes, el material no puede ser caracterizado aún, debido a la etapa en que se encuentran las probetas. Las probetas N°1 y N°2 resultaron tener un volumen mayor al que el micelio de hongo fue capaz de colonizar al cabo de una semana. Se espera que al cabo de una semana, que las probetas N°3 puedan presentar una colonización mayor, idealmente completa, por parte del micelio a través del sustrato, para poder probar de manera visual y táctil el material resultante.

#### Ciclo de vida



Fig. 26: Diagrama de Ciclo de Vida

## Conclusiones Finales

Pese a que se presentó una falta de tiempo para el crecimiento de la especie hasta la presente fecha, a partir de esta investigación se pueden realizar importantes reflexiones, observaciones y proyecciones.

Esta investigación ha abierto un nuevo camino en el mundo de los biomateriales, pues se ha logrado que el micelio del hongo colonice un sustrato no orgánico, como lo son los áridos. Esto demuestra que existe una infinidad de nuevas posibilidades de biomateriales, pues se pueden utilizar sustratos que no necesariamente tengan que cumplir la función de alimento para el hongo, si dentro del sustrato se encuentra una sustancia que sí le proporcione alimentación y nutrientes, aunque sea en una medida mucho más baja que el material no orgánico.

Se ha aprendido que para el desarrollo de este tipo de materiales se requiere de un tiempo prolongado, pues los tiempos de crecimiento de una especie natural dependen de su biología, y al experimentar con sustratos diferentes a los convencionales, estos tiempos pueden ser inesperados, y variar de los tiempos que las mismas especies requieren en los sustratos totalmente orgánicos, tal como se presentó en este caso.

A modo de proyección, a partir de lo investigado y experimentado, se puede continuar con una investigación y experimentación a largo plazo del método propuesto. Personalmente, me parece sumamente interesante continuar con esta experimentación y perfeccionar cada etapa de la misma, porque es posible descubrir proporciones y métodos aún más convenientes y apropiados para el

crecimiento del micelio en un sustrato de estas características.

Se puede establecer una metodología y ciertos parámetros para la confección de este material y otros similares:

- Para el crecimiento de un hongo a través de un sustrato inorgánico resulta imprescindible la presencia de sustancias que le proporcionen alimento al mismo, que tengan una consistencia lo suficientemente líquida como para bañar todo el sustrato, y con una necesaria espesura, para que la sustancia de alimento quede impregnada al gránulo con una concentración y capa suficiente.
- La retención de la humedad dentro del sustrato resulta fundamental. Si este se seca, el hongo presentará dificultades para seguir creciendo. Por lo tanto, puede ser necesario el riego del sustrato con un rociador.
- La multiplicidad de puntos de presencia de semilla inoculada o micelio de hongo, para permitir una cobertura mayor de micelio a través del sustrato, una vez que ya ha crecido.

Para continuar con la investigación, se deben considerar las observaciones realizadas en el presente trabajo, sin descartar nuevas opciones o alternativas. Esta investigación demuestra que existe una infinidad de combinaciones y materiales que aún no se han descubierto, por lo que además resulta como llamado a tomar lo logrado hasta la fecha, y continuar con este trabajo. Es de suma importancia, pues existe la posibilidad de reemplazar materiales altamente dañinos para el medioambiente, tal como lo es el hormigón, o bien se puede crear materiales alternativos a estos con funciones similares.

## Bibliografía

Hoang, H.; Wang, C. L. (2015). *The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (Pleurotus ostreatus and Pleurotus cystidiosus)*. Mycobiology, Vol.43(1), pp.14-23.

Jwanny, E.W.; Rashad, M.M.; Abdu, H.M. (1995). *Solid-state fermentation of agricultural wastes into food through Pleurotus cultivation*. Applied Biochemistry and Biotechnology, 50 (1), pp. 71-78

Lelivelt, R.J.J. (2015). *The mechanical possibilities of mycelium materials*. Eindhoven, Países Bajos: Eindhoven University of Technology.

Maziero, R.; Bononi, V.L.; Capelari, M. (1992). *Cultivo e produtividade de Pleurotus ostreatus var. Florida em Mogi das Cruzes, SP, Brasil*. Sao Paulo: Hoehnea.

Meyer, C. (2009). *The greening of the concrete industry*. En Cement and Concrete Composites (Volume 31). New York: Dept. of Civil Engineering, Columbia University.

Rodríguez, S. (2016). *Mycelium: material bio-basado, compuesto del micelio del hongo Trametes versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.

Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA). (2008). *Los áridos en Castilla y León*. España: Junta de Castilla y León Consejería de Economía y Empleo Dirección General de Energía y Minas.

Vergara, E. (2014). *Hongos Aislantes*. 13 Nov 2017, de Plataforma Arquitectura Extraído de: <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-352902/en-detalle-hongos-aislantes>>

Zeller, P.; Zocher D. (2012). *Ecovative's Breakthrough Biomaterials*. FUNGI magazine, 51, pp. 51-56.

## Índice de Imágenes

Fig. 1: Fotografía de la investigación.

Fig. 2: Fundación Laboral de la Construcción. *Tecnología de la Construcción.*

*Conglomerantes, Morteros y Hormigones: Los Áridos.* Disponible en:

[http://www.construmatica.com/construpedia/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_Construcci%C3%B3n.\\_Conglomerantes,\\_Morteros\\_y\\_Hormigones:\\_Los\\_%C3%81ridos](http://www.construmatica.com/construpedia/Tecnolog%C3%ADa_de_la_Construcci%C3%B3n._Conglomerantes,_Morteros_y_Hormigones:_Los_%C3%81ridos)

Fig. 3: Hussey, M. (2014). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2014/02/08/stools-made-of-sand-and-urine-by-peter-trimble/>

Fig. 4: Ecovative. Disponible en: <https://ecovatedesign.com/how-it-works>

Fig. 5: Fotografía de la investigación.

Fig. 6: Fotografía de la investigación.

Fig. 7: Fotografía de la investigación.

Fig. 8: Fotografía de la investigación.

Fig. 9: Fotografía de la investigación.

Fig. 10: Fotografía de la investigación.

Fig. 11: Fotografía de la investigación.

Fig. 12: Fotografía de la investigación.

Fig. 13: Fotografía de la investigación.

Fig. 14: Fotografía de la investigación.

Fig. 15: Fotografía de la investigación.

Fig. 16: Fotografía de la investigación.

Fig. 17: Fotografía de la investigación.

Fig. 18: Fotografía de la investigación.

Fig. 19: Fotografía de la investigación.

Fig. 20: Fotografía de la investigación.

Fig. 21: Fotografía de la investigación.

Fig. 22: Fotografía de la investigación.

Fig. 23: Fotografía de la investigación.

Fig. 24: Fotografía de la investigación.

Fig. 25: Fotografía de la investigación.

Fig. 26: Elaboración propia.

# Conformación de estructuras de protección personal resistentes al impacto mediante el hongo *Pleurotus ostreatus* y sustrato lignocelulósico

Josefa Ballacey Cobo

Escuela de Diseño, Pontificia universidad Católica de Chile

2do semestre, 2017



Fig. 1: Crecimiento micelio sobre paja de trigo

## **PALABRAS CLAVE**

*Pleurotus ostreatus*, micelio de hongo, material biobasado, desechos agrícolas, absorción de energía, resistencia al impacto.

## **4. ABSTRACT**

La investigación está enfocada en producir un material basado en micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y sustrato de desecho agrícola que tenga la capacidad de absorber energía y resistir un impacto, para aplicarse al contexto de objetos de protección personal. En este paper el objeto que se eligió para fabricar fue un casco, debido a su materialidad plástica y propiedades mecánicas, la que según distintos estudios, pueden llegar a reemplazarse por el material basado en hongo.

Para esto, se utilizó el hongo junto a distintos sustratos orgánicos de desecho, eligiendo como óptimo la paja de trigo y borra de café. Para comprobar la propiedad buscada, se hicieron

probetas con distintas granulometrías y tiempos de crecimiento, evaluando la influencia de estos factores en la resistencia.

Se testearon análogamente las probetas y los resultados indicaron que podría servir para el uso proyectado, pero se debe seguir estudiando y perfeccionando el material para que cumpla con los requisitos necesarios. No se pudo validar la hipótesis debido a los tiempos biológicos de crecimiento del material testeado, pero no se descartó que este material pueda reemplazar el poliestireno expandido en su capacidad de absorción de energía.

## 5. CONTEXOS

En el **contexto social**, la investigación apunta a hacer un aporte en relación a la sustentabilidad de los materiales y procesos de fabricación de productos. En medio de una crisis medioambiental y productiva, es necesario hacer una transición hacia un uso de energías limpias. En el caso del transporte, los autos liberan gases contaminantes que aportan al calentamiento global y contaminación del ambiente, por lo que el uso de alternativas limpias de transporte como las bicicletas se hace necesario. En este contexto, el uso de cascos en la zona urbana es obligatorio, y estos, al sufrir un golpe fuerte o caída, deben ser descartados, desechando plásticos no biodegradables y pocas veces reutilizables. Es por esto, que la fabricación de cascos usando materiales biobasados es una buena solución.

Los materiales utilizados en cascos para uso urbano generalmente son plásticos como el ABS y policarbonato para una capa exterior, y poliestireno expandido en la parte interna, los que son derivados del petróleo y que en su proceso de producción liberan muchos químicos al medioambiente y solo algunos son biodegradables, los cuales pueden demorarse años en degradarse.

En esta investigación se va a estudiar la propiedad de resistencia al impacto que puede tener un material basado en micelio de hongo *pleurotus ostreatus* y distintos desechos agrícolas como sustrato (paja de trigo, cáscara de nuez, viruta de pino, aserrín y café), logrando producir un material que no usa energía en su producción y que a la vez aporta a reducir material de desecho orgánico de la industria agrícola.

Se busca además que el proyecto sea open source, es decir que la información y resultados obtenidos sean abiertos a cualquier persona que le interese, y que estos puedan ser intervenidos y modificados sin estar sujeto a una licencia o patente. Las tecnologías usadas en esta investigación son simples y replicables, no se usan laboratorios especializados ni máquinas complejas, sino que se puede producir este material de una forma más análoga que por ejemplo el plástico, haciéndolo un proyecto accesible.

El **contexto físico** del proyecto se enfoca en la utilización del hongo *pleurotus ostreatus*, el cual se encuentra a lo largo de la zona centro y sur de Chile. Es un hongo con vasta disponibilidad en el país y con condiciones de crecimiento simples. Se busca usar una especie común y local, para lograr hacer un proyecto abierto y con posibilidades de replicación sencillas.

Este hongo es del tipo saprófito, los cuales degradan materia orgánica lignocelulósica para su alimentación. Se caracteriza por su rápido crecimiento, en un ambiente fácil de replicar y sobre una gran variedad de sustratos incluyendo muchos desechos orgánicos de la industria agrícola. También se escogió esta especie debido a la utilización de esta especie en varias investigaciones consultadas,

lo que da más información respecto a sus características y comportamiento, para así lograr hacer un aporte de información nueva acerca de un tema muy estudiado.

El hongo crece degradando la materia orgánica, actuando como un pegamento entre las moléculas, formando un material liviano, resistente y denso, sin necesidad de aditivos. El micelio se va extendiendo formando una red que se asemeja a las neuronas, creando conexiones equivalentes a kilómetros en 1 m<sup>3</sup>. Este micelio va degradando la materia y absorbiendo nutrientes, manteniendo un equilibrio químico en el suelo y controlando la cantidad de materia orgánica de este.

Dentro del **contexto tecnológico** del proyecto, se investiga acerca de los procesos de producción actuales y los materiales utilizados en la creación de estructuras resistentes al impacto. Generalmente, este tipo de estructuras son fabricadas a partir de plásticos, de los cuales el más común es el poliestireno expandido, el cual es usado para resistir impactos en el área del empaque, transporte de objetos, y en objetos de protección personal como los cascos para ciclistas urbanos. Existe en distintas densidades, variando según esto la capacidad de absorción de energía. Son fáciles de modelar, producir y de bajo costo, pero en su ciclo de vida son perjudiciales para el medioambiente, y se debe buscar materiales que cumplan con las mismas propiedades pero sin efectos negativos en el ecosistema.

Los cascos son elementos muy importantes para la protección personal, pero tienen una huella ecológica alta ya que además de tener un proceso de producción contaminante, al resistir la fuerza de un impacto, deben ser desechados por el deterioro interno del material, teniendo una vida útil limitada por los accidentes, por esto es importante encontrar nuevas formas de crearlos, en base a una producción y desecho ecológico.

El poliestireno ha sido comparado con el micelio de hongos en términos de propiedades mecánicas en varias investigaciones como las de Ecovative, Wagner, A., y Travaglini et al. debido a su parecido en propiedades mecánicas de resistencia, aislación térmica y acústica, y su bajo peso. En estas investigaciones se trata la resistencia a la compresión y tracción, aislación térmica, auditiva y en algunos se testeó la absorción de energía, pero no se encontró un estudio orientado totalmente al estudio de la resistencia al impacto y sus variantes según los distintos factores que influyen.

Esta investigación pretende hacer un avance en los estudios mecánicos de este material, concluyendo si este puede compararse con las capacidades físicas del poliestireno expandido de alta densidad.

Según distintos estudios de Román, J., Luna, F. & Bailón, L. (2014), el micelio, a mayor densidad, mayor resistencia, y esta densidad se debe principalmente al sustrato utilizado y al tiempo de crecimiento del micelio, por lo que se debe usar un sustrato favorable para aumentar la densidad del micelio, hacer el material lo más uniforme posible usando moldes regulares, y comprobar si este se comporta de la misma manera que el plástico testeando las probetas mecánicamente, teniendo como variables el tiempo de crecimiento del micelio y la densidad de este.

## **6. RELEVANCIA**

En esta investigación se busca crear objetos basados en micelio de *pleurotus ostreatus*, hongo de vasta disponibilidad dentro de Chile y el mundo, haciendo que este proyecto sea accesible para la investigación, de bajo costo y abriendo la posibilidad de que sea un proyecto open source,



compartiendo la información y conclusiones obtenidas en la investigación para que cada persona pueda producir sus propios objetos sin necesidad de tecnologías avanzadas ni sistemas industriales. Se busca comprobar la efectividad del micelio de hongo con un sustrato lignocelulósico, en relación a su capacidad de resistencia al impacto. Si la hipótesis resulta ser correcta, el micelio podría reemplazar varios tipos de plásticos utilizados en la producción de objetos de protección tanto personal como de otros elementos externos, principalmente el poliestireno expandido, haciendo que se avance hacia un diseño ecológico, centrado en las capacidades de la tierra y basado en un sistema circular donde nada es un desecho, sino que todos los elementos pueden ser aprovechados por un organismo vivo. Las propiedades del micelio del hongo *pleurotus ostreatus* declaradas en distintas investigaciones citadas, permiten inferir que un material basado en éste es capaz de resistir un impacto y funcionar como estructura de protección en diversos ámbitos.

Se debe evaluar la eficiencia de este material biobasado en cuanto a la cantidad de energía que resiste, si esta depende del volumen, y si se pueden extrapolar las formas usadas hoy en día en elementos de protección o si se deben rediseñar las formas y geometrías en relación a estas capacidades.

## **7. OBSERVACIÓN PRELIMINAR**

La mayoría de los objetos que nos rodea está fabricado a partir de plástico o lo contiene en cierta medida, desde empaques de alimentos que consumimos, artículos de uso diario, juguetes de niños e incluso forman parte de nuestras casas. Si bien el plástico es un material barato, fácil de manipular y duradero, es uno de los mayores contaminantes al medioambiente. Al estar basados en petróleo y con procesos químicos complejos en su proceso de producción, se logra un material no biodegradable, y en los casos que si lo es, se demora muchos años en desaparecer. Existen islas de basura de plástico, animales marinos que las consumen y miles de vertederos llenos de este. Muchas veces se habla de reciclar, pero el primer paso es reducir. Reemplazar estos materiales y crear nuevos sistemas de producción para las necesidades actuales es clave.

Esta problemática es una de las principales motivaciones para esta investigación, junto a la investigación bibliográfica del Taller de Biofabricación, donde se conocieron diversas formas nuevas y sustentables de abordar el diseño usando organismos vivos para la producción de materiales. Estos microorganismos, que incluyen bacterias, hongos y algas, nos entregan posibilidades para explorar nuevas tecnologías, materiales y sistemas que pueden reemplazar los actuales. Muchas veces son subvalorados y no se conocen todos los roles que cumplen en la naturaleza y los que podrían llegar a cumplir al manipular algunas variables, por lo que su continua investigación y estudio son necesarios.

Dentro del proceso de recopilación de información, se encontró investigaciones que comparan el micelio de hongo con el poliestireno expandido en cuanto a algunas de sus propiedades mecánicas, pero no se encontró una investigación que evaluara completamente la de absorción de energía del micelio y los factores que influyen en este. Se busca hacer un aporte en relación a esta propiedad para definir si es viable pensar el micelio como nuevo material para una serie de objetos cotidianos.

## 8. MARCO TEÓRICO

### 8.1 Resistencia al impacto

Para poder hacer un estudio sobre la resistencia al impacto del micelio de hongos en determinadas estructuras, se debe definir algunos conceptos asociados a esto.

- **Densidad:** Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- **Rigidez:** Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
- **Resistencia al impacto:** La resistencia al impacto representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica. Está determinada por la medición de la energía necesaria para fracturar una probeta bajo condiciones normales.

La resistencia al impacto se relaciona con varios factores dentro de los cuales están la densidad del material, su composición química, la geometría micro y macroscópica y los tratamientos posteriores que se le da a un material. Es necesario que el material no solo no se rompa sino que no transmita la energía al cuerpo. Por esto, es necesario un material que sea denso y compacto, pero no totalmente rígido, debe poder deformarse en cierta medida para absorber la fuerza y no quebrarse totalmente al entrar en contacto con la energía, dejando expuesta la zona protegida. El material debe disipar las ondas de energía y absorberlas, para evitar que se traspasen al área protegida.

Para testear esta propiedad del material se aplica el ensayo Charpy, donde un péndulo con un peso y a una velocidad determinada, cae sobre el dorso de la probeta y la parte. Se mide la diferencia entre la altura del péndulo antes y después del impacto, la que permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta. Este testeo debe hacerse en un laboratorio con las máquinas necesarias y con una probeta de tamaño determinado.

Para esta investigación se usarán métodos análogos para testear las propiedades del micelio de hongo junto a sustrato lignocelulósico, llegando a conclusiones mediante la observación y comparación de las probetas antes y después del impacto, haciendo el mismo procedimiento con probetas de poliestireno expandido para comparar resultados. Se buscaron formas análogas de hacerlo, y se escogió un sistema basado en dejar caer una bola de acero desde distintas alturas y evaluar los efectos que tiene en la probeta. Se puede calcular la velocidad de la bola según su peso, altura y gravedad, llegando a obtener la fuerza con la que impacta la probeta.

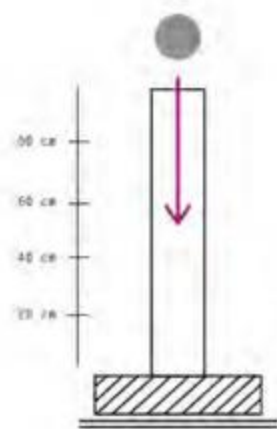


Fig. 2: Ensayo impacto

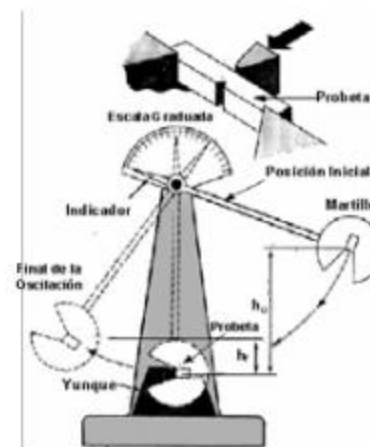


Fig. 3: Péndulo Charpy

Para una futura evolución del proyecto, se debe construir probetas para ser testeadas en un laboratorio, para así obtener resultados numéricos más confiables y no solo observaciones y resultados aproximados. Además, con las pruebas mecánicas de laboratorio, es posible obtener un informe completo sobre las fuerzas máximas soportadas por el material, sus reacciones a las fuerzas y comportamiento interno y externo.

El poliestireno expandido es un subproducto del petróleo que se usa en productos asociados a la protección ante el impacto, como en embalaje o protección del cuerpo como un casco. Este plástico funciona en base a su geometría microscópica, donde cada "célula" de poliestireno expandido contiene aire en su interior, que al chocar con una fuerza absorbe la energía, donde varía el tamaño de cada célula y el grosor de la pared celular, y su geometría macroscópica, donde influye principalmente la densidad de las células en un volumen determinado; a mayor densidad del poliestireno expandido, mayor resistencia. En los cascos generalmente se usa poliestireno expandido de alta densidad ( $30 \text{ kg/m}^3$ ) por lo que las probetas de micelio se van a comparar con otras de este material.

## 8.2 Elección sustratos

En los materiales hechos a partir de micelio, las propiedades pueden variar según los distintos tipos de hongos escogidos y del sustrato usado, los que varían en porcentajes de celulosa, lignina y hemicelulosa, además de elementos químicos necesarios para el crecimiento del micelio como el nitrógeno y carbono, fósforo y potasio. El carbono y nitrógeno son los componentes más importantes en el crecimiento del micelio.

Probablemente, una mezcla de distintas materias orgánicas como sustrato es la mejor opción, para así aportar las cantidades necesarias de nutrientes al micelio complementando los carbohidratos con elementos químicos básicos para su crecimiento.

En esta etapa de la investigación se va a testear distintos sustratos lignocelulósicos provenientes de subproductos agrícolas (paja de trigo, cáscara de nuez, viruta de pino, aserrín y café), los cuales fueron elegidos en base a 3 criterios: disponibilidad local, resultados de otras investigaciones y composición química. Dependiendo de los resultados obtenidos, se va a evaluar la opción de mezclar sustratos en distintas proporciones con el fin de encontrar el más favorable para esta investigación.

La paja fue escogida basándose en papers de Román, J., Luna, F. & Bailón, L. (2014) y Bermúdez, García y Murlot (2007), donde se establece que la paja es un buen sustrato en términos de crecimiento rápido del micelio, alta disponibilidad y es un desecho agrícola, lo que aporta a reducir la huella de carbono. No se encontraron estudios que desarrollen la resistencia al impacto del material directamente con este sustrato, pero podría llegar a ser favorable para el crecimiento del micelio.

Esto se sustenta también en estudios de Bermúdez, García y Murlot (2007), quienes revelan que los sustratos de mayor colonización del hongo *Pleurotus ostreatus* son aquellos que tienen mayor contenido de carbohidratos estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa), que se pueden encontrar en la paja del maíz, salvado y trigo. (Ríos, Hoyos & Mosquera, 2010; Vargas, Hoyos & Mosquera, 2012)

Según un estudio de Jameson, C., Thomas, T. y Williams, R. (2014), y otro de Wagner, A. (2016), el uso de café como parte del sustrato tiene un efecto positivo en el crecimiento del micelio, tanto en su rapidez como densidad, lo que se debe principalmente a que es un sustrato rico en nitrógeno. En la investigación de García, N y Bermúdez, R. (2011), también se llegó a un buen resultado usando café en el sustrato, pero se concluye que este debe ser usado en conjunto con otro sustrato como paja de trigo u otro cereal para complementar los nutrientes. Se debe evaluar la proporción de cada sustrato para un resultado óptimo.

La cáscara de nuez también ha sido investigada por Sözbir, G. D., Bektas, I., & Zulkadir, A. (2015) en relación a la producción de *pleurotus ostreatus* como un sustrato rico en nitrógeno y carbono, lo que aporta al crecimiento del micelio. Es necesario comprobar que existe una relación entre la producción de cuerpos fructíferos del hongo con el desarrollo del micelio ya que en esta investigación se investigó con fines productivos de alimentación y no relacionado directamente al micelio.

La viruta de pino fue escogida en relación a las cantidades de lignina y celulosa que contiene, estos carbohidratos estructurales son fundamentales para el crecimiento del hongo, y existe en gran cantidad en los desechos agroindustriales. Se usó este sustrato en dos formatos con granulometrías distintas (viruta y aserrín) con el fin de concluir si el tamaño de las partículas influye también en el crecimiento del micelio o si influye más su composición química.

### 8.3 Propiedades micelio

En relación a las propiedades mecánicas del micelio de hongo, Román, J. et al. (2014), concluyeron entre otras cosas que “la cantidad de micelio presente en el material y, por tanto, el tiempo de crecimiento del mismo, es proporcional a la resistencia a compresión simple.” y “las probetas con mayor densidad han arrojado valores de resistencia a compresión también más elevados, por lo que a priori parece que, a mayor densidad, mayor resistencia.” Es necesario comprobar que estas características favorecen a la resistencia al impacto del material mediante el desarrollo de pruebas mecánicas, pero se dan indicios de un buen material a ser estudiado en este ámbito.

En el proyecto exploratorio desarrollado por Wagner, A. (2016), se desarrollaron distintos componentes de una bicicleta, comprobó las propiedades mediante testeos mecánicos de sus probetas, donde se concluyó que: a mayor densidad mayor resistencia; que el micelio puede llegar a ser igual de denso que el poliestireno expandido de alta densidad; el nitrógeno en el sustrato aporta a la densidad y dureza del material como también estimula el crecimiento del micelio; fibras vegetales como el cáñamo y lino aportan resistencia a la tracción y estas pueden ser aplicadas tanto dentro de la mezcla de sustrato y micelio o como una capa que lo recubre, y que este material puede ser resistente al impacto. Las probetas que se testearon en ese proyecto fueron producidos usando el sustrato del GIY de Ecovative, donde no se establece qué componentes tiene, por lo que no se puede tomar como una referencia absoluta, pero sí como un punto de partida para una investigación más completa enfocado en la resistencia.

En estudios de Travaglini, S., Noble J., Ross P. y Dharan, C. (2013), se establece que la resistencia del material creado está relacionado inversamente proporcional a la humedad de la materia, y además la flexibilidad aumenta con esta, por lo que esto también podría ser un factor a evaluar en términos de absorción de energía.

#### 8.4 Proceso de producción

Existen varios procedimientos para la fabricación de estructuras dentro de los cuales están la obtención del sustrato, crear los moldes de las piezas, el tiempo de crecimiento del micelio y secado de este. En esta investigación se va a tomar en cuenta principalmente el procedimiento usado por Ecovative, empresa que tiene mucha experiencia en la aplicación del micelio para la creación de productos, el cual establece las siguientes acciones:

- En la obtención del sustrato, se debe tratar de utilizar materia orgánica que sea desechada en el área donde se va a producir, reduciendo la huella de carbono y aportando a la descontaminación local.
- Los moldes de las piezas pueden tener formas variadas, como el micelio crece alrededor y a través del sustrato, este va a adoptar la forma que se le dé. El producto debe tener como mínimo 1 cm de espesor, y un ángulo mínimo para poder sacarlo del molde.
- Las condiciones óptimas para el crecimiento de micelio es una temperatura de 20 – 30°C y en una humedad de un 80-90%. Es preferible que esté en la oscuridad y debe estar oxigenado, es decir en un molde no hermético, que tenga un filtro para otros microorganismos.
- El tiempo aproximado de crecimiento del micelio es de 2 semanas, pero esto va a depender de las dimensiones del objeto y las condiciones ambientales, por lo que no es un tiempo definido. Este se debe secar en un horno a altas temperaturas (a 170°C por 20 minutos) para que el hongo no entre en la fase fructífera y este no tenga esporas u otros agentes alérgenos.
- La pieza está terminada una vez que esta pierde el 70% del peso original
- Se establece que el micelio al secarse, puede disminuir sus dimensiones entre un 4 y un 9%, por lo que se deben hacer los moldes en ese porcentaje más grandes, para que así el producto terminado sea del tamaño deseado (esto varía según el sustrato usado y las dimensiones del objeto).

#### 9. HIPÓTESIS

El micelio del hongo *pleurotus ostreatus*, junto a un sustrato lignocelulósico rico en carbono y nitrógeno, forma un material resistente al impacto similar al poliestireno expandido de alta densidad.

#### 10. OBJETIVOS

Objetivo general -

Producir un material basado en micelio de hongo *pleurotus ostreatus* y sustrato lignocelulósico de desecho agrícola rico en nutrientes, que tenga la propiedad de resistencia al impacto

Objetivos específicos -

- Comprobar las propiedades mecánicas y resistencia al impacto
- Comparar y evaluar las similitudes y diferencias con el poliestireno expandido de alta densidad
- Fabricar un casco de bicicleta basado en micelio de hongo

## 11. ESTADO DEL ARTE

### 11.1 Mycofoam

Este material creado por la empresa Ecovative, líder en la creación de estructuras basadas en micelio de hongo y desechos agrícolas, es una alternativa a la utilización de materiales derivados del petróleo usados para la protección de productos en el empaque de estos. Es de los primeros materiales basados en micelio usados por grandes empresas de productos.



Fig. 4: Detalle material



Fig. 5: Empaque vino



Fig. 6: Empaque de remedios



Fig. 7: Empaque lámpara LED

Este material se relaciona directamente con la presente investigación, en relación a la propiedad de resistencia al impacto buscada, y a la utilización del hongo *pleurotus ostreatus* y desecho agrícola para lograrlo. Ecovative tiene patentes sobre los materiales usados por lo que no da pasos a seguir para lograrlo, pero si permite intuir que se puede lograr una buena resistencia para fabricar un casco.

## 11.2 Mycelium Bike

Este proyecto de Alexander Wagner se enfoca en la producción de algunas partes de una bicicleta a motor como manillas, parachoque, un casco y luces, en base a micelio de hongo. Para esto, se creó un diseño conceptual de este, determinando qué propiedades debe tener cada parte según su función.



Fig. 8: Concepto bicicleta



Fig. 9: Proceso moldaje



Fig. 10: Resultados crecimiento



Fig. 11: Testeo probeta

Si bien este proyecto no logró concretar todas las partes, tiene una metodología de experimentación, diseño y prototipado que aportan a futuras investigaciones. En este caso hubo testeos de propiedades mecánicas que establecen que el micelio es resistente al impacto. Es un proyecto que se aproxima al diseño sustentable de productos.

### 11.3 The Growing Lab

The Growing Lab, liderado por Maurizio Montalti es un proyecto de la Officina Corpuscoli de diseño que ha basado sus investigaciones en las distintas aplicaciones que tiene el micelio de hongo para la fabricación de estructuras. Han llegado a producir una gran variedad de objetos, desde sillas y bowls, hasta carteras y zapatos, teniendo distintas características en el material como rigidez, flexibilidad, impermeabilidad, resistencia, entre otros.



Fig. 12: Objeto de micelio



Fig. 13: Mochila de micelio



Fig. 14: Detalle material obtenido



Fig. 15: Moldeado del hongo

Este proyecto es de gran importancia para el estudio de la utilización de micelio para crear materiales, ya que han logrado fabricar objetos con una variedad de resultados de propiedades y capacidades de este material. Este proyecto está protegido con patentes, por lo que no se sabe cuáles son los hongos y sustratos usados para desarrollarlos.



#### 11.4 EcoHelmet

Este casco creado por Isis Shiffer es una innovación en el área de protección. El casco está hecho de tal forma que se puede plegar y usar el mismo espacio que un plátano, es de bajo costo de producción y protege a la persona igual que un casco de bicicleta regular, además de estar fabricado a partir de papel reciclado.



Fig. 16: Uso del casco



Fig. 17: Uso del casco

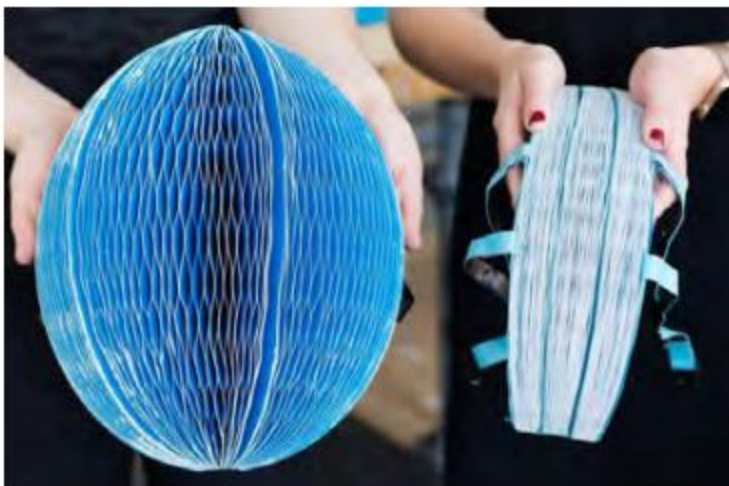


Fig. 18: Plegado



Fig. 19: Geometría del casco

Este caso se tomó como referencia debido a la utilización de un material reciclado (cartón) para la fabricación de productos. La reutilización en el diseño permite reducir costos de fabricación al mismo tiempo que se aporta a la disminución de desechos. Se basa en un diseño simple y eficaz, el cual no tiene una mayor tecnología, sino que se basa en su geometría para su funcionamiento.

## 11.5 Kranium

Este casco construido a partir de una estructura de cartón corrugado logró pasar las pruebas de seguridad aplicadas a cascos para ciclistas. Se afirma que puede absorber 3 veces la cantidad de energía que un casco regular, y está basado en la geometría del cartílago del pájaro carpintero, el cual tiene que absorber grandes cantidades de energía.



Fig. 20: Geometría del casco

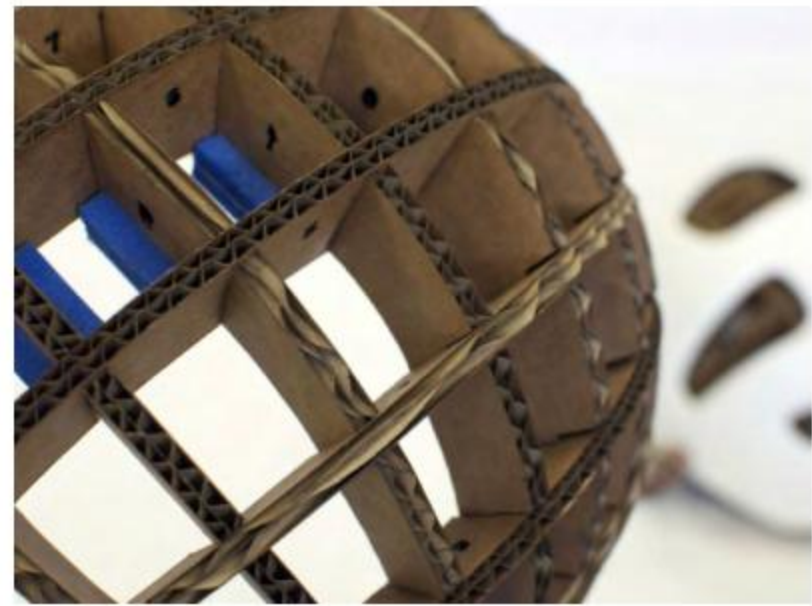


Fig. 21: Detalle geometría



Fig. 22: Producto final



Fig. 23: Estructura interna

Si bien la materialidad de este casco no es clasificada como biofabricación, es una aproximación a un diseño sustentable, y especulativo respecto al uso de materiales sencillos y de bajo costo para la producción de estructuras de protección como un casco. La geometría en este caso es la razón principal de por qué funciona aún mejor que el poliestireno expandido.

## 12. EXPERIMENTACIONES

### 12.1 Experimentación I

#### Obtención hongo

Como primera aproximación al cultivo del hongo se utilizó un kit de auto cultivo de hongo *Pleurotus ostreatus* Cultiva +. Se usó el micelio de la parte interior del bloque de sustrato, para evitar que estuviese contaminado o en una etapa de fructificación.

#### Obtención sustrato

Como sustrato se usó placas Petri con una solución PDA (papa, dextrosa y agar) de la empresa Dilaco.

#### Materiales

- Kit de auto cultivo Cultiva +, Frutos de Lonquén, comprado en el supermercado
- Placas Petri con solución PDA,
- Bisturíes esterilizados desechables
- Parafilm
- Alcohol desnaturalizado 96°
- Mechero a gas isobutano/propano mixto

#### Proceso de inoculación



Fig. 24: Proceso inoculación



Fig. 25: Esterilización



Fig. 26: Obtención micelio

La experimentación se llevó a cabo en el Fabhaus de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, PUC. Se hizo en un ambiente no estéril pero controlado, usando un mechero para eliminar cualquier microorganismo presente en el aire, bisturíes desechables y previamente esterilizados con fuego y alcohol.

Se usó la parte interna del kit de auto cultivo, tratando de sacar solamente micelio y no sustrato. Al estar poco crecido en el interior, el micelio obtenido quedó con un poco de sustrato en la placa Petri. Las placas se abrieron solamente para poner el micelio en el centro y se sellaron con parafilm. Este proceso se hizo de forma rápida para no exponer el micelio y la solución PDA a microorganismos indeseados. Se almacenaron en una repisa con luz indirecta y a una temperatura promedio de 18°C.

Hipótesis experimentación I: El micelio del hongo obtenido del kit de auto cultivo tendrá un crecimiento rápido y denso sobre la solución PDA.



Fig. 27: Crecimiento 4 días



Fig. 28: Crecimiento 12 días



Fig. 29: Detalle micelio



Fig. 30: Crecimiento 35 días

## Observaciones

- El micelio comenzó a crecer a los 4 días, con un crecimiento poco denso y en forma irregular sobre el micelio, el cual tenía parte del sustrato del kit, como se ve en la figura 27.
- A los 12 días (figura 28) se observa un crecimiento radial del micelio, siendo mayor en extensión que en densidad.
- La figura 30 muestra el crecimiento del hongo alcanzando la extensión completa de la placa en un tiempo de 5 semanas desde la inoculación.

## Conclusiones Experimentación I

- El crecimiento del micelio fue más lento de lo esperado, cubriendo la placa completa en aproximadamente 5 semanas, con una densidad poco homogénea, y con zonas muy poco densas.
- La metodología de trabajo fue la correcta, ya que la placa no se infectó con otro hongo o

bacteria. Se va a tomar en cuenta esta metodología para las próximas experimentaciones en relación a la limpieza y esterilización.

- La temperatura ambiental puede haber afectado el crecimiento, ya que se mantuvo a 18 °C, bastante menor que la temperatura ideal para el desarrollo del hongo (25°C)
- Es un buen método para asegurarse de que el hongo usado no está infectado, pero el tiempo necesario para cultivarlo e inocular un sustrato de desecho agrícola de gran volumen es muy alto en relación a la cantidad de micelio obtenido.

## 12.2 Experimentación II

La segunda experimentación con el material se basó en la utilización de 5 sustratos con el fin de determinar el óptimo en términos de crecimiento y densidad del micelio.

### Obtención sustratos

- Borra de café: Obtención casera
- Paja de trigo: Se compró un fardo de paja mediante Mercado Libre a Industrias Abarca
- Cáscara de nuez: Obtenida a través de una persona contactada por internet, a las que se le compró las cáscaras de su consumo personal.
- Viruta de pino: Adquirida en una tienda de mascotas del Pueblito de los Dominicanos.
- Aserrín de pino: Se molió y tamizó la viruta con el fin de obtener aserrín

### Obtención Hongo

Como primera aproximación al cultivo del hongo se utilizó un kit de auto cultivo de hongo *Pleurotus ostreatus* marca Cultiva +. Se usó el micelio crecido en conjunto con el sustrato (el cual no está determinado en el envase), que a simple vista está compuesto mayormente por paja de trigo. Se usó en una proporción 1:1 en relación al sustrato.

### Moldes probetas

Se usaron cajas plásticas marca Krea de 500 ml, para obtener probetas uniformes. Se usaron las medidas de volumen de la caja para crear las probetas de un mismo volumen (200 ml)

### Pasteurización sustrato

Para evitar contaminaciones y matar cualquier organismo que pueda haber estado en el sustrato, se hirvió cada uno, después de tamizarlos y cortarlos en cada granulometría deseada, durante 60 minutos. Luego se coló cada uno para sacar el exceso de agua pero dejando humedad, para después almacenarlos en frascos de vidrio previamente esterilizados con agua hirviendo. Se dejaron enfriar boca abajo para sellar los frascos al vacío y asegurarse de que no se contaminaran.



Fig. 31: Tamizado nuez



Fig. 32: Pasteurización sustrato



Fig. 33: Esterilización frascos

## Proceso de inoculación

Este proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, PUC. El procedimiento se hizo alrededor de un mechero encendido para evitar contaminaciones, y usando guantes desechables entre cada sustrato.

Primero, se limpió todo los materiales a usar con alcohol, incluyendo las cajas plásticas, mesa y cucharas.

Se agregó la mezcla de micelio y sustrato del kit de auto cultivo hasta la medida de 100 ml de la caja (26,7 g) y luego los distintos sustratos hasta la medida de 200 ml (varía el peso según el sustrato). Se hizo de esta forma para obtener probetas uniformes, todas del mismo volumen pero distinta densidad. Se revolvió manualmente el contenido tratando de hacerlo lo más homogéneamente posible.

Luego cada caja fue tapada con dos capas de toalla de papel absorbente y sellada con un elástico. Se almacenaron en el mismo laboratorio.



Fig. 34: Proceso inoculación



Fig. 35: Proceso inoculación



Fig. 36: Proceso inoculación



Fig. 37: Almacenado

## Proceso de secado

Después de 1 mes de crecimiento se hornearon las probetas a 170°C por 20 minutos para matar el hongo y eliminar la mayoría de la humedad.



Fig. 38: Proceso secado

Hipótesis experimentación II: El café y la nuez tendrán un mejor resultado que los otros sustratos , ya que tienen un mayor contenido de nitrógeno y carbono en su estructura.



Fig. 39: Probetas experimentación II

De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, las probetas son:

- Nuez + hongo
- Viruta de pino + hongo
- Café + hongo
- Aserrín + hongo
- Control (solo hongo)
- Paja + hongo

### Observaciones

- El crecimiento del hongo se dio de mejor manera sobre la paja que en otros sustratos
- El kit de auto cultivo está compuesto principalmente por paja, donde se ve que creció más en ella en cada probeta que el propio sustrato a analizar.
- El molde funcionó bien, ya que al tener bordes redondeados y paredes lisas, se desmoldó sin tener que aplicar presión o fuerza.
- El crecimiento del micelio no es parejo en la probeta, debido probablemente a que este no estaba mezclado homogéneamente
- Las probetas luego de secadas disminuyeron su peso considerablemente en comparación a cuando se hizo, esto por la deshidratación del sustrato y la degradación de este.
- Las probetas una semana después de horneadas se observaron y estaban muy contaminadas debido a la presencia de humedad, lo que hizo que otro hongo ambiental creciera.





Fig. 40: Contaminación probetas

## Conclusiones Experimentación II

- El método de trabajo usado fue el correcto, ya que no se contaminaron las probetas y la mayoría se desmoldó bien de las cajas.
- El sustrato con mejor resultado es la paja, donde se vio un crecimiento más uniforme y denso que en los otros sustratos. El micelio creció de buena forma en la nuez, pero se considera que la textura obtenida a través de este sustrato es irregular y poco compacta para el uso proyectado.
- El café también se usará como sustrato en una próxima experimentación en conjunto a la paja en una menor medida, para que actúe como fertilizante y no como estructura.
- El tiempo de crecimiento fue mucho mayor a lo esperado, esto probablemente debido al uso del kit de auto cultivo como hongo. Se debe buscar otra forma de usar el hongo como por ejemplo mediante semillas inoculadas.
- Estas probetas fueron seleccionadas a través de una observación visual y no testeadas mecánicamente, ya que esta experimentación tenía como fin elegir el sustrato por la capacidad de crecimiento del micelio sobre este, en cuando a densidad y tiempo de crecimiento.
- Como el kit de auto cultivo está compuesto principalmente por paja, se establece que este es un buen sustrato para el crecimiento del micelio. En todas las probetas se observa que el crecimiento más denso del micelio está sobre los pedazos de paja y en menor medida sobre el resto del sustrato
- El tiempo de horneado debe depender del peso inicial vs. el final de la probeta, ya que en este caso se dejó todas el mismo tiempo (20 minutos), y por esta razón, la probeta con mayor densidad y humedad (aserrín) se contaminó con un hongo, y al estar en contacto con otras dos probetas se contaminaron también.

### 12.3 Experimentación III

Luego de seleccionar el sustrato óptimo, se realizaron 18 probetas con distintas granulometrías y tiempo de crecimiento. La granulometría usada variará la densidad del material (una granulometría más pequeña hace un material más denso y viceversa), mientras que el tiempo de crecimiento determina el desarrollo del micelio, y por lo tanto influye en la propiedad buscada.

Esta experimentación se llevó a cabo en la cocina de una compañera, procurando tener un ambiente lo más estéril posible usando materiales caseros.

Estas probetas se dejaron crecer durante 3 tramos de tiempo: 7, 10 y 14 días, y fueron testeadas mecánicamente en esos tiempos.

#### Obtención sustratos

Se usaron como sustratos paja de trigo y café, adquiridos para la primera experimentación y usando el mismo método de pasteurización.

La paja se usó en 3 granulometrías distintas: 5 mm, 20 mm y 40 mm, las que se pasteurizaron por separado luego de ser cortadas.

Se usó paja y café en relación 6,6 : 1 (café al 15%)

#### Obtención Hongo

Se usaron semillas de trigo inoculadas con *Pleurotus ostreatus* obtenidas a través de Biomicelios. Se usaron en una proporción de 1:4 en relación al sustrato.

#### Moldes Probetas

Se usaron las mismas cajas utilizadas en la experimentación III, esterilizadas con agua hirviendo y posteriormente alcohol. Se tomó como volumen de la probeta la medida de la caja 250 ml, para hacerlas todas uniformes independiente de la granulometría del sustrato.

#### Materiales Inoculación

- Toalla de papel absorbente
- Elásticos
- Alcohol desnaturalizado 96°
- Mechero a gas isobutano/propano mixto
- Guantes desechables de vinilo
- Cuchara plástica

#### Proceso inoculación

Se siguió el mismo proceso de inoculación que en la experimentación II, dado los buenos resultados de la metodología usada.

Se usó la medida de la caja, agregando hasta 200 ml la paja de trigo, llenando el resto con el café y el hongo (en sus respectivas proporciones). Luego se mezcló manualmente tratando de hacer un solo material uniforme, y se presionó con los dedos para que la materia ocupara todo el volumen de la caja y hacerlo más denso.

Esto se hizo igual para las 3 granulometrías, obteniendo así probetas del mismo volumen, con pesos y densidades distintas.

Se realizaron 18 probetas (2 por cada granulometría y tiempo de crecimiento) para así testear el impacto en lugares distintos de la probeta sin que influyan posibles roturas o quiebres de la probeta.

### Proceso de secado

Se hornearon las probetas durante 25 min, las de mayor densidad fueron dejadas 40 min buscando disminuir el peso de la probeta y su humedad.

Las probetas en promedio disminuyeron en un 50% su peso luego de ser secadas. Las probetas de mayor densidad fueron dejadas en el horno casi el doble del tiempo que las de menor densidad, para evitar que se contaminen por causa de la humedad como en la experimentación II.

### Prueba Mecánica de impacto

#### Proceso de testeo

Para comprobar la propiedad mecánica de resistencia al impacto del material, se generó un sistema de testeo análogo, donde se dejó caer un mismo peso a distintas alturas, viendo los efectos de este en las probetas. Se dejó caer el mismo peso (100 g) en 3 lugares distintos de la probeta, cada vez a una altura mayor (20, 40, 60, 80, 100, 120 cm).

A partir de esto, es posible calcular la velocidad con la que el objeto impactó la probeta mediante la fórmula:

$$V = \sqrt{2gh}$$

v= velocidad  
g= gravedad (9,8 m/s)  
h= altura en metros

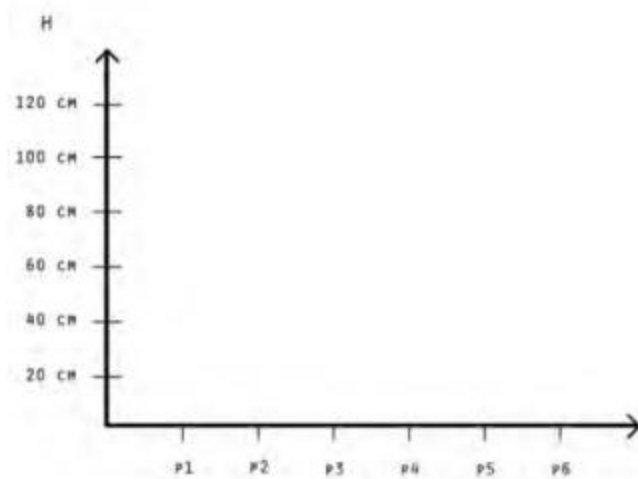


Fig. 41: Gráfico resultados

La fuerza de impacto, la que especifica la energía con la que impacta un peso a la probeta, para ser calculada necesita el desplazamiento del objeto después del impacto (rebote), el cual no será medido en este testeo debido a la falta de instrumentos precisos para medirlos. Por esto, se usarán grabaciones para evaluar la presencia o no de este rebote. Se obtendrá información acerca de la velocidad del objeto en relación a la altura desde la cual cae, comparando estas y su efecto en las probetas.

Se graficarán los resultados en la tabla de la fig. 41.

### Materiales Testeo

- 2 tubos de PVC con una ranura vertical para poder ver la caída del peso con medidas de 20 en 20 centímetros.
- Tapón de vino de metal de 100 g, usado como objeto de peso, el que tiene un extremo redondeado que se usará para el impacto.

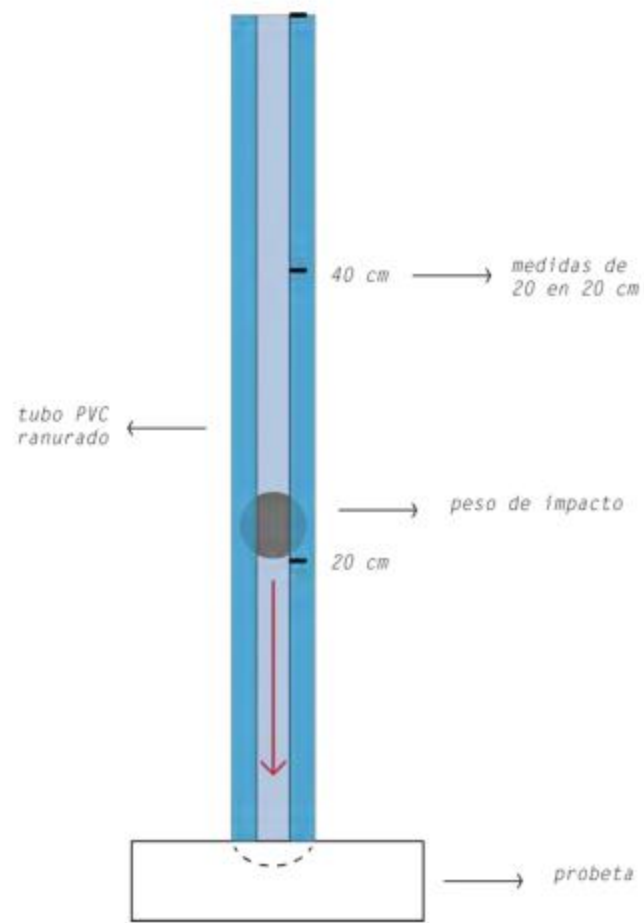


Fig. 42: Diagrama testeo

El tubo de PVC mide un metro, por lo que se hizo dos iguales, poniendo uno sobre otro al usar medidas sobre 100 cm. El tubo solo se apoya levemente en la probeta, sin aplicar fuerza.

El objeto se mantiene con la mano en la medida indicada en el tubo, con la parte inferior de la bola en la línea de la medida.

El peso se deja caer en 3 lugares diferentes con probetas, cada uno con distintas alturas (ej. 20, 40 y 60), viendo las diferencias de los efectos de la altura en el impacto.



Fig. 43: Sistema de testeo



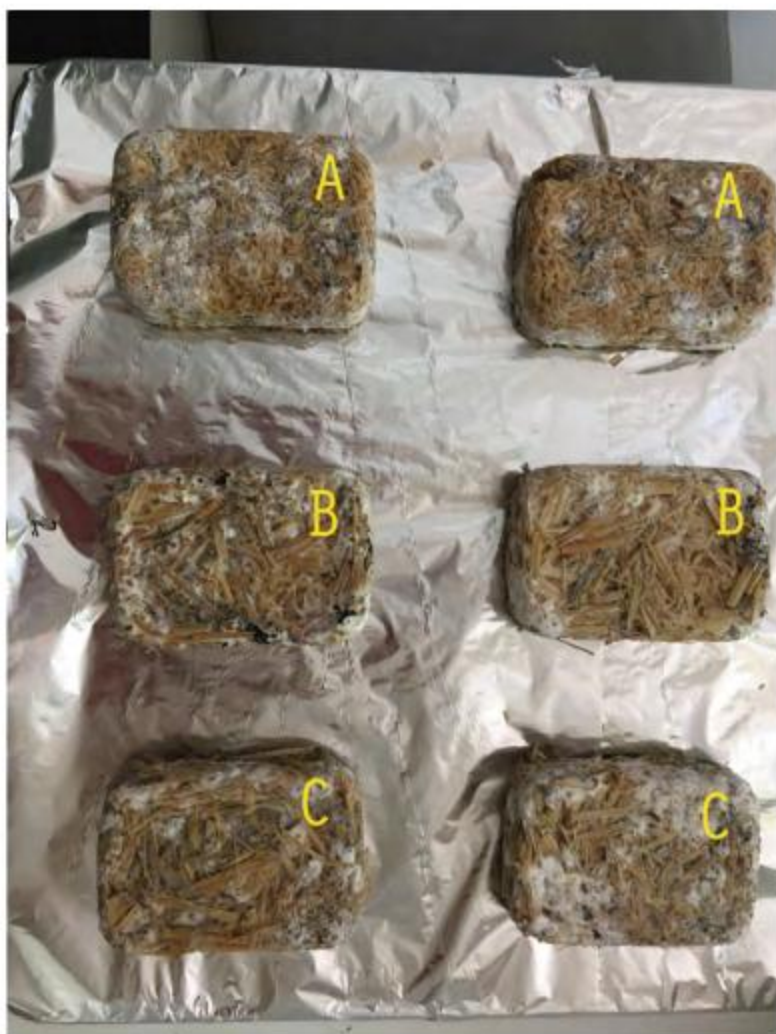
Fig. 44: Detalle sistema de testeo

Hipótesis experimentación III: Con una menor granulometría y un mayor tiempo de crecimiento, el material obtenido será más denso y resistente.

La experimentación III se divide en 3 etapas, en relación a los tiempos de crecimiento que se deja cada probeta: 7, 10 y 14 días. Los resultados de las probetas a los 14 días serán incluidas posteriormente en un anexo, ya que por temas de tiempo no alcanzará a estar listas para la entrega de esta investigación. Las conclusiones, por lo tanto, podrán variar luego de testear estas probetas.

Se hará un testeo de resistencia al impacto de cada probeta, donde se evaluarán principalmente el diámetro que deja el peso en la probeta, la profundidad de éste y la altura a la que se fractura la probeta, donde luego se graficarán los resultados de la prueba mecánica, comparando los de los 7 y 10 días de crecimiento en sus distintas granulometrías.

### 1. 7 días



Densidad probetas:

- A) 5 mm: 0,26 g/cm<sup>3</sup>
- B) 20 mm: 0,18 g/cm<sup>3</sup>
- C) 40 mm: 0,12 g/cm<sup>3</sup>

Fig. 45: Probetas 7 días. De arriba hacia abajo, 5 mm, 20 mm y 40 mm

### Observaciones 7 días

- Visualmente, se observa poco crecimiento del micelio en relación al óptimo, por lo que el tiempo no es suficiente para el uso planteado.
- Las probetas tienden a desarmarse al tacto, lo que indica que el hongo no ha crecido lo necesario

- Las probetas de 5 mm son más densas pero menos resistentes a la manipulación, lo que puede deberse a que en una menor granulometría, existen más nodos de unión (más pedazos de paja por cm<sup>3</sup>) que el micelio debe unir, haciéndolo más débil.
- Se vio contaminación solo en una semilla de una de las probetas

### Resultado testeo 7 días

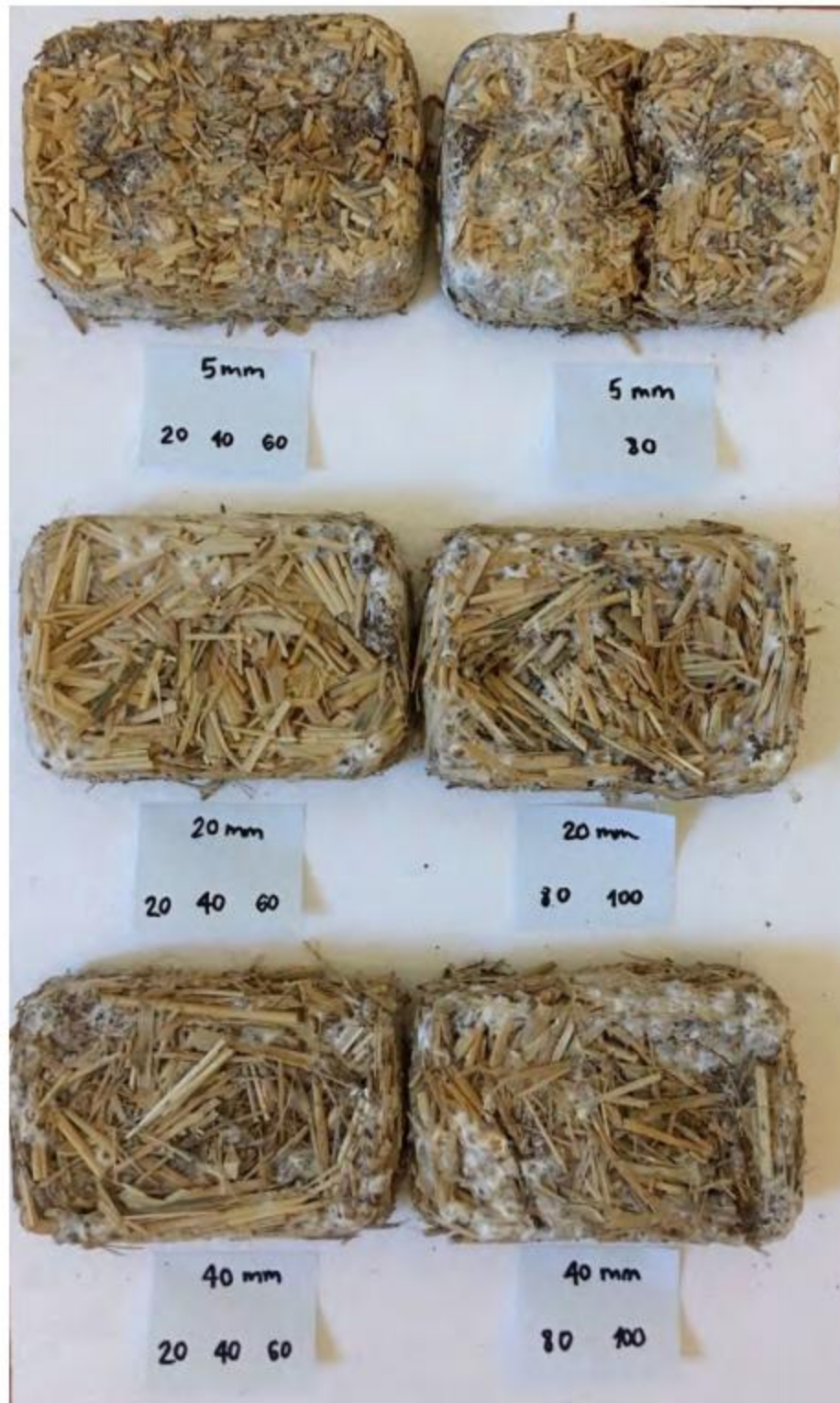


Fig. 46: Probetas de 7 días testeadas



Fig. 47: probeta 7 días, 5 mm, con el respectivo impacto y fracturas



Fig. 48: probeta 7 días, 20 mm, con el respectivo impacto y fracturas



Fig. 49: probeta 7 días, 40 mm, con el respectivo impacto y fracturas

## Conclusión preliminar 7 días

A partir de los testeos de las probetas de 7 días de crecimiento, se observa que los resultados son contrarios a la hipótesis planteada, siendo más resistente la probeta de 40 mm que la de 5 mm. Esto se debe a que el micelio no ha crecido lo suficiente como para considerar que este tiene la propiedad buscada, sino que la paja actúa como absorbente de la energía. La paja, debido a su geometría y cantidad de aire que tiene dentro, amortigua el golpe, y como la probeta de 5 mm es más rígida y con fibras más cortas, tiende a fracturarse antes.

## 2. 10 días



Densidad probetas:

- A) 5 mm: 0,256 g/cm<sup>3</sup>
- B) 20 mm: 0,19 g/cm<sup>3</sup>
- C) 40 mm: 0,18 g/cm<sup>3</sup>

Fig. 50: Probetas 10 días. De arriba hacia abajo, 5 mm, 20 mm y 40 mm

## Observaciones: 10 días

- Las probetas a los 10 días siguen sin tener el crecimiento óptimo, teniendo gran parte del volumen sin crecimiento del micelio
- Una de las probetas de 5 mm tuvo un mal crecimiento de micelio, siendo la más débil de todas. Esto puede deberse a que el sustrato no quedó mezclado homogéneamente, y también a que algunas de las semillas se vieron contaminadas por un hongo verde, lo que puede haber producido que el hongo pleurotus ostreatus haya dejado de crecer.
- En general, las esquinas de las probetas tienen un crecimiento de micelio denso y compacto, resultado que se espera tener en toda la probeta a los 14 días.
- En el centro de las probetas está poco desarrollado el micelio, lo que puede haber ocurrido

porque se mezcló poco homogéneamente la materia, o por falta de humedad, temperatura u oxígeno. Existen muchos factores que alteran el crecimiento del micelio, por lo que en una futura experimentación se debe intentar controlar lo más posible estos factores para tener resultados más completos y exactos.

### Resultados testeo 10 días



Fig. 51: Probetas de 10 días testeadas

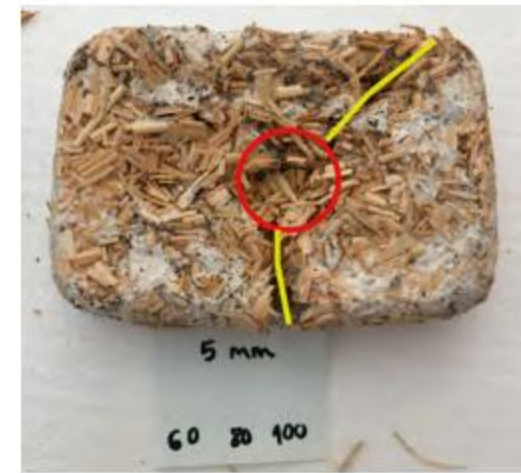


Fig. 52: probetas 10 días, 5 mm, con el respectivo impacto y fracturas



Fig. 53: probetas 10 días, 20 mm, con el respectivo impacto y fracturas



Fig. 54: probetas 10 días, 40 mm, con el respectivo impacto y fracturas



## Conclusión preliminar 10 días

Si bien se observa un mayor crecimiento del micelio que a los 7 días, las probetas siguen sin tener el crecimiento apropiado para el uso requerido. Las probetas de 5 mm volvieron a ser las más débiles, lo que demuestra que la densidad mediante una granulometría menor no es lo más significativo en la resistencia del material, sino que esto lo hace más débil, al tener fibras más cortas que se separan fácilmente al no estar bien unidas por el micelio.

## Análisis de resultados pruebas mecánicas

### Resultados generales Experimentación III

#### Diámetro del impacto

Tanto para los 7 como los 10 días, el diámetro del impacto fue incrementando levemente con el impacto sin tener grandes cambios, pero no se pudo evaluar en términos métricos, ya que como el micelio no creció lo suficiente, la paja tendió a volver a su lugar original en algunas probetas sin dejar una marca visible. Se cree que cuando el micelio alcance a crecer en toda la probeta, este efecto va a disminuir y se podrá medir el diámetro, el que quedará marcado en la probeta.

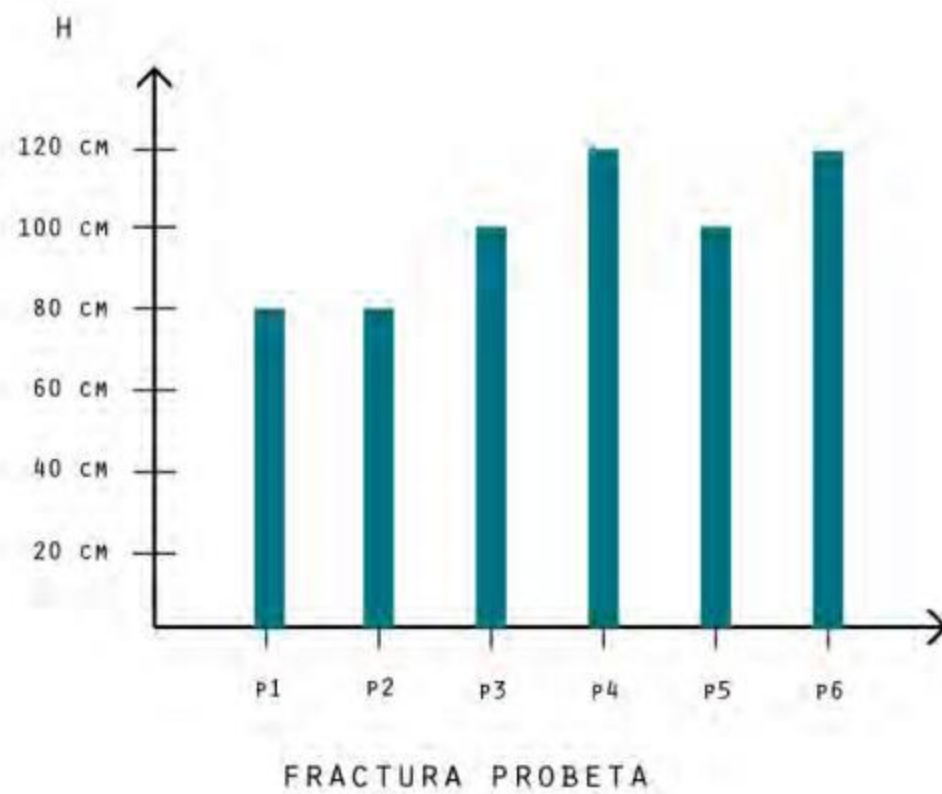
#### Profundidad del impacto

La profundidad de la marca dejada por el impacto es directamente proporcional a la altura de la caída, por lo que a mayor velocidad alcanzada, mayor es el efecto de penetración del objeto en la probeta. No pudo ser medido numéricamente, ya que, al igual que con el diámetro del impacto, este tendió a modificarse por el efecto de la estructura de la paja al golpe.

El hecho de que el peso deje una marca profunda en la probeta permite saber que el material reacciona ante el efecto de una fuerza, absorbiendo parte de la energía aplicada.

#### Resistencia al impacto

La siguiente tabla muestra la altura a la que se fracturó cada probeta. Se considera una fractura cuando el impacto y sus quiebres sobrepasan la mitad de la probeta o si se rompe en más de un fragmento.



### PROBETAS

p1: 5 mm, 7 días  
 p2: 5 mm, 10 días  
 p3: 20 mm, 7 días  
 p4: 20 mm, 10 días  
 p5: 40 mm, 7 días  
 p6: 40 mm, 10 días

### CÁLCULO VELOCIDAD

20 cm = 1,97 m/s  
 40 cm = 2,80 m/s  
 60 cm = 3,42 m/s  
 80 cm = 3,96 m/s  
 100 cm = 4,43 m/s  
 120 cm = 4,85 m/s

Fig. 55: Gráfico de fractura de probetas

### Observaciones

Se obtuvo el mismo resultado para las probetas de 20 y 40 mm para ambas fechas. Se considerará como óptima la de 20 mm, ya que la fractura de la probeta tuvo un menor profundidad que la de 40 mm, siendo levemente más resistente al impacto.

### Rebote

El rebote del objeto que impacta la probeta es uno de los factores para calcular la fuerza de la caída del impacto. En todas las probetas testeadas menos en las que se quebraron se vio un rebote del peso sobre la probeta. Debido a la falta de instrumentos de medición, no se evaluó métricamente.



Fig. 56: Secuencia de fotos rebote

### Conclusiones Experimentación III

- La hipótesis de que la granulometría más pequeña iba a ser más resistente resultó refutada. Las mayores granulometrías son las con mayor resistencia, pero esto se debe principalmente a la estructura de la paja y no del micelio
- El tiempo de las probetas no fue el suficiente, viéndose poco desarrollo de micelio y de forma no homogénea.
- Es necesario asegurarse de tener una mezcla homogénea al agregar las semillas inoculadas con el hongo al sustrato, ya que, como se vio en las probetas, el crecimiento es irregular si no se hace de la forma correcta, obteniendo un material que en algunas zonas puede ser muy resistente y en otras quebrarse con una fuerza menor.
- La metodología usada fue correcta, solo una probeta se contaminó levemente, lo que puede haber sido causa de una semilla contaminada y no por el proceso de producción de las probetas.
- Se debe probar la opción de cultivar el hongo en un frasco de vidrio u otro recipiente y desde ese traspasarlo al molde, para evaluar si de esa forma se puede asegurar una mezcla más homogénea que mezclándola a mano.
- En un futuro desarrollo se puede probar también usando un contramolde para aumentar la densidad de la probeta y analizar si esto tiene un efecto positivo en la resistencia, más que aumentar la densidad mediante el tamaño del sustrato.

## 14. COMPARACIÓN MATERIALES

En este experimento se compararán los resultados del testeo análogo de la resistencia al impacto de la probeta con mejores resultados de la experimentación III, con una probeta de poliestireno de alta densidad, en relación a los mismos criterios observados en esa experimentación con el fin de validar la hipótesis planteada para la investigación, la cual establece que el micelio de hongo forma un material similar al poliestireno expandido de alta densidad en cuanto a su resistencia al impacto.

La probeta con mejores resultados en el testeo fue la de 10 días con una granulometría de 20 mm. Esta se fracturó a los 120 cm pero no se separó en más de una parte, sino que se trizó en un sentido, con una profundidad mayor a la mitad de la probeta, lo que se considera como fractura.

### Testeo poliestireno expandido de alta densidad

Se realizó el mismo testeo que en las probetas de micelio, dejando caer un peso de 100 g a distintas alturas. El sistema usado permite una altura máxima de 200 cm, equivalente a 6,26 m/s.

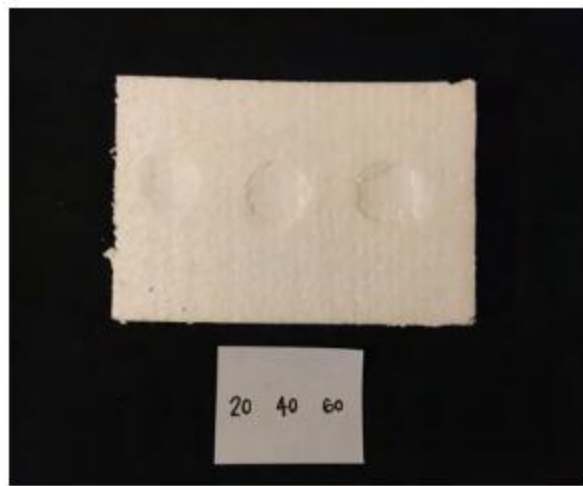


Fig. 57: Testeo poliestireno a 20, 40 y 60 cm

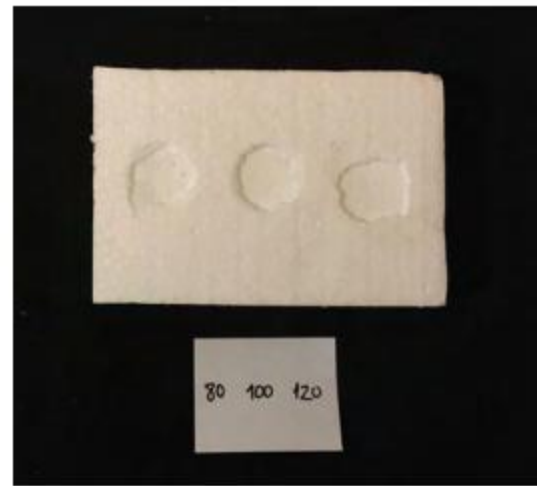


Fig. 58: Testeo poliestireno a 80, 100 y 120 cm



Fig. 59: Testeo poliestireno a 140, 160, 180 cm

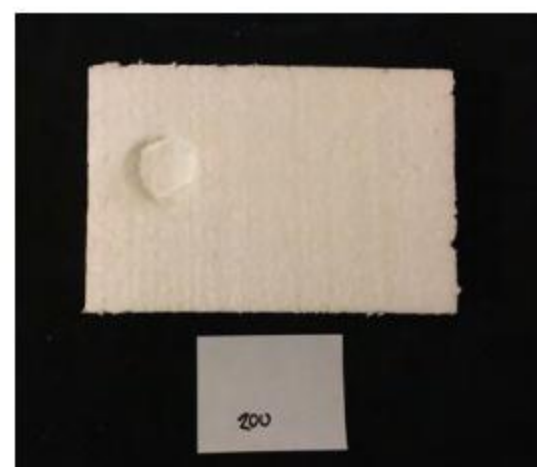


Fig. 60: Testeo poliestireno a 200 cm

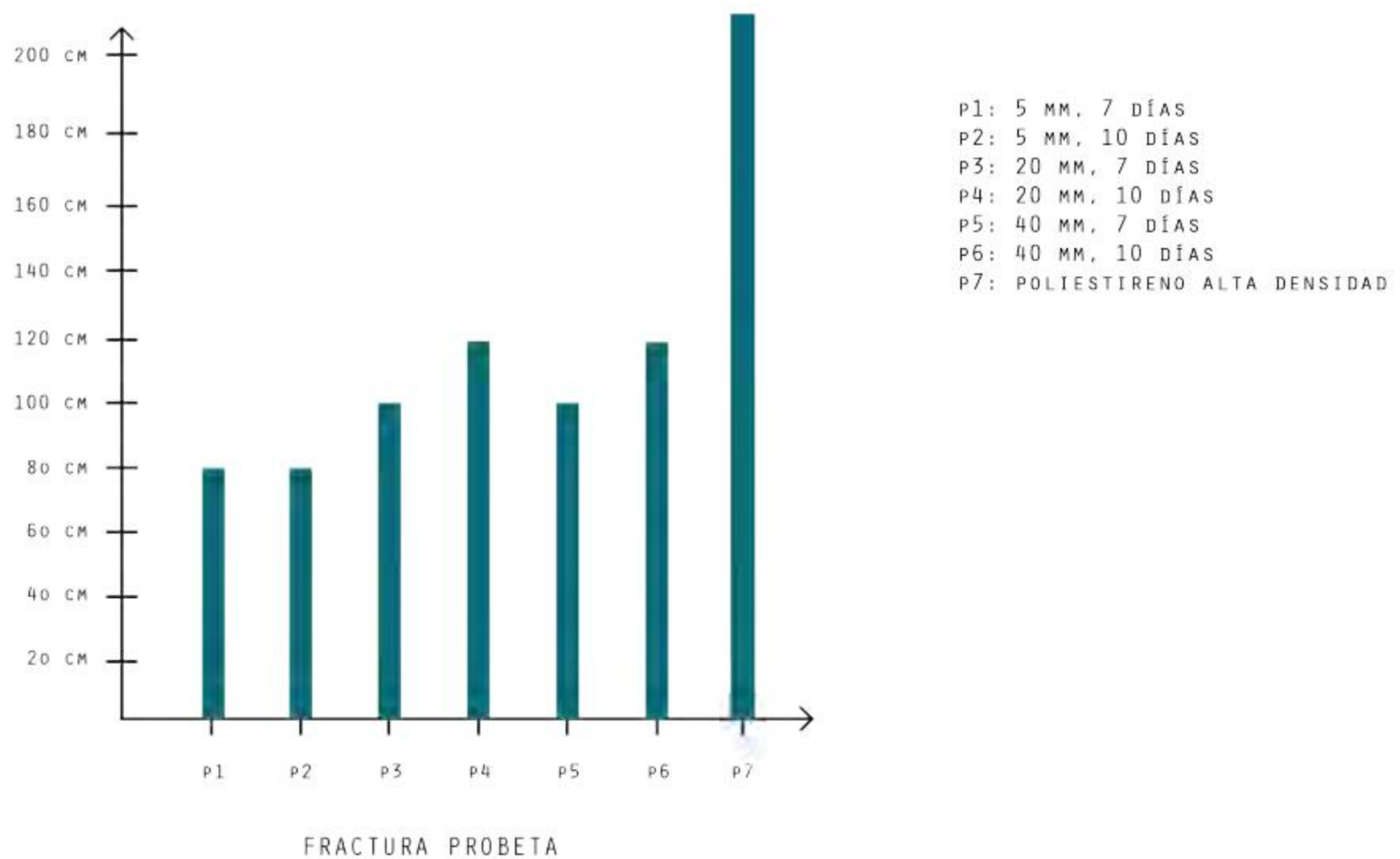


Fig. 61: Gráfico resistencia micelio vs. poliestireno

## Observaciones

En las imágenes 57 a 60 se pueden ver los efectos del impacto sobre el poliestireno. Como se ve en el gráfico de la figura 61, la probeta de poliestireno expandido de alta densidad es mucho más resistente que el micelio en esta etapa. Este no se quebró en las pruebas aplicadas, ya que como la medida máxima del sistema de testeo es de 200 cm, y este material está hecho para soportar mucha más fuerza, no se fracturó. Es necesario volver a repetir el testeo usando un mayor peso o mayor altura, con el fin de declarar la fuerza máxima que soporta una probeta de ese volumen.

Los efectos del peso sobre la probeta fueron similares a los de las probetas, en el sentido de que el diámetro se mantuvo más o menos constante, siendo irregular debido a las esferas que constituyen el poliestireno, y la profundidad del impacto fue aumentando con la altura. También hubo un rebote del peso después del impacto, el que debe medirse con un instrumento preciso para compararlo con el del poliestireno.

## Conclusiones generales experimentaciones

- El tiempo de crecimiento al realizar los testeos no fue el suficiente, teniendo un mayor porcentaje de paja que de hongo, por lo que las conclusiones obtenidas no pueden validar la hipótesis
- En este caso, se cree que el mayor absorbente de energía del material es la paja y no el

micelio, por lo que no se puede declarar que el micelio de hongo pleurotus ostreatus en sí mismo es resistente al impacto.

- El material es absorbente de energía ya que pudo resistir impactos hasta los 4,85 m/s. La probeta se quebró y hubo una deformación en el material, lo que indica que la fuerza se transmitió a la probeta.
- Si bien las probetas testeadas funcionan en términos de absorción de energía, todavía no son un material viable para el uso planteado ya que son poco compactas, se desarman fácilmente y, como el hongo no ha crecido lo suficiente, se caen pedazos de paja al manipularlos.
- Se debe testear las probetas a los 14 días y compararlas con los resultados obtenidos con el fin de concluir si el micelio absorbe energía o no, y poder validar la hipótesis.
- Estas conclusiones no son las finales de la investigación, se debe seguir produciendo nuevas probetas, procurando una mejor mezcla del sustrato con el hongo para favorecer el crecimiento, así como también controlar las variables externas como temperatura y humedad, las que también influyeron en el crecimiento del micelio.

### Validación material

Un choque regular en bicicleta es cercano a los 20 km/hora, lo que convertido a metros/segundo es 5,5 m/s. Tomando en cuenta esto, el material testado estaría cercano a la velocidad soportada por un casco (4,85 m/s), pero su estructura quebradiza y poco estable no es la ideal para este uso.

Esta comparación permite inferir que perfeccionando el material en cuanto a su crecimiento y a su estructura, haciéndola regular, homogénea y con un mayor contenido de micelio en su estructura, puede asemejarse al poliestireno de alta densidad.

## 15. CUANTIFICACION DE LA FORMA Y ESCALA

El proyecto se enfoca en reemplazar el poliestireno expandido en el contexto de la protección personal de ciclistas urbanos, los que valoran el medioambiente y la naturaleza, y que prefieren usar materiales sustentables por sobre los creados mediante procesos químicos y contaminantes. Estos no están clasificados por sexo o edad, por lo que en términos de diseño se busca que tenga una forma simple, orgánica y limpia.

Se busca crear una estructura resistente al impacto, la que se fundamentará mediante la fabricación de un casco de bicicleta urbano a escala 1:1.

Un casco de bicicleta urbano debe cumplir con requisitos de protección y de agarre a la cabeza, además de ventilaciones. En este contexto, no es necesario que el casco sea aerodinámico por lo que se elige una forma curva con líneas continuas, sin mayores ángulos. Algunos requisitos son:

- Cumplir con la norma CPSC de cascos para bicicleta y skate
- Tener correas de ajuste para la cabeza, el casco debe quedar junto a la cabeza y no moverse al mover la cabeza. Estos ajustes generalmente son mediante una hebilla plástica de tipo tip top.
- Debe tener ventilaciones por donde saldrá el calor y humedad que se produce. Estas ventilaciones no tienen una forma ni posición obligatoria, todos los modelos de cascos incluyen esto en su diseño.
- Contener espumas protectoras internas, para mayor comodidad y acople entre la cabeza y el casco. Varían su distribución y forma en cada diseño

El micelio tiene la capacidad de adaptarse a las formas donde crece, con un buen nivel de detalles y terminaciones, lo que permite que al crear un molde con las características necesarias, este toma la forma deseada sin necesidad de cortar, lijar o dar terminaciones, aparte de las necesarias para hacerlo impermeable u otras que se quiera agregar posteriormente.

### Proceso de producción prototipo

Por temas de tiempo y debido a que el fin de la investigación tiene un enfoque cuantitativo y no cualitativo, es decir comprobar la propiedad mecánica y no el diseño de un casco, se decidió usar un casco ya existente como molde para la fabricación de un prototipo a escala 1:1. Para esto, se separaron las distintas partes del casco, usadas como molde.

- Se sacó la parte interior de éste, usando solo la carcasa de ABS como molde para el desarrollo del micelio, y después de crecido el micelio, se agregaran las terminaciones como correas de ajuste y esponjas protectoras.
- Se evaluará también la adaptabilidad del hongo a superficies complejas, usando los agujeros de ventilación frontales y posteriores, extendiéndolos del molde con PAI (poliestireno de alto impacto).
- Se realizó un contramolde de yeso usando la parte interior de la capa de poliestireno

expandido (Fig. 64), el cual se ahuecó después de estar seco para disminuir su peso. Este contramolde hará que el micelio crezca con mayor densidad y con una superficie lisa y uniforme.



Fig. 62: Carcasa de ABS



Fig.63: Capa interna de poliestireno expandido de alta densidad



Fig. 64: Contramolde de yeso ahuecado

El micelio crecerá entre la carcasa de ABS y el molde de yeso, donde crecerá con un espesor de 3 cm aproximadamente. El espesor del casco está relacionado al de las probetas testeadas previamente, y al poliestireno que traía el casco originalmente.

Una vez crecido el casco de micelio, se seca en un horno y se adhieren las terminaciones finales de las correas de ajuste y las almohadillas protectoras de espuma, las que se obtuvieron del mismo casco usado como molde. Se cortaron los topes metálicos que se ven en la Fig. 65 para sacar las correas de ajuste.



Fig. 65: Detalle casco



Fig. 66: Elementos seguridad



## Planimetrías prototipo

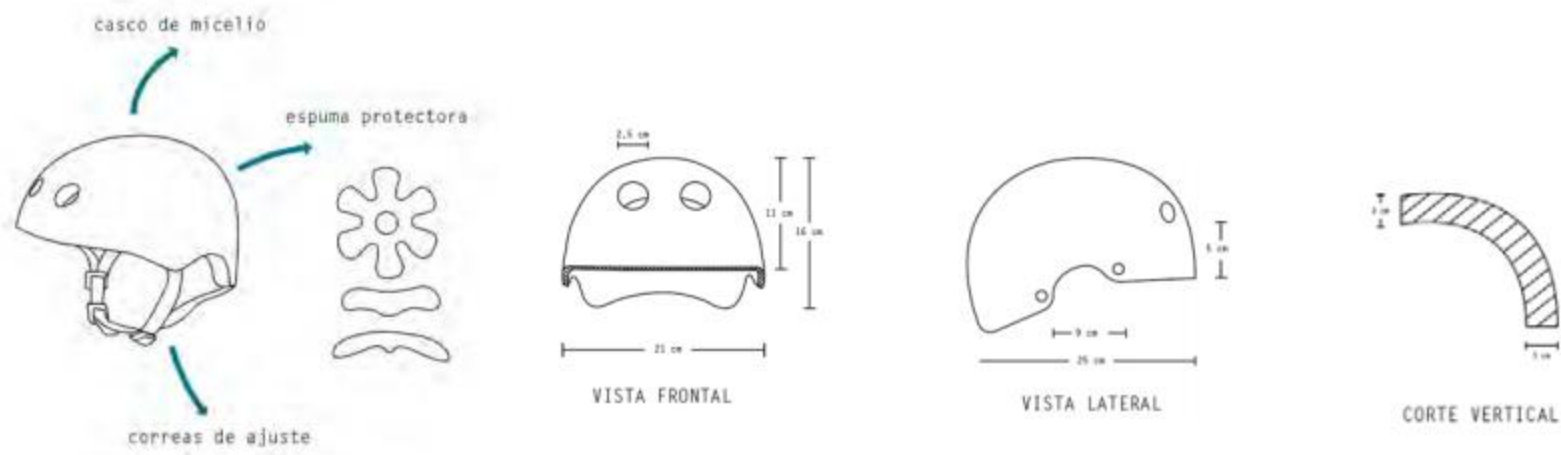


Fig. 67: Vistas prototipo funcional

## 16. CICLO DE VIDA

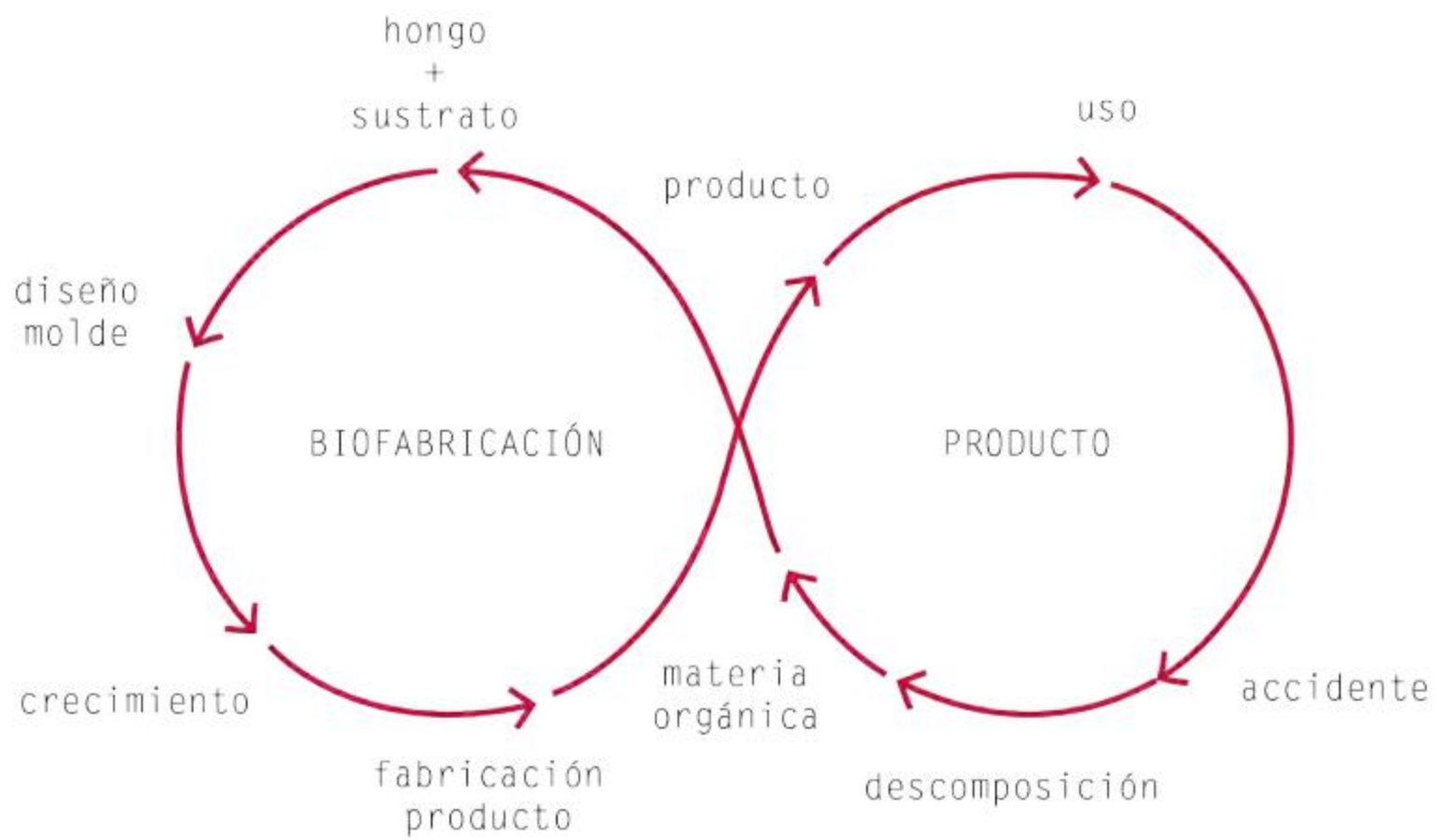


Fig. 68: Diagrama ciclo de vida

## 17. CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

Esta investigación permitió fabricar y caracterizar un basado en micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y paja de trigo, dándole un nuevo uso a un material de desecho agrícola abundante en el país.

El material fue testeado análogamente, y se comprobó que este tiene la capacidad absorber energía. Se cree que esto se debe en mayor parte a la geometría y propiedades del sustrato, y no precisamente del micelio, debido a la falta de crecimiento de este al minuto de los testeos. Aún falta una prueba de las probetas fabricadas, que se cree que va a funcionar de mejor manera que las testeadas debido al mayor desarrollo del hongo, testeo que se incluirá posteriormente como un anexo a la investigación, por lo que las conclusiones obtenidas en las experimentaciones podrían verse modificadas.

El tiempo biológico de crecimiento del hongo, junto a la falta de tiempo para continuar haciendo experimentaciones y testeos, hizo que no se pudiera validar la hipótesis planteada en esta investigación, lo que no significa que esta sea incorrecta, sino que es necesario continuar con las pruebas y estudio del material para concluir si este sirve para la fabricación de estructuras resistentes al impacto. La falta de experiencia tanto en el tema de investigación como de la metodología de trabajo tuvo un efecto negativo en la distribución del tiempo, dejando parte del estudio inconcluso.

La metodología de trabajo aplicada en esta investigación se considera correcta, ya que se logró producir probetas con una forma uniforme, fáciles de desmoldar y estas no se contaminaron. El tiempo de crecimiento del hongo puede haberse visto alterado debido a factores externos como la temperatura a la que fueron almacenadas, la humedad del sustrato, la oxigenación de la probeta. En un futuro desarrollo de la investigación se pueden considerar estos factores como variables a manipular para lograr el material con las características esperadas.

En el estudio del material se usó un método análogo de testeo para evaluar la capacidad de resistencia al impacto, el cual funcionó en relación a los resultados esperados, donde se pudo obtener conclusiones visuales significativas. En una segunda etapa de la investigación es recomendable testear las probetas en un laboratorio y con máquinas certificadas, para obtener información más precisa y completa acerca de los resultados, además de poder probar otras propiedades mecánicas que puede tener el material.

La investigación tuvo un carácter cuantitativo y no cualitativo, por eso se le dio mayor importancia a comprobar la propiedad buscada que al diseño del casco. A través de los resultados, es posible proyectar que el material si sirve para desarrollar productos de protección personal, debido a que este, a través de los testeos, se acercó al funcionamiento necesario y con ciertas modificaciones podría llegar a compararse al poliestireno expandido.

Lograr producir el material esperado permitirá reemplazar en múltiples contextos y casos el poliestireno expandido usado para protección, así como también darle un uso en productos innovadores que van surgiendo de necesidades de la sociedad. La reutilización de los recursos es la base de un diseño sustentable, donde no existen desechos, si no que estos son reutilizados por organismos para convertirlos en un beneficio a otros. Un casco de micelio de hongo sería un gran avance en este contexto, donde en lugar de botarlo a la basura al tener un accidente, este se convierte en fertilizante para plantas y tierra, creando un ciclo de vida sin desechos.

## 18. BIBLIOGRAFÍA

Amstislavski, P., Yang, Z & White, M. (2017). Thermal Insulation Material from Mycelium and Forestry Byproducts. United States University of Alaska Anchorage (Anchorage, AK, US) Patent 20170218327 <http://www.freepatentsonline.com/y2017/0218327.html>

Arifin, Y. & Yusuf, Y. (2013). Mycelium fibers as new resource for environmental sustainability. *Procedia Engineering* 53: 504-508.

Avalle, M., Belingardi, G., & Montanini, R. (2001). Characterization of polymeric structural foams under compressive impact loading by means of energy-absorption diagram. *International Journal of Impact Engineering*, 25(5), 455-472.

Bayer, E., McIntyre, G. (2009) Patent grant Publication. Pub No: US US8001719B2 Pub. 31 mayo 2009

Dahmen, J., & Frid-jimenez, A. (2016). Mushroom Furniture, 500.

Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., ... & Ribani, R. H. (2016). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*.

Di Landro, L., Sala, G., O. (n.d.). Deformation mechanisms and energy absorption of polystyrene foams for protective helmets. *Polymer Testing*, 21(2), 217-228. Recuperado de [https://www.academia.edu/10090721/Deformation\\_mechanisms\\_and\\_energy\\_absorption\\_of\\_polystyrene\\_foams\\_for\\_protective\\_helmets](https://www.academia.edu/10090721/Deformation_mechanisms_and_energy_absorption_of_polystyrene_foams_for_protective_helmets)

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

Flores, R. M. Plastic Alternatives: Exploring Mycelium as a Medium.

García, N., Bermúdez, R. Y Serrano, M. (2011). Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. 4/09, de redalyc Sitio web: <http://www.redalyc.org/html/4455/445543774002/>

Garzon Gomez, J. P., & Cuervo Andrade, J. L. (2016). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia.

Giuliana Furci. (2007). *Fungi Austral*, Guía de campo de los hongos más vistosos de Chile. Chile: Giuliana Furci.

Hoa, HT & Wang, CL . (2015). The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). 04/09, de NCBI Sitio web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25892910>

Illana-Esteban, C.. (2016). Hifas de hongos como material de construcción II. 05/09, de Universidad de Alcalá Sitio web: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Illana/publication/311233529\\_Hifas\\_de\\_hongos\\_como\\_material\\_de\\_construccion\\_II/links/583ff42b08ae8e63e61bb1aa/Hifas-de-hongos-como-material-de-construccion-II.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Illana/publication/311233529_Hifas_de_hongos_como_material_de_construccion_II/links/583ff42b08ae8e63e61bb1aa/Hifas-de-hongos-como-material-de-construccion-II.pdf)

Iriarte, C. (2003). *Estudio de la producción y secreción de enzimas celulíticas en micelios rápidos y lentos de P. Ostreatus*. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra, Ingeniería Técnico Agrícola (Hortofruticultura y Jardinería).

Jameson, C., Thomas, T. & Williams, R.. (2014). Mycelium Material Study. octubre 08, 2017, de Studio Murmur Sitio web:

[http://studiomurmur.net/docs/MyceliumFinalReport\\_08082014.pdf](http://studiomurmur.net/docs/MyceliumFinalReport_08082014.pdf)

Jiang, L., Walczyk, D., Mooney, L., & Putney, S. (2013). Manufacturing of mycelium-based biocomposites. In *SAMPE Conference, Long Beach, CA, May*(pp. 6-9). Mechanical Design Process. 5thEdition. Url: <http://www.davidullman.com/images/MechEngPDFs/Ecovative.pdf>.

Martinez, C. D., Morales, P., & Sobal, M. (1990). Cultivo de *Pleurotus ostreatus*/sobre bagazo de caña enriquecido con pulpa de café o paja de cebada.. *Micol. Neotropical Aplic.*, 3.

Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(1), 19-26.

Nuss, P., Bringezu, S., & Gardner, K. H. (2012). Waste-to-materials: the longterm option. In *Waste to Energy: Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies* (pp. 1-26). Springer, London.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2013). Cereales. 13 agosto 2017, de ODEPA Sitio web: <http://www.odepa.gob.cl/rubro/cereales/>

Ortega, Y.. (2006). Prueba de impacto: ensayo Charpy. *Revista mexicana de física E*, 52(1), 51-57. Recuperado en 10 de octubre de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-35422006000100008&lng=es&tng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422006000100008&lng=es&tng=es).

Paul Stemets. (2005). Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save The world.

Poppe, J. (2005) "Capítulo 5 Sustrato. En: Manual del cultivador de hongos." Publicado por MushWord, Corea. Págs. 83-93

RAJARATHNAM, S. y BANO, Z. Pleurotus Mushrooms. Part III. Biotransformation of natural lignocellulosic wastes: comercial applications and implications. En: *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 1989,28, p. 31-113.

Rivera O., R., Martínez, D. & Morales S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Luna Azul*, (37).

Rodríguez, N., Jaramillo, V. (2004) "Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera". Boletín Técnico No.27, Centro Nacional de Investigaciones del Café, Chinchiná-Caldas-Colombia. Pág. 56.

Román, J., Luna, F. & Bailón, L. (2014). Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido. 05/09, de Consejo Superior de Investigaciones Científicas Sitio web: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3830/4324>

Ruilova Cueva, M. B., & Hernández Monzón, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(1).

Sözbir, G. D., Bektas, I., & Zulkadir, A. (2015). Lignocellulosic Wastes Used for the Cultivation of *Pleurotus ostreatus* Mushrooms: Effects on Productivity. *BioResources*, 10(3), 4686-4693.

Taladriz, A. y Schwember, A.. (2012). Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile ¿Qué hacer con los rastrojos?. octubre 7, 2017, de Revista Agronomía y Forestal UC Sitio web: [http://agronomia.uc.cl/component/com\\_obipro/Itemid,232/pid,920/sid,926/](http://agronomia.uc.cl/component/com_obipro/Itemid,232/pid,920/sid,926/)

Travaglini S. Noble J., Ross PG, Dharan CKH. (2013) Mycology Matrix Composites, American Society for Composites—Twenty-Eighth Technical, ASC, Conference-Paper. Publicado el 13 May 2013. url: <http://www.mycoworks.com/wp-content/uploads/2014/04/UCBerkeley- Mycology-Matrix-Composites-ASC-Conference-Paper-13-May-2013-2.pdf>

Travaglini, S., Dharan, C., y Ross, P. . (2016). Manufacturing of Mycology Composites. octubre 11, 2017, de Utah.edu Sitio web: <https://mech.utah.edu/ASC2016/assets/2802.pdf>

Ullman. David. 2014. Designing with Mushrooms at Ecovative: A Case Study for The

Velasco, J., & Vargas, D. E. (2004). Cultivo del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). *Manual de Producción. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.*

Vessels, B. E. Category Archives: Biodesign.

Wagner, A.. (2016). Mycelium Biking. 11/9, de Diva Portal Sitio web: <http://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1024803/FULLTEXT02.pdf>

## 19. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Fig. 1: Crecimiento de micelio sobre paja de trigo, elaboración propia
- Fig. 2: Testeo análogo de impacto, elaboración propia
- Fig. 3: Testeo péndulo Charpy, Apuntes de diseño mecánico I, PUC. Disponible en: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Materiales/ensayos.html>
- Fig. 4: Detalle material, Materia. Disponible en: <http://www.ma-tt-er.org/material-monday-mycofoam/>
- Fig. 5: Empaque vino, Ecovative. Disponible en <http://www.natureworldnews.com/articles/21055/20160422/earth-day-genius-renewable-packaging-made-of-mushrooms-to-replace-styrofoam.htm>
- Fig. 6: Empaque de empaque de remedio, Ecovative. Disponible en: <https://shop.ecovativedesign.com/collections/packaging>
- Fig. 7: Empaque lámpara LED. RBW. Disponible en: [https://www.greenerpackage.com/renewable\\_resources/brilliant\\_move\\_mushroom\\_packaging](https://www.greenerpackage.com/renewable_resources/brilliant_move_mushroom_packaging)
- Fig. 8: Concepto bicicleta, Alexander Wagner. Disponible en: <http://www.diva.portal.org/smash/get/diva2:1024803/FULLTEXT02.pdf>
- Fig. 9: Proceso de moldaje, Alexander Wagner. Disponible en: <http://www.diva.portal.org/smash/get/diva2:1024803/FULLTEXT02.pdf>
- Fig. 10: Resultados crecimiento, Alexander Wagner. Disponible en: <http://www.diva.portal.org/smash/get/diva2:1024803/FULLTEXT02.pdf>
- Fig. 11: Testeo probeta, Alexander Wagner. Disponible en: <http://www.diva.portal.org/smash/get/diva2:1024803/FULLTEXT02.pdf>
- Fig. 12: Objeto de micelio, Officina Corpuscoli. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/the-growing-lab/>
- Fig. 13: Mochila de micelio, Officina Corpuscoli. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/the-growing-lab/>
- Fig. 14: Detalle material obtenido, Officina Corpuscoli. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/the-growing-lab/>
- Fig. 15: Moldeado del hongo, Officina Corpuscoli. Disponible en: <http://www.fungal-futures.com/The-Growing-Lab-MYCELIA>
- Fig. 16: Uso del casco, Dyson. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-38013631>
- Fig. 17: Uso del casco, Dyson. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-38013631>
- Fig. 18: Plegado, Isis Shiffer. Disponible en: <http://www.universatil.com/modules/noticias/noticia.php?noticia=9511>
- Fig. 19: Geometría del casco, Isis Shiffer. Disponible en: <http://www.ciclosfera.com/ecohelmet-casco-plegable-papel/>
- Fig. 20: Geometría del casco, Anirudha Surabhi, <http://www.bikeradar.com/news/article/cardboard-helmet-passes-safety-tests-35999/>
- Fig. 21: Detalle geometría, Anirudha Surabhi, <http://www.bikeradar.com/news/article/cardboard-helmet-passes-safety-tests-35999/>
- Fig. 22: Producto final, Anirudha Surabhi, <http://www.bikeradar.com/news/article/cardboard-helmet-passes-safety-tests-35999/>
- Fig. 23: Estructura interna, Anirudha Surabhi, Disponible en: <http://www.thegearcaster.com/2012/09/abus-kranium-ecolution-recyclable-bike-helmet.html>
- Fig. 24: Proceso inoculación, elaboración propia
- Fig. 25: Esterilización, elaboración propia
- Fig. 26: Obtención micelio, elaboración propia
- Fig. 27: Crecimiento 4 días, elaboración propia
- Fig. 28: Crecimiento 12 días, elaboración propia
- Fig. 29: Detalle micelio, elaboración propia
- Fig. 30: Crecimiento 35 días, elaboración propia
- Fig. 31: Tamizado nuez, elaboración propia
- Fig. 32: Pasteurización sustrato, elaboración propia

Fig. 33: Esterilización frascos, elaboración propia

Fig. 34: Proceso inoculación, elaboración propia

Fig. 35: Proceso inoculación, elaboración propia

Fig. 36: Proceso inoculación, elaboración propia

Fig. 37: Almacenado, elaboración propia

Fig. 38: Proceso secado, elaboración propia

Fig. 39: Probetas experimentación II, elaboración propia

Fig. 40: Contaminación probetas, elaboración propia

Fig. 41: Gráfico resultados, elaboración propia

Fig. 42: Diagrama testeo, elaboración propia

Fig. 43: Sistema de testeo, elaboración propia

Fig. 44: Detalle sistema de testeo, elaboración propia

Fig. 45: Probetas 7 días, elaboración propia

Fig. 46: Probetas 7 días testeadas, elaboración propia

Fig. 47: probeta 7 días, 5 mm, con el respectivo impacto y fracturas, elaboración propia

Fig. 48: probeta 7 días, 20 mm, con el respectivo impacto y fractura, elaboración propia

Fig. 49: probeta 7 días, 40 mm, con el respectivo impacto y fracturas, elaboración propia

Fig. 50: Probetas 10 días. De arriba hacia abajo, 5 mm, 20 mm y 40 mm, elaboración propia

Fig. 51: Probetas de 10 días testeadas, elaboración propia

Fig. 52: probetas 10 días, 5 mm, con el respectivo impacto y fracturas, elaboración propia

Fig. 53: probetas 10 días, 20 mm, con el respectivo impacto y fracturas, elaboración propia

Fig. 54: probetas 10 días, 40 mm, con el respectivo impacto y fracturas, elaboración propia

Fig. 55: Gráfico de fractura de probetas, elaboración propia

Fig. 56: Secuencia de fotos rebote, elaboración propia

Fig. 57: Testeo poliestireno a 20, 40 y 60 cm, elaboración propia

Fig. 58: Testeo poliestireno a 80, 100 y 120 cm, elaboración propia

Fig. 59: Testeo poliestireno a 140, 160, 180 cm, elaboración propia

Fig. 60: Testeo poliestireno a 200 cm, elaboración propia

Fig. 61: Gráfico resistencia micelio vs. Poliestireno, elaboración propia

Fig. 62: Carcasa de ABS, elaboración propia

Fig. 63: Capa interna de poliestireno expandido de alta densidad, elaboración propia

Fig. 64: Contramolde de yeso ahuecado, elaboración propia

Fig. 65: Detalle casco, elaboración propia

Fig. 66: Elementos seguridad, elaboración propia

Fig. 67: Vistas prototipo funcional, elaboración propia

Fig. 68: Diagrama ciclo de vida, elaboración propia

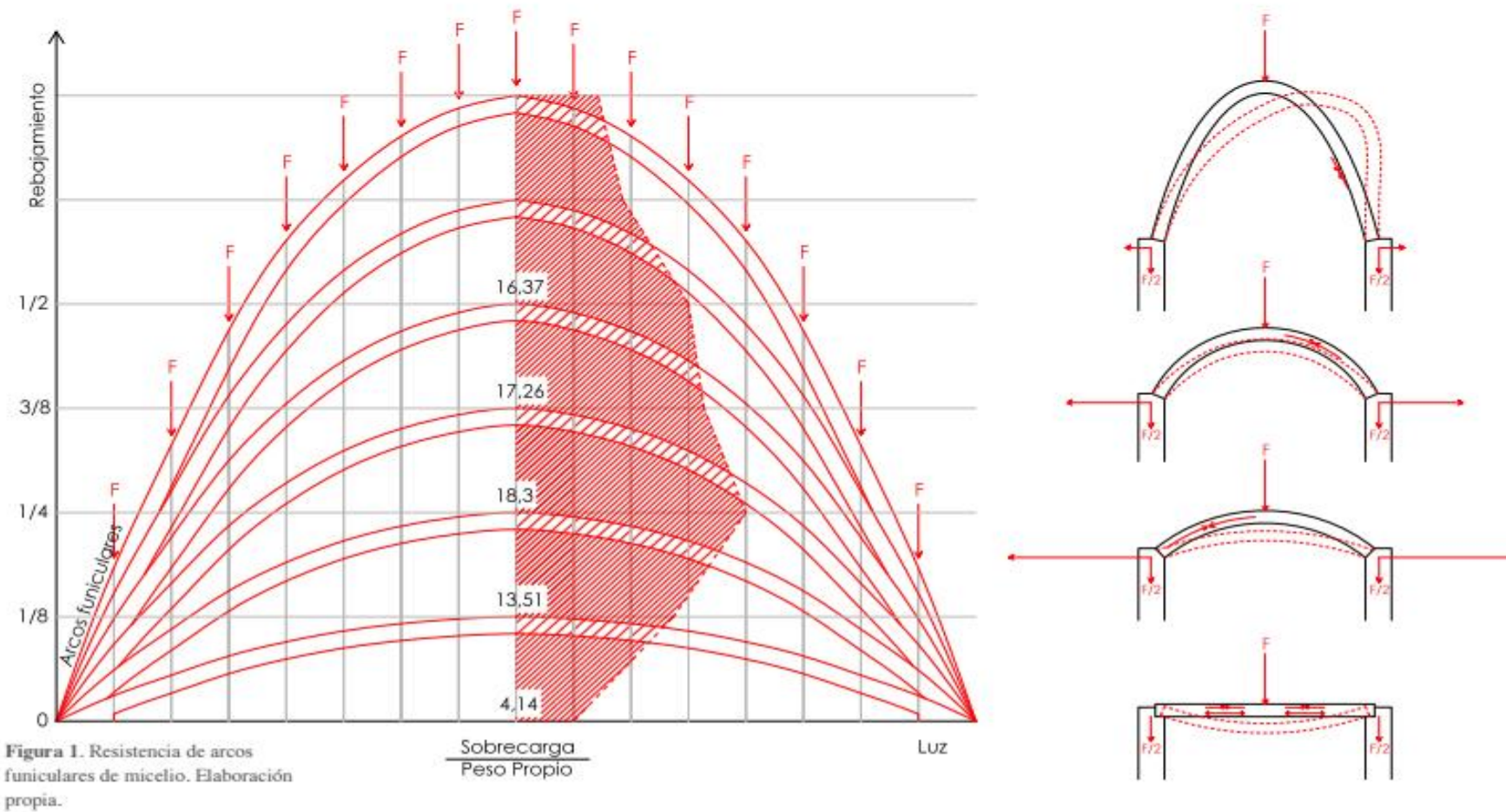


## Componentes de cubierta a la compresión a base de Micelio de *Trametes versicolor* y cáscaras de nuez *Juglans regia*

**Alumno:** Pedro Stekel

**Profesores:** Alejandro Soffia; Tomás Vivanco

### I. Formulación



**3. Palabras clave:** Compresión, prefabricación, micelio, *Juglans regia*, *Trametes versicolor*.

### 4. Resumen:

Esta investigación estudiará los materiales biobasados compuestos de residuos orgánicos y micelio de hongo descomponedor de madera. El micelio es una red de células que compone el cuerpo principal del hongo, siendo las “callampas” solamente la fructificación de este (Furci 2007).

Se trabajará con un material hecho de micelio del hongo *Trametes versicolor* y cáscaras de nuez *Juglans regia*.

La investigación se centrará en el estudio de las capacidades estructurales del material y sus posibilidades para salvar una luz. Se tomará como antecedente los trabajos de Zhaohui Joey Yang, donde se determina que los materiales compuestos por hongos y sustrato en general presentan una alta resistencia a la compresión,

pero una baja capacidad de resistir flexiones y tensiones.

Por lo anterior, se trabajará con formas estructurales que trabajen a la compresión, tales como arcos y bóvedas funiculares. Se harán prototipos de arcos de distintas medidas de flechas con el fin de obtener la forma estructural óptima para salvar una luz con este material.

A partir del estudio de las capacidades estructurales del material, se diseñará un sistema de cubierta que esté coordinado de manera modular con sistemas prefabricados en madera. Para esto se estudiará el sistema de prefabricación del panel estructural SIP. A partir de este sistema se determinarán las medidas y requerimientos que debe tener el elemento estructural.



## 5. Contexto:

**5.1 Contexto físico:** La investigación se insertará en el campo de la construcción de estructuras livianas prefabricadas, que no presenten fuertes solicitaciones o grandes luces a salvar; tales como viviendas unifamiliares, recintos educacionales y pabellones de una planta. De esta forma, se diseñará un elemento estructural que sea aplicable a sistemas constructivos disponibles en el mercado.

En este sentido, el elemento constructivo responderá a una serie de factores determinados. En primer lugar, el sistema a diseñar será aplicado como una cubierta en este tipo de edificaciones. Por lo anterior, se deben considerar los tipos de solicitaciones a las que estará sometido el elemento. Según la normativa chilena, una cubierta accesible solo para su mantención debe resistir  $100\text{kgf/m}^2$  de sobrecarga (NCh1537).

Por otro lado, se buscará salvar una luz de tres metros, que permitiría generar una cubierta compatible con otros sistemas de prefabricación disponibles en el mercado. El ancho del elemento dependerá de los resultados de los experimentos de resistencia del material.

La investigación se enfocará exclusivamente en la resistencia estructural de la cubierta y en la coordinación modular del elemento, dejando de lado aspectos como resistencia a agentes ambientales o sistemas de aislación térmica.

**5.2 Contexto tecnológico:** El elemento estructural estará hecho de un material compuesto de micelio de hongo *Trametes Versicolor* y cáscaras de nuez *Juglans Regia*. Para elaborar este compuesto se tomarán los estudios hechos por Sebastián Rodríguez (2016), donde se explica en detalle el proceso de fabricación del material y se estudia su resistencia.

Por otro lado, el hecho de trabajar con un material determinado, influye fuertemente en el diseño del sistema constructivo. Como ya se mencionó, las características físicas del material biobasado solo permiten construir estructuras que trabajen a la compresión (Travaglini. 2013). De esta forma, la posibilidad de diseñar elementos que funcionen a la flexión queda descartada. Por lo anterior se optará por trabajar con bóvedas y arcos, que permiten salvar una luz a travez de la compresión.

También se debe tomar en cuenta que al momento de su fabricación, el material es maleable y puede ser moldeado (Rodríguez. 2016). De esta forma, el material permite generar superficies de doble curvatura de una sola pieza sin que esto signifique un aumento en la complejidad de su elaboración.

Con el fin de simplificar la producción y ensamblado, se intentará hacer que el elemento constructivo esté compuesto por la menor cantidad de tipos de piezas posible.

**5.3 Contexto económico:** en el contexto económico, se trabajará con un elemento constructivo modular que pueda fabricarse en serie y que se integre a otros sistemas de prefabricación. En este ámbito es necesario tener algunas consideraciones:

Primero que todo, el elemento constructivo debe adaptarse a las medidas estandarizadas que existen en el mercado de la construcción en madera, que van desde las medidas de listones, de 3 a 3,2m de largo, hasta otros elementos prefabricados como paneles y placas. En este sentido, la medida de 3m cumple con esta exigencia y permitiría combinar el elemento constructivo con otros sistemas prefabricados disponibles en el mercado.

En segundo lugar, el sistema debe ser de fácil armado. Esto permite levantar edificaciones en un corto periodo de tiempo, en gran cantidad y sin la necesidad de tener una mano de obra especializada.

Finalmente, el elemento debe tener un bajo costo de producción para ser competitivo con otros sistemas de cubierta prefabricada disponibles en el mercado. En este sentido, el material biobasado es una gran ventaja, pues permite construir a partir de desechos orgánicos, y no requiere de un alto consumo energético o de tecnologías avanzadas para ser fabricado.

## 6. Observaciones libres:

En la última década, los materiales biobasados compuestos de hongos y sustrato han tenido un desarrollo significativo, tanto por las investigaciones que se han hecho sobre este tema, que han mejorado sus propiedades físicas; como por las diversas aplicaciones que se le han dado. Se han desarrollado distintos productos que van desde pequeños objetos de diseño hasta ladrillos de construcción y aislantes térmicos.

Sin embargo, a pesar del gran avance que se ha logrado en el tema, al momento de llevar este nuevo material a la arquitectura no se alcanza a notar un impacto significativo. De esta forma, los proyectos de arquitectura construidos en micelio se reducen a pabellones temporales y no plantean una solución a problemas concretos. Por lo anterior es que se ha decidido trabajar en el diseño de un sistema constructivo a menor escala, que sea fácil de construir y replicar. La elección del campo de la vivienda prefabricada tampoco es casual, ya que se considera que es un tema de mayor relevancia que un pabellón único y excepcional.

### 7. Relevancia:

La industria de fabricación de materiales de construcción exige una gran cantidad de recursos, como materias primas, recursos hídricos, energía y espacio; y lleva consigo una enorme producción de contaminación y desechos. De hecho el 56% de los residuos industriales generados en Chile son producidos por la industria de la construcción (SINIA, 2010). A esto hay que sumarle la energía que se utiliza para el transporte de estos elementos.

Por otro lado, la industria agrícola y forestal generan 1.500.000 toneladas de residuos al año. La mayoría de esta materia orgánica es quemada o desechada (Ruiz, 2015), perdiendo su potencial utilización en otras áreas productivas.

Es por esto que se decide utilizar el material compuesto de micelio y sustrato. Este elemento tiene un mínimo impacto ambiental, ya que las materias primas que se requiere para su elaboración provienen de desechos agrícolas; el gasto energético de su proceso de fabricación es bajo; y se trata de un material biodegradable.

Por otro lado, se ha decidido trabajar en el ámbito de estructuras de cubierta modulares, con el objetivo de lograr un sistema constructivo que pueda usarse en la construcción de estructuras livianas en madera.

### 8. Marco teórico:

El trabajo se apoyará en investigaciones y pruebas que ya se han hecho sobre los materiales compuestos de micelio y sustrato, tanto en los procedimientos de fabricación y cultivo como en la resistencia del material. Por otro lado nos apoyaremos en la teoría existente

sobre estructuras que salven luces a la compresión, como arcos y bóvedas.

1- Un estudio que investiga las capacidades estructurales de materiales compuestos de micelio y sustrato es “*Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam*”, publicado por Zhaohui Joey Yang el año 2017. Aquí se explora la resistencia a esfuerzos de compresión y flexión de materiales biobasados hechos con el hongo *Ganoderma lucidum*, el que se combinó con pulpa de abedul de Alaska (*Betula neoalaskana*).

En esta experimentación se hicieron probetas de igual tamaño del mismo compuesto, pero con distintos tiempos de incubación del hongo, el que varió de una a cuatro semanas. Estas probetas se sometieron a pruebas tanto de flexión como de compresión, las que se guiaron por las normas ASTM 2013.

Los resultados de la experimentación determinaron que las probetas con un tiempo de incubación de una semana presentaban un módulo de Young mayor a las muestras incubadas por más tiempo (3MPa), sin embargo, presentaban una menor resistencia a la compresión (100kPa). Por otro lado, las probetas que se incubaron por cuatro semanas presentaron un menor módulo de Young (2MPa), mientras que su resistencia a la compresión mejoró considerablemente, llegando a los 550kPa (Gráfico 1).

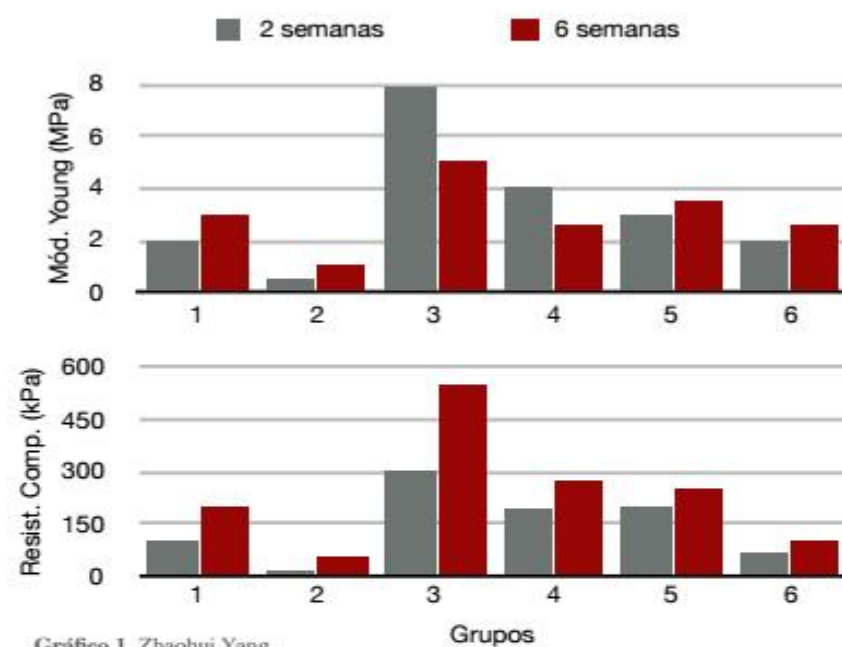


Gráfico 1. Zhaohui Yang.  
Resultados pruebas  
mecánicas.

Con los resultados anteriores, se pudo determinar que es posible utilizar estos materiales en la construcción de estructuras. Por otro lado, se concluyó que la mejor forma de utilizar estructuralmente este tipo de materiales

es a través de la compresión, ya que, al someterse a este esfuerzo, estos materiales pueden resistir hasta tres veces más a que si se les sometiera a flexión (Zhaohui. 2017).

2- Para la elaboración del material se utilizará la investigación “*Mycelium: Material biobasado, compuesto del micelio del hongo Trametes Versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia*” hecho por Sebastián Rodríguez, el año 2016. Aquí se estudia la conformación y composición del material biobasado y se exploran las posibles aplicaciones que tiene este compuesto en el área del diseño.

Se utilizan dos especies de hongo: *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*; los que se combinan con rastrojos de alfalfa y la cáscara de nuez. Luego de varias pruebas, se decide trabajar con la combinación de *Trametes Versicolor* y cáscaras de nuez. Este compuesto presenta una buena adaptación del hongo al sustrato, una alta velocidad de crecimiento del micelio y la posibilidad de hacer piezas de doble curvatura (Rodríguez. 2016).



Figura 2. Muestra con doble curvatura. Sebastián Rodríguez. Santiago. 2016. Micelium.

Por otro lado, la investigación describe el procedimiento para la fabricación del material. El primer paso es preparar el sustrato. Para esto hay que comenzar lavando las cáscaras para sacar cualquier tipo de suciedad o piedras. Luego se debe moler el sustrato para obtener una granulometría entre 3 y 5mm  $\phi$ . Finalmente se debe esterilizar el sustrato en un alzaprima, con el fin de eliminar esporas y bacterias.

El segundo paso es la inoculación del hongo *Trametes versicolor* en el sustrato. Este procedimiento consiste en mezclar el sustrato con las semillas de hongo, en una proporción de peso 10:1 (Biomielios. 2017). Para esto se debe trabajar de manera limpia y en un ambiente esterilizado. Una vez inoculado el hongo, se debe dejar crecer de diez a quince días.

El tercer paso consiste en el moldeado del material. El molde debe ser impermeable, preferentemente de plástico. Una vez moldeado, el hongo se debe dejar al menos cinco días más para que el micelio recolonice el sustrato.

Finalmente, se debe proceder a quemar la pieza. Esto puede ser mediante una autoclave o un orno. Este procedimiento le quita humedad al elemento, impide que el hongo continúe creciendo y le otorga una mayor rigidez al material.

3- Para el diseño del elemento estructural a la compresión se usará el libro “*Razón y ser de los tipos estructurales*” de Eduardo Torroja, publicado en 1957. En este libro se explica con detalle el funcionamiento de los arcos y las bóvedas.

Un arco es un elemento estructural capaz de salvar una luz resistiendo solo o principalmente a la compresión. Su forma curva responde al antifunicular de las cargas y permite transmitir, tanto su peso propio como las sobrecargas, a dos apoyos distanciados entre sí (Torroja. 1957).

La forma de un arco se determina principalmente por tres factores (Figura 3): a- La luz que salva el elemento, que corresponde a la distancia horizontal de sus dos puntos de apoyo. b- La flecha del arco, que es la diferencia de altura que existe entre el punto más alto del arco y sus puntos de apoyo. c- Y la directriz, que corresponde a la curva que describe al arco. El rebajamiento de un arco corresponde a la relación entre su flecha y su luz (D. López. 2005).

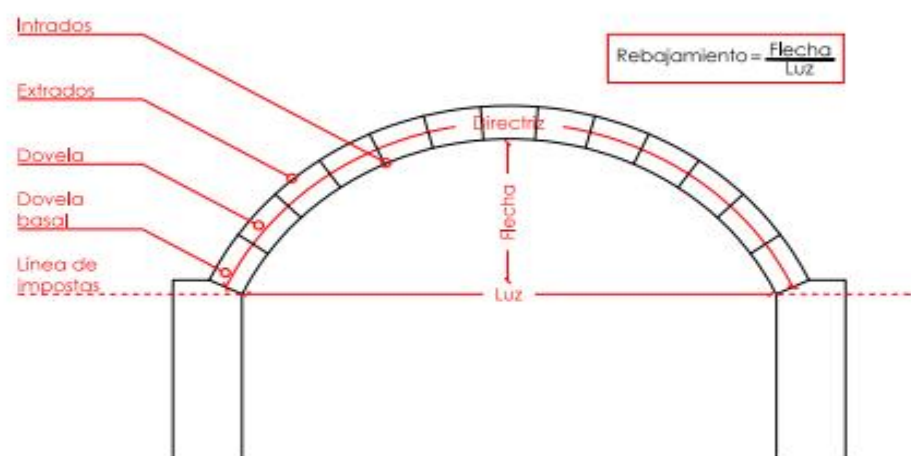


Figura 3. Partes del arco. Elaboración propia.

Cuando la directriz corresponde al polígono funicular generado por las cargas del elemento (Directriz ideal), el arco funciona completamente a la compresión. Sin embargo, cuando las sobrecargas cambian, el polígono funicular deja de corresponder a la directriz del

arco, y por lo tanto, el elemento trabajará inevitablemente a la flexión (Torroja. 1957). Para la investigación, asumiremos que nuestro elemento estará sometido a una sobrecarga uniformemente repartida, por lo que la forma de la directriz corresponderá a la catenaria (D. López. 2005).

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que el rebajamiento de un arco determina la forma en que este funciona (Torroja 1957). Al rebajar un arco, llegando a una relación de luz y flecha cercanos a 1/8, existen menos posibilidades de que se generen flexiones en el elemento, sin embargo, un rebajamiento produce un aumento considerable de los esfuerzos internos del arco (figura 4a). Por otro lado, un arco elevado presenta menos esfuerzos internos, pero aumentan las posibilidades de que existan flexiones en el elemento (figura 4b).

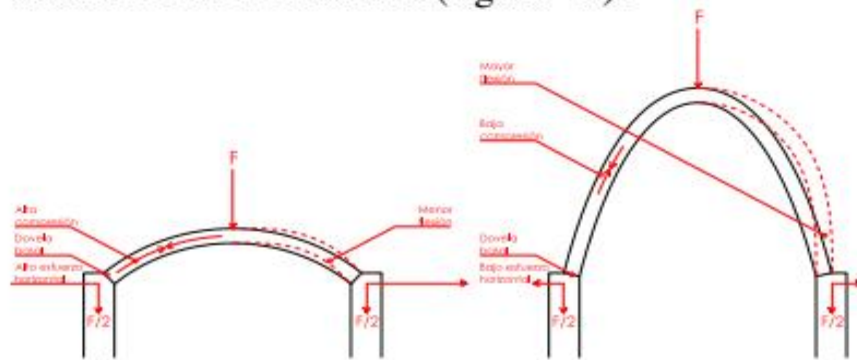


Figura 4. Rebajamientos del arco. Elaboración propia.

Las bóvedas son elementos estructurales a la compresión con forma de “arco extruido”, generando una superficie continua. Sin embargo, el funcionamiento estructural de las bóvedas es más complejo, ya que los esfuerzos internos del elemento se dispersan por la superficie curva hasta llegar a los apoyos (Torroja 1957). En la figura 5 se muestra la manera en que se distribuye una carga puntual en una bóveda de cañón corrido (Moussavi, 2009).

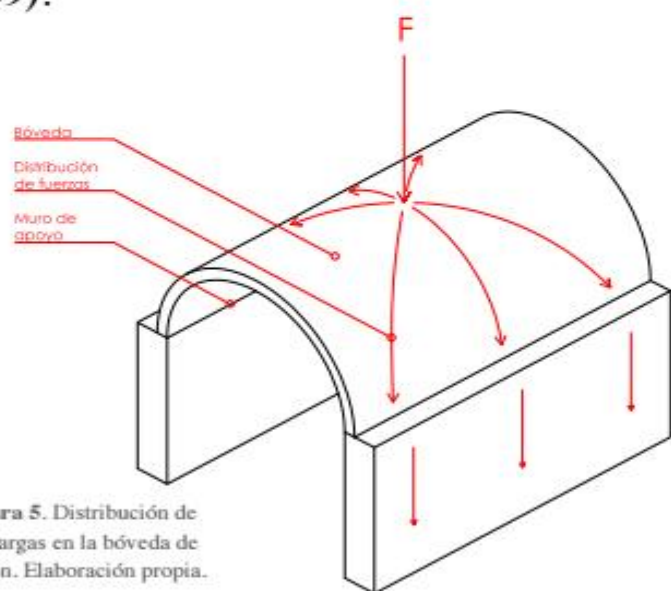


Figura 5. Distribución de las cargas en la bóveda de cañón. Elaboración propia.

## 9. Hipótesis:

Es posible mejorar la resistencia del material compuesto *Trametes versicolor* y cáscara de nuez *Junglans regia* a través de la forma del arco funicular.

## 10. Objetivos:

### 10.1 Objetivo general:

- Entender los principios que permiten diseñar arcos que salven luces a partir del material basado en *Trametes versicolor* y cáscara de nuez.

### 10.2 Objetivos específicos:

- Identificar la forma estructural que permita un funcionamiento eficiente del material.
- Determinar el índice de rebajamiento óptimo para la construcción de un arco de micelio.
- Aplicar el material de micelio al diseño de una estructura de cubierta.
- Coordinar la estructura diseñada con otros elementos constructivos de manera modular.

## 11. Estado del arte:

### Cripta de la colonia Güell, Antoni Gaudí 1898



Figura 6. Maqueta de la cripta Güell. Barcelona. 1880. The Living.

El proyecto de la cripta Güell consiste en una construcción hecha en piedra y albañilería simple. Se compone de arcos y pilares

inclinados y su forma responde a los polígonos funiculares generados por las solicitaciones que recibe la estructura. De esta forma, todos los elementos estructurales funcionan a la compresión (*Rubió, 1991*).

El método de diseño usado por Gaudí permite construir componentes a la compresión sin la necesidad de una estructura complementaria (como en el caso del gótico). La elaboración de arcos con una generatriz igual a su diagrama de fuerza permite hacer que el elemento tenga una menor sección y evita posibles flexiones en el arco.

#### Silo Horizontal Saman, Eladio Dieste 1974-78



Figura 7. Eladio Dieste.  
Silo Saman. Vergara. 1974.

El silo horizontal consiste en una bóveda de albañilería armada. Su directriz responde a las solicitaciones generadas por su peso propio y por la presión producida por el grano que se almacena adentro. La bóveda presenta una superficie ondulada, lo que le da una mayor resistencia y estabilidad a la estructura (*Dieste, 1987*).

Además de la congruencia entre el polígono funicular y la directriz de la bóveda, es necesario destacar la utilización de la doble curvatura, que aumenta la resistencia del silo sin la necesidad de engrosar la estructura. Por otro lado, la utilización de este recurso permite que la bóveda no necesite nervaduras y sea una superficie continua.

#### Santuario Padre Pío, Renzo Piano 1991-2004



Figura 8. Santuario Padre Pío. Apulia. N/A 2007.  
Renzo Piano.

El templo está compuesto por una serie de arcos simples de piedra que sostienen una cubierta. La directriz de los arcos responde al peso propio de las dovelas y a las sobrecargas del techo. Las dovelas están compuestas por cinco piezas cada una y se unen a travez de cables postensados para resistir posibles flexiones (*Baixas, 2010*). Este proyecto genera un sistema capaz de integrar un arco simple con una estructura de cubierta.

#### Centro de rehabilitación, Solano Benitez 2010



Figura 9. Leonardo Finotti.  
Teletón Lambaré. Lambaré.  
2012. Luster Magazine.

El centro de rehabilitación está formado por una serie de pabellones construidos en ladrillos reutilizados. La cubierta del jardín del edificio está conformada por una serie de bóvedas con forma de catenarias. La disposición de los ladrillos en forma de triángulo permite generar cavidades y alivianar la estructura (*Harper, 2013*).

En este proyecto, la forma de la bóveda permite generar una estructura con un espesor bajo. Por otro lado, la grilla de triángulos permite que la bóveda funcione sin la necesidad de tener una

superficie continua. Esto permite alivianar aún más la estructura y usar el material de manera más eficiente.

The Living: Hi-Fi Pavilion 2014



Figura 10. David Benjamin.  
Hi-Fi Pavilion. New York.  
2014. The Living.

Este proyecto consiste en un pabellón hecho con micelio de hongo y sustrato. Tiene trece metros de alto y es la estructura construida más grande hecha con este tipo de material. Se estructura con muros curvos de ladrillo de micelio, y con arcos de madera (Benjamin. 2014).

El Hi-Fi Pavilion es un caso notable de construcción en micelio. Si bien no salva ninguna luz y requiere de una estructura complementaria para funcionar, muestra las capacidades que tiene el material de resistir altas sollicitaciones.

BRG: MycoTree 2017



Figura 11. Carlina Teteris.  
MycoTree Pavilion. Seoul.  
2017. BRG.

Esta exposición presenta una estructura de micelio y bambú. Mide 3 x 3m en planta y tiene

un solo punto de apoyo. La estructura está formada por “dovelas tridimensionales” y presenta una forma que le permite dirigir sus cargas a través de la compresión (Schlesier. 2017).

La combinación de hongo con sustrato usada en este pabellón presenta una baja resistencia estructural (Schlesier. 2017). A pesar de esto, el diseño del pabellón permite generar una estructura resistente. De esta forma, es posible construir estructuras con un material de baja resistencia conociendo sus propiedades físicas y diseñando acorde a ellas.

**II. Validación**

**12. Materiales y métodos:**

1- Preparación del sustrato: se limpió la cáscara de nuez con agua potable. Luego se procedió a moler la cáscara con un machete y se tamizó para obtener dos tipos de granulometría, de 3 y 5mm  $\phi$ . Para esterilizar el sustrato se hirvió en una olla de acero durante una hora. Finalmente se procedió a quitar el exceso de agua con un colador plástico previamente esterilizado con alcohol 95% y se introdujo en frascos de conservas, el que se selló con papel parafilm. Durante todo el proceso se trabajó en una zona esterilizada con alcohol y al lado de un mechero.



Figura 12. Esterilización del sustrato. Elaboración propia

2- Inoculación del hongo: se usaron semillas de trigo inoculadas con *Trametes versicolor* comprados en el laboratorio Biomicelios. La proporción de peso de semillas y sustrato fue de un 15%. Las muestras se taparon con dos capas de toalla de papel y se guardaron en un lugar

seco y sin luz directa. Se dejó crecer el micelio por doce días.



Figura 13. Materiales para la inoculación del hongo. Elaboración propia.

**3- Moldeado:** para darle forma al material se utilizaron moldes de poliestireno de alto impacto, que se limpiaron con alcohol 95%. A la mezcla se le agregó harina (10g por 100g de hongo) y agua (5cc por 100g de hongo). Las muestras se dejaron crecer por siete días.

**4- Quemado:** para el secado del material se utilizó un orno a gas. Las muestras se hornearon a 300°C por veinte minutos.

**5- Prueba de resistencia:** las pruebas de resistencia se hicieron en una plataforma de MDF. Las probetas se sometieron a cargas uniformemente distribuidas, para lo cual se usaron sacos de arena. La plataforma de prueba utilizada está diseñada para contrarrestar las reacciones horizontales de los arcos, evitando que las probetas se “abran”.



Figura 14. Prueba de resistencia. Elaboración propia

### 13 Experimentación 1:

#### Descripción:

La experimentación uno consistió en la elaboración de probetas del material compuesto de micelio de *Pleurotus ostreatus* y heno. Se elaboraron cuatro probetas en forma de paralelepípedo, con un largo de 15cm, 2cm de ancho y alturas variables (tabla 1). La proporción de hongo y sustrato fue la misma en todas las probetas.

Nº probeta	Hongo y sustrato	Medidas
1	<i>P. ostreatus</i> y heno de trigo	15x2x2cm
2	<i>P. ostreatus</i> y heno de trigo	15x2x2,5cm
3	<i>P. ostreatus</i> y heno de trigo	15x2x3cm
4	<i>P. ostreatus</i> y heno de trigo	15x2x3,5cm

Tabla 1. Probetas experimentación Nº1. Elaboración propia.

El objetivo de esta experimentación fue evaluar la capacidad del micelio a resistir flexiones y tener un primer acercamiento con la fabricación del material biobasado.

Para la experimentación se utilizó un kit de crecimiento de hongos, donde el sustrato ya venía inoculado con *Pleurotus ostreatus*. Se desconoce tanto el método de inoculación, como las condiciones ambientales en donde se guardó el kit antes de ser adquirido.

El lugar donde se trabajó fue un laboratorio, tanto la superficie de trabajo como las herramientas se limpiaron con alcohol 95% para evitar posibles contaminaciones. Además se dispuso un mechero con el fin de lograr un área más estéril.

Para hacer las probetas, se usó moldes de plástico y cinta adhesiva. Las muestras, una vez en el molde, fueron cubiertas con papel plástico y guardadas en un lugar sin luz directa.

#### Resultados:

Al cabo de doce días, las cuatro probetas se contaminaron y el micelio no logró colonizar la totalidad del sustrato, por lo que las muestras no pudieron ser probadas (Figura 15b). La contaminación del material pudo ser causado por dos razones:

1- Se desconocen las condiciones en que se guardó el kit, por lo que posiblemente el sustrato pudo estar contaminado antes de que se hiciera la experimentación.

2-El molde utilizado presentaba fisuras y la cinta adhesiva estaba en contacto con el hongo. Además, las muestras se cubrieron con papel plástico, lo que impidió que el hongo respire.

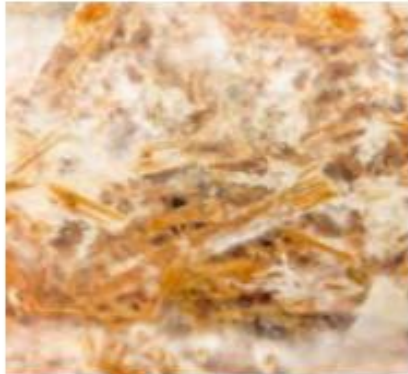


Figura 15a. Crecimiento del micelio en el sustrato. Elaboración propia.



Figura 15b. Contaminación de la muestra. Elaboración propia.

#### Conclusión del experimento:

Debido a los resultados de la experimentación uno, la posibilidad de usar el kit de cultivo de hongos queda descartada. También se decide trabajar directamente con las materias primas, para tener un mayor control del proceso de producción y evitar posibles contaminaciones. En experimentaciones posteriores se tiene un mayor cuidado en la elaboración de los moldes, los que se fabrican con poliestireno de alto impacto (PAI) y silicona caliente para evitar filtraciones; y se cubren con toallas de papel para permitir que el hongo respire.

#### 14. Validación:

##### Descripción:

El objetivo de la experimentación dos fue evaluar las capacidades del material biobasado de salvar una luz. Se trabajó con el material compuesto de *Trametes versicolor* y cáscara de nuez *Juglans regia*, ya que su proceso de elaboración es rápido y permite hacer formas de doble curvatura (Rodríguez, 2016).

Debido a que este tipo de materiales tiende a resistir mejor las compresiones que las tracciones (Travaglini, 2013), se decidió trabajar con elementos de forma comprimida.

Se hicieron cinco tipos de probetas con forma de arcos funiculares (Catenaria invertida). Las muestras tenían una sección de 3x4cm, salvaban una luz de 20cm y una flecha de arco variable (Tabla 2). El material usado fue el mismo en todos los arcos.

Nº	Material	Directriz	Medidas	Flecha de arco
1	<i>T. versicolor</i> y <i>J. regia</i>	Catenaria	Sección: 4x3cm Luz: 20cm	0cm
2	<i>T. versicolor</i> y <i>J. regia</i>	Catenaria	Sección: 4x3cm Luz: 20cm	2,5cm
3	<i>T. versicolor</i> y <i>J. regia</i>	Catenaria	Sección: 4x3cm Luz: 20cm	5cm
4	<i>T. versicolor</i> y <i>J. regia</i>	Catenaria	Sección: 4x3cm Luz: 20cm	7,5cm
5	<i>T. versicolor</i> y <i>J. regia</i>	Catenaria	Sección: 4x3cm Luz: 20cm	10cm

Tabla 2. Probetas experimentación N°2. Elaboración propia.

En la prueba de resistencia, los arcos fueron sometidos a cargas uniformemente distribuidas a través de sacos de arena. Se optó por este tipo de solicitaciones para evitar al máximo la existencia de flexiones en las probetas. El experimento fue hecho en un tablero capaz de absorber las solicitaciones horizontales generadas por las probetas, evitando que los arcos se “abran”.

##### Resultados:

A partir de la prueba de resistencia se obtuvieron los resultados de la tabla 3.

Nº	Flecha de arco	Rebajamiento	Peso propio	Peso de rotura	PP/SC
1	0cm	N/A	147g	0,609kg	4,14
2	2,5cm	1/8	186g	2,514kg	13,51
3	5cm	1/4	197g	3,672kg	18,3
4	7,5cm	3/8	214g	3,695kg	17,26
5	10cm	1/2	235g	3,848kg	16,37

Tabla 3. Resultados experimentación N°2. Elaboración propia.

La probeta uno (con forma de paralelepípedo) fue la que menos resistió, soportando 4 veces su peso propio (Figura 16). Esto se debió a que la muestra se comportó como una viga y se fracturó rápidamente sin presentar grandes deformaciones previas. De esta forma, se comprueba que el material de micelio tiene una baja resistencia a la flexión.

El arco dos soportó 13,5 veces su peso. Solo con un rebajamiento de 1/8, la muestra comenzó a comportarse como arco y a trabajar a la compresión. Con sobrecargas superiores a los dos kilos, el arco comenzó a pandearse y





Figura 16-17-18-19-20. Prueba de resistencia a la compresión. Elaboración propia.

posiblemente presentó pequeñas flexiones (Figura 17).

La muestra tres resistió 3,67kg, aguantando 18,6 veces su peso (Figura 18). Esta muestra fue la que soportó más carga en relación a su peso. Durante la prueba, el arco se presentó estable y casi no presentó pandeos horizontales o verticales.

Si bien la probeta cuatro resistió más peso que el arco tres, solo alcanzó a soportar 17,2 veces su peso propio (Figura 19). Al soportar pesos superiores a los tres kilos, la muestra comenzó a pandearse hacia un costado.

La probeta cinco fue la que soportó más peso, aguantando 3,84kg (Figura 20). Sin embargo aguantó 16,3 veces su peso y se mostró inestable durante toda la experimentación.

#### Conclusión del experimento:

A partir de la experimentación dos se pudo confirmar que el compuesto de micelio *Trametes versicolor* y cáscara de nuez es un material frágil, con una baja resistencia a la flexión. Sin embargo, se comprobó que a través de la forma comprimida, las cualidades estructurales del material de micelio mejoran considerablemente y llega a ser capaz de salvar una luz. De esta manera, para generar estructuras horizontales de micelio es necesario trabajar con polígonos funiculares, el que se determinará por el tipo de solicitaciones a las que estará sometido el elemento. Esto permite que el material funcione principalmente a la compresión.

Para el caso específico de un elemento con cargas uniformemente distribuidas, la mejor forma es la del arco con una directriz catenaria y un índice de rebajamiento de 1/4. Esta proporción genera que el material funcione eficientemente, soportando una mayor carga por unidad de peso. Además debemos considerar que esta forma tiene una mayor estabilidad, pues presenta menos flexiones y pandeos laterales que arcos con una mayor flecha. Finalmente cabe mencionar que esta figura genera menores esfuerzos horizontales en sus bases en relación a un arco aún más rebajado.

### **III. Proyecto**

#### **15. Cuantificación de la Forma y Escala:**

A partir de los resultados de las experimentaciones, se concluyó que el diseño de la estructura de cubierta debía ser una bóveda corrida. También se decidió que la directriz de la bóveda debía ser de catenaria invertida, con una flecha igual al cuarto de la luz.

El tamaño del componente se determinó por diversos factores. En primer lugar, la resistencia del material no permite salvar grandes luces, lo que reduce el tamaño de la bóveda. Por otro lado, al tratarse de un elemento prefabricado, las piezas deben ser de fácil manipulación y transporte, sin la necesidad de maquinaria pesada. Finalmente, el diseño se coordinará de manera modular con otros sistemas de prefabricación, lo que influye en la forma de las uniones y las medidas del elemento.

Se tomaron en cuenta los distintos requerimientos que debe tener una cubierta, tales como resistir condiciones ambientales y ser capaz de evacuar el agua. Para responder a estos requisitos se dispusieron elementos de otros materiales, que protejan las piezas de micelio, pues se desconoce la resistencia del micelio a factores ambientales.

La fabricación de la bóveda es a través de piezas ensambladas con encajes y pernos. La elaboración de las piezas es a partir de moldes y contra-moldes en los que crece el hongo.

#### **16. Presentación Proyecto Final:**

El proyecto consiste en un sistema de cubierta en base a bóvedas prefabricadas hechas con micelio. El elemento estructural se compone de secciones de bóveda de una pieza, las que se ensamblan para cubrir un área mayor. Cada pieza tiene integrada costaneras de micelio, listones de madera y pernos, que permiten que la cubierta se una con componentes de otros materiales.

El diseño contempla un sistema de techumbre y de evacuación de aguas lluvias. Estos elementos se elaboran de materiales tradicionales, que protegen la estructura de micelio a agentes ambientales, de esta manera el micelio solo cumple una función estructural.

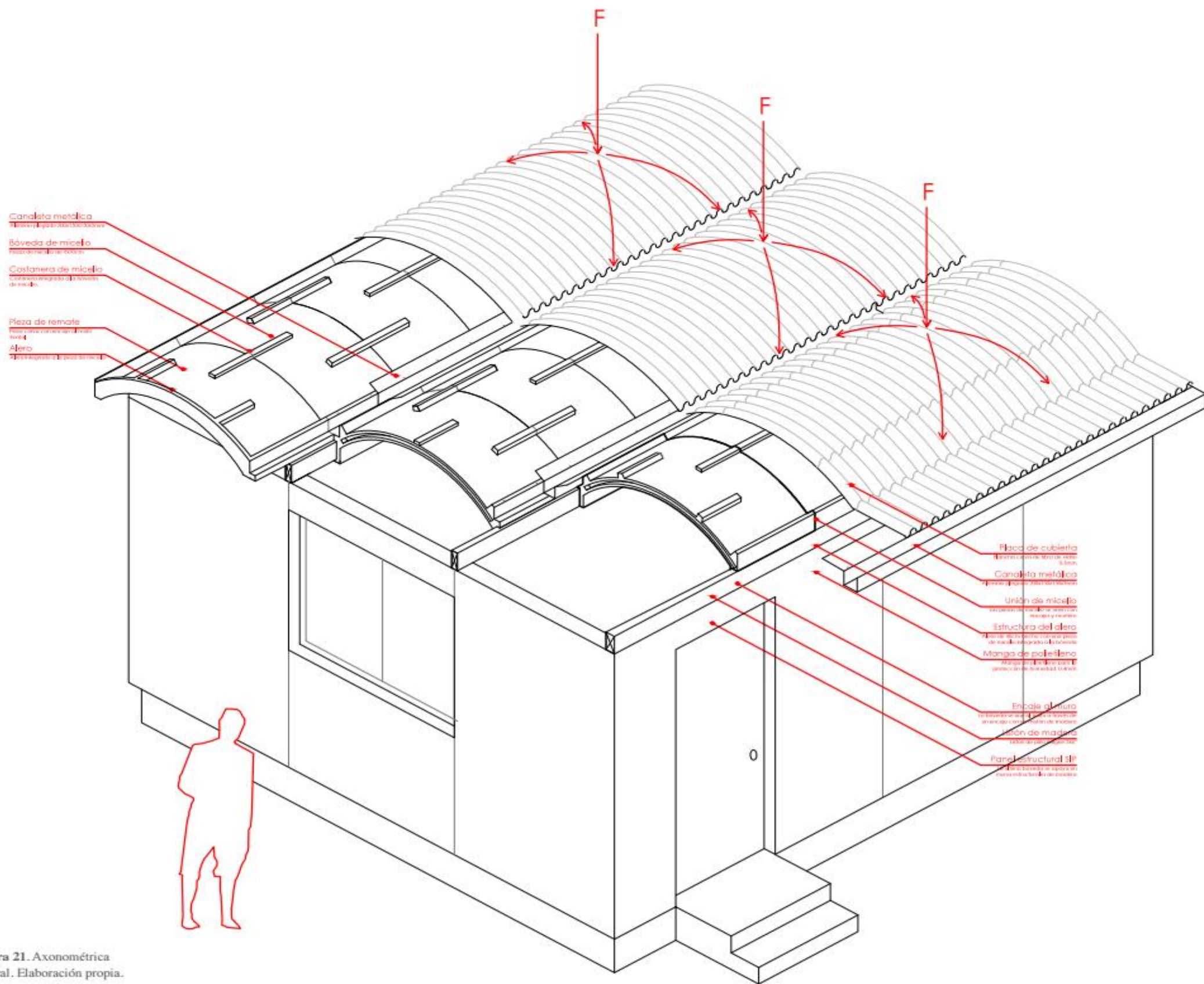


Figura 21. Axonométrica general. Elaboración propia.

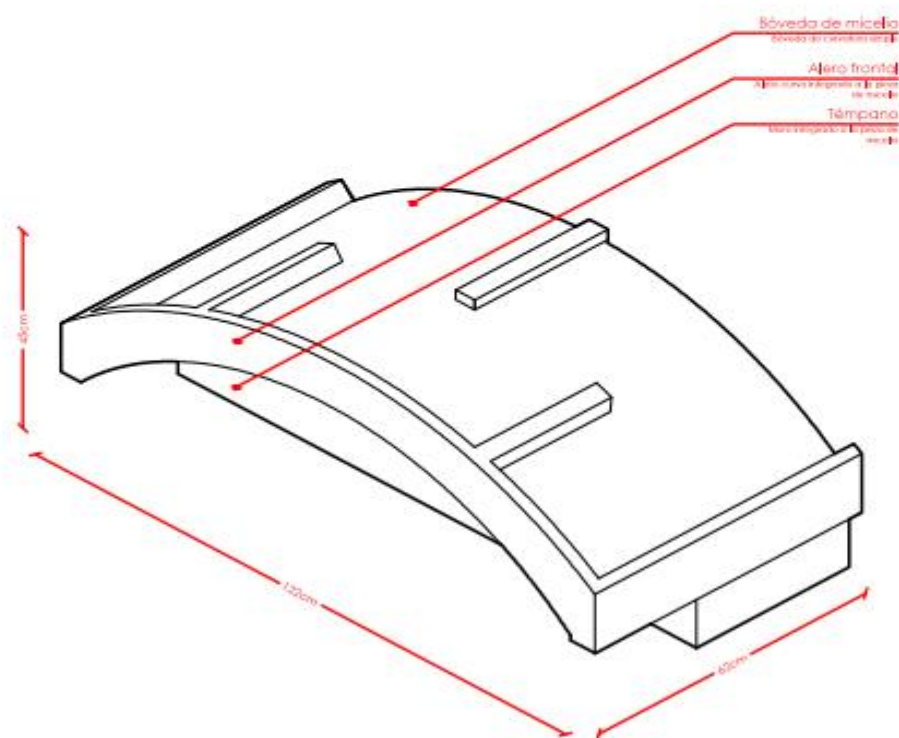


Figura 22. Axonométrica unidad de remate. Elaboración propia.

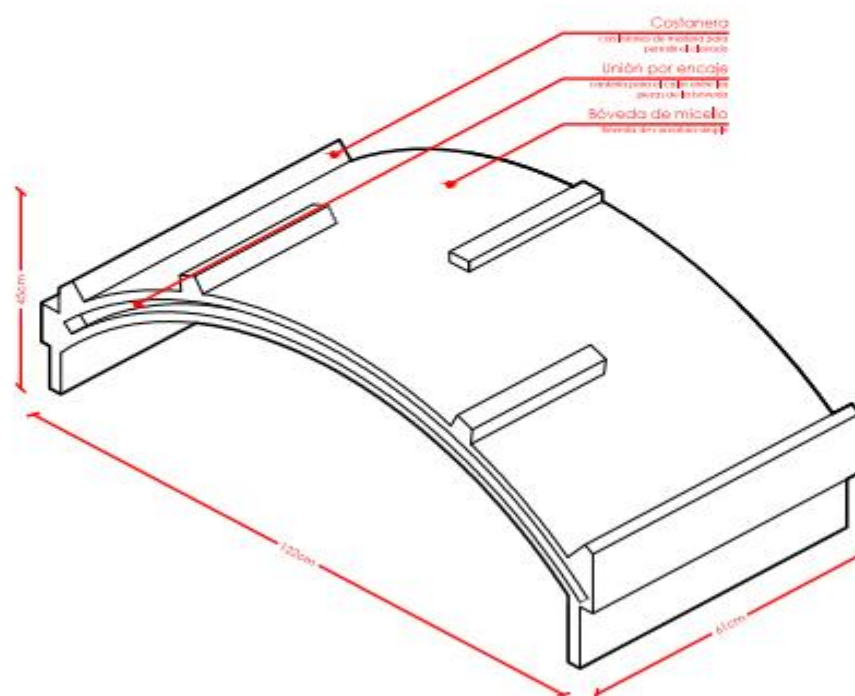
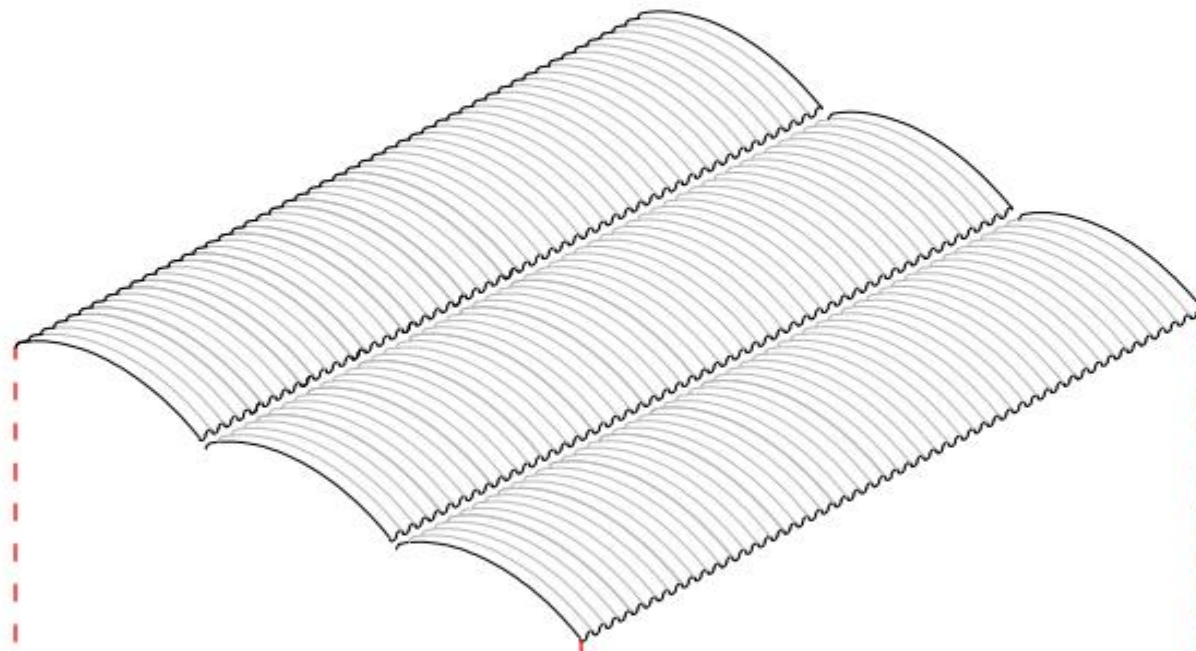


Figura 23. Axonométrica unidad de intermedia. Elaboración propia.

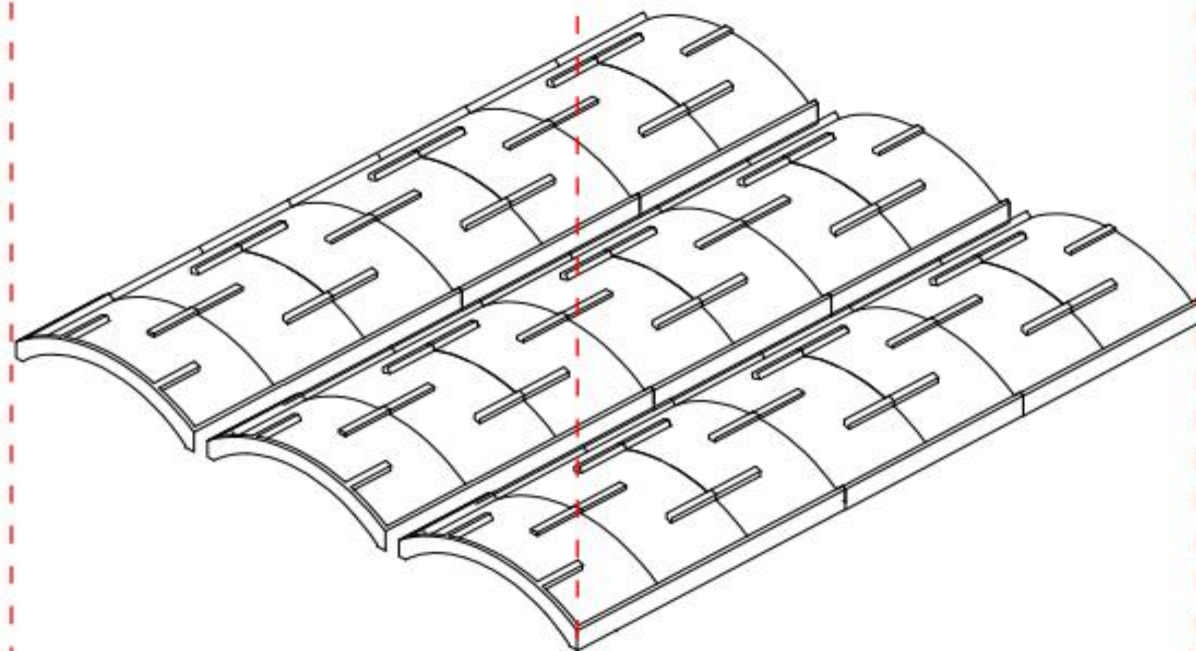
**Techumbre**

Placas curvas de  
fibra de vidrio



**Bóvedas de micelio**

compuestas de piezas  
prefabricadas



**Entramado de techo**

Colabora con la estructura de  
micelio.

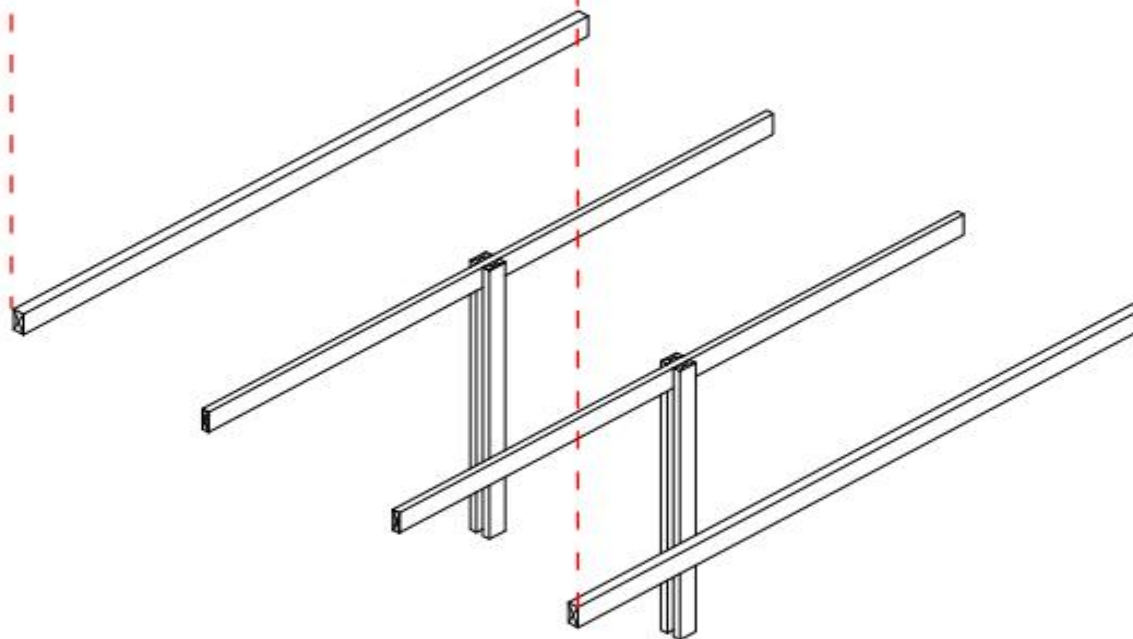


Figura 24. Axonométrica  
explotada. Elaboración  
propia.

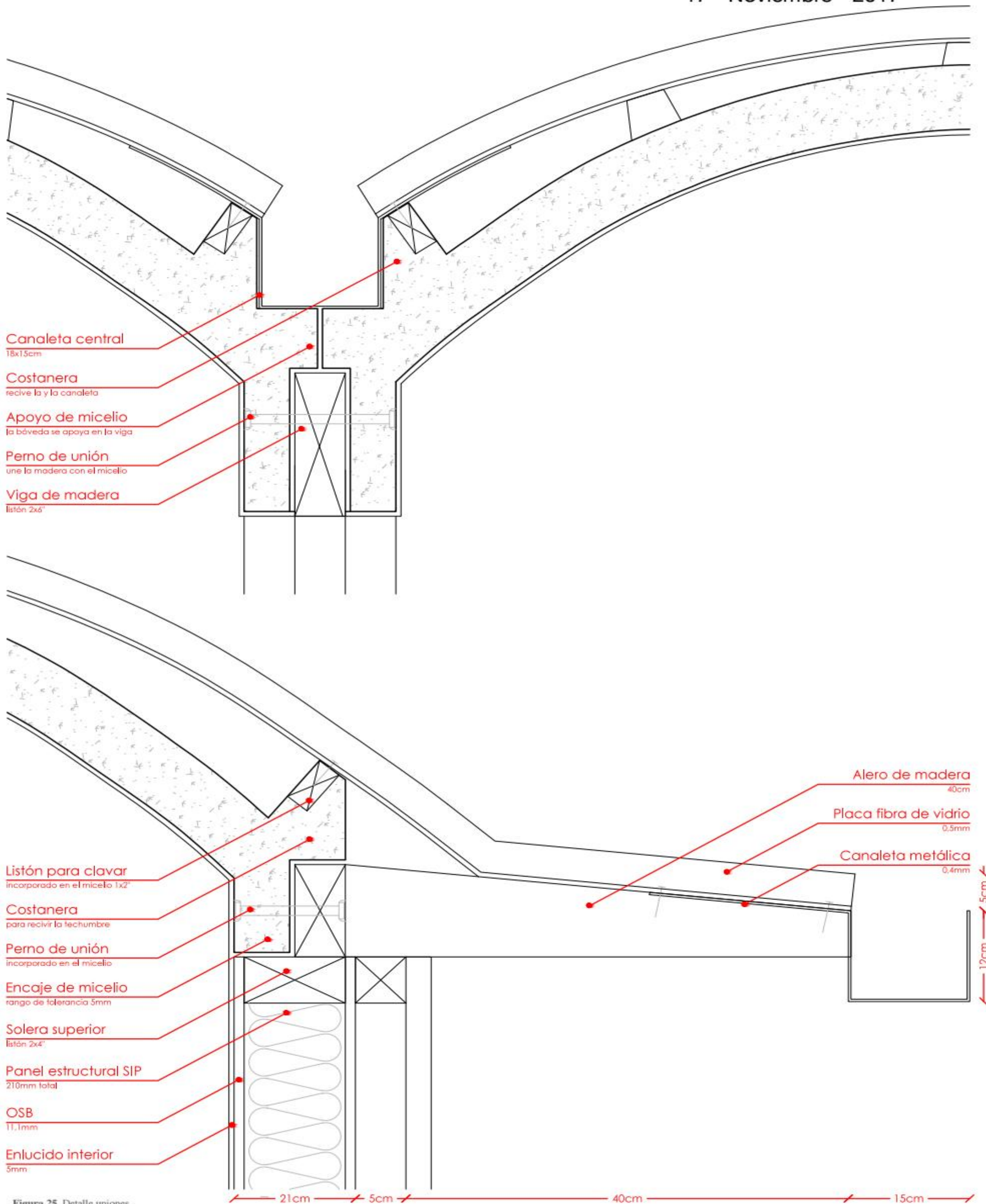


Figura 25. Detalle uniones.  
Elaboración propia.

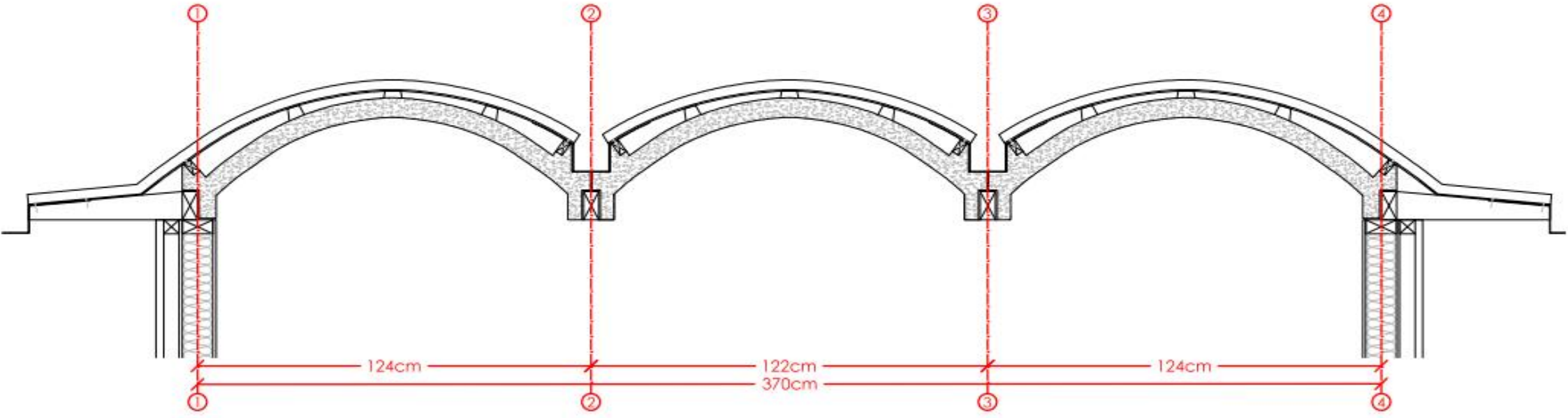


Figura 26. Corte transversal. Elaboración propia.

17. Ciclo de Vida:

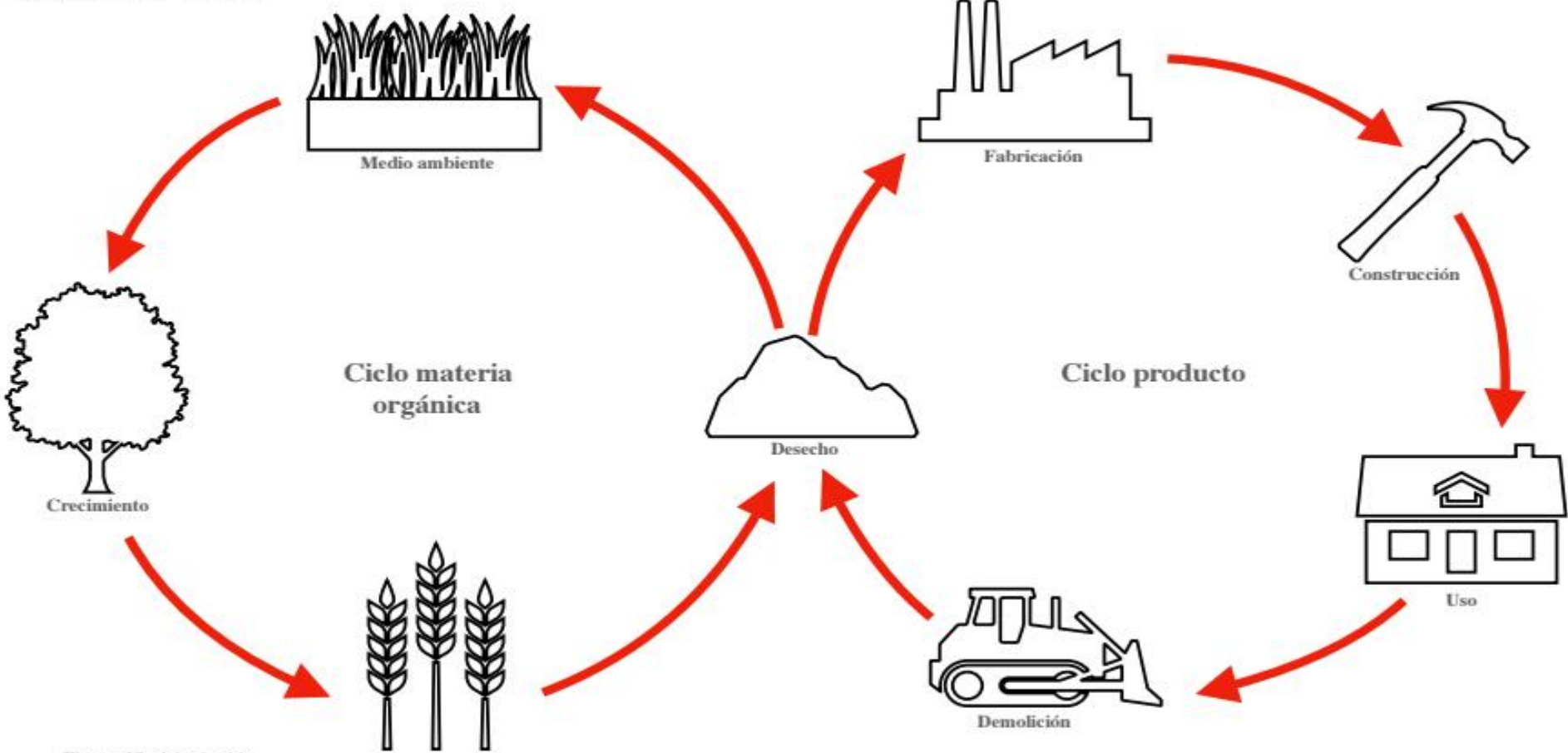


Figura 27. ciclo de vida. Elaboración propia.

## 18. Secuencia Evolutiva:

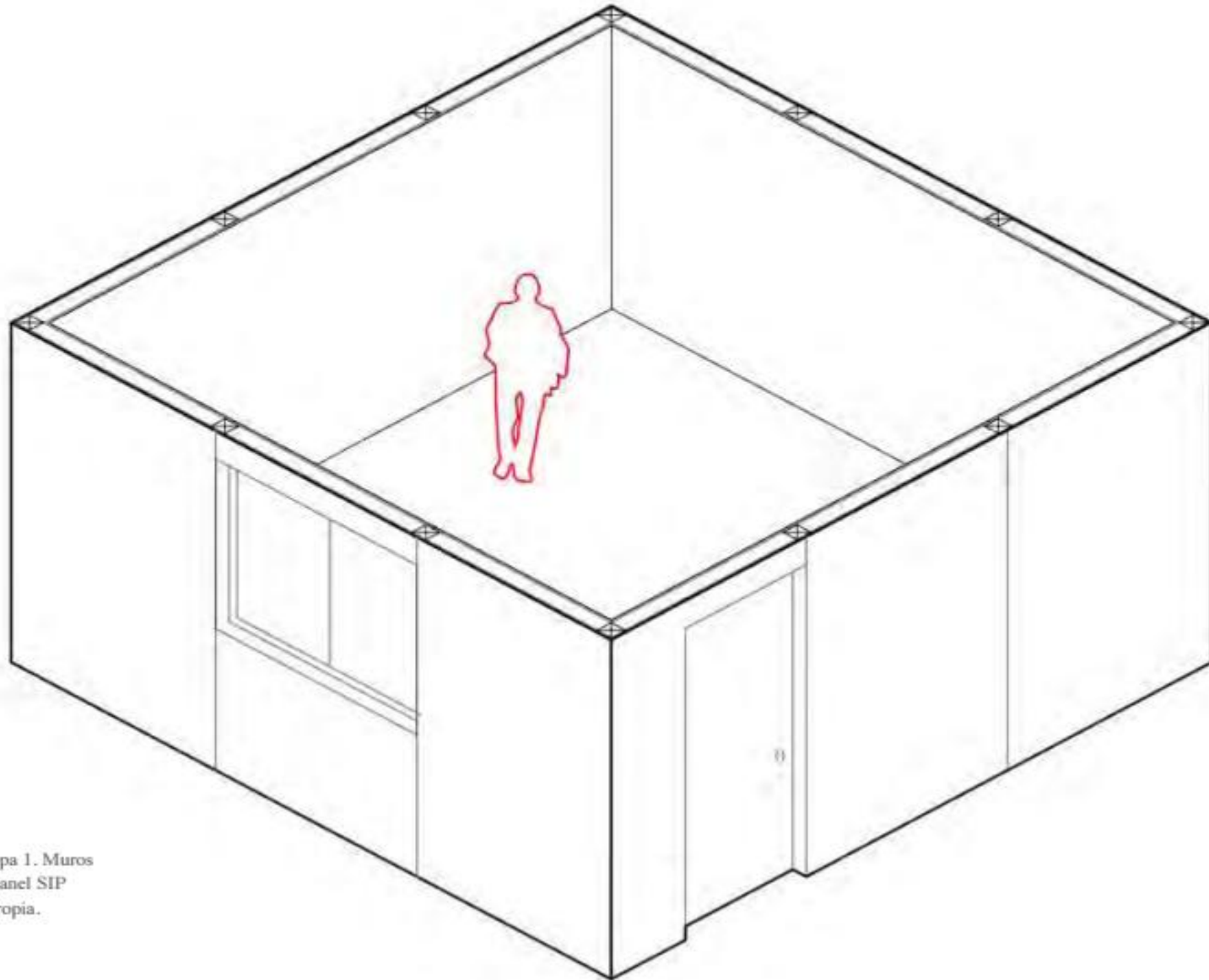


Figura 28. etapa 1. Muros estructurales panel SIP  
Elaboración propia.

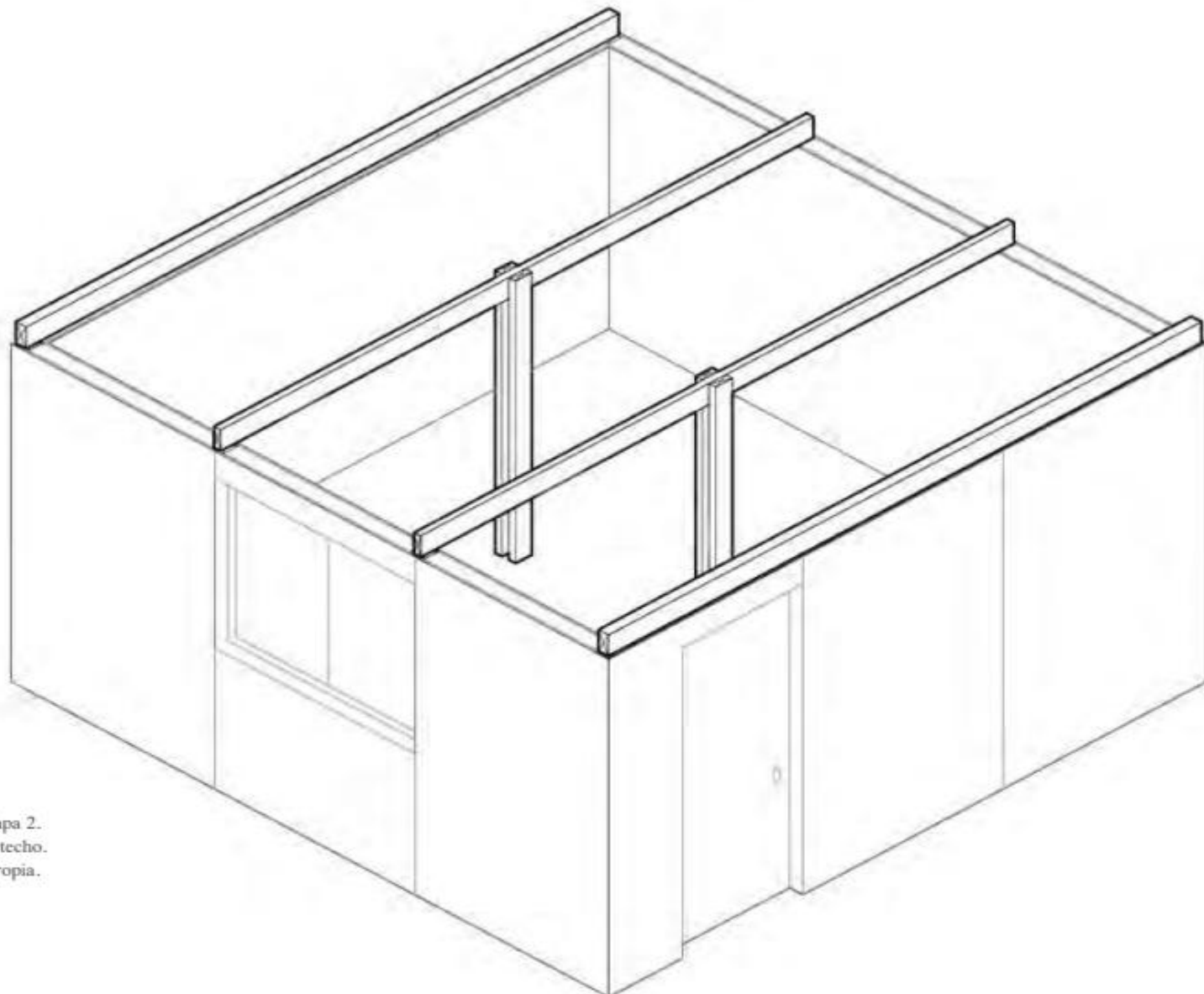


Figura 29. Etapa 2.  
Entramado de techo.  
Elaboración propia.

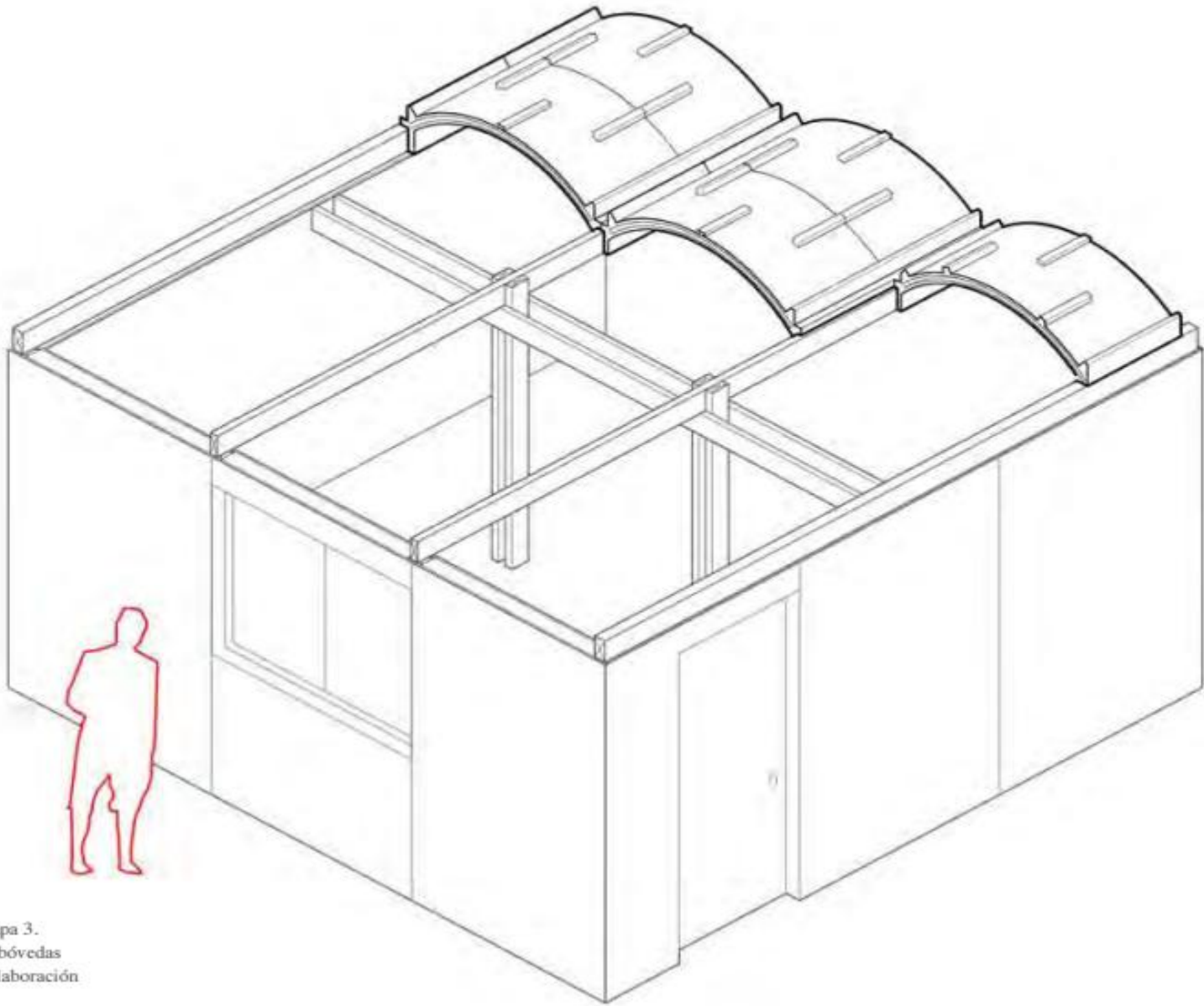


Figura 30. Etapa 3.  
Instalación de bóvedas  
intermedias. Elaboración  
propia.

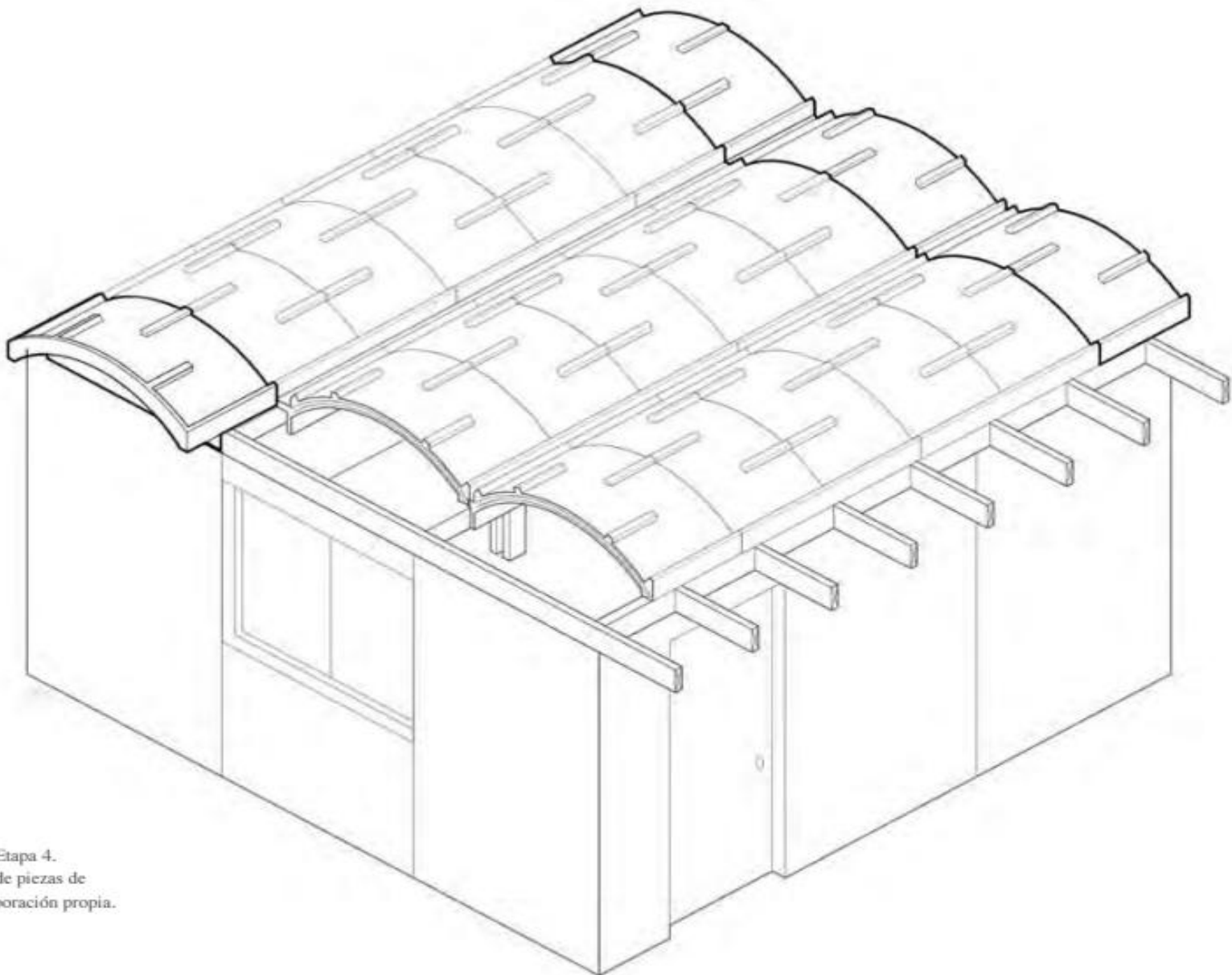


Figura 31. Etapa 4.  
Instalación de piezas de  
remate. Elaboración propia.



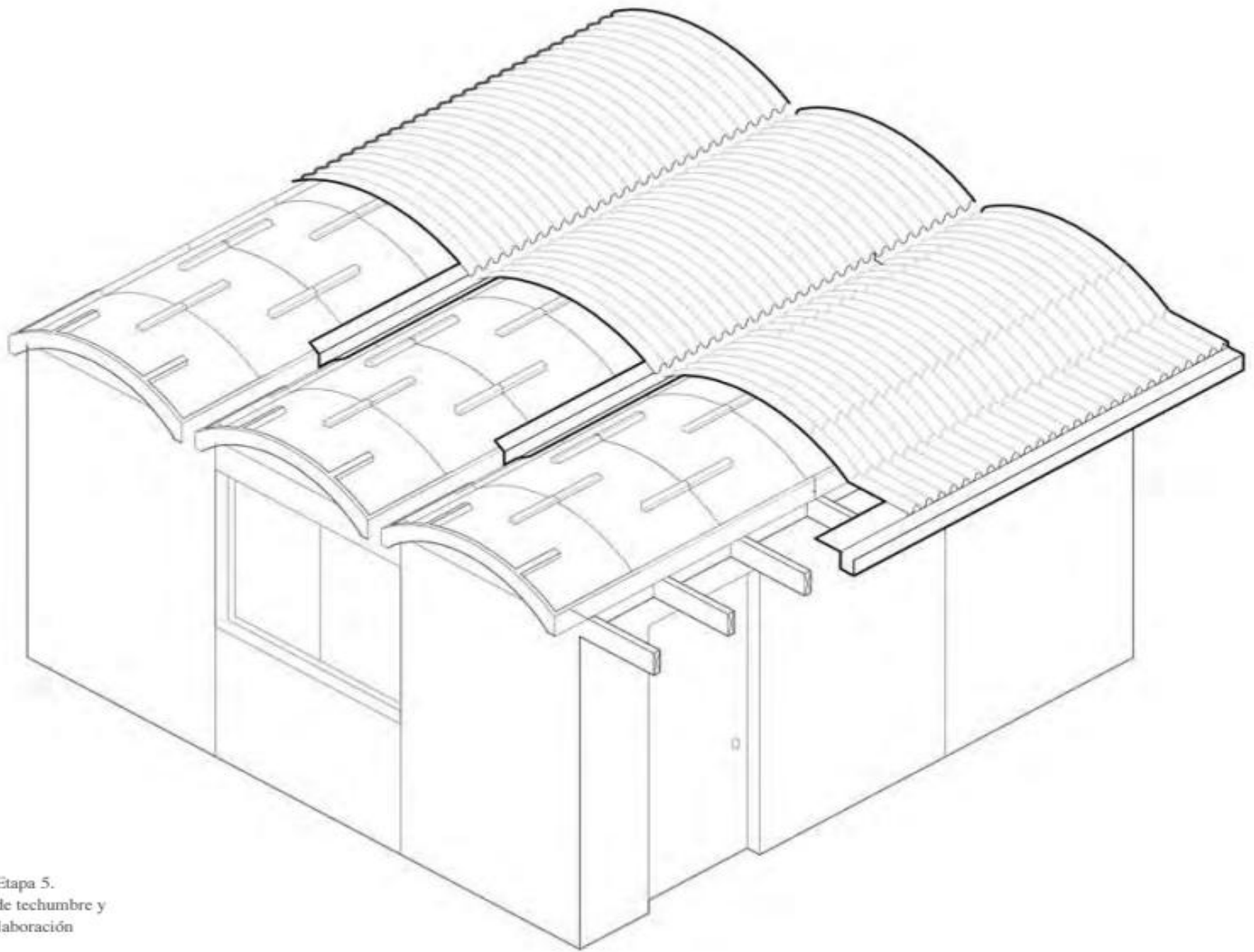


Figura 32. Etapa 5.  
Instalación de techumbre y  
canaletas. Elaboración  
propia.

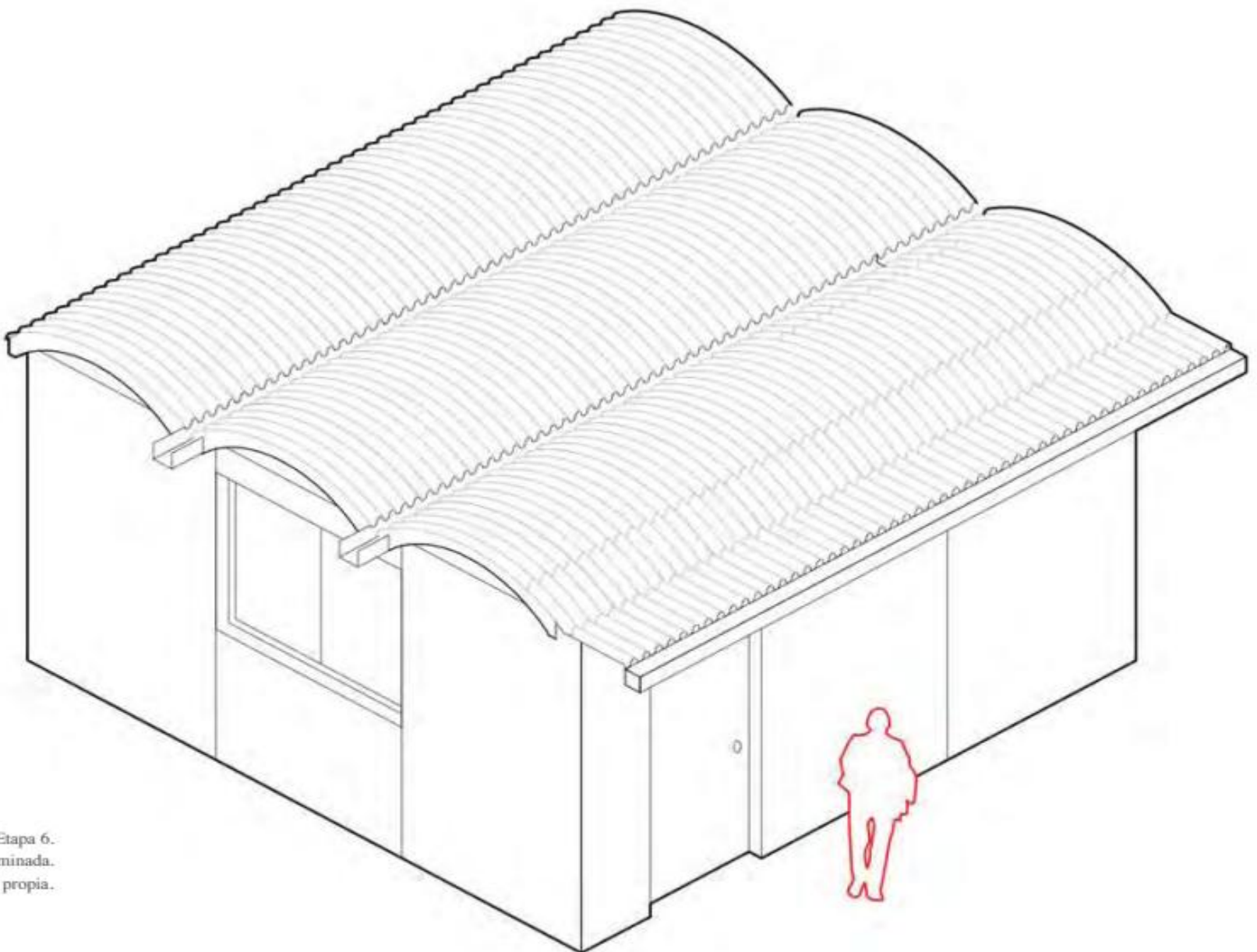


Figura 33. Etapa 6.  
Cubierta terminada.  
Elaboración propia.

### 19. Conclusiones finales:

A partir del estudio de las capacidades estructurales de arcos hechos de micelio de hongo, se pudo determinar que sí es posible mejorar la resistencia del compuesto de *Trametes versicolor* y cáscara de nuez *Juglans regia* mediante la forma estructural. En la experimentación se pudo observar que el material tiene una baja resistencia a la flexión y una alta resistencia a la compresión. Por lo anterior se recomienda trabajar con elementos de forma comprimida, como arcos y bóvedas, de esta manera, se minimizan al máximo las flexiones y se maximizan las compresiones (Torroja. 1957).

También se pudo concluir que la resistencia del material permite diseñar componentes estructurales que salven luces, siempre que trabajen a la compresión y no se sometan a altas sollicitaciones. Las características del compuesto determinan fuertemente la forma del elemento constructivo. Al tratarse de un compuesto de baja resistencia, la estructura debe sostenerse a travez de su forma más que por las capacidades del material. La resistencia del material también limita la escala del componente, pues sus capacidades no permiten salvar grandes luces.

Por otro lado, el compuesto biobasado puede ser moldeado, pudiendo alcanzar figuras complejas (Rodríguez. 2016). Esta característica del material permite elaborar elementos a partir de piezas con dobles curvaturas y ensambles. El moldeado también facilita la producción en

serie, por lo que es posible generar elementos prefabricados con este compuesto.

Los materiales biobasados pueden ser una alternativa para el campo de la construcción. Si bien estos compuestos presentan una serie de limitaciones en sus cualidades físicas, permiten construir de manera limpia y con un bajo impacto ambiental (Ross. 2013). En primer lugar, la elaboración del material se hace a partir de desechos orgánicos, lo que ayuda a utilizar recursos que de otra manera serían subutilizados (Rodríguez. 2016).

En segundo lugar, el proceso de producción casi no genera desechos y es de bajo consumo energético. Esto no es menor si se considera que más de la mitad de los desechos producidos en Chile son generados por la industria de la construcción (SINIA, 2010).

Finalmente, este material es biodegradable. De esta forma, cuando el elemento cumple su vida útil, el material se reintegra al medio ambiente y no se convierte en un desecho.

Para investigaciones futuras se recomienda medir de manera más precisa la resistencia del material, tanto a la compresión como a la flexión. Esto permitiría normalizar el compuesto y comparar sus capacidades con las de otros materiales de construcción. También se recomienda explorar las propiedades de otras combinaciones de hongo y sustrato, con el fin de encontrar un material con mejores características y una mayor resistencia.

**20. Bibliografía:**

1. Baixas, J. (2010). *Forma Resistente*. Santiago: Arq.
2. Benjamin, D. (2014). Hi-Fi. 2017, de MoMA Sitio web: <https://www.moma.org/slideshows/74/0>
3. Biomicelios (2016). Laboratorio de producción de micelios y semillas, de biomicelios. 2017, de Biomicelios Sitio web: <http://biomicelios.com/micelios/>
4. Dieste, E. (1987). *La estructura Cerámica*. Bogotá: Escala.
5. Furci G. (2007). *Fungi Austral; Guia de campo de los hongos más vistosos de Chile*. Andros Impresores. Chile
6. Harper, P. (2013, Sept. ). *Crafted for Care*. Architectural Review, 240, 73-79.
7. López, J. (2005). *Modelo de elementos finitos para el cálculo de arcos*. Castilla: UCLM
8. Moussavi, F., Lopez, D., Fortunato, B & Ludwig, R. (2009). *The function of form*. Boston: Actar D.
9. *NCh1537*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago, Chile, 2009.
10. Oliva, J., Antolín, P., Cámara, A & Goicolea, J. (2011). *Análisis estructural de algunas obras de Félix Candela mediante modelos de elementos finitos*. Hormigón y Acero, 62, 61-76.
11. Rodríguez, S. (2016). *Mycelium: Material biobasado, compuesto del micelio del hongo Trametes Versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia*. Santiago: UCh.
12. Rubió, J. (1991). *Dificultades para lograr la síntesis arquitectónica*. En *Antoni Gaudí: Estudios críticos* (13-27). Barcelona: Serbal.
13. Ruiz, C. (2015). *Rastrojos de cultivo y residuos forestales*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín 308, 193 páginas. Chile
14. Schlesier, K., Heisel, F. & Hebel, D. (2017). *MycoTree: Beyond Mining - Urban Growth*. 2017, de BRG Sitio web: <http://block.arch.ethz.ch/brg/project/mycotree-seoul-architecture-biennale-2017>
15. SINIA. (2010). *Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile*. 2017, de SINIA Sitio web: [http://www.sinia.cl/1292/articles-49564\\_informe\\_final.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49564_informe_final.pdf)
16. Torroja, E. 1957. *Razón y Ser de los Tipos Estructurales*. Madrid: Csic
17. Travaglini, S., Noble, J. & Ross, P. (2013). *Mycology matrix composites*. Proc., 28th Annual Technical Conf. of the American Society for Composites, C. Bakis, ed., DEStech Publications, Inc., Lancaster, PA, 517-535.
18. Zhaohui, Y., Zhang, F., Still, B., White, M & Amstislavski, P (2017). *Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam*. Journal of Materials in Civil Engineering, vol N°29, 124-133.

**21. Índice de imágenes y esquemas:****21.1 Imágenes:**

- **Figura 1:** Imagen objetivo. Elaboración propia
- **Figura 2:** Sebastián Rodríguez. Muestra de material micelio con doble curvatura. 2016. Santiago. Fuente: Mycelium, Material biobasado, compuesto del micelio del hongo Trametes Versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia.
- **Figura 3:** Partes del arco. Elaboración propia.
- **Figura 4:** Rebajamientos del arco. Elaboración propia.
- **Figura 5:** Distribución de las cargas en la bóveda de cañón corrido. Elaboración propia.
- **Figura 6:** Maqueta estructural colonia Güell. N/A. Fuente: Rubió, J. (1991).
- **Figura 7:** Eladio Dieste. Silo Saman. Vergara. 1974. Fuente: Estudio Dieste & Martínez.
- **Figura 8:** Santuario Padre Pío. Apulia. N/A. 2007. Fuente: Renzo Piano Building Workshop.
- **Figura 9.** Leonardo Finotti. Teletón Lambaré. Lambaré. 2012. Luster Magazine.
- **Figura 10.** David Benjamin. Hi-Fi Pavilion. New York. 2014. The Living.
- **Figura 11:** Carlina Teteris. MycoTree Pavilion. Seoul. 2017. BRG.
- **Figura 12:** Materiales para la esterilización del sustrato. Elaboración propia.
- **Figura 13:** Materiales para la inoculación del hongo. Elaboración propia.
- **Figura 14:** Materiales para prueba de resistencia. Elaboración propia.

- **Figura 15 (a, b):** Crecimiento del micelio y contaminación de la muestra. Elaboración propia.
  - **Figura 16 (a,b,c,d):** Prueba de resistencia a la compresión de probeta N°1. Elaboración propia.
  - **Figura 17 (a,b,c,d):** Prueba de resistencia a la compresión de probeta N°2. Elaboración propia.
  - **Figura 18 (a,b,c,d):** Prueba de resistencia a la compresión de probeta N°3. Elaboración propia.
  - **Figura 19 (a,b,c,d):** Prueba de resistencia a la compresión de probeta N°4. Elaboración propia.
  - **Figura 20 (a,b,c,d):** Prueba de resistencia a la compresión de probeta N°5. Elaboración propia.
  - **Figura 21:** Axonométrica general de proyecto. Elaboración propia.
  - **Figura 22:** Axonométrica unidad de remate. Elaboración propia.
  - **Figura 23:** Axonométrica unidad intermedia. Elaboración propia.
  - **Figura 24:** Axonométrica explotada. Elaboración propia.
  - **Figura 25:** Detalle uniones. Elaboración propia.
  - **Figura 26:** Corte transversal. Elaboración propia.
  - **Figura 27:** Análisis ciclo de vida. Elaboración propia.
  - **Figura 28:** Etapa 1, muros estructurales panel SIP. Elaboración propia.
  - **Figura 29:** Etapa 2, instalación entramado de techo. Elaboración propia.
  - **Figura 30:** Etapa 3, instalación piezas intermedias. Elaboración propia.
  - **Figura 31:** Etapa 4, instalación piezas de remate. Elaboración propia.
  - **Figura 32:** Etapa 5, instalación de techumbre y canaletas. Elaboración propia.
  - **Figura 33:** Etapa 6, cubierta terminada. Elaboración propia.
- **Tabla 2:** Probetas experimentación dos. Elaboración propia.
  - **Tabla 3:** Resultados experimentación dos. Elaboración propia.

## 21.2 Tablas y Gráficos:

- **Gráfico 1:** Zhaohui Yang. Resultados pruebas mecánicas. Fuente: Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam.
- **Tabla 1:** Probetas experimentación uno. Elaboración propia.

# Bio-fabricación de componentes constructivos capaces de controlar el ruido urbano a partir de micelio de *Pleurotus ostreatus* y cáscara de nuez.

Matías Villanueva Casado  
Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica  
2<sup>do</sup> semestre 2017



Fig.1: imagen

## ▣ -Abstract

En esta investigación aplicada se buscaba caracterizar las capacidades de absorción acústica de un bio-material basado en micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos agrícolas tales como la cáscaras de nuez. Los resultados de los distintos ensayos realizados arrojaron que había un promedio de 15-20 dB de reducción del ruido. Esto se logró a partir de la manipulación de la granulometría del sustrato usado, generando una variación en la densidad del bio-material. A partir de estos resultados se diseñó un sistema de paneles para revestimiento de fachada con el fin de reducir la contaminación acústica que ingresa a los recintos que solemos habitar. Se buscó un caso de estudio sobre el cual trabajar a modo de ejemplo para la implementación de los paneles. Se diseñó el sistema de instalación en fachada a través de planimetría y dibujo técnico.

Palabras claves: *Pleurotus ostreatus*, cáscara de nuez, ruido urbano, panel de absorción acústica.

## 1<sup>era</sup> Parte: Formulación

### -Contextos

#### Cultural

Hoy en día, se han determinado mediante variados estudios los niveles de contaminación acústica con los que contamos en las ciudades. En Santiago más específicamente, según la investigación de Platzer:

*“El ruido ambiental se ha convertido en uno de los contaminantes más molestos de la sociedad moderna que incide directamente sobre el bienestar de la población. Las personas sometidas a grandes ruidos de forma continua, experimentan serios trastornos fisiológicos, como pérdida de la capacidad auditiva, alteración de la*

actividad cerebral, cardíaca y respiratoria, trastornos gastrointestinales, entre otros.” (Platzer, Iñiguez, Cevo y Ayala, 2007)

Para nadie es ajeno esto, y no deja ser relevante a la hora de habitar la arquitectura. Al encontrarse dentro de una vivienda, en un ambiente de trabajo o dentro de una sala de clase, el ruido exterior proveniente del espacio público, no debería ser un factor que afecte nuestra manera en que desarrollamos actividades dentro de estos lugares. Por contaminación acústica en este caso, lo entenderemos como el exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona, y que además puede traer un efecto negativo en el desarrollo normal de la vida durante el día. También se le podría llamar ruido, ahondando en su carácter molesto, confuso y nocivo para la salud (Fig. 2).

dB	Niveles de Intensidad Sonora	Percepción subjetiva
150	Perforación del tímpano	Intolerable
140	Cohete espacial	
130	Avión al despegar	
120	Música rock amplificada	
110	Taladrador de pavimento	
100	Metro en marcha	Muy ruidoso
90	Moto sin tubo de escape	
80	Tráfico pesado	
70	Gritos de niños	
60	Conversación en voz alta	Poco ruidoso
50	Música de radio (tono alto)	
40	Música de radio (tono bajo)	
30	Conversación en voz baja	
20	Susurro en un bosque	Silencio
10	Respiración tranquila	
0	Umbral de la audición	

Fig. 2: ruidos comunes y como los percibimos.

Los principales métodos aplicados para controlar la contaminación acústica, en su nivel más general, son 3: aislamientos especializados, que deberían ser diseñados dentro de la misma arquitectura de la obra; barreras acústicas, elementos externos a la arquitectura, de carácter paliativo, que suelen ser empleados en carreteras y autopistas; y por último, ya a nivel personal de cada individuo, la utilización de tapones.

### Social

En abril del año 2017, el Ministerio del Medio Ambiente de Chile lanzó una aplicación con las

mediciones de ruido diurno y nocturno de Santiago. En sus estudios determinaron que un 19% de la población de Santiago (alrededor de 1 millón 200 mil personas) se encontraba expuesta a nivel muy altos de ruido durante el día, de alrededor de 80dB o más, siendo las comunas más afectadas Santiago Centro, Puente Alto, Maipú, Las Condes y Ñuñoa. También determinaron que alrededor de un 29% de la población (alrededor de 1 millón 800 mil personas) se encontraba expuesta a niveles de ruido muy altos durante la noche. Su estudio también arrojó las comunas con menor cantidad de ruido diurno, siendo estas las comunas de Lo Prado, San Joaquín, Huechuraba, Lo Barnechea y Padre Hurtado. Este “mapa de ruido” (Fig. 3) deja establecido en donde es que es necesario tomar acciones para disminuir los niveles de ruido de la ciudad.



Fig. 3: “mapa de ruido” de Santiago.

Si bien se comprende que la investigación del Ministerio midió la contaminación acústica en la calle, deja de lado el ruido que entra a nuestros hogares y lugares de trabajo, lugares donde solemos pasar más tiempo durante el día. Obviamente, la principal manera de disminuir la contaminación acústica presente en la ciudad sería controlando las fuentes emisoras del ruido, pero debido a su naturaleza, hay algunas que no pueden ser controladas o evitadas, y es ahí en donde entra en juego esta investigación.

Es por eso que se eligió un caso de estudio sobre el cual se proyectaría, de manera hipotética, la implementación de los paneles de micelio en su fachada. Este es el edificio Cataluña (Fig. 4), un edificio de departamentos ubicado en la intersección de la calle Rosas y la avenida Manuel Rodríguez, el cual su fachada principal da hacia la Autopista Central, fuente de una gran cantidad de ruido urbano (sobre 80dB), como se puede notar en el estudio del Ministerio (Fig. 5).



Fig. 4: fotografía del edificio a intervenir.



Fig. 5: "mapa de ruido" de la zona aledaña al edificio (en negro), en azul sobre 80dB y rojo sobre 60 dB.

## Tecnológico

Para esto la arquitectura ha implementado diversas maneras de aislar y absorber el sonido exterior antes de que entre al interior. Primero hay operaciones de diseño, en donde por ejemplo una decisión sería no poner las habitaciones de un edificio de departamento orientadas hacia la calle. Luego hay elementos, en donde por ejemplo destacan las barreras acústicas presentes en autopistas. Y por último hay materiales, siendo los principales materiales usados hormigón y albañilería, en el caso de la aislación acústica, y espumas de poliuretano y fibras minerales (como la lana de vidrio) en el caso de la absorción acústica. Siendo que las capacidades de aislación acústica del hormigón y la albañilería no pueden ser intervenidas, debido a su condición material y sus formas inherentes de construcción, es en la creación de materiales de absorción acústica en donde se adscribe la presente investigación. En la cual se buscara desarrollar un nuevo bio-material a partir de micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos agrícolas. Se estudiarán sus capacidades de absorción acústica para ser empleado como panel de revestimiento de fachadas, principalmente en ventanas y balcones, que es por donde más entra el ruido proveniente de la calle a los espacios interiores, ya que si bien las espumas de poliuretano y la lana de vidrio son eficaces en su funcionamiento, sus procesos productivos no son los mejores, ambientalmente hablando al estar compuesta a partir de derivados del petróleo (en el caso de la espuma de poliuretano). Y en segundo lugar, son materiales que demoran mucho tiempo en descomponerse y que no pueden ser reciclados.

Es en el desarrollo de un nuevo bio-material con capacidades de absorción acústica en donde esta investigación encuentra su fundamento, un material de producción limpia, económica, amigable con el medio ambiente tanto en su producción como en su posterior desecho, además de poder ser reciclado y reutilizado.

## -Relevancia

Tenemos que generar nuevas maneras de construir, nuevos materiales, que no requieran de tanta energía, que no requieran de recursos específicos, si no de materiales que se encuentren en abundancia en el planeta, de materiales que en su producción, no contaminen tanto como los materiales más convencionales, y es más, si es posible, absorban las emisiones finales de su producción.

Por otro lado, es necesario disminuir la contaminación acústica en nuestras ciudades debido a sus efectos nocivos en nuestra salud tanto física como psicológica. Algunas de las lesiones consecuencia de la exposición prolongada al ruido urbano son: fatiga auditiva, que se caracteriza por ser el descenso transitorio de la capacidad auditiva; hipoacusia permanente, y como lo establece su nombre se caracteriza por la pérdida auditiva permanente de la audición en sonidos entre 4000hz y 6000hz; trauma acústico agudo, que se caracteriza por la pérdida auditiva por una exposición puntual a un sonido de elevada intensidad. Mientras que algunos de los efectos en nuestra salud psicológica son: fatiga, estrés, irritabilidad, astenia, problemas de relación social, susceptibilidad, agresividad y trastornos de la personalidad y del carácter (García, 2010).

Por último, esta investigación podría llegar a ser un pie y un basamento para estudios posteriores en el área. En tiempos futuros en donde las tecnologías hayan avanzado, y en donde la conciencia de prevención medioambiental se encuentre más desarrollada y más integrada a la cultura popular. Además, si bien la mejor solución para la contaminación acústica sería disminuir el ruido producido a nivel general desde su fuente emisora, se comprende que siempre habrá generación de ruido por construcciones, el transitar de los autos o actividades sociales en el espacio público, situaciones que nunca dejarán de existir en nuestras ciudades ya que son inherentes de ella. Esta investigación podría llegar a contrarrestar o disminuir eso,

generando una mejor calidad de vida para los habitantes.

## -Observaciones Libres

Basta con darse una vuelta por el centro de Santiago para darse cuenta de cómo el ruido urbano nos afecta. Autos y transporte público corren a toda velocidad por la Autopista Central, mientras a sus costados, los autos se encuentran detenidos, tocando la bocina sin resultado para que el tráfico pueda moverse. Gente camina ensimismada mirando el teléfono, mientras otros compañeros de trabajo deben hablarse cada vez más fuerte porque no logran escucharse. Los mismos que más tarde al salir del bar se quedarán conversando afuera mientras unos pisos más arriba alguien trata quedarse dormido para tener que levantarse nuevamente por la mañana. Música suena de la banda improvisada que toca en la vereda sin ganar mucha atención. Vendedores ambulantes regatean sus productos. Golpes, martillazos, gritos, silbidos y taladros logran escucharse desde todas las construcciones. El obrero, encargado de reparar la calle ocupa protectores mientras realiza sus trabajos, pero el desafortunado transeúnte que debe pasar a su lado no cuenta con aquella protección. Lo mismo aquel que pasa escuchando música, que debe subir el volumen para poder escuchar. La marcha en la Alameda llena de cantos y protestas el espacio público, para que luego sean reemplazados por sirenas, advertencias y disparos. Todos estamos tan acostumbrados a todos estos ruidos que no nos percatamos del daño que nos hace, alterando nuestro sistema nervioso, haciendo que seamos más susceptibles a alterarnos, a ponernos de mal humor.

## -Marco Teórico

1) Primero que todo, habría que describir que es el sonido y cuáles son los fenómenos que pueden ocurrir en él al llegar a un objeto. El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras y ondas acústicas que se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.



Los principales fenómenos del sonido son la reflexión, la refracción y la absorción (Fig. 6). La reflexión es cuando una onda incide sobre un objeto generando una onda reflejada con el mismo ángulo de incidencia. Esto suele ocurrir en materiales de masa, tales como el hormigón o la albañilería. La refracción es parecido a la reflexión, pero en ésta, el ángulo de la onda reflejada no es igual al ángulo de la onda incidente, y además se produce una dispersión de la onda en ondas menores. Esto puede verse en materiales como madera en disipadores de onda en interiores como salas de reunión o salas de grabación. Y por último la absorción se refiere a cuando una onda que incide sobre un objeto, es transmitida a través de él y es disipada debido a su composición, permitiendo que solo una pequeña fracción de la onda incidente siga su camino. Se suele producir en materiales tales como la espuma de poliuretano.

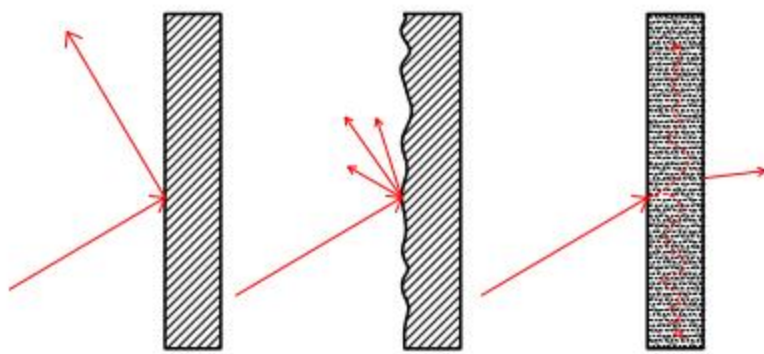


Fig. 6: fenómenos del sonido, reflexión, refracción y absorción, respectivamente.

Al investigar el estado de arte sobre esta beta en los bio-materiales basado en micelios de hongos, se descubrió que existía una especie de vacío en el conocimiento universal sobre las capacidades de absorción acústica del material. Si bien hay una gran cantidad de estudios sobre sus capacidad de aislación térmica, estos estudios, o no mencionaban su capacidad de absorción acústica, o no la estudiaban a fondo, o simplemente la dejaban como una posible aplicación pero sin ningún tipo de medición realizada.

2) Un ejemplo de un estudio que si midió sus capacidades, fue la investigación realizada por M.G Pelletier, llevada a cabo el año 2013, en donde se exploró las capacidades de absorción acústica de distintos bio-compuestos basado distintos sustratos agrícolas unidos por un hongo de la división *Basidiomycota*, como el

*Pleurotus ostreatus*, con el fin de ser implementados en la industria automotriz para absorber el ruido producido por los motores y el sonido de la calle. Los sustratos ocupados fueron paja de arroz, cáñamo, kenaf, tallos de sorgo, entre otros. Las frecuencias de sonido medidas fueron de 250, 310, 400, 630, 1000, 1600, 2500 y 4000 Hz. Si bien esta investigación ahondo mucho en cuanto a las distintas composiciones del panel dependiendo del sustrato ocupado, deja establecido al final la necesidad de investigar como el factor formal puede afectar la capacidad de absorción acústica de estos nuevos materiales. “Based upon this work, future research is planned to examine this novel new composite in other acoustic applications where shape modifications can further enhance the performance.” (Pelletier, 2013). En la fig. 7 se muestra un grafico comparativo de distintos materiales y su capacidades de transferencia acústica.

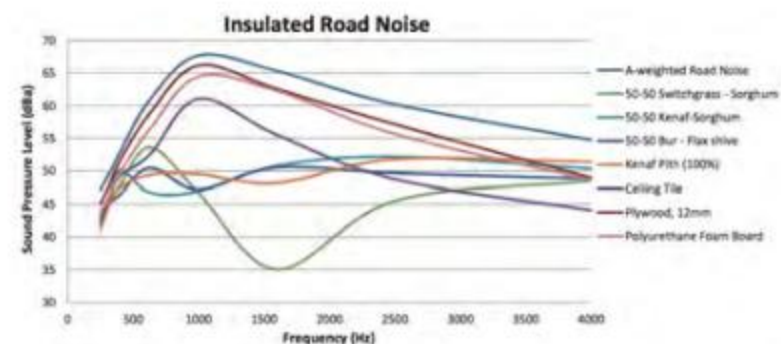


Fig. 7: Grafico representativo de niveles de transferencia de sonido de distintos materiales.

3) Otro aspecto relevante que se plantea investigar en esta oportunidad es como la modificación formal de los paneles puede llegar a afectar en sus capacidades de absorción acústica, en cuanto a sus dimensiones y la forma de su superficie. De esta investigación se podría destacar el estudio realizado por Wen-Hwa Chen en el año 2000. Las formas superficiales estudiadas fueron los triángulos, semicírculos, rectángulos convexos y completamente lisos. Los resultados del estudio determinaron que la con mejores cualidades eran aquella de superficie confeccionada a partir de triángulos. La fig. 8 muestra una abstracción de las superficies estudiadas y su descomposición geométrica. Parte del estudio también revela que hay ciertas geometrias que funcionan mejor con ciertas frecuencias de sonido. Por ejemplo, si la textura superficial es más pequeña, funciona mejor con sonidos de alta frecuencia, caso contrario a

sonidos de baja frecuencia que son más absorbidos por superficies con texturas de mayor tamaño. Sin embargo, este estudio fue realizado con materiales convencionales de absorción como la espuma de poliuretano, lo cual nos deja con la interrogante de si efectivamente esta superficie será igual de efectiva para el nuevo bio-material a desarrollar.

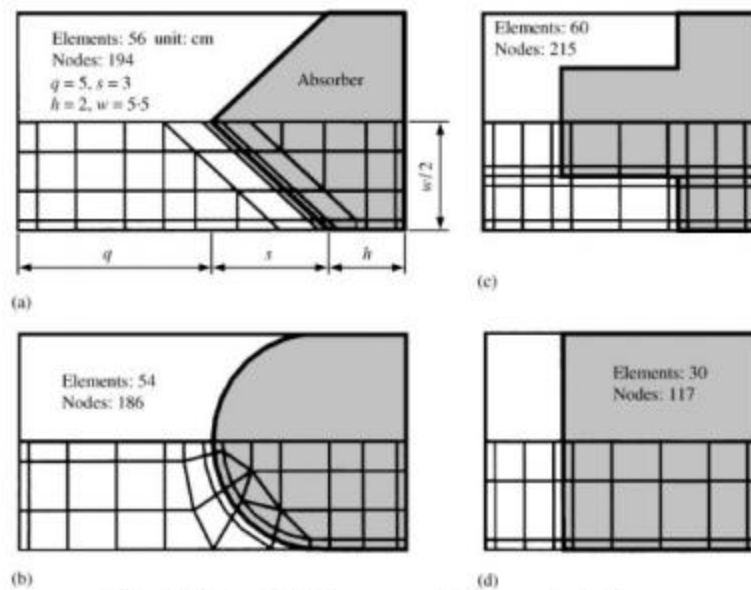


Fig. 8: Las distintas superficies estudiadas.

4) Para la confección del panel, también es necesario como estudiar sistemas y métodos para poder incorporarlo en la arquitectura, ya que si bien el material puede llegar a funcionar, necesita de una estructura externa en donde albergarse para poder implementado en las fachadas que se busque revestir. Para esto se debería encontrar un sistema que también logre tener un bajo impacto ambiental y que sea de alta facilidad de instalación y desecho. James Sargianis, el año 2013, investigo sobre la implementación de materiales naturales como bambú, algodón y madera de balsa, en compuestos estructurales de tipo sándwich. Además también estudio como la incorporación de estos materiales naturales ayudaban a aumentar la capacidad de absorción acústica de los paneles. Si bien esto era un avance por sobre el estado del arte en el tema, para unir los materiales entre si ocupaba muchos procesos industriales, además de tener que incorporar resinas vinílicas para unir los materiales entre si, provocando así que estos compuestos fueran mucho más difíciles de biodegradarse. En la fig. 9 se muestran algunos de los paneles confeccionados en la investigación. A: un esquema de la composición del compuesto, es decir dos caras

y un centro. B: bambú y madera de balsa. C: algodón e interior de Rohacell (espuma estructural). D: fibra de carbono y Rohacell. E: algodón y pino.

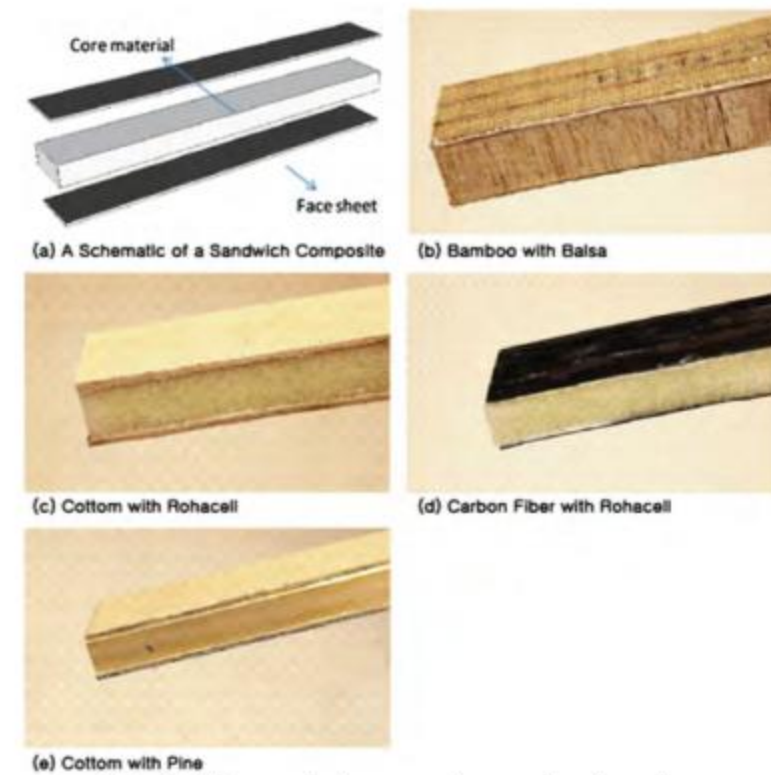


Fig. 9: Algunos de los paneles confeccionados.

## -Hipótesis

El cruce entre las cualidades materiales del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*, con las cualidades formales del diseño de un componente constructivos de fachada, permitirán reducir o controlar el ingreso de ruido urbano hacia el interior de los recintos.

## -Objetivo General

Controlar el ingreso de ruido urbano al interior de recintos habitables.

## -Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades de absorción acústica del material.
- Diseñar un componente constructivo de revestimiento de fachada.
- Proponer aplicaciones para su uso en la arquitectura vivienda de gran escala.

## -Estado de Arte

### 1) Oficina Corpuscoli: MOGU

Mogu es un proyecto experimental de la oficina Corpuscoli en cual se baso en el desarrollo de un bio-material a partir de micelio de hongo y residuos agrícolas, en un esfuerzo de estandarizar y escalar la producción de productos hechos a partir de micelio. Dentro de sus experimentaciones, se encuentran una serie paneles de absorción acústica (Fig. 10).



Fig. 10: paneles instalados en muro.



Fig. 11: detalle unión paneles



Fig. 12: detalle unión paneles.



Fig. 13: detalle de material.

Si bien este es un buen acercamiento al tema, debido a la naturaleza variable del proyecto al ser más una exploración material, en donde se impone la necesidad del cliente por sobre las verdaderas cualidades del micelio, se podría deducir que esta experimentación no ahondo en cuales son las características que otorga a un material, en este caso de micelio, una buena capacidad de absorción acústica.

### 2) Pfeiffer Lab: Wall Flower Tiles

El proyecto desarrollado por Eric Pfeiffer, consta de unidades independientes de absorción acústica que pueden configuradas de varias maneras. Están construidas a partir de MycoBoards de Ecovative, que es una suerte de placa compuesta de un bio-material basado en micelio y una resina natural. Además se encuentran recubiertos por una tela natural de rápida descomposición (Fig. 14).



Fig. 14: ejemplo de configuración del producto.

Algo que se podría destacar de este caso en la capacidad que adquiere el cliente de disponer de estas “flores” como estime conveniente, pero esto al mismo tiempo presenta el problema de que el usuario de este producto no necesariamente va a saber acústica, comprometiendo las capacidades del producto. Además, si va a ser revestido en tela, podría ser hecho a partir de cualquier otro material, haciendo que no resalten en verdad las cualidades visuales de los bio-materiales.

### 3) Ken Lush: Sinewave Acoustic Wall Tile

Este proyecto fue desarrollado por Ken Lush, perteneciente a la empresa Ecovative, y consta en un sistema de paneles acústicos desarrollados con el producto MycoFoam, el cual es una especie de espuma de baja densidad elaborada a partir de micelio de hongo y desechos agrícolas (Fig. 15).



Fig. 15: paneles aislados.



Fig. 16: paneles instalados en muro.



Fig. 17: dibujo del panel.

Algo destacable de este proyecto es como el diseño superficial de los paneles, hace que estos puedan ser dispuestos en serie sin crear una separación evidente entre cada panel (Fig. 17), asemejándose a los paneles de absorción acústica convencionales, pero en una forma más ecológica.

### 4) Ecovative: Hive Acoustic Wall Tile

Este es un producto desarrollado por la empresa Ecovative, que al igual que el resto de los casos presentados consta de una serie de pequeños paneles que pueden ser montados de manera individual en interiores como elementos de absorción acústica. Estos cuentan con forma de hexágono, de manera referente a los nidos de abejas en un intento de darle una apariencia más orgánica (Fig. 18).



Fig. 18: unidad.



Fig. 19: instalación de paneles en muro.

Un problema con el que cuentan todos estos casos, es que su uso se encuentra remitido a interiores, espacio en donde en general el ruido puede ser controlado. Ningun caso emplea su producto en el exterior, en el espacio urbano, en donde es crítica la contaminación acústica con la que contamos actualmente.

## 2<sup>da</sup> parte: Validación

### -Materiales y Métodos

#### Materiales

-Cáscara de nuez: será utilizada como sustrato para la confección de las probetas y los paneles del bio-material.

-Kit de cultivo Frutos de Lonquen: kit para cultivar el hongo *Pleurotus ostreatus* de manera domestica. Se utilizara como fuente de micelio en la Elaboración de Probetas 1 debido a la falta de las semillas de Biomicelios.

-Semillas de trigo inoculadas con hongo *Pleurotus ostreatus* proveniente de Biomicelios: se utilizara como fuente de micelio en la Elaboración de Probetas 2.

#### Insumos

-Agua: será utilizada para lavar el sustrato para así liberarlo de cualquier contaminación superficial como tierra. Además también será utilizada en el proceso de pasterización del sustrato.

-Alcohol: será utilizado como medio de esterilización parcial de todos los implementos usados durante la experimentación.

-Bandejas metálicas: serán utilizadas como molde durante la Elaboración de Probetas 1.

-Bandejas plásticas: serán utilizadas como molde durante la Elaboración de Probetas 2.

-Bisturís: serán utilizado para cortar los elementos utilizados en cada elaboración de probeta de manera estéril.

-Bolsas plásticas: serán utilizadas para almacenar el sustrato antes de ser esterilizado.

-Colador metálico: será utilizado para colar exceso de agua del sustrato, tanto en su lavado como en su esterilización.

-Film plástico: será utilizado para cerrar las probetas mientras crecen en la Elaboración de Probetas 1.

-Frascos de vidrio: serán utilizados para almacenar el sustrato esterilizado, y como espacio de crecimiento inicial de micelio, durante la Elaboración de Probetas 2.

-Harina: será utilizada como primer alimento para en hongo durante la Elaboración de Probetas 1.

-Ollas de cocinas metálicas: serán utilizadas en varios procesos, tanto para esterilizar el

sustrato como para ser utilizado de recipiente en distintas partes de la experimentación.

-Tamiz 1x1cm: será utilizado para tamizar el sustrato para así obtener diferentes granulometrías.

-Toalla de papel: será utilizada para limpiar el ambiente de trabajo, para secar utensilios y para cubrir los frascos de vidrio en la Elaboración de Probetas 2.

#### Artefactos

-Balanza digital: se utilizara para masar sustrato y la fuente de hongo.

-Cocina: se utilizara para pasterización del sustrato, dejándolo 1 hora hirviendo en agua.

-Dispositivo de medición de intensidad de sonido (en dB): se utilizara para medir la intensidad de sonido en el experimento de validación.

-Fuente de emisión de sonido (parlante): se utilizara para simular el ruido urbano en el experimento.

-Hervidor: se utilizara para acelerar el proceso de pasterización del sustrato.

-Horno: se utilizara para cocinar las probetas, extrayéndoles la humedad y matando el hongo.

-Machina de medición: caja compuesta de placas de MDF para llevar a cabo los experimentos de validación.

### -Elaboración de Probetas 1

#### Preparación del sustrato



Fig. 20

El sustrato seleccionado para la investigación fue cáscara de nuez, debido a su facilidad de acceso y su abundancia en la agricultura chilena. Se consulto en viveros de la zona de

Paine por sacos. Estos ya venían con la cáscara molida (Fig. 21).

Para preparar el sustrato se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se lavo el sustrato con agua para poder sacar todo tipo de suciedad superficial como tierra, que pudiera llegar a contaminar las muestras (Fig. 22).
2. Posteriormente fue colado y dividido en bolsas de 400g mediante balanza digital (Fig. 23).
3. Para poder establecer distintas densidades de sustrato, este fue tamizado, con un tamiz de 1x1cm (Fig. 24). A partir de esto se crearon 3 densidades ( $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ):  $\rho_1$ , aquellos pedazos que pasaron a través del tamiz de 1x1;  $\rho_2$ , aquellos pedazos que no pasaron por el tamiz y  $\rho_3$ , una mezcla homogénea de los dos anteriores. Se separaron 2 bolsas de 400g de cada densidad ( $\rho_1$  y  $\rho_2$ ) y dos bolsas más con 200g de  $\rho_1$  y 200g de  $\rho_2$  cada una ( $\rho_3$ ). Dando un total de 6 bolsas.
4. Con cada bolsa debidamente separada y catalogada, se procedió a esterilizar el sustrato mediante pasterización, que consistió en hervir el sustrato durante una hora. Para esto, cada bolsas fue esterilizada por separado, para evitar contaminación entre sustratos y también para evitar mezcla de los distintos tamices (Fig. 25 y Fig. 26).
5. Luego de hervir durante una hora, cada sustrato se coló para eliminar exceso de agua (Fig. 27) y se coloco en frascos de vidrios lavados y esterilizados con alcohol (Fig. 28).

### Preparación de probetas

Una vez que se obtuvo el sustrato esterilizado y listo para ser utilizado, se llevo a cabo el proceso de creación de las probetas, siguiendo los siguientes pasos:



Fig. 29

1. Se procedió a abrir y desarmar el kit de cultivo en una olla metálica previamente esterilizada con alcohol (Fig. 30).
2. Para cada probeta, se agrego 100g del kit de cultivo, que contiene micelio del hongo, 400g de cada sustrato previamente descritos y una cucharada de harina de trigo, que actuara como alimento primario para el hongo, logrando una razón de sustrato y micelio de 4:1 (Fig. 31).
3. Esta mezcla se procedió a mezclar en un bowl metálico hasta que quedara homogéneo y después se deposito en las bandejas metálicas, previamente esterilizadas con alcohol (Fig. 32 y Fig. 33).
4. Luego cada bandeja fue envuelta con un film plástico para mantener la humedad y evitar también contaminación con agentes del aire (Fig. 34).

### Resumen de probetas

Probeta 1: 400g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 35)

Probeta 2: 400g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 36)

Probeta 3: 400g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 37)

Probeta 4: 400g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 38)

Probeta 5: 200g de cáscara de nuez 1x1, 200g de cascara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 100g de kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 39)

Probeta 6: 200g de cáscara de nuez 1x1, 200g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 100g de kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 40)

Todas las probetas fueron confeccionadas el día 7 de octubre de 2017.

## -Elaboración de Probetas 2

### Preparación de sustrato



Fig. 41

Para preparar el sustrato se llevo a cabo el mismo proceso de esterilización que en la Elaboración de Probetas 1. La diferencia recae en que en esta oportunidad se preparo la mitad de sustrato. Es decir, se prepararon 200g de la  $\rho_1$ , 200g de la  $\rho_2$ , y 200g de la  $\rho_3$ , que esta compuesta de 100g de la  $\rho_1$  y 100g de la  $\rho_2$ . Esto da un total de 3 frascos.

### Preparación de probetas



Fig. 42

La preparación de las probetas se llevo a cabo en los siguientes pasos:

1. Con el sustrato esterilizado, se mezcló cada frasco con 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* proveniente de Biomicelios, logrando una razón de sustrato y micelio de 4:1 (Fig. 43 y 44).
2. Esta mezcla será dejada crecer durante 5 días (Fig. 45).
3. Una vez que creció el micelio en la mezcla, esta es transferida al molde final, donde será dejada para crecer por 4 días (Fig. 46).

### Resumen de las probetas

Probeta 1: 200g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 47)

Probeta 2: 200g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 48)

Probeta 3: 100g de cáscara de nuez 1x1, 100g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 49)

Además de confeccionar las probetas, se inoculo dos placas Petri con las semillas para observar el crecimiento del micelio de manera aislada (Fig. 50 y 51). Todas las probetas fueron confeccionadas el día 5 de noviembre de 2017.



## Elaboración de Probetas 1



Fig. 21



Fig. 22



Fig. 23



Fig. 24



Fig. 25



Fig. 26



Fig. 27



Fig. 28.1



Fig. 28.2



Fig. 28.3



Fig. 30



Fig. 31



Fig. 32



Fig. 33



Fig. 34



Fig. 35



Fig. 36



Fig. 37



Fig. 38



Fig. 39



Fig. 40

## Elaboración de Probetas 2



Fig. 43



Fig. 44.1



Fig. 44.2



Fig. 44.3



Fig. 45.1



Fig. 45.2



Fig. 45.3



Fig. 46.1



Fig. 46.2



Fig. 46.3



Fig. 47



Fig. 48



Fig. 49



Fig. 50



Fig. 51

## -Experimento de Validación

Durante esta primera experimentación se pondrá a prueba las capacidades de absorción acústica del material. Para esto se construyó una “machina” (Fig. 52), que esta construida de placas de MDF, en un lado de pondrá un dispositivo de emisión de sonido (parlante controlado por Bluetooth), una placa que se adaptará a la forma y tamaño de la probeta a ensayar y al otro lado un dispositivo de medición de intensidad de sonido en dB.

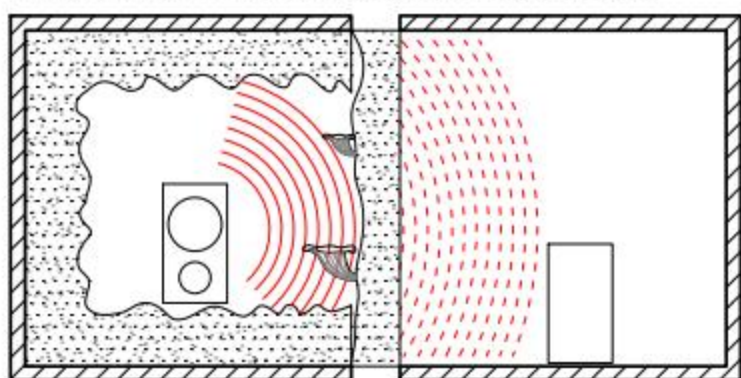


Fig. 52: “machina”

Se debe aclarar que la escala de dB de la intensidad de sonido funciona de forma logarítmica, lo que quiere decir que la diferencia, en cuanto a intensidad, entre 10 dB y 20 dB, no es 10, si no la diferencia entre 10 y 100 (Fig. 53).

100	10000000000
90	1000000000
80	100000000
70	10000000
60	1000000
50	100000
40	10000
30	1000
20	100
10	10
0	1

Fig. 53: escala de decibeles

### Ensayo 1:

Para este primer ensayo, se utilizaron las probetas 1,3 y 5 de la Elaboración de Probetas 1. Estas se dejaron crecer durante 3 semanas antes de ser cocinadas en el horno a 170°C durante 20 minutos cada una.

Probeta 1: 400g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 54)

Probeta 3: 400g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 55)

Probeta 5: 200g de cáscara de nuez 1x1, 200g de cascara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 100g de kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 56)

Debido a las diferencias de granulometrías de cada probeta, se espera que cada una tenga una capacidad distinta en cuanto a absorción acústica. Y se espera que la probeta 1 tenga un mejor desempeño al ser más densa ya que tiene una granulometría más pequeña. Como método de control, además se testeó en la misma “machina” materiales comunes de construcción, como placas de MDF de 15mm y el material más usado para absorción acústica, espuma de poliuretano. Se debe agregar además que las probetas se encontraban contaminadas antes de llevar a cabo el ensayo, pero fueron probadas igual, ya que la diferencia en su capacidad iba a estar dada mayoritariamente por el sustrato y no por el hongo. Al momento de hacer el experimento había un ruido ambiente de 30 dB (semejante a un susurro). Se reprodujo con el dispositivo de emisión de sonido una grabación de la calle del caso de estudio, con una intensidad de alrededor 80 dB. Los resultados arrojaron que la probeta 1 fue la con mejor desempeño de absorción acústica, reduciendo alrededor de 20 dB en la medición, tal como se esperaba. (Fig. 57 y 58)

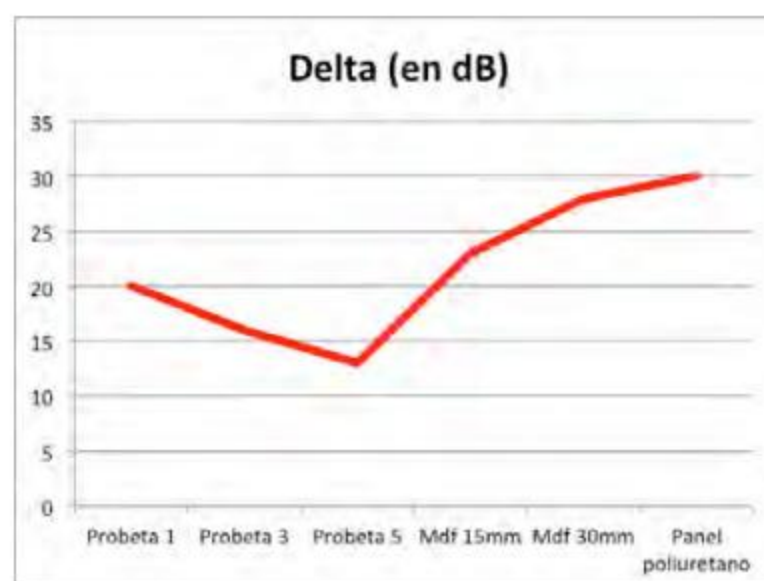


Fig. 57

Proteccion	Densidad	Delta (en dB)
Probeta 1	$\rho_1$	20
Probeta 3	$\rho_2$	16
Probeta 5	$\rho_3$	13
Mdf 15mm		23
Mdf 30mm		28
Panel poliuretano		30

Fig. 58

### Ensayo 2:

Para el segundo ensayo de las probetas, se utilizaron las probetas 2,4 y 6 de la Elaboración de Probetas 1. Estas se dejaron crecer durante 5 semanas antes de ser cocinadas en el horno a 170°C durante 20 minutos cada una. Esta fase de la experimentación se lleva a cabo con el fin de evidenciar si hay alguna diferencia en la capacidad de absorción del bio-material si cuenta con un mayor porcentaje de micelio en su composición.

Probeta 2: 400g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 59)

Probeta 4: 400g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 100g del kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 60)

Probeta 6: 200g de cáscara de nuez 1x1, 200g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 100g de kit de cultivo, 1 cucharada de harina. (Fig. 61)

La hipótesis de este experimento es que no habrá mayores cambios en el delta de decibeles otorgados por el bio-material, ya que el micelio del hongo esta actuando más como elemento estructurante del bio-material. Como en el Ensayo 1, se mantuvieron las mismas condiciones ambientales (de ruido ambiental) los mismo métodos de control, y fueron testeadas en la misma "machina" que en el Ensayo 1. Los resultados determinaron que la hipótesis para este ensayo estaba correcta ya que no hubo un mayor cambio en la capacidad de absorción del material.

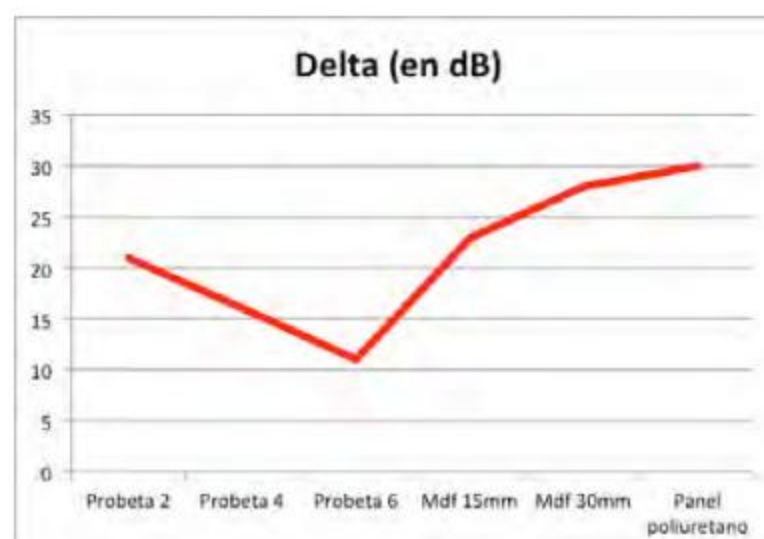


Fig. 62

Proteccion	Densidad	Delta (en dB)
Probeta 2	$\rho_1$	21
Probeta 4	$\rho_2$	16
Probeta 6	$\rho_3$	11
Mdf 15mm		23
Mdf 30mm		28
Panel poliuretano		30

Fig. 63

### Ensayo 3:

Para el tercer ensayo de las probetas se utilizaron las probetas de la Elaboración de Probetas 2. Estas fueron dejadas crecer durante 5 días en el frasco de vidrio y luego fueron trasladadas al molde plástico para crecer 4 días más antes de horneadas por 20 minutos cada una a 170°C.

Probeta 1: 200g de cáscara de nuez 1x1 ( $\rho_1$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 64)

Probeta 2: 200g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_2$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 65)

Probeta 3: 100g de cáscara de nuez 1x1, 100g de cáscara de nuez 2x2 ( $\rho_3$ ), 50g de las semillas inoculadas con micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. (Fig. 66)

Esta experimentación se lleva a cabo con el fin de evidenciar si hay una cambio en la capacidad de absorción acústica del bio-material al utilizar las semillas de trigo inoculadas con el hongo *Pleurotus ostreatus*, ya que su crecimiento es mucho más rápido y controlado que el crecimiento de micelio otorgado por el Kit de Frutos de Lonquen. La hipótesis es que habrá una mejora leve en su capacidad de absorción acústica, al estar mejor constituido el material debido a la mayor concentración de micelio. Las probetas no pudieron ser ensayadas debido

a una falta de crecimiento de micelio, lo que ocasiono que estas no se constituyeran de manera correcta, lo cual produce que no puedan ser manipuladas, ni menos ser puestas a prueba. La falta de crecimiento de micelio se debe posiblemente a la falta de humedad en el sustrato al traspasarlo de los frascos de vidrio a los moldes plásticos.



Fig. 54



Fig. 55



Fig. 56



Fig. 59



Fig. 60



Fig. 61



Fig. 64



Fig. 65



Fig. 66

### 3<sup>era</sup> parte: Proyecto

## -Cuantificación de la Forma y Escala

Para establecer el tamaño y forma del panel se tomaron en cuenta varios factores:

1. Las dimensiones que se decidieron fueron de 1,2m por 2,4m, con un espesor de 5 cm de forma de que funcionara de manera modular con la mayoría de las construcciones en Chile. Esto debe también a que mientras más parte de la fachada pueda ser cubierta por el dispositivo, mayor será la absorción y menor la cantidad de ruido que va a ingresar a los recintos. (Fig. 67)
2. Cada panel estará constituido de dos partes del bio-material, una superior y una inferior, ambas de 1,2m por 1,2m. La razón de esta decisión es que el bio-material no tiene una gran resistencia a la flexión sin estar soportados por otros elementos, por lo que descomponer el panel en dos partes ayudara a que sea más resistente. (Fig. 68)
3. Debido a que este panel sería mayoritariamente utilizado durante el día, se decidió que habría dos tipos distintos de componente del bio-material. Uno completamente opaco, que tendría mejores capacidad de absorción acústica. Y otro con un 25% de perforaciones de su área total, de modo que tendría un mayor ingreso de luz, pero un rendimiento más bajo en cuanto a su capacidad de absorber el ruido urbano. De este modo, el usuario podría determinar la composición de sus paneles favoreciendo el ingreso de luz con una menor absorción, o una mayor absorción con un menor cantidad de ingreso de luz. Idealmente en los pisos inferiores se esperaría que se ocuparan más los paneles opacos, ya que están más cercanos a las fuentes de

sonido del ruido, y a medida que se va subiendo, los paneles se podrían ir alternando entre opacos y perforados, en la medida en que la energía del ruido se va disminuyendo mientras rebota en el entorno y sube. (Fig. 69)

4. Las perforaciones del segundo tipo de panel serian circulares de manera de que no comprometeran las tensiones superficial del material. (Fig. 70)

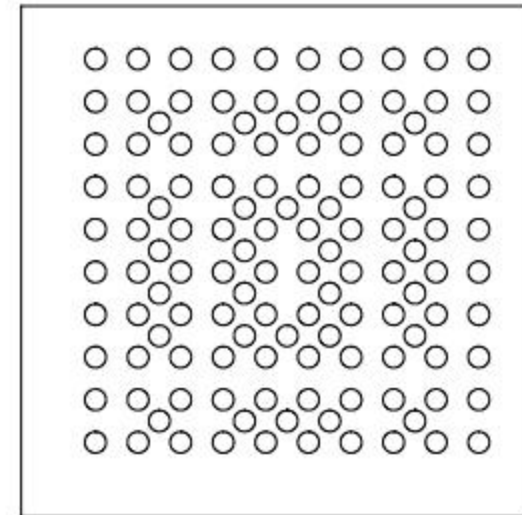


Fig. 70: perforaciones panel 1:25

5. En cuanto a su composición superficial, se tomara de referente la investigación de Wen-Hwa Chen, que determino que las pirámides o los triángulos son los que tienen un mejor desempeño de absorción. Para mejorar su eficacia, las puntas de los triángulos serán dirigidas hacia abajo, para absorber una mayor cantidad, debido a que el ruido viene principalmente de la calle. (Fig. 71)

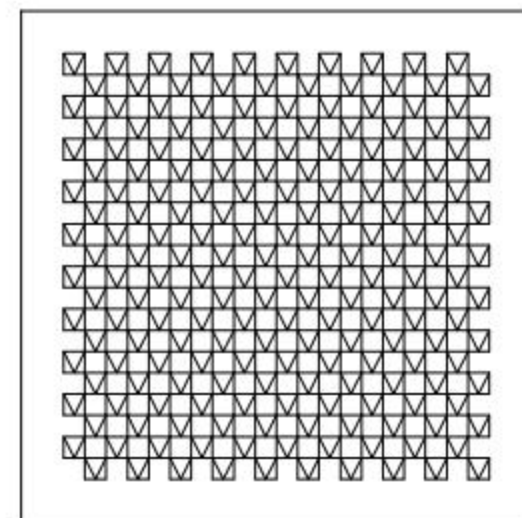


Fig. 71.1: pirámides panel esc 1:25

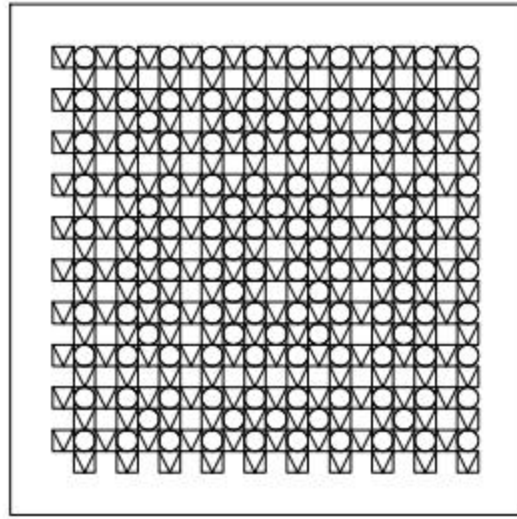


Fig. 71.2: perforaciones y pirámides esc 1:25

6. El bastidor del panel estaría construido en madera de Raulí, debido a su baja absorción de agua, su color y al hecho de que al ser madera, su descomposición será más rápida una vez que el panel sea desechado. (Fig. 72)
7. El bio-material estaría recubierto en alguna resina natural, como la utilizada por Ecovative, para protegerlo del clima. (Fig. 73)

En futuras investigaciones, todos estos aspectos podrían ser parametrizados a través de software para lograr un desempeño aún mejor, tanto en la composición del panel, como sus tamaño o superficie.

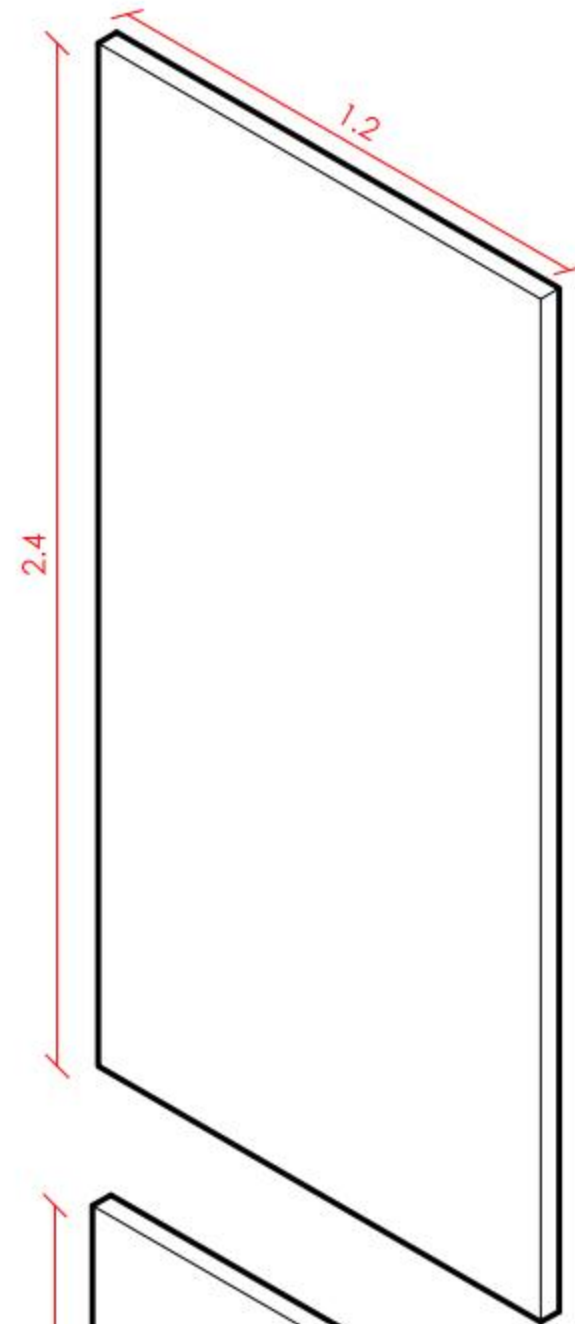


Fig. 67: panel 1:25

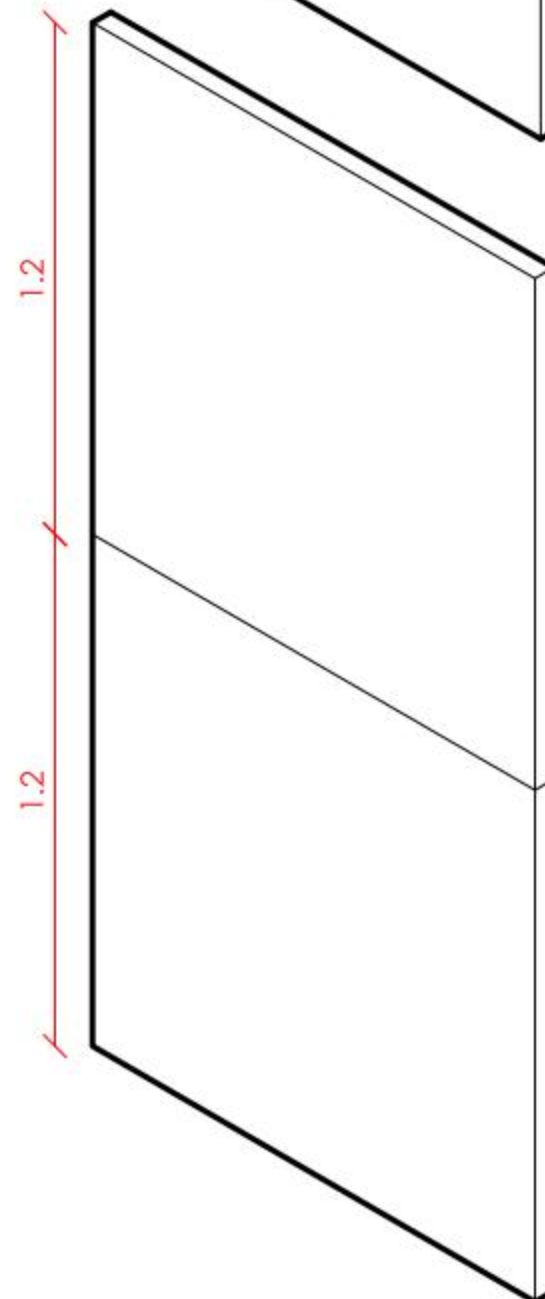


Fig. 68: panel 1:25



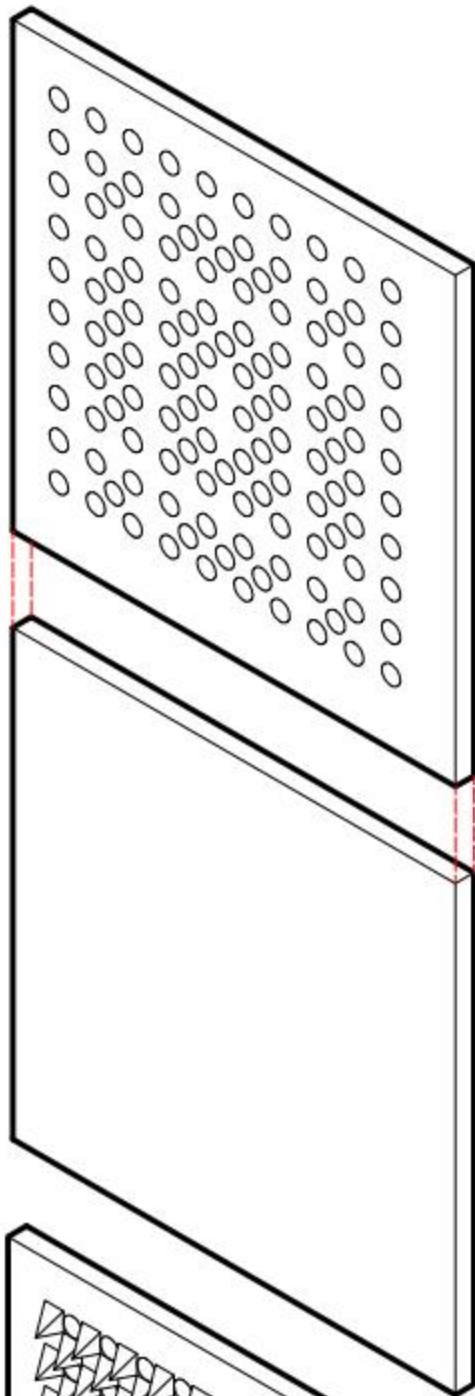


Fig. 69: panel 1:25

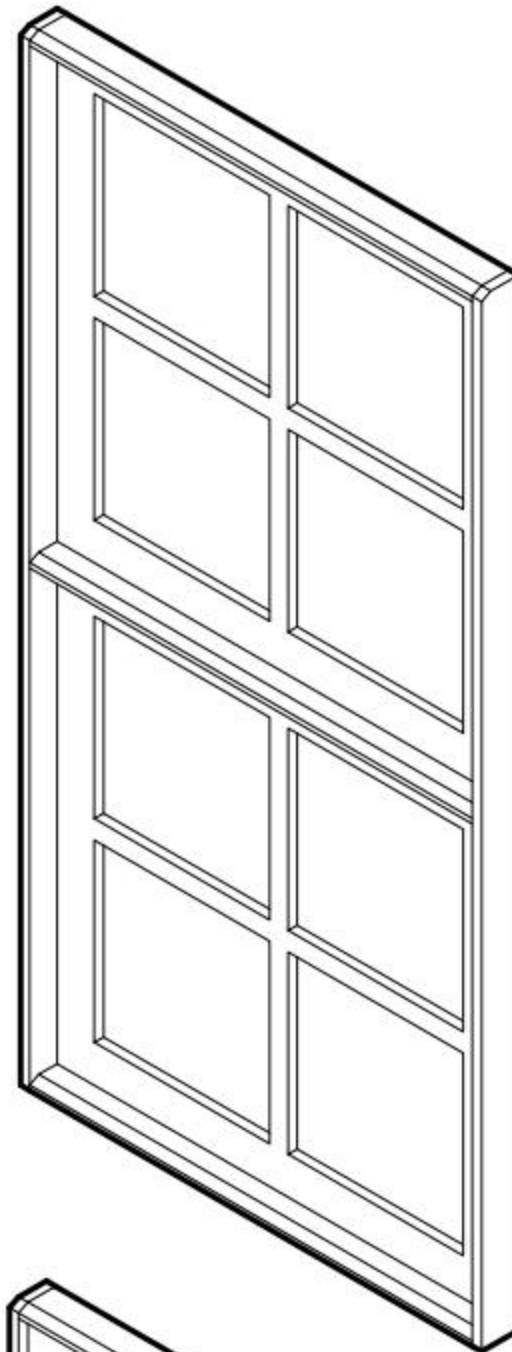


Fig. 72: panel 1:25

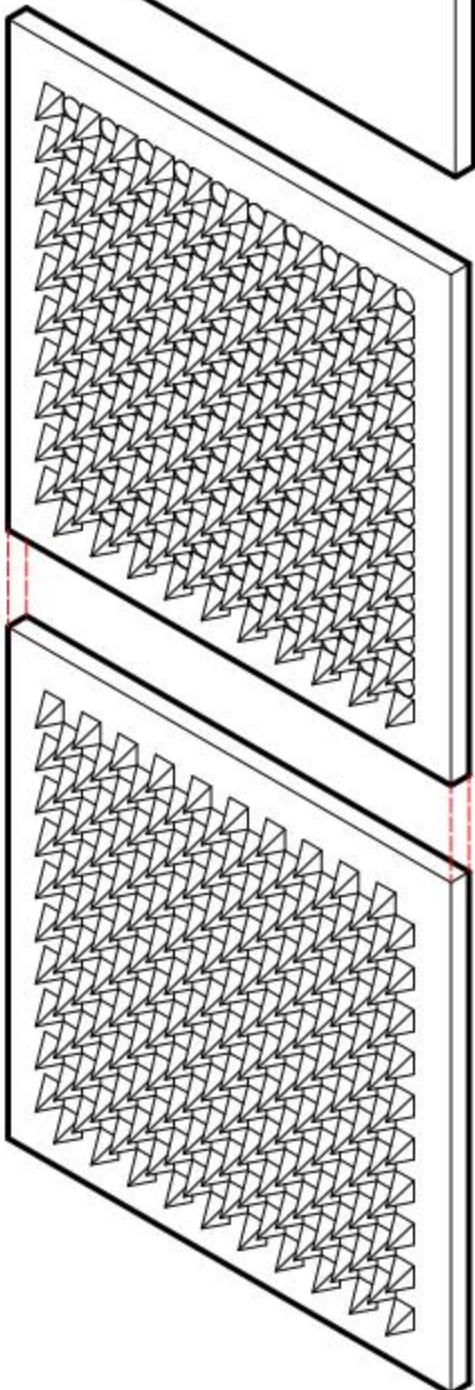


Fig. 71.3: panel 1:25

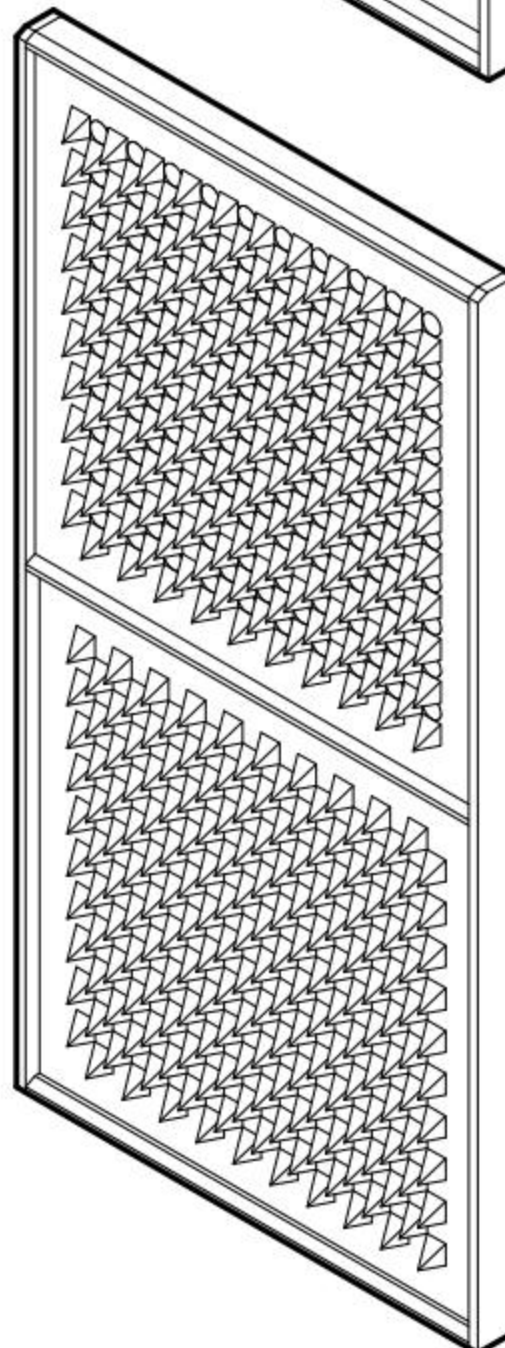
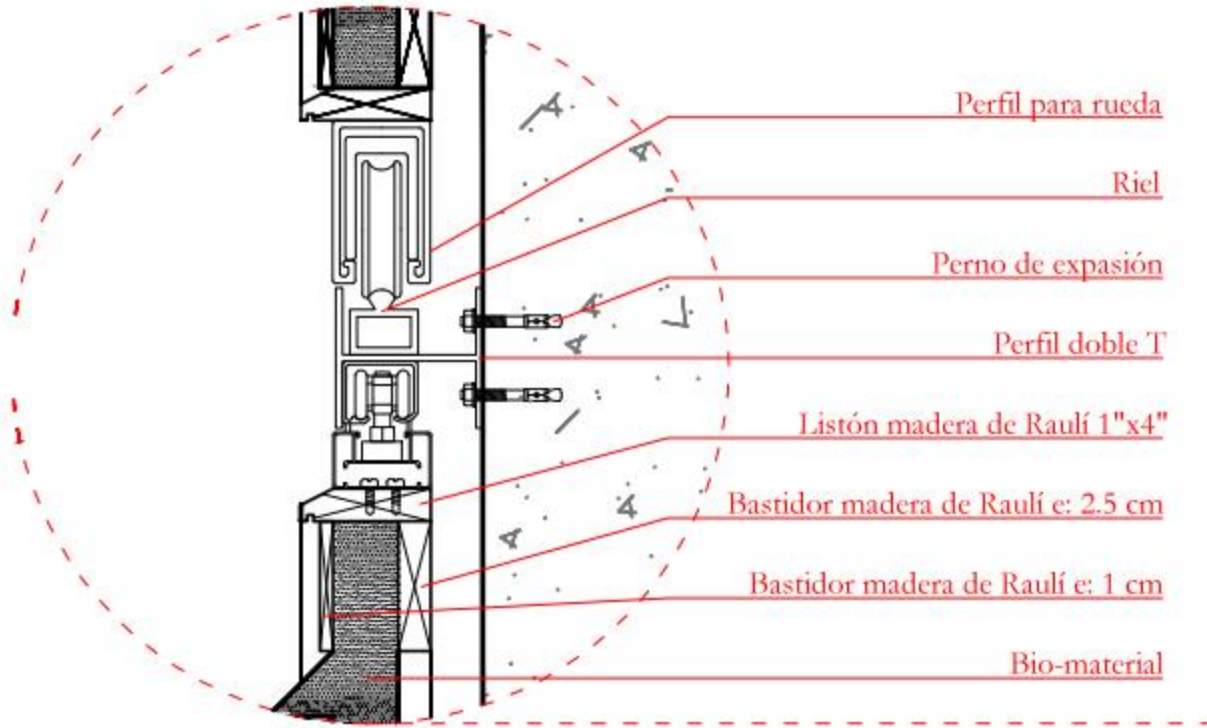
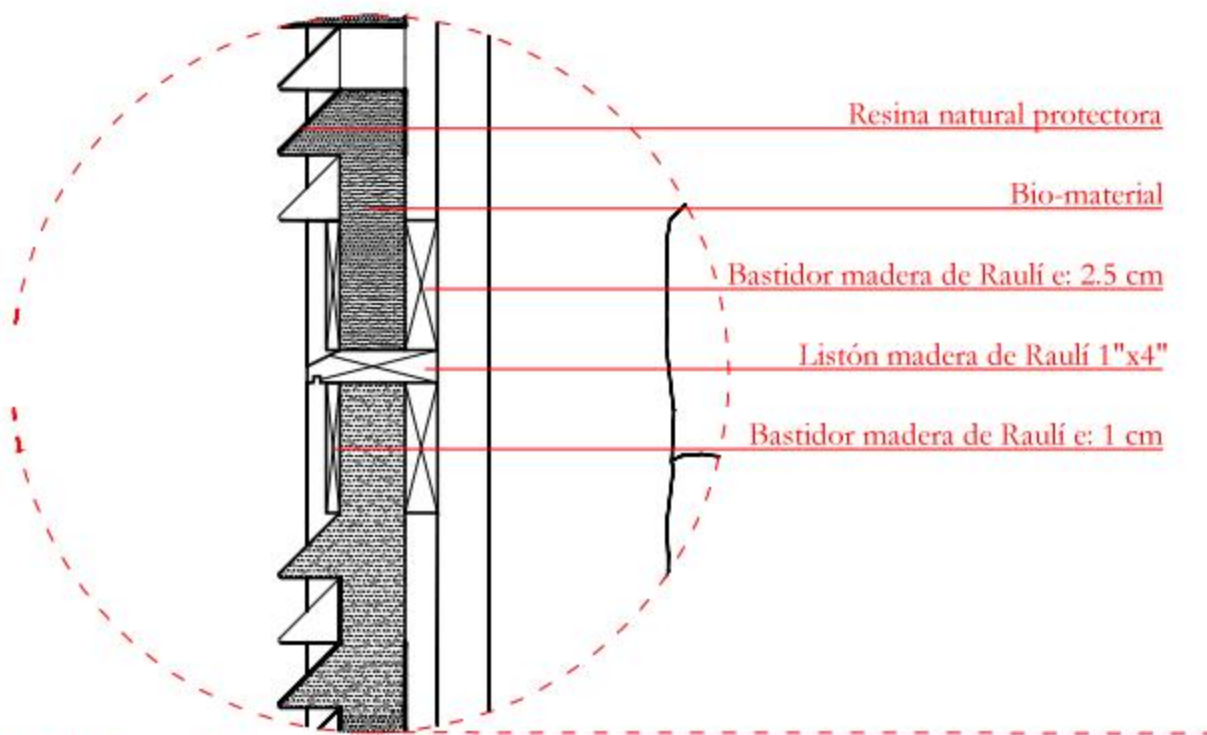


Fig. 73: panel 1:25

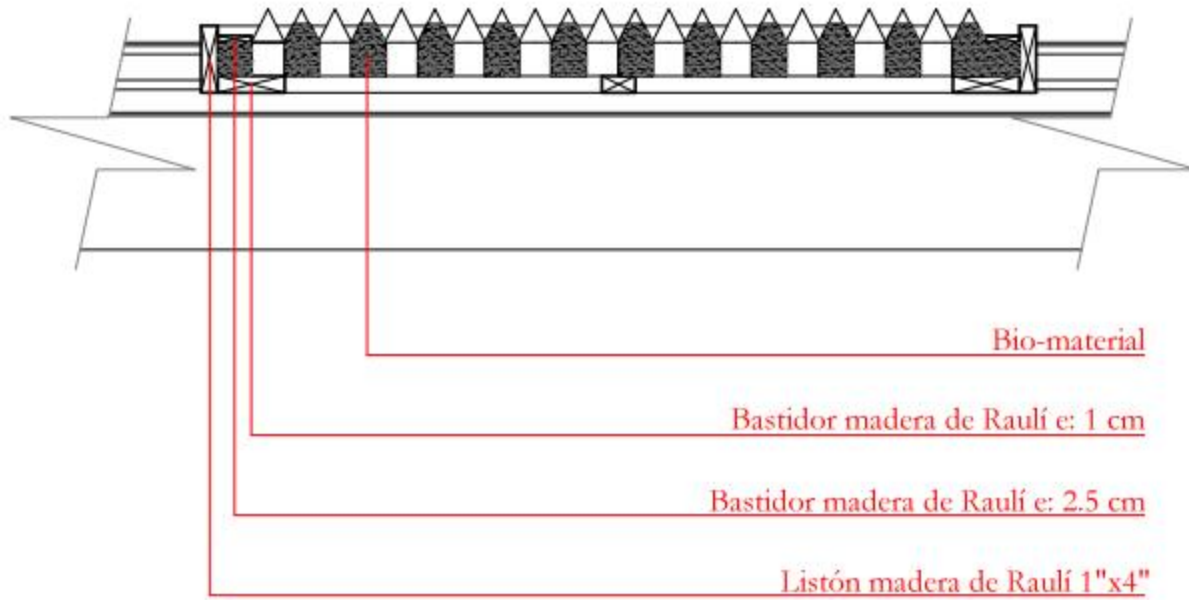
-Proyecto



Detalle 1.1 instalación en edificios construidos escala 1:8



Detalle 2 escala 1:8



Planta 1:16

Corte escala 1:16

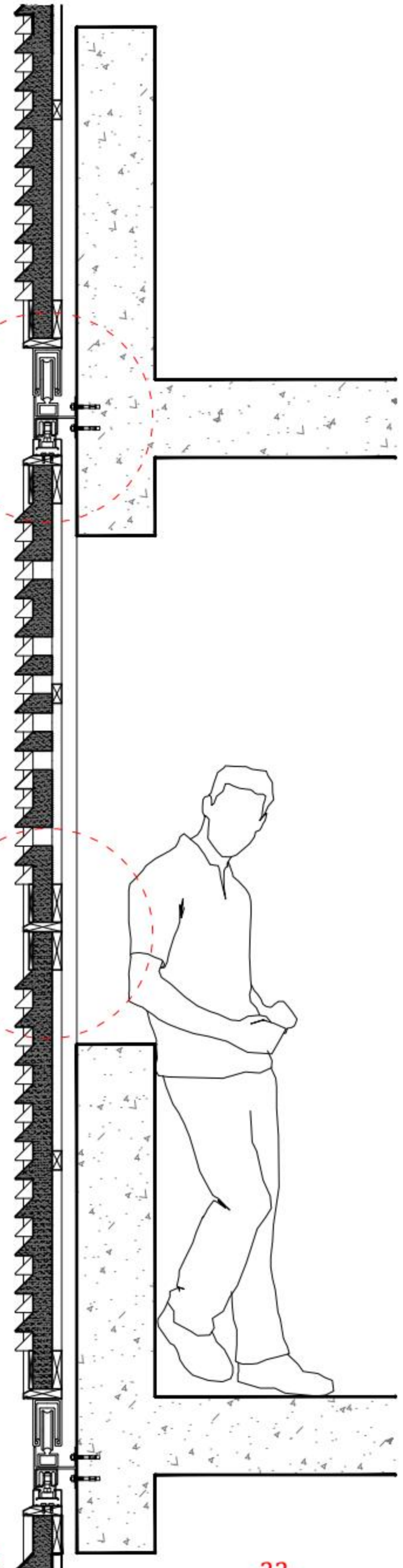


Fig. 74: escantillón escala variable

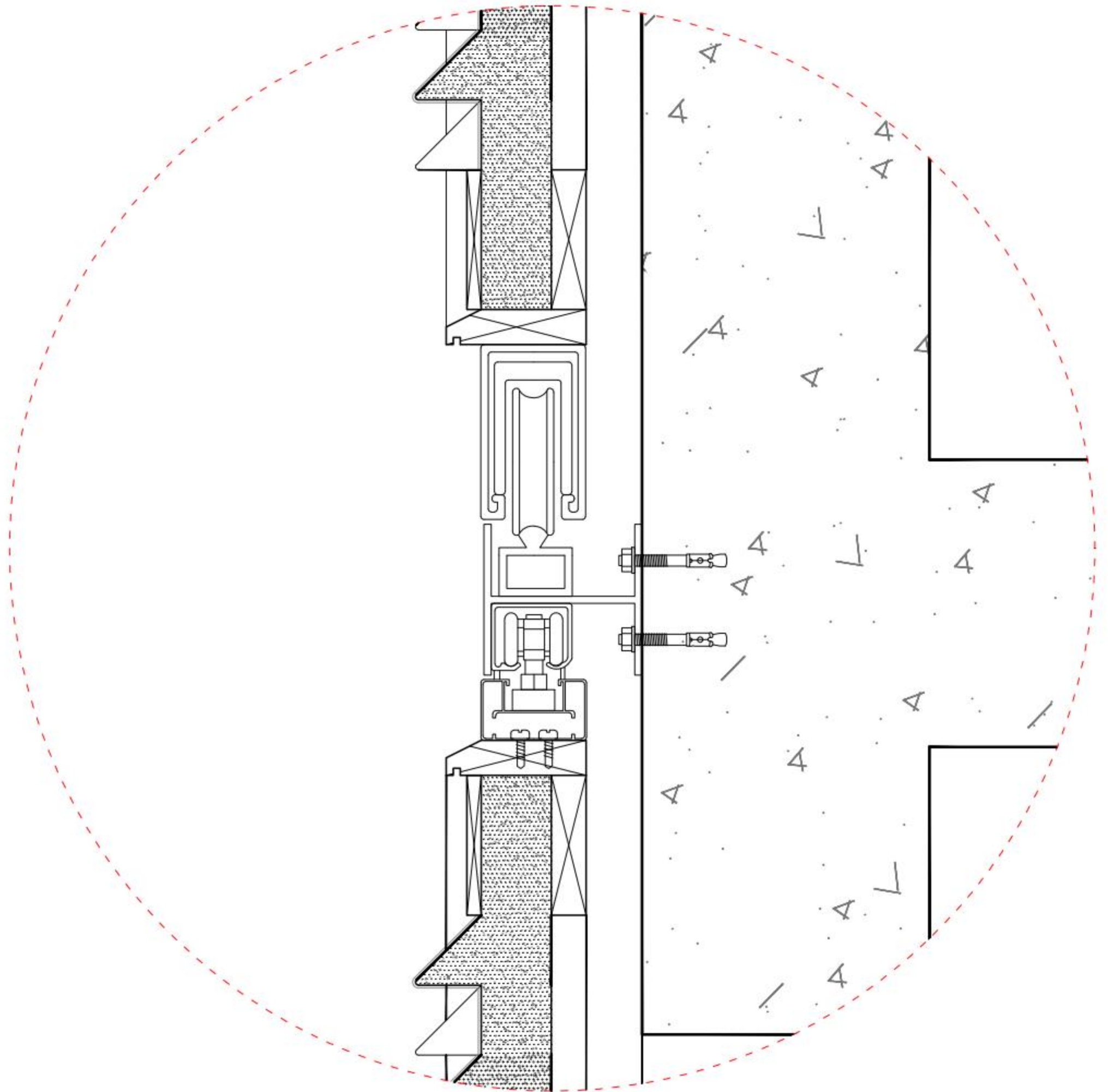


Fig. 75: detalle escala 1:4

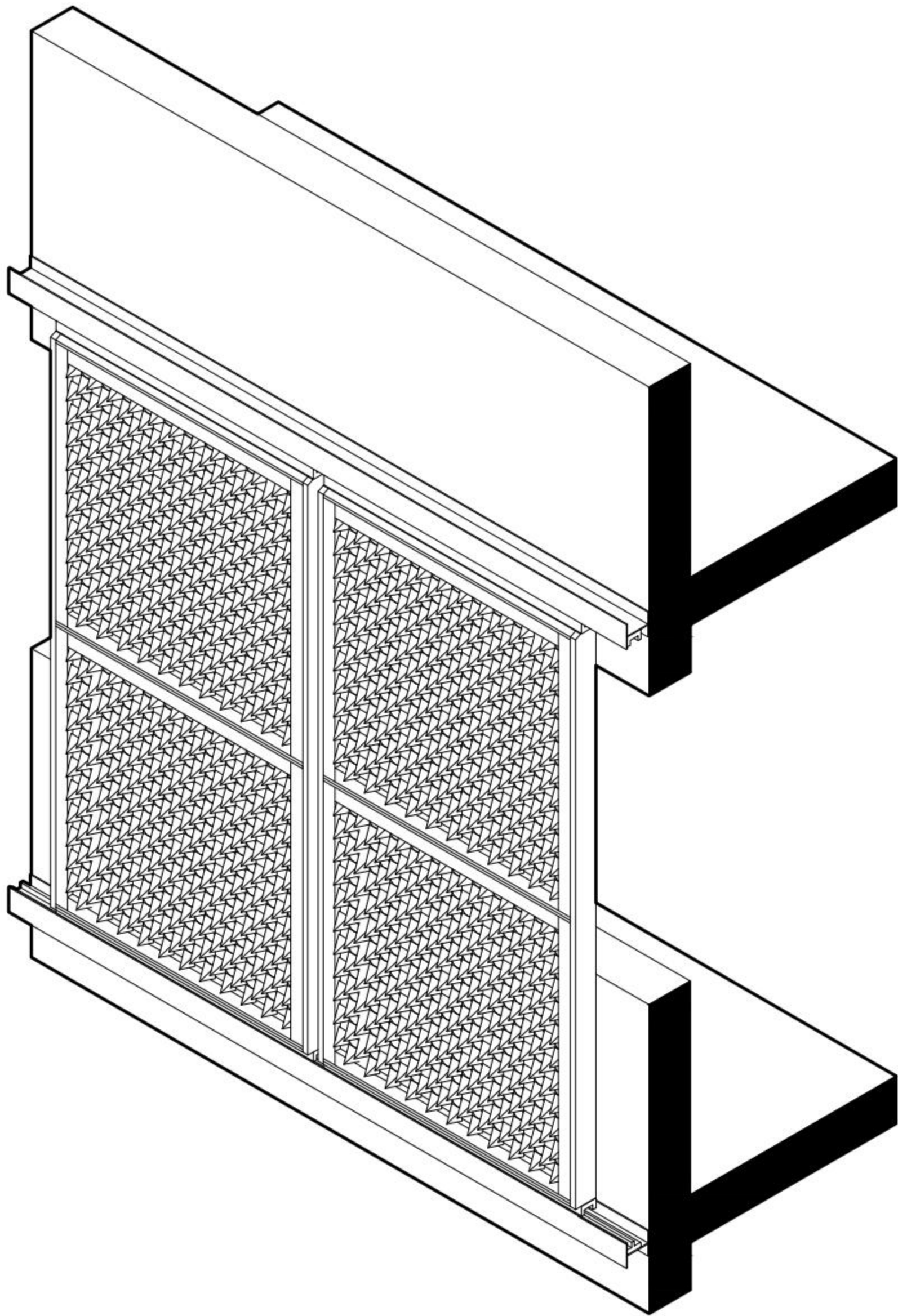


Fig. 76: isométrica escala 1:25

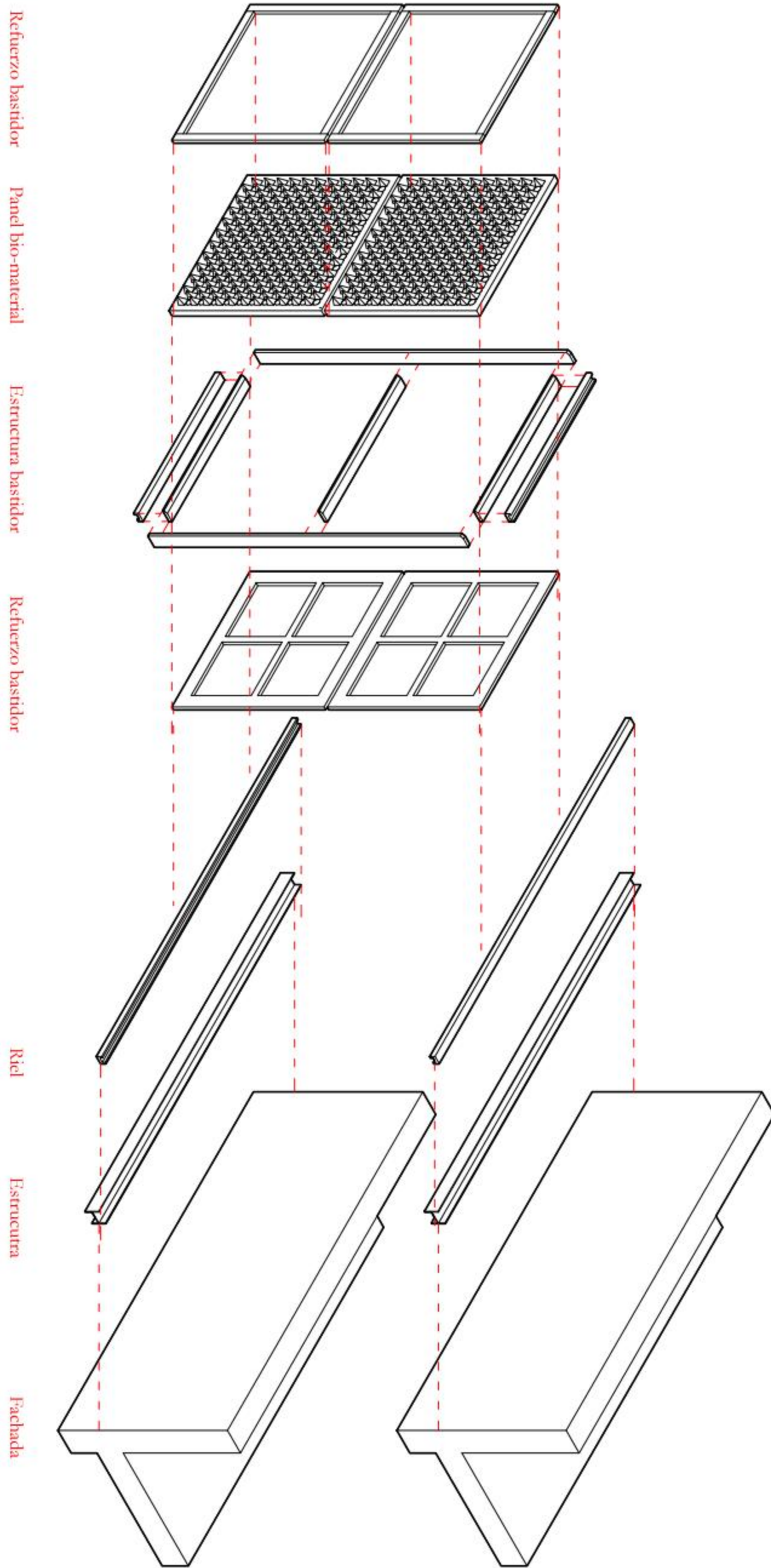


Fig. 77: isométrica explotada 1:50

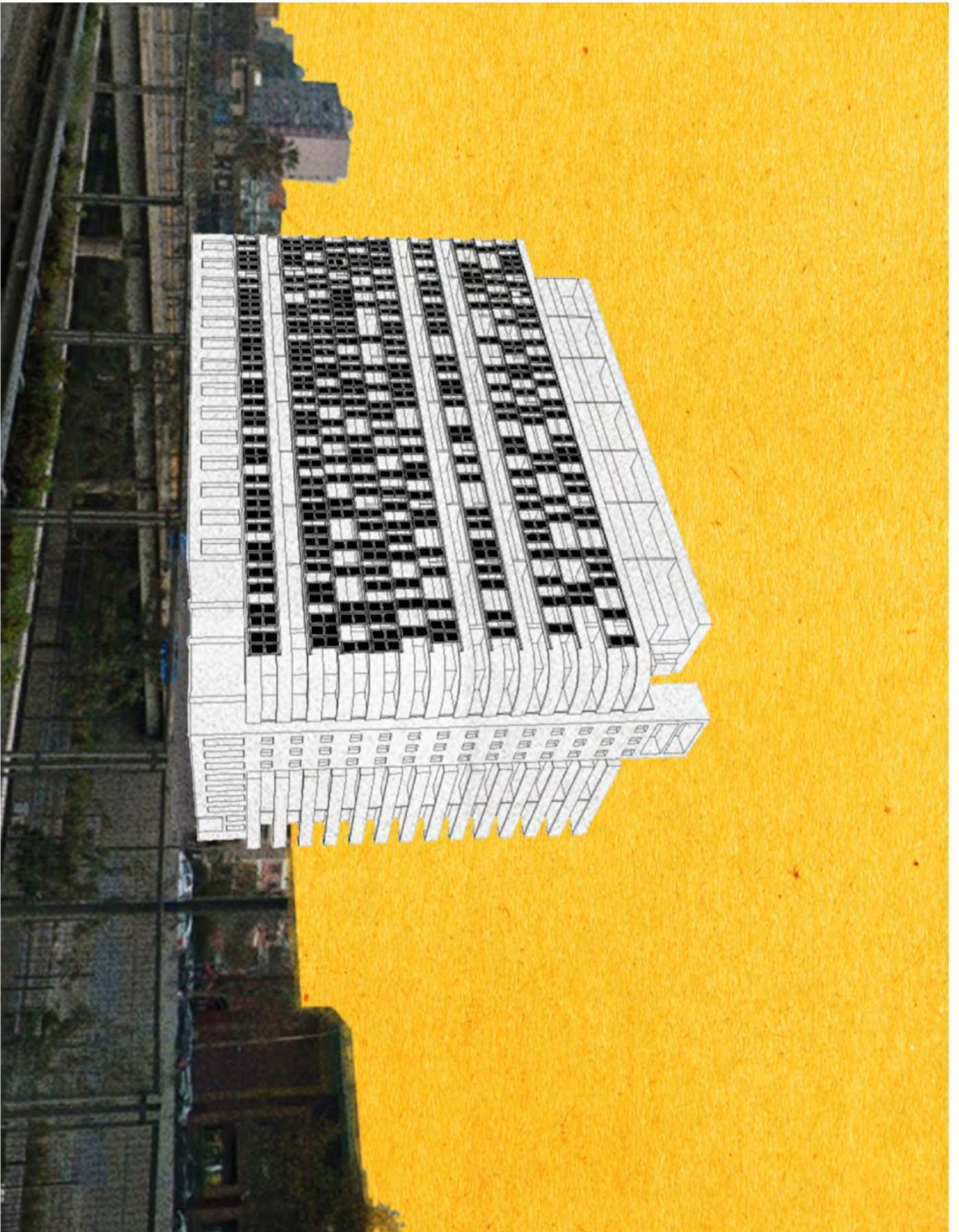


Fig. 78

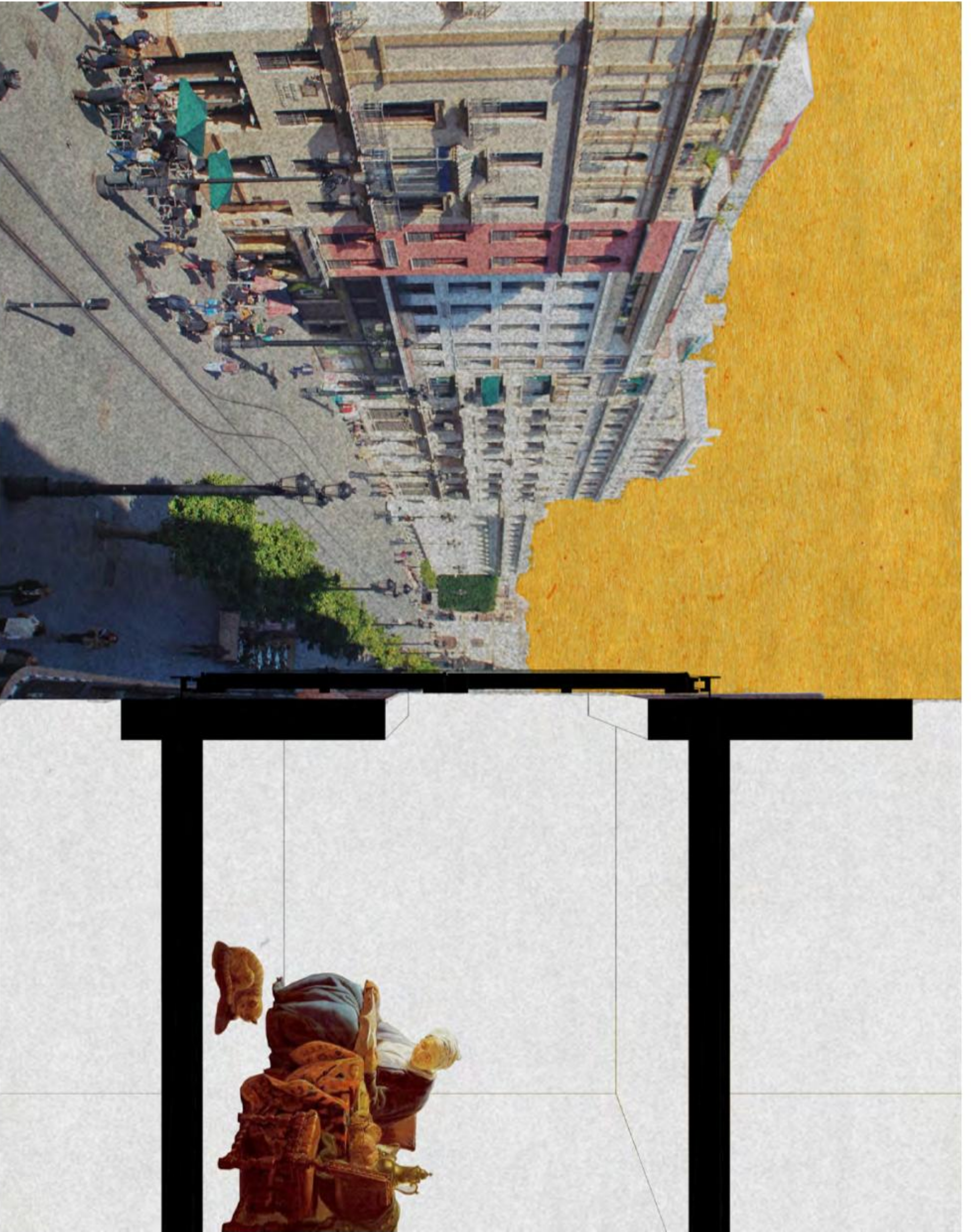


Fig. 79

-Ciclo de Vida

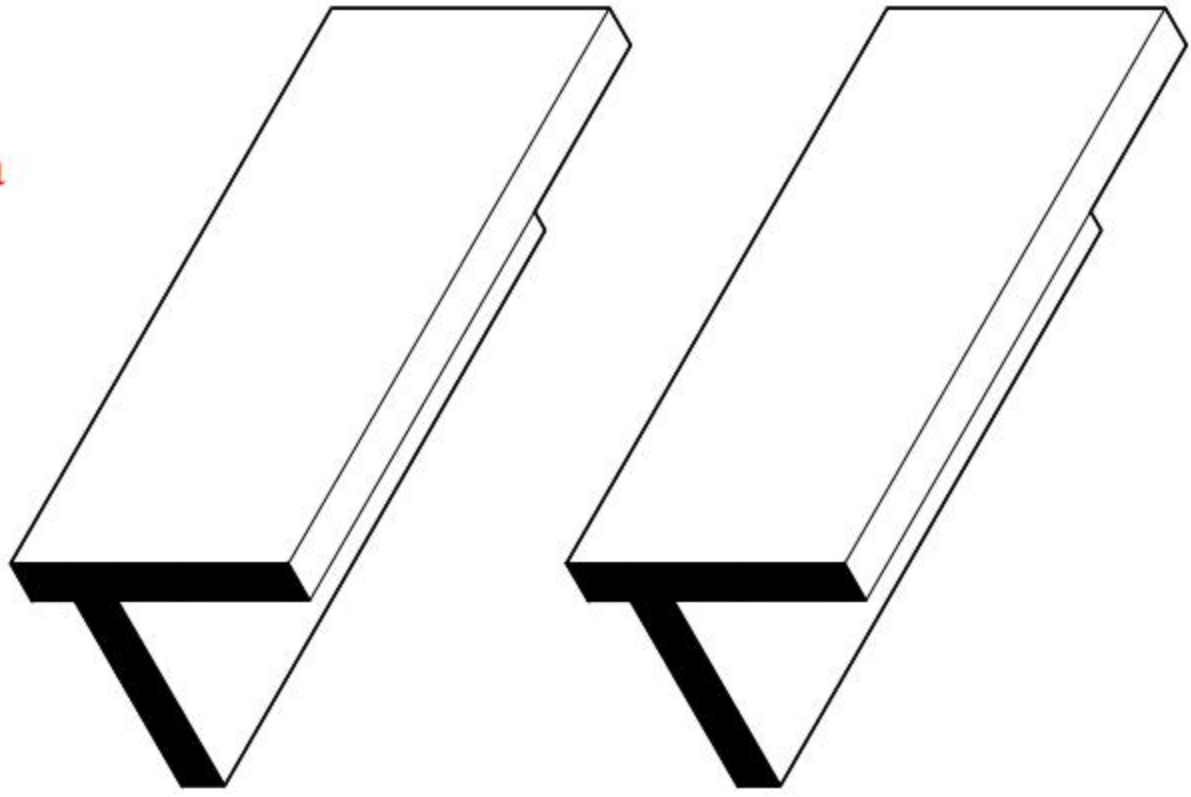


Fig. 80

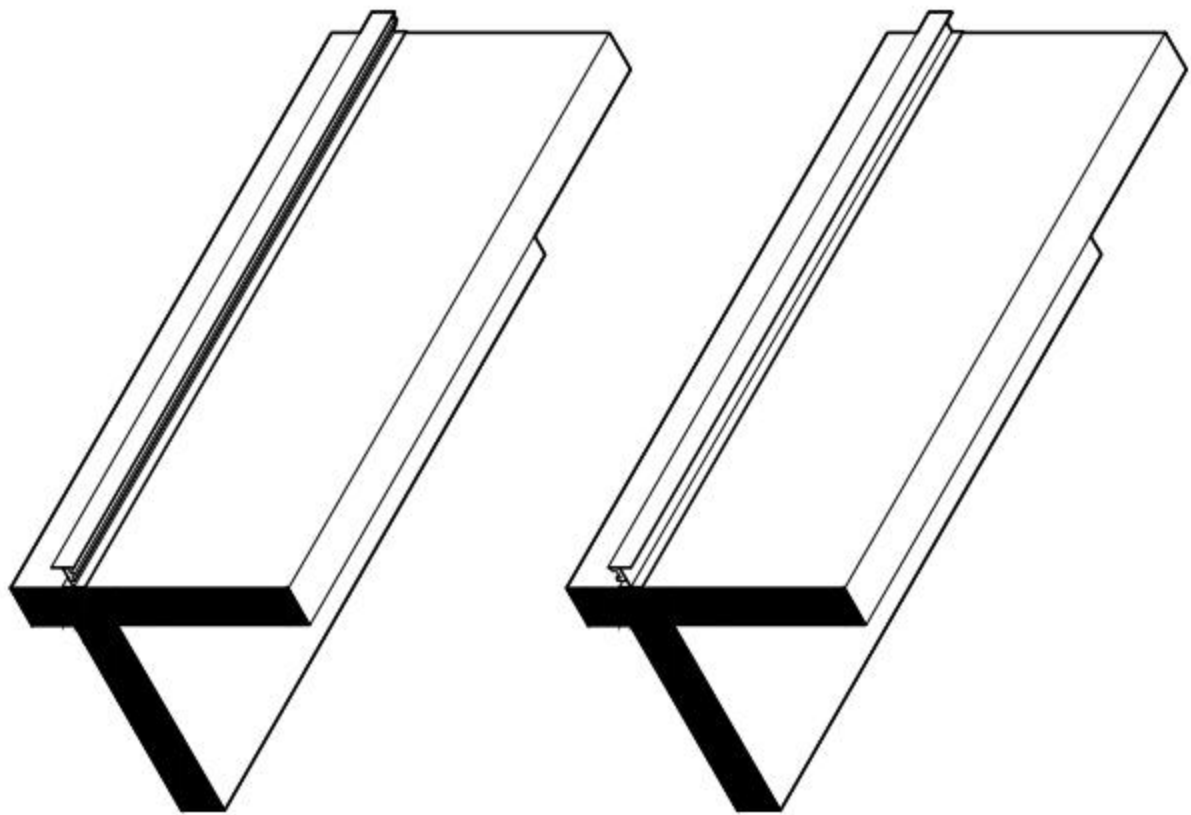


-Secuencia Evolutiva

Fachada



Instalación de estructura



Instalación de panel con bio-material

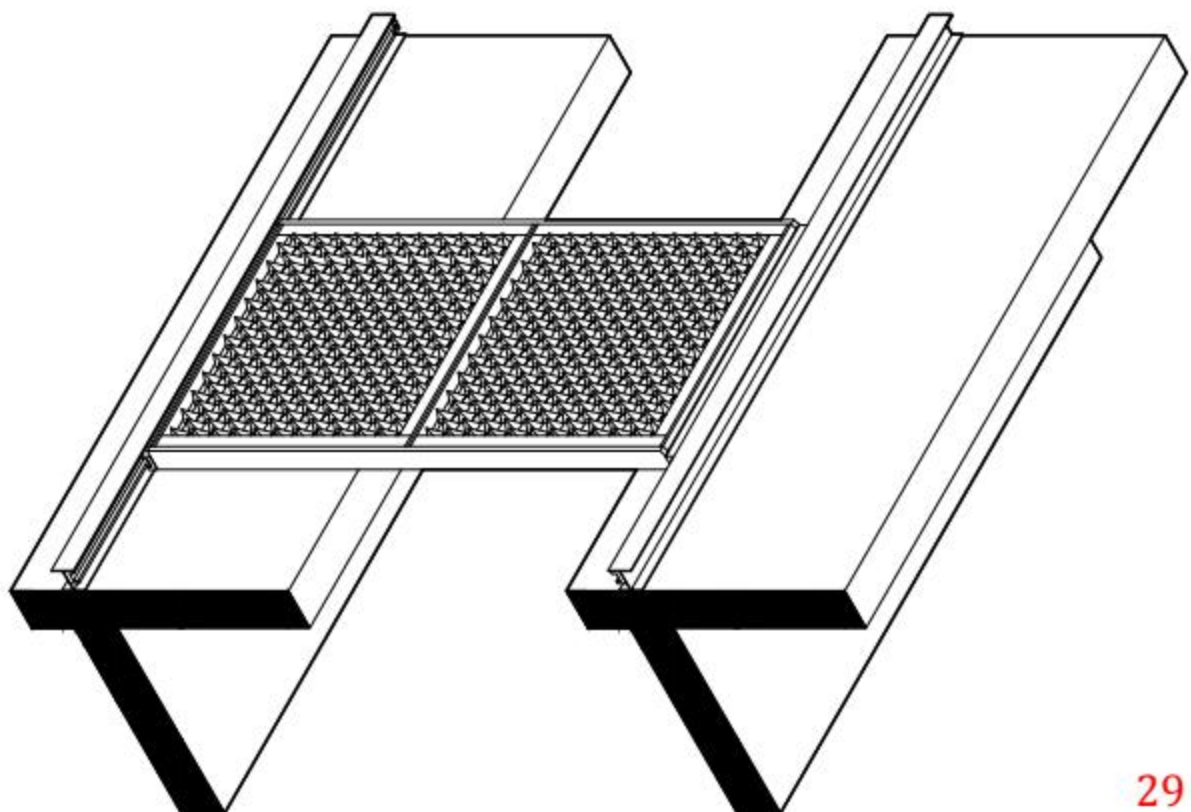


Fig. 81 : Isométrica 1:50

## -Conclusiones Finales

Los resultados de las experimentaciones materiales indicaron varios caminos por los cuales futuras investigaciones podrían aventurarse. Primero en cuanto a la capacidad de absorción acústica del material, se concluye que podría llegar a ser, con un estudio más extenso, un material capaz de competir con los materiales comunes disponibles en el mercado. Dos de los tres ensayo realizados con el material determinaron que un bio-material a partir de *Pleurotus ostreatus* y cáscara de nuez con un tamaño igual o menor a un centímetro, pueden llegar a tener una disminución de 20dB en un sonido. En comparación a la espuma de poliuretano convencionalmente usada, que disminuye en unos 30 dB promedio, el material representa una mejor opción, principalmente por ser un material de libre acceso que puede ser fabricado en los hogares de los usuarios, y también debido a que, a diferencia de la espuma que es un derivado del petróleo y que por lo tanto tarda varios años en degradarse, el bio-material cuenta con un periodo de degradación notablemente más bajo. Además, este podría ser re-integrado a los ciclos de producción de sus componentes como es el caso de las nuez y el nogal de donde provienen. La parametrización de todas las variables de diseño del panel también es una posibilidad de profundización para la investigación. Variables como: sustrato, con sus determinados tamaños y tipos; hongo, con sus formas inherentes de crecer, que por lo demás deben estar en convivencia con el sustrato usado; espesor del bio-material, que afectara en su capacidad de

absorción acústica; área, lo cual le permitirá a adaptarse a más posibles instancias de construcción en Chile; superficie, que colaborara con la capacidad de difracción del panel – que a propósito ya esta siendo estudiado por arquitectos como Brady Peter-; perforaciones y su forma, para ayudar al ingreso de luz a través del panel y por ultimo la resistencia ante la inclemencia del clima de nuestro país. Y particularmente en Santiago, ya que cuenta con todo el espectro de temperatura, desde bajo cero en invierno y sobre los 35°C en verano.. Estas son unas cuantas de las muchas decisiones que deben tomar para que un componente constructivo como los paneles sean exitosos.

El ruido siempre ha sido algo propio de la ciudad, desde tiempos remotos. La ciudad siempre ha sido caracterizada como un lugar caótico donde todo pasa al mismo tiempo de manera simultánea y sin alterarse el uno al otro. Pero eso ya esta cambiando. Cada día se construyen más y más edificios. Cada día hay más y más autos en la calle, y cada uno de ellos está equipado con una bocina. Cada día hay más industrias. Y las tecnologías siguen avanzando pero no se hacen más silenciosas. Y el ruido urbano ya esta dejando de ser propio del espacio publico, para empezar a ingresar a nuestras viviendas y oficinas. Y nos esta haciendo daño. Y ese daño que es causado por algo ruidoso, irónicamente tiene síntomas tan silenciosos, que no los notamos hasta que es muy tarde.

## Bibliografía

- Bustos, F. (2011). *Revisión y propuesta de modificación de la NCH 352.Of 61 - Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios de uso no habitacional*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Disponible en : <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcib982r/doc/bmfcib982r.pdf>.
- Chen, W.; Lee, F.; y Chiang, D. (2000). *On the acoustic absorption of porous materials with different surface shapes and perforated plates*. *Journal of Sound and Vibration*, 237(2), pp.337-355.
- De Esteban Alonso, A. (2003). *Contaminación acústica y salud*. Madrid, España: Observatorio medioambiental.
- Galindo, M. (2010). Estudio de un sistema de bloques huecos de poliestireno para la construcción de viviendas. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- García Ferrandis, X.; García Ferrandis, I.; y García Gómez, J.; (2010). *Los efectos de la contaminación acústica en la salud: conceptualizaciones del alumnado de Enseñanza Secundaria Obligatoria de Valencia*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (24), pp.123-137.
- Holt, G.; McIntyre, G.; Flagg, D.; Bayer, E.; Wanjura, J. y Pelletier, M. (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 Bio-based Materials and Bioenergy*, 6(4), pp.431-439.
- Jondelius, O. (2015). *Mycelium Building*. Estocolmo, Suecia: Kth Royal Institute of Technology.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). *Manual de aplicación reglamentación acústica*. Santiago, Chile: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Pelletier, M. G.; Holt, G. A.; Wanjura, J. D.; Bayer, E. y McIntyre, G. (2013). *An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates*. *Industrial Crops and Products*, 51, 480–485. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.008>.
- Pelletier, M.; Holt, G. y Wanjura, J. (2017). *Simplified Three-Microphone Acoustic Test Method*. *Instruments*, 1(1), p.4.
- Platzer M, U.; Iñiguez C, R.; Cevo E, J. y Ayala R, F. (2007). *Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile*. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 67(2).
- Rodríguez, S. (2016). *Mycelium: material bio-basado, compuesto del micelio del bongo Trametes versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Sampathrajan, A.; Vijayaraghavan, N. y Swaminathan, K. (1991). *Acoustic aspects of farm residue-based particleboards*. *Bio-resource Technology*, 35(1), pp.67-71.
- Sancho, F.; Galiana, L. y Llopis, A. (1990). *Acústica arquitectónica y urbanística*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- S.A.P., E. (2017). *Medio Ambiente elabora "mapa del ruido" que identifica los lugares de Santiago con mayor contaminación acústica*. [online] Emol. Disponible en: <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2017/04/26/855845/Medio-Ambiente-elabora-mapa-del-ruido-que-identifica-los-lugares-de-Santiago-con-mayor-contaminacion-acustica.html>. Acceso el 10 Sep. 2017.
- Sargianis, J.; Kim, H.; Andres, E. y Suhr, J. (2013). *Sound and vibration damping characteristics in natural material based sandwich composites*. *Composite Structures*, 96, pp.538-544.
- Zhu, X.; Kim, B.; Wang, Q. y Wu, Q. (2013). *Recent Advances in the Sound Insulation Properties of Bio-based Materials*. *Bio-Resources*.

# Índice de imágenes

## 1<sup>era</sup> Parte: Formulación

- Fig. 1: elaboración propia.  
Fig. 2: Platzer, M. U. (2007).  
Fig. 3: S. A. P, E. (2017).  
Fig. 4: elaboración propia.  
Fig. 5: S. A. P, E. (2017).  
Fig. 6: elaboración propia.  
Fig. 7: Pelletier, M. G. (2013).  
Fig. 8: Chen, W. (2000).  
Fig. 9: Sargianis, J. (2013).  
Fig. 10: Montalti, M. (2015). *MOGU*. Fotografía de producto. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/mogu/>  
Fig. 11: Montalti, M. (2015). *MOGU*. Fotografía de producto. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/mogu/>  
Fig. 12: Montalti, M. (2015). *MOGU*. Fotografía de producto. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/mogu/>  
Fig. 13: Montalti, M. (2015). *MOGU*. Fotografía de producto. Disponible en: <http://www.corpuscoli.com/projects/mogu/>  
Fig. 14: Pfeiffer, E. (2016). *Wall Flower Tile*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://ecovatedesign.com/press-releases/147>  
Fig. 15: Lush, K. (2016). *Sinewave*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://ecovatedesign.com/press-releases/147>  
Fig. 16: Lush, K. (2016). *Sinewave*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://ecovatedesign.com/press-releases/147>  
Fig. 17: Lush, K. (2016). *Sinewave*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://ecovatedesign.com/press-releases/147>  
Fig. 18: Ecovative. (2017). *Hive Acoustic Wall Tile*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://shop.ecovatedesign.com/products/hive-wall-tile?variant=35342020417>  
Fig. 19: Ecovative. (2017). *Hive Acoustic Wall Tile*. Fotografía de producto. Disponible en: <https://shop.ecovatedesign.com/products/hive-wall-tile?variant=35342020417>

## 2<sup>da</sup> Parte: Validación

- Fig. 20: elaboración propia.  
Fig. 21: elaboración propia.  
Fig. 22: elaboración propia.  
Fig. 23: elaboración propia.  
Fig. 24: elaboración propia.  
Fig. 25: elaboración propia.  
Fig. 26: elaboración propia.  
Fig. 27: elaboración propia.  
Fig. 28: elaboración propia.  
Fig. 29: elaboración propia.  
Fig. 30: elaboración propia.  
Fig. 31: elaboración propia.  
Fig. 32: elaboración propia.  
Fig. 33: elaboración propia.  
Fig. 34: elaboración propia.

- Fig. 35: elaboración propia.  
Fig. 36: elaboración propia.  
Fig. 37: elaboración propia.  
Fig. 38: elaboración propia.  
Fig. 39: elaboración propia.  
Fig. 40: elaboración propia.  
Fig. 41: elaboración propia.  
Fig. 42: elaboración propia.  
Fig. 43: elaboración propia.  
Fig. 44: elaboración propia.  
Fig. 45: elaboración propia.  
Fig. 46: elaboración propia.  
Fig. 47: elaboración propia.  
Fig. 48: elaboración propia.  
Fig. 49: elaboración propia.  
Fig. 50: elaboración propia.  
Fig. 51: elaboración propia.  
Fig. 52: elaboración propia.  
Fig. 53: elaboración propia.  
Fig. 54: elaboración propia.  
Fig. 55: elaboración propia.  
Fig. 56: elaboración propia.  
Fig. 57: elaboración propia.  
Fig. 58: elaboración propia.  
Fig. 59: elaboración propia.  
Fig. 60: elaboración propia.  
Fig. 61: elaboración propia.  
Fig. 62: elaboración propia.  
Fig. 63: elaboración propia.  
Fig. 64: elaboración propia.  
Fig. 65: elaboración propia.  
Fig. 66: elaboración propia.

## 3<sup>era</sup> parte: Proyecto

- Fig. 67: elaboración propia.  
Fig. 68: elaboración propia.  
Fig. 69: elaboración propia.  
Fig. 70: elaboración propia.  
Fig. 71: elaboración propia.  
Fig. 72: elaboración propia.  
Fig. 73: elaboración propia.  
Fig. 74: elaboración propia.  
Fig. 75: elaboración propia.  
Fig. 76: elaboración propia.  
Fig. 77: elaboración propia.  
Fig. 78: elaboración propia.  
Fig. 79: elaboración propia.  
Fig. 80: elaboración propia.  
Fig. 81: elaboración propia.

**NUEVAS FORMAS DE DAR FORMA:  
COMPONENTES CONSTRUCTIVOS MICELARES A  
BASE DE SUPERFICIES CURVADAS**

Galit Hojman Betancourt  
Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica  
Noviembre de 2017

**PRIMERA PARTE: FORMULACIÓN**



## 1. TEMA Y CASO

La investigación busca por una parte ampliar las posibilidades de dar forma a componentes constructivos micelares por medio de superficies curvadas, y por otra encontrar alternativas para reproducir formas logradas mediante otras técnicas de construcción. Aprovechando y potenciando así la cualidad de adaptación del micelio en su crecimiento. La búsqueda se centra en estructurar cáscaras auto portantes donde el micelio crece por medio de una guía estructural (superficies curvadas) la cual es a su vez su sustrato.

## 2. ABSTRACT

Se estudia diferentes posibilidades de dar forma a componentes constructivos por medio de la bio fabricación utilizando hongos (*Pleurotus ostreatus*) y fibra de cáñamo.

Para ello en primer lugar se realizaron experimentos con distintos diámetros de fibra de cáñamo para verificar si constituían un sustrato adecuado y analizar las velocidades de crecimiento y las variables del ambiente (exposición a la luz, temperatura y humedad). Posteriormente se diseñaron y construyeron a partir de los elementos fibrilares configuraciones bidimensionales con diferentes entramados para estudiar diferentes superficies curvadas. La geometría de los modelos, los entramados y el micelio debiesen ser las variables que determinen si es posible realizar cáscaras auto portantes a partir de textiles vegetales y hongos.

## 3. CONTEXTOS

### 3.1 Contexto Tecnológico

Hoy en día la fabricación de nuevos materiales en base a hongos y desechos

agrícolas pueden reemplazar los materiales más comunes en la construcción, los cuales vienen de la industria de la madera, el acero o el hormigón deteriorando el medio ambiente en diferentes momentos desde su elaboración hasta su uso y posterior deposición. Este nuevo espectro de materiales podría ser una alternativa capaz de mitigar tanto la contaminación generada en la producción como con la contaminación al momento de desechar los productos una vez que su vida útil haya terminado.

Los materiales compuestos por micelio que vemos en el mercado por lo general están compuestos por hongos descomponedores de madera y que por tanto utilizan desechos agrícolas como sustrato. Comúnmente los módulos estructurales que se producen o las estructuras en sí mismas son generados empleando un sistema de moldaje donde el micelio, en conjunto con su sustrato, crece dentro de un molde lo que determina su forma final, como podemos ver en los ladrillos producidos por Ecovative o sus sistemas de *Protective Packaging*. [Fig\_1]



Fig\_ 1: Protective Packaging Ecovative.

Existen al menos dos posibilidades de realizar estructuras en base a moldaje que requieran de una mayor complejidad geométrica, o bien se realiza un molde que en algunos casos la elaboración de éste

podiese ser más complejo que la forma misma o por la producción de un módulo (generalmente un ladrillo) donde gracias al ensamble y repetición de éste es posible generar estructuras curvas, como se suele hacer en albañilería. [Fig\_2 y Fig\_3]



Fig\_2: Phil Ross. Detalle estructura micelar realizada a partir de moldes.



Fig\_3: Phil Ross. Arco micelar realizada a partir de moldes.



Fig\_4: Arco Romano de Cáparra. Ejemplo de construcción en albañilería (ladrillos de piedra unidos con mortero).

### 3.2 Contexto Arquitectónico

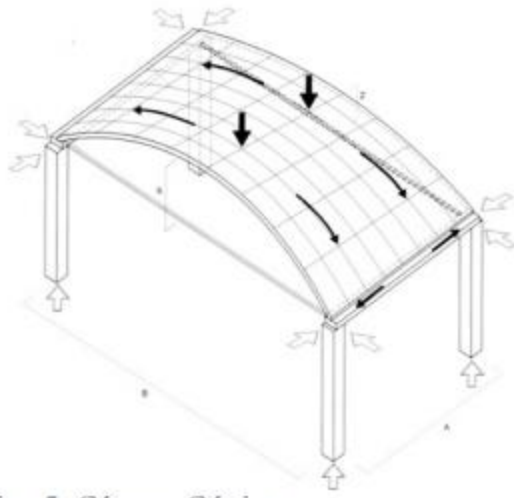
Las cáscaras son superficies compuestas que distribuyen las cargas en el plano y tiene la mayor eficiencia al resistir distribuyendo uniformemente las cargas. Usualmente en las construcciones de cáscaras complejas se utilizan tres formas básicas: Cáscaras Cónicas, Cáscaras de Paragua Hiper Curvado y Cáscaras Hiper Curvadas de Tres Puntos.

**Cáscaras Cónicas:** Están formadas por una doble curvatura que pasa por un solo eje en el centro dividiendo la superficie en dos mitades congruentes. [Fig\_4]

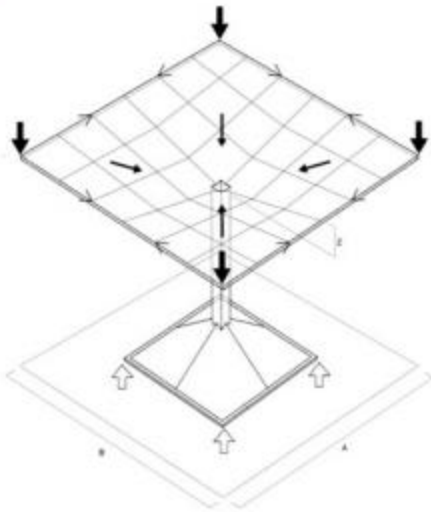
**Cáscaras de Paragua Hiper Curvado:** Están formadas por cuatro superficies hiperboloides parabólicas rectangulares las cuales se extienden desde las cuatro caras de una columna, cada una doblada en dos direcciones distintas. [Fig\_5]

**Cáscaras Hiper Curvadas de Tres Puntos:** Están formadas por superficies hiperbólicas de doble curvatura y que descansan en tres apoyos. También es posible encontrar de cuatro apoyos. [Fig\_6]

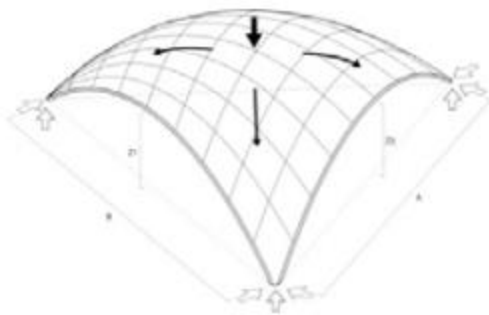
En este caso la búsqueda está orientada a estudiar las cáscaras Hiper Curvadas de Tres Puntos debido a que ésta, a diferencia de las otras, gracias a su geometría es posible estructurarlas con un espesor delgado de hormigón armado abarcando grandes distancias. Por otro lado en en esta oportunidad se busca estudiar la bio fabricación sobre el despliegue natural de configuraciones bidimensionales en la misma línea de naturalidad con que se despliega una catenaria. Posteriormente para obtener geometrías más controladas se introducen ciertos ajustes.



Fig\_ 5: Cáscara Cónica



Fig\_ 6: Pilar Paragua Hiper Curvado



Fig\_ 7: Cáscara Hiper Curvada de Tres Puntos

### 3.3 Contexto Productivo

En 1959 Eduardo Torroja funda en España la IASS (International Association for Shell and Spatial Structures), una asociación que reunía a arquitectos, ingenieros y constructores interesados en el desarrollo de estructuras laminares, más comúnmente conocidas como cáscaras<sup>1</sup>. Las cáscaras son estructuras similares a las membranas pero éstas trabajan a compresión y no a tracción.

<sup>1</sup> "...las cáscaras resisten y transmiten cargas con espesores mínimos. Para su adecuado comportamiento estructural, las cáscaras se basan en su geometría curva en las tres

Estas estructuras utilizaban el hormigón armado para poder materializarse.

En un comienzo el hormigón armado era utilizado de igual manera como se construye con madera y hierro:

*"Como decía el propio Maillart: Los ingenieros estaban tan acostumbrados a usar esos materiales básicos que ofrecen tan sólo un soporte unidimensional, que lo hacían de modo automático y esto les impedía aprovechar otras posibilidades. Así estaban las cosas cuando se introdujo el hormigón armado, y al principio no hubo ningún cambio"* (Giedion, 2009)

Hasta ese momento las losas habían tenido un papel más bien pasivo en la construcción y fue Robert Maillart quien las transformó en superficies auto portantes activas teniendo como resultado losas de hormigón armado como elementos estructurales.

Sin embargo, la construcción con hormigón armado requiere de un proceso complejo, es necesario un encofrado, luego el vaciado del hormigón y la espera del tiempo necesario para que este alcance la resistencia requerida y finalmente un desencofrado, siendo entonces un proceso con costos elevados.

## 4. RELEVANCIA

Desarrollar técnicas constructivas con micelio es un aporte a una industria constructiva más sustentable desde una perspectiva económica y ambiental. Hoy en día se están desarrollando componentes constructivos realizados de micelio y desechos de la industria agrícola (y por lo tanto son materiales 100% biodegradables) que gracias a el crecimiento

dimensiones y en la correcta posición y orientación de los soportes." (Charleson, 2005)



natural del micelio en su sustrato se necesita poca energía para la producción. Por ejemplo el bio material *Greensulate* desarrollado por *Ecovative* (el cual podría reemplazar el poliestileno expandido como aislante en paneles) por la misma cantidad de material producido consume diez veces menos energía y produce ocho veces menos emisiones de CO<sub>2</sub> que el Poliestileno Expandido (considerando el proceso de fabricación y transporte).

Material	1 m <sup>3</sup> EPS	1m <sup>3</sup> Greensulate
CO <sub>2</sub> emitido	462 Kg	31 kg
Energía consumida	5000 MJ	625

Fig. 8: Energía consumida y emisión de CO<sub>2</sub> de Ecovative Desing.

La industria de la construcción es uno de los principales responsables de la contaminación del planeta, ya que consume muchos recursos naturales y genera grandes cantidades de desechos. El 40% de las materias primas del mundo son destinadas a esta industria y un 20% de la energía mundial es destinada al proceso de construcción, elaboración de materiales y demolición de las obras (UNEP-SBCI, 2009).

Por ello, implementar sistemas constructivos por medio de la bio fabricación es contribuir a tener desechos biodegradables minimizando el impacto ambiental al momento de su producción y al momento de demolición. Por otro lado construir con bio materiales favorece a la protección de materias primas que la naturaleza ofrece.

Desde otra perspectiva la bio fabricación de componentes constructivos a partir de micelio democratiza de cierta manera la construcción de ellos ya que el usuario tiene la capacidad de participar en el proceso constructivo. Esto es posible ya

que cualquiera puede tener acceso tanto a las especies de hongos como a los sustratos necesarios para el proceso.

## 5. OBSERVACIONES PRELIMINARES

Mi interés por el mundo fungi nace de la experiencia de ver los Time Lapse realizados por el fotógrafo Steve Axford y la oportunidad de asistir a la conferencia que impartió en nuestra universidad. Luego de esa experiencia me fui sumergiendo, de manera amateur, en el mundo fungi. Una segunda aproximación fue el libro *Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save The World* de Paul Stamets, que me permitió asimilar lo importante que son los hongos como seres vivos y lo poco que los valoramos. En su libro Stamets expone cuatro métodos con los cuales el reino fungi puede colaborar a revitalizar el medio ambiente: Mycofiltration, Mycoforestry, Mycoremediation, Mycopesticides.

Desde la perspectiva del Bio Design mi primer acercamiento fue a través de la charla TED, “*Diseño en la intersección de la Tecnología y la Biología*” de Neri Oxman. En esta oportunidad Oxman expone la búsqueda de dar forma por medio de la interacción de la fabricación digital y la biología. Es interesante la reflexión que hace sobre el diseño ya que éste desde la Revolución Industrial se ha caracterizado por la fabricación en masa y por el principio de ensamblaje, donde la construcción y el diseño de máquinas, objetos y edificios es por medio del ensamble de partes. Propone entonces una nueva visión de concebir el diseño: diseñar por medio del crecimiento, donde la estructura es el material en sí mismo.

De la convergencia de dichas experiencias nace la inquietud de realizar estructuras donde los materiales funcionan tanto en envolvente como en estructura. Me resulta

interesante que sea la forma arquitectónica una expresión de la estructura misma, donde el observador no es capaz de distinguir entre esqueleto y piel y que esto sea posible debido a la utilización de un organismo vivo donde gracias a su crecimiento es que se genera la forma en sí misma, diseñado así en conjunto con la naturaleza.

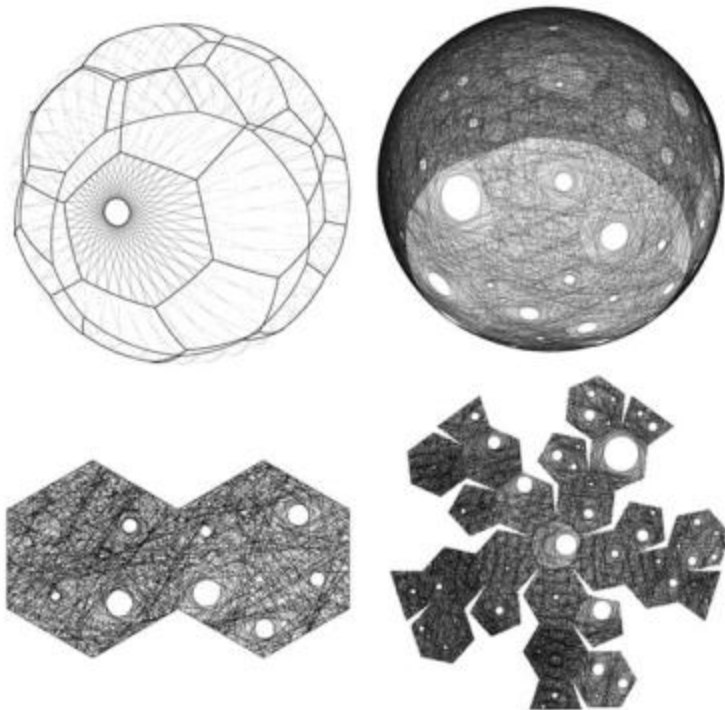


Fig. 9: Silk Pavillion, Neri Oxman. Pabellón construido a partir de una estructura primaria creada de 26 paneles poligonales hechos de hilos de seda establecidos por una máquina CNC. Se aprovechó r la habilidad del gusano de seda para generar un capullo tridimensional a partir de un único hilo de seda.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 El Micelio

En el reino fungi existen dos tipos de hongos, los unicelulares (levaduras) y los multicelulares. Estos últimos se componen por filamentos vegetativos llamado hifas siendo el conjunto de ellos lo que denominamos micelio. Estos filamentos se organizan conjuntamente para formar una red ultra conectada capaz de absorber los nutrientes necesarios para la existencia del hongo. A diferencia de otras redes de transporte como el del mundo vegetal o los sistemas vasculares del mundo animal, el micelio no forma parte del organismo, es el organismo en sí mismo.

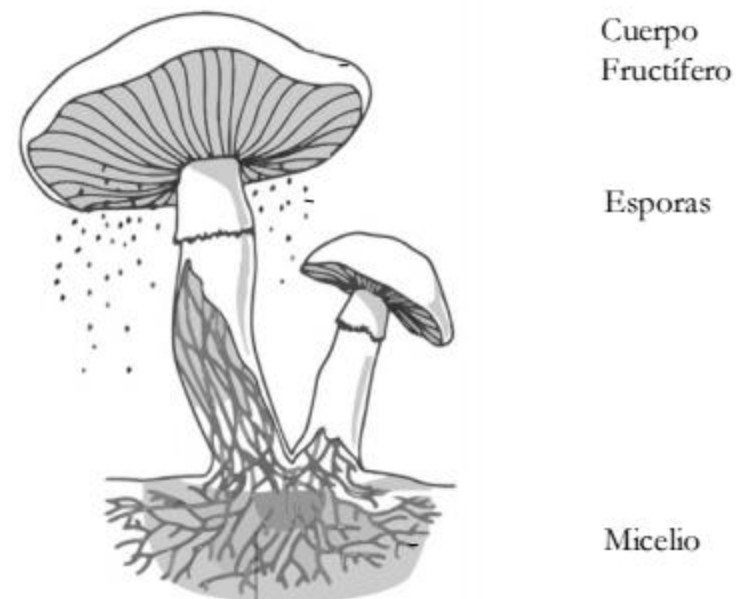


Fig. 10: Estructura del hongo

*“The mycelium is an exposed sentient membrane, aware and responsive to changes in its environment... A complex and resourceful structure for sharing information, mycelium can adapt and evolve through the ever-changing forces of nature”* (Paul Stamets, 2005)

Como expone Paul Stamets en su libro, el micelio posee una gran capacidad de adaptabilidad y resiliencia ante ambientes o situaciones amenazantes para su existencia. Por lo que se busca poder utilizar esta capacidad y por lo tanto no restringir la adaptabilidad de crecimiento del micelio a un sistema de moldaje, si no más bien buscar nuevas *formas de dar forma* alcanzando estructuras con geometrías más complejas.

### 6.2 La Fibra

Gialuca Tabellini en su tesis *Mycelium Tectonics* utiliza la fibra de cáñamo para crear sus estructuras micelares. El cáñamo funciona tanto como sustrato como guía para que éste crezca.

La fibra de cáñamo fue sumergida durante 24 horas en agua para que absorbiera la cantidad necesaria para asegurar la humedad óptima para el crecimiento del micelio en ella. Se realizó un experimento

preliminar en placas Petri, sin preocupaciones de esterilización para comprobar el crecimiento del micelio en la fibra vegetal. A pesar de no estar en un ambiente esterilizado el experimento no mostró contaminaciones. Finalmente se llevó a un proceso de secado a temperatura ambiente (22 °C), luego de dos días la muestra estaba completamente seca.

*“En un análisis cualitativo, el espécimen parece sólido y robusto, con un fuerte aumento en las propiedades mecánicas inicialmente cercanas a cero.”* (Gianluca Tabellini, 2014)



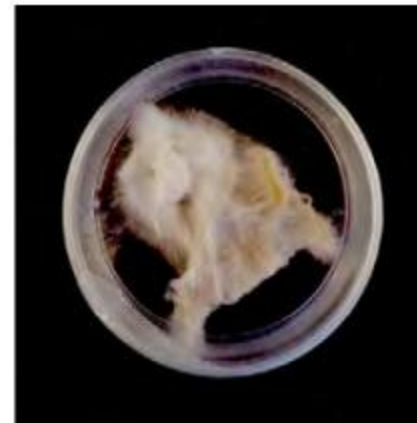
Fig\_ 11: Detalle microscópico 8x de crecimiento micelar en fibra de cáñamo.



Fig\_ 12: Después de cinco días de secado.



Fig\_ 13: Cuatro días de crecimiento.



Fig\_ 14: Ocho días de crecimiento.



Fig\_ 15: Once días de crecimiento.

### 6.3 Geometrías Complejas

*“Muchas de las construcciones realizadas por Frei Otto pueden ser modeladas matemáticamente con gran dificultad requiriendo de mucho tiempo y solo de manera aproximada”*

(Conrad Roland, 1965)

Hay una ley fundamental de la física que sustenta todas las teorías aceptadas que es el Principio de Mínima Acción que se expresa de diferentes maneras en los diferentes ámbitos (en mecánica clásica, en electromagnetismo, en mecánica cuántica, en la relatividad general, óptica etc.). Esencialmente lo que dice el Principio de Mínima Acción es que por algún motivo la naturaleza elige minimizar ciertas magnitudes físicas en los diferentes

sistemas que estudia: en algunos casos la energía en otros el tiempo. Ello se manifiesta en que aparecen ciertas formas que pueden ser descritas matemáticamente, por ejemplo la esfera minimiza el área dado un volumen, la braquistócrona minimiza el tiempo de caída, la catenaria minimiza la energía potencial. Todas las anteriores pueden ser descritas con matemáticas avanzadas pero relativamente simple, sin embargo, existen estructuras de tanta complejidad geométrica que su descripción matemática resulta inútil o imposible de manera que es preferible modelarlas más que tratar de formular un modelo analítico exacto. Como es el caso de las cúpulas catenarias invertidas de Gaudí.



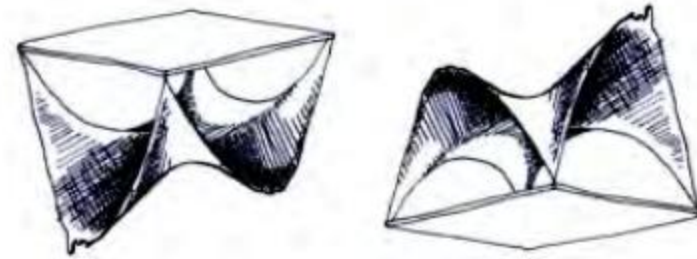
Fig\_ 16: Maqueta catenarias de la Sagrada Familia de Gaudí.

A ello hace referencia la cita inicial en que en la arquitectura frecuentemente en lugar de usar modelos matemáticos indescifrables y que requerirían de mucho tiempo y habilidades específicas sin aportar mayor claridad conviene entonces hacer uso de modelos utilizando membranas, cadenas,

textiles, membranas elásticas, películas de jabón, elementos tensionantes u otros que permiten entender la geometría y sus propiedades y la variación de los parámetros relevantes (forma, estabilidad, estética, espacialidad).



Fig\_ 17: Modelo de lana de Frei Otto.



Fig\_ 18: Modelos de textiles colgantes de Heinz Isler.

### 6.3 La Catenaria

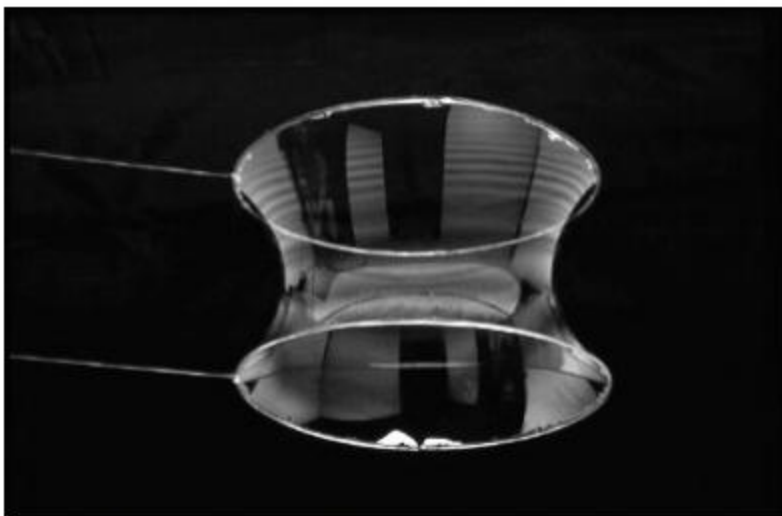
Una catenaria (del latín, catena) es la curva que adopta un cable o una cadena flexible colgante cuando se cuelga de sus extremos y actúa sobre ella una fuerza gravitacional uniforme. La curva tiene forma de U, de apariencia similar a una parábola, pero matemática, física y estructuralmente es distinta a ella.

La forma analítica de la función que define una catenaria es  $y=a \cosh(x/a)$ , donde  $\cosh$  es la función coseno hiperbólico y  $a$  representa la altura de la parte más baja de la cadena que cuelga. La figura adjunta representa la forma que adquiere la catenaria para distintos valores de  $a$ ,

manteniendo fija la distancia entre sus puntos de sujeción.

Uno de los ejemplos arquitectónicos más conocidos de catenarias es el de los modelos funiculares colgantes de Antonio Gaudí. El método de Gaudí explota la propiedad de una curva catenaria, que describe una cadena en tensión pura. Cuando la catenaria se invierte, se convierte en una curva en compresión pura.

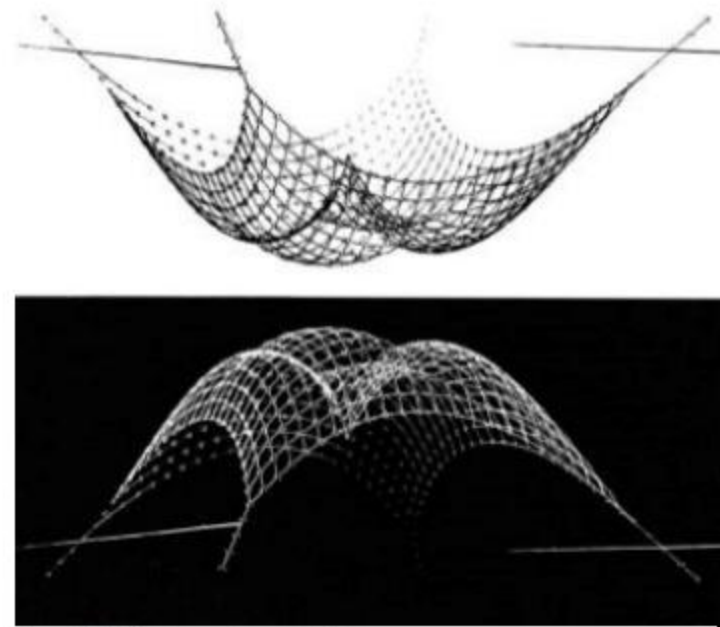
Una situación similar, pero más rica en posibilidades, es cuando se pasa de una a dos dimensiones, generando membranas catenarias. Desde el punto de vista físico, las membranas catenarias comparten la misma propiedad que la curva catenaria, es decir, al ser sostenidas de dos o más puntos en un campo gravitacional, adoptan una forma tal que minimiza la energía potencial de la membrana. Ello marca una diferencia con la catenoide, generada como superficie de revolución de una catenaria, que minimiza el área de la superficie. La imagen ilustra la forma que adquiere una película de jabón de modo de minimizar el área, que físicamente corresponde a minimizar la energía tensional. [Fig\_19]



Fig\_ 19: Película de jabón.

Las formas generadas por las membranas catenarias no solo dependen del número de puntos de sujeción, sino también de su disposición y adicionalmente, de la forma de la membrana. Así, por ejemplo, es posible tener 3, 4 o más puntos de sujeción que pueden estar dispuestos en un círculo, un cuadrado, un triángulo o cualquier otra disposición de nuestro gusto, necesidad o conveniencia. Por otra parte, es posible utilizar membranas triangulares, cuadradas, poligonales o circulares (o cualquier otra forma caprichosa que se prefiera). Dependiendo de las combinaciones elegidas de unos y otros, se desplegarán, por efecto de la gravedad y de las condiciones de contorno, membranas catenarias con diferentes formas y propiedades.

Las configuraciones más simples se obtienen cuando son puntos del contorno de la membrana los que se adhieren a los puntos de sujeción. Si además uno o más puntos del interior de la membrana se adhieren a puntos de sujeción, se generan membranas catenarias anidadas, como se aprecia en la figura adjunta. [Fig\_20]



Fig\_ 20: Catenaria anidada.

## 7. HIPÓTESIS

Es posible guiar y potenciar el crecimiento del micelio a través de superficies de doble curvatura compuestas por textiles vegetales para generar así estructuras auto portantes.

## 8. OBJETIVOS

### 8.1 Objetivo General

El objetivo general de la investigación es construir superficies curvadas de cuatro puntos de apoyo a partir de textiles vegetales como guía para el crecimiento del micelio.

### 8.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las tramas que optimizan el crecimiento intencionado del micelio.
2. Determinar qué tipo de fibra optimiza el crecimiento micelar.
3. Transformar las superficies curvadas en componentes constructivos.
4. Determinar qué tipo de geometrías es posible realizar.

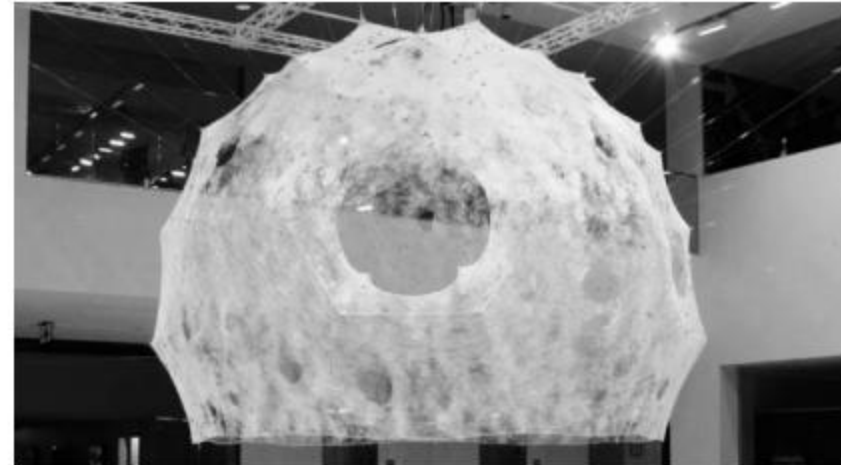
## 9. ESTADO DEL ARTE

### 9.1 Silk Pavilion

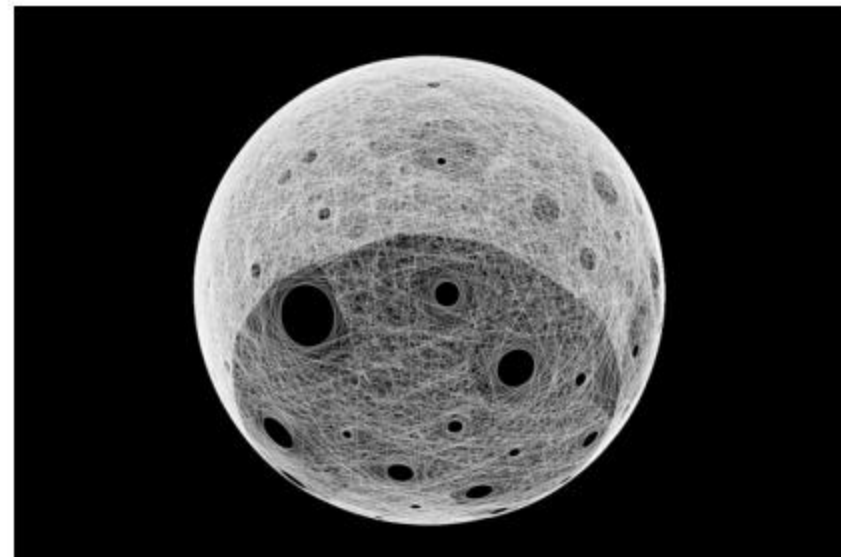
Un pabellón diseñado por Neri Oxman el cual explora la relación entre la fabricación digital y biológica produciendo una estructura a escala arquitectónica. El pabellón se estructura con 26 paneles poligonales hechos de hilos de seda. La idea está inspirada en la capacidad del gusano de seda de generar un capullo 3D a partir de un único hilo. La geometría general del pabellón se creó utilizando un algoritmo que asigna un único hilo continuo. [Fig\_19 y Fig\_29]

Observación: En esta estructura es posible apreciar que el mismo bio material es la estructura en sí misma. Por otro lado es atinente a la investigación la utilización de

un componente biológico que funciona como guía de crecimiento y como sustrato del ser vivo.



Fig\_ 19: Construcción Silk Pavilion  
<https://i.pinimg.com/originals/1a/77/06/1a77062eab9e5e161426e3d3b834e55f.jpg>



Fig\_ 20: Render Silk Pavillion.  
<http://matter.media.mit.edu/assets/images/SP-Comp-01.png>

### 9.2 MycoTree

Es una estructura ramificada diseñada por el arquitecto Dirk Hebel y el ingeniero Philippe Block.

La instalación consiste en componentes de micelios los cuales se soportan mutuamente por compresión. Estos componentes están unidos entre sí por un sistema de placas de bambú y tacos metálicos, pero es el micelio el que está llevando toda la carga. [Fig\_21, Fig\_22 y Fig\_23]

Observación: En este caso hay una suerte de analogía de la construcción con ladrillos princesa donde la fierradura interna está

reemplazada por bambú y el ladrillo de arcilla por un ladrillo de micelio y madera.



Fig\_ 21: Estructura ramificada MycoTree.



Fig\_ 22: Detalle unión de componentes.



Fig\_ 23: Detalle componente.

### 9.3 Hy-Fi

El pabellón fue diseñado por David Benjamin. Es la primera estructura a gran escala que hace uso de la tecnología de ladrillos micelares desarrollada por Ecovative en 2007. Los ladrillos están compuestos por micelio y desechos de la industria agrícola. Estos se pueden cultivar en cinco días. Los ladrillos se apilan para generar la estructura y son unidos mediante mortero, al igual que en albañilería. [Fig\_24 y Fig\_25]

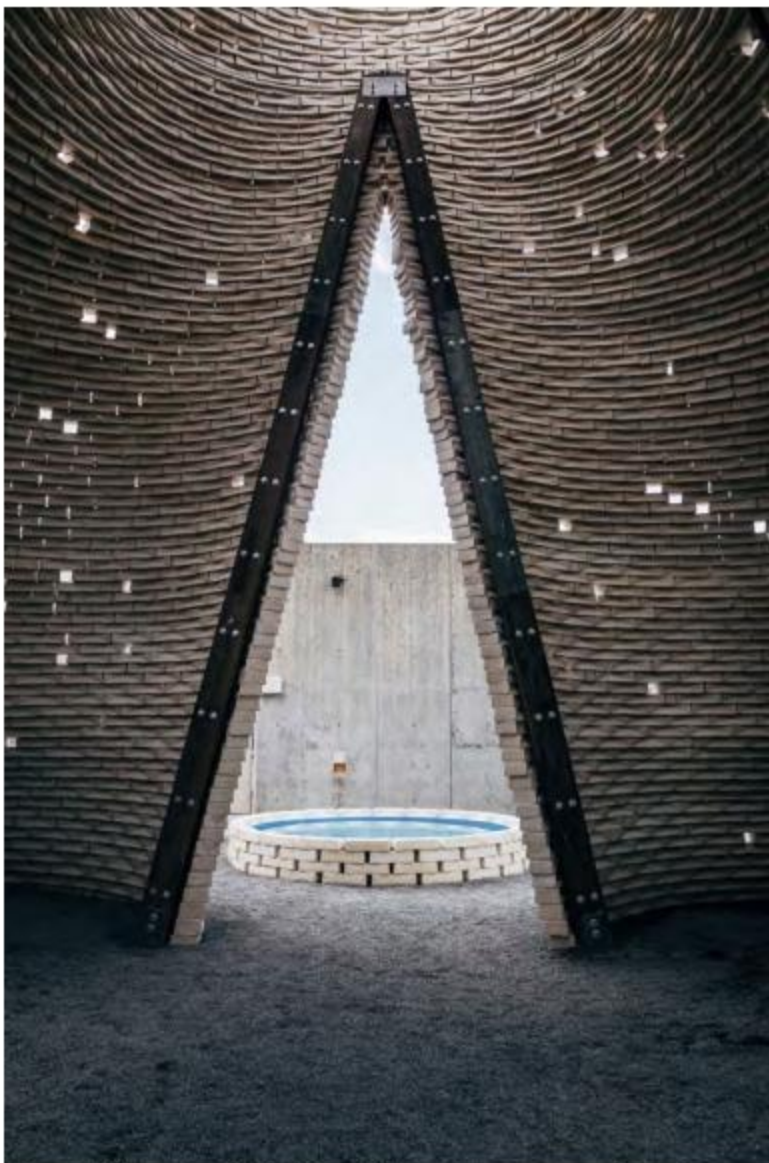
Observación: Es una alternativa interesante y un aporte a la arquitectura y a la industria de la construcción poder realizar una estructura de tal magnitud que sea casi en su totalidad biodegradable.



Fig\_ 24: Render Pabllón Hi-Fy, MOMA-PS1 YAP.  
<https://imgs.6sqft.com/wp-content/uploads/2014/06/21041847/MOMA-PS1-Hi-Fy-Tower-YAP-2014-4.jpg>

En su tesis Gianluca Tabellini explora la posibilidad que tiene el micelio (*Pleurotus ostreatus*) de crecer en estructuras fibrosas de cáñamo y generar formas con una mayor complejidad geométrica. Estas estructuras de micelio y fibra funcionan solo a la tracción. [Fig\_26, Fig\_27 y Fig 28]

Observación: Es interesante hacer uso de una fibra vegetal que funcione tanto como sustrato para el hongo como guía de crecimiento, sin embargo, sería atractivo que dichas estructuras pudiesen ser auto portantes. Es de acá donde nace el interés por crear estructuras que gracias a su geometría y utilizando la misma especie de hongo y sustrato, puedan comportarse a compresión.



Fig\_ 25: Interior Pabellón Hi-Fy. Aperturas reforzadas con acero.  
[https://images.adsttc.com/media/images/53b2/f0de/c07a/80eb/1c00/023c/large\\_jpg/hy-fi3.jpg?1404235972](https://images.adsttc.com/media/images/53b2/f0de/c07a/80eb/1c00/023c/large_jpg/hy-fi3.jpg?1404235972)



Fig\_ 26: Crecimiento micelio en fibra de cáñamo 15 días después de la inoculación.

#### 9.4 Mycelium Tectonics





Fig\_ 27: Estructura de fibra de cáñamo funcionando a tracción. Día 1 de la inoculación.



Fig\_ 28: Después de 15 día de crecimiento (en la oscuridad, temperatura entre 18 y 20 °C y humedad) la fibra se encuentra colonizada por el micelio. La estructura sigue funcionando a tracción.

## SEGUNDA PARTE: VALIDACIÓN

## 10. MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

- Semillas de trigo inoculadas con micelio de *Pleurotus ostreatus*. Especie de hongo elegida para la bio fabricación.
- Fibras de cáñamo de distintos diámetros (1mm, 3mm, 5mm y 10mm): Fibra vegetal que se utiliza como sustrato para el hongo y como guía de crecimiento.
- Dextrosa: Glucosa que se utiliza para acelerar las velocidad de crecimiento del micelio ya que la especie escogida se alimenta principalmente de lignina.

### Insumos

- Alcohol: Será utilizado como medio de esterilización parcial de todos los instrumentos que se usen en la experimentación.
- Agua: Será utilizada para la esterilización tanto del sustrato como de instrumentos y herramientas. Según bibliografía es necesario que alcance su punto de ebullición y que los objetos a esterilizar se encuentren aproximadamente 1 hora bajo ella.
- Pinzas: Serán utilizadas para manipular las semillas de trigo. Es importante que estén previamente esterilizadas con alcohol y fuego.
- Mechero: Será utilizado para la esterilización de pinzas y para aminorar la presencia de bacterias en cierto ángulo de trabajo.
- Film Plástico: Será utilizado para sellar las placas Petri para evitar así posibles contaminaciones.
- Toalla de papel: Será utilizada para limpiar la zona de trabajo y secar instrumentos y herramientas.
- Placas Petri: Recipiente de plástico redondo de 90 mm de diámetro. Se utilizarán para realizar las primeras

experimentaciones de fibras de cáñamo como sustrato y micelio.

- Recipientes de vidrio: Serán utilizados como recipiente para la esterilización de ciertos instrumentos.
- Ollas: Serán utilizados como recipiente para la esterilización de ciertos instrumentos y de las fibras de cáñamo.
- Cocina: Será utilizada para la esterilización de sustrato dejándolo 1 hora en agua hervida.
- Pesos de plomo: Serán utilizados para darle curvatura a las membranas catenarias de los prototipos.
- Cajas de plástico de 35x35x15 cm y de 40x45x30 cm: Se utilizarán como medio esterilizado para realizar los prototipos de catenarias.
- Ganchos metálicos: Serán utilizados para colgar las catenarias en las cajas de plástico.
- Taladro: Será utilizado para perforar las cajas y poner los ganchos metálicos.
- Silicona caliente: Será utilizada para sellar los orificios realizados con el taladro y así no sean una apertura para posibles agentes contaminantes.

## 11. HIPÓTESIS, REGISTRO, OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

### 11.1 Etapa 1: Validación de sustrato

Descripción: En esta primera etapa se busca validar que la fibra de cáñamo es un sustrato para el micelio. Para ello se remojaron las fibras durante 24 horas para obtener la humedad necesaria para que el micelio pueda crecer. Luego se esterilizaron en un olla a baño maría durante 1 hora para así poder introducir las en las placas Petri. Se utilizó semillas de trigo inoculadas con *Pleurotus ostreatus* las cuales fueron manipuladas con pinzas previamente desinfectadas. Todo el procedimiento se realizó en un mesón esterilizado con alcohol y con la presencia de un mechero

para evitar posibles organismos contaminantes.

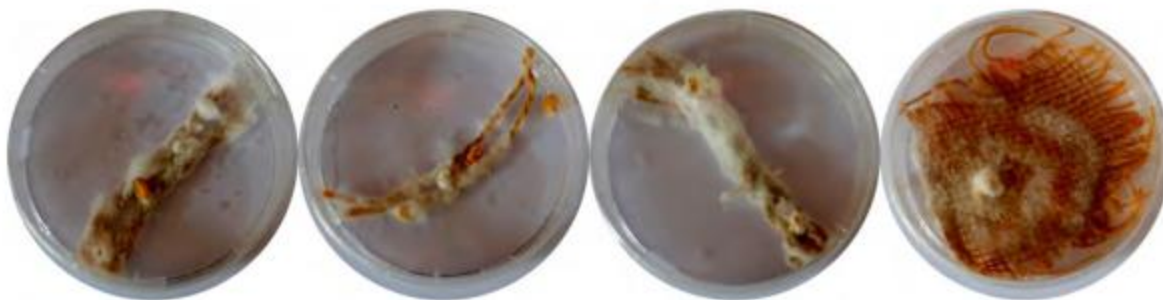
Condiciones Ambientales: Temperatura entre 18 y 20°C, oscuridad y humedad.

Hipótesis: El micelio crecerá con mayor rapidez en aquellas fibras de mayor espesor dado que tendrá más sustrato a su disposición.

Registro:



26/10



06/11



12/11

Fig\_ 29

Fibra Cáñamo  
Espesor: 5mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 3mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 10mm

Textil Cáñamo  
Espesor: 1mm

Conclusiones:

Es importante la sistematización en la experimentación para así poder comparar y sacar conclusiones, por lo que se replantea el experimento. Aún así se valida la

### 11.2 Etapa 2: Estudiar velocidad de crecimiento en distintos tipos de fibra.

Hipótesis: Se espera que en el caso de los experimentos con *fibras dobles* el hongo pueda colonizar ambas fibras no siendo así el espacio entre ellas un impedimento para su crecimiento.

Descripción: En esta segunda etapa se busca estudiar la velocidad de crecimiento y colonización del micelio en distintos espesores de fibra. Se realiza con el mismo procedimiento anterior. Con el aprendizaje de la experiencia anterior se replantea el

hipótesis de que la fibra de cáñamo sea un sustrato para el hongo *Pleurotus ostreatus*. Es interesante también la capacidad del micelio de “saltar” de una fibra a otra habiendo una separación de medio centímetro entre ella.

experimento para así poder obtener una mayor sistematización y poder comparar correctamente. Se utilizan cuatro tipos de fibra de cáñamo ( 1mm, 3mm, 5mm y 10mm). El experimentos considera dos variables, la posición del inóculo (grano de trigo) y la relación de las fibras. Se establecen situaciones de experimentación, por un lado las fibras simples inoculadas con dos semillas a los extremos y dos fibras separadas por 1cm (fibras dobles) inoculadas con tres semilla.

Condiciones Ambientales: Temperatura entre 18 y 20°C, oscuridad y humedad.

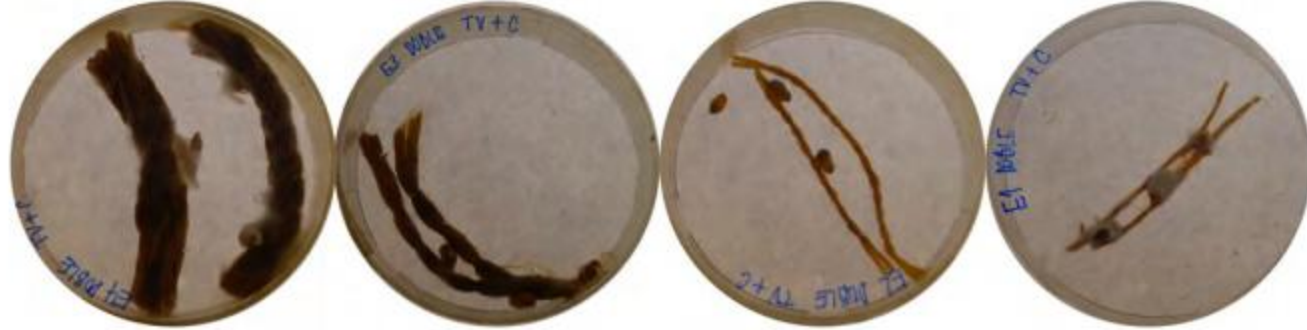


Registro:

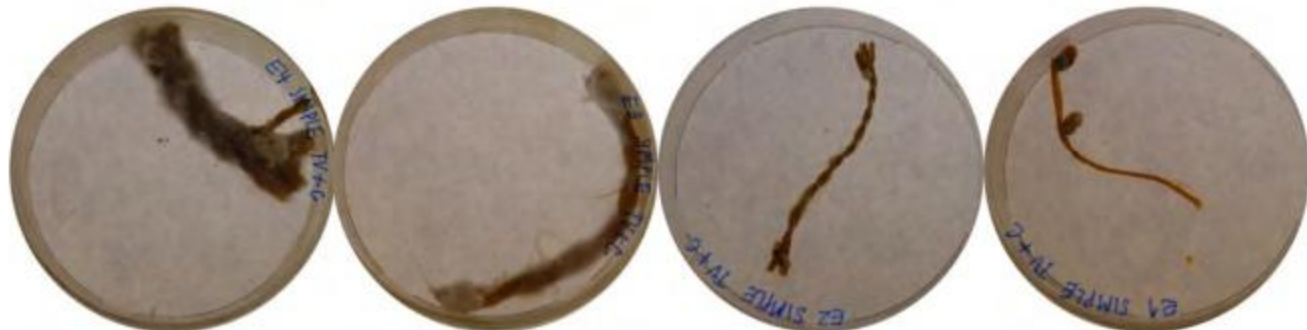
26/10 Fibra Dobles



26/10 Fibra Dobles



16/11 Fibra Simples



16/11 Fibra Dobles

Fig 30

Fibra Cáñamo  
Espesor: 10mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 5mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 3mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 1mm

Conclusiones: A pesar de realizarse los experimentos en las mismas condiciones ambientales y de procedimiento que los experimentos realizados en la etapa 1, no se vieron cambios notorios en su crecimiento. Luego de 22 días de la inoculación es posible observar que algunas semillas están contaminadas, razón por la cual el crecimiento ha sido tan lento y casi nulo.

### 11.3 Etapa 3: Estudiar velocidad de crecimiento en distintos tipos de fibra.

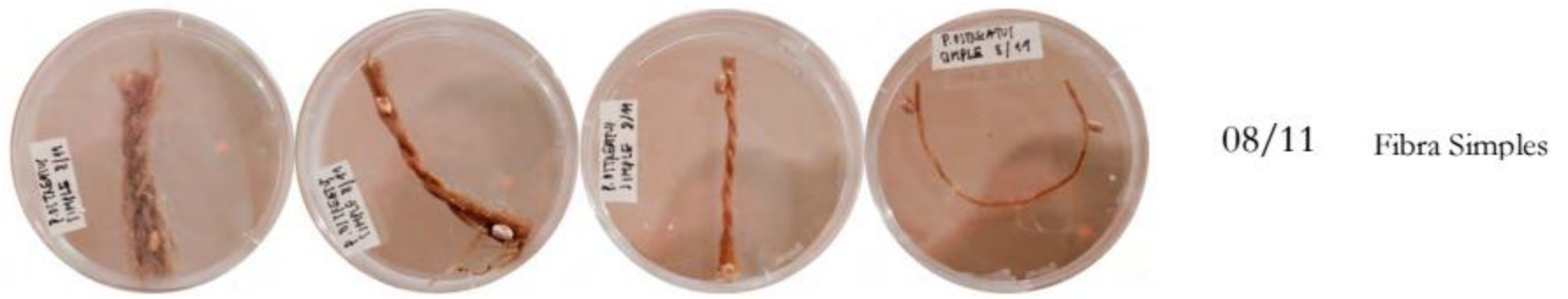
Hipótesis: Se espera que en el caso de los experimentos con *fibras dobles* el hongo

pueda colonizar ambas fibras no siendo así el espacio entre ellas un impedimento para su crecimiento.

Descripción: En la siguiente etapa se intenta realizar con éxito los objetivos de la etapa 2. En esta ocasión se añaden entramados hechos a telar con las distintas fibras con el objetivo de estudiar la velocidad de crecimiento en textiles de distintos espesores y densidades.

Condiciones ambientales: : Temperatura entre 18 y 20°C, oscuridad y humedad.

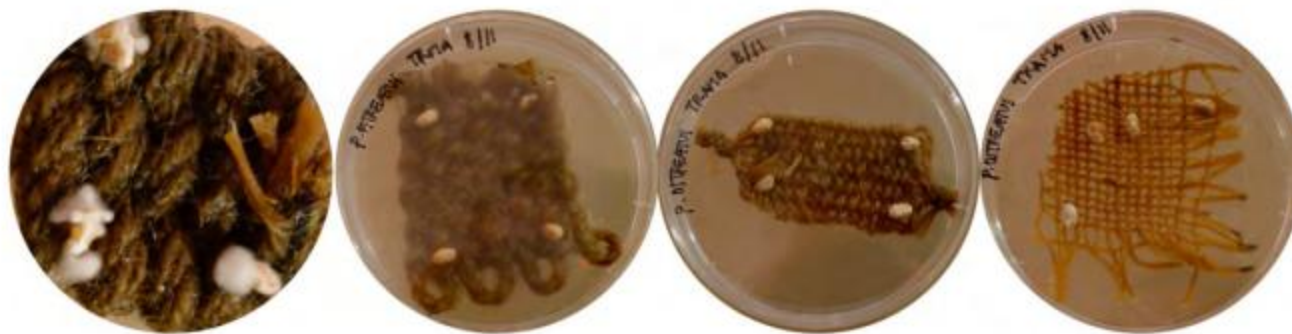
Registro:



08/11 Fibra Simples



08/11 Fibra Dobles



08/11 Entramados

Fig. 31

Fibra Cáñamo  
Espesor: 10mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 5mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 3mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 1mm





12/11 Fibra Simples



12/11 Fibra Dobles



12/11 Entramados

Fig\_32

Fibra Cáñamo  
Espesor: 10mm

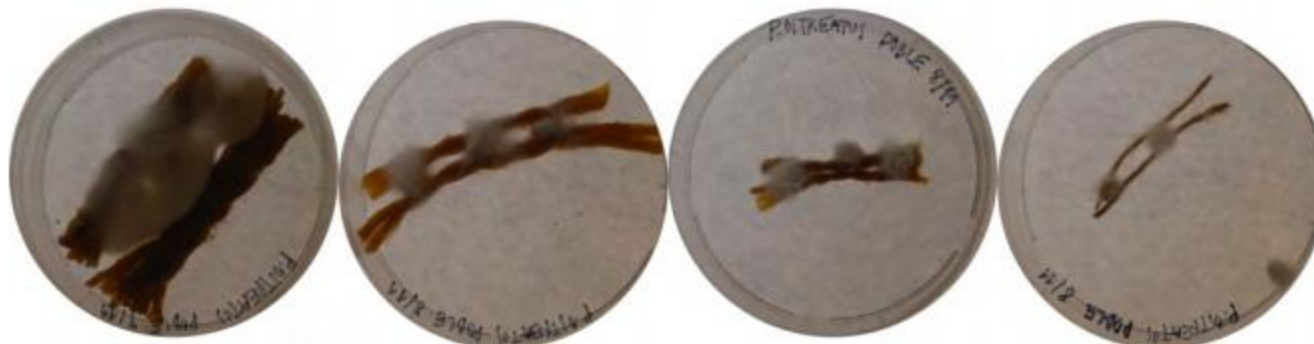
Fibra Cáñamo  
Espesor: 5mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 3mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 1mm



17/11 Fibra Simples



17/11 Fibra Dobles



17/11 Entramados

Fig\_33

Fibra Cáñamo  
Espesor: 10mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 5mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 3mm

Fibra Cáñamo  
Espesor: 1mm

Conclusiones: Las fibras de menor espesor (1mm) no fueron colonizadas por el micelio ya que éstas eran una fuente de sustrato poco abundante para su crecimiento. Las fibras de mayor espesor

(10mm) fueron las primeras en ser colonizadas. El hongo crece de manera horizontal pero también vertical por lo que puede ejercer el rol de “puente” entre ambas fibras.

### 11.3 Etapa 4: Validación catenarias micelares auto portantes.

Hipótesis: *Es posible guiar y potenciar el crecimiento del micelio a través de superficies de doble curvatura compuestas por textiles vegetales para generar así estructuras auto portantes.*

Descripción: En la siguiente etapa tiene como objetivo validar la hipótesis descrita anteriormente en la etapa de formulación.

Para ello se construyeron tres prototipos diferentes. Ambos tres se construyeron a partir de un paño de 30cm x 30cm de fibra de cáñamo y situadas en una caja de plástico (esterilizadas previamente con alcohol), las cuales fueron perforadas en sus tapas para poder así incorporar los ganchos metálicos en los cuales se colgarán las catenarias.

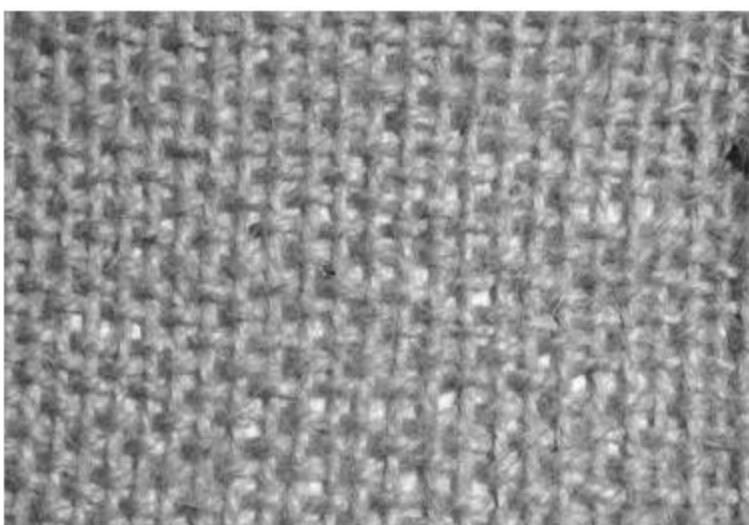
Dos prototipos fueron realizados con entramados tejido a telar con las fibras de 10mm y de 5mm ya que con los experimentos anteriores se pudo concluir que es en las fibras de mayor espesor donde el micelio creció con mayor velocidad. Estas membranas catenarias necesitaron de pesos de plomo para poder acentuar la curvatura.

El otro prototipo fue realizado a partir de catenarias de 50cm de longitud, separadas a 1.5cm y con la fibra de 5mm de espesor. Una vez colgadas las fibras se entramó en el sentido contrario.

Finalmente se inocularon las fibras con *Pleurotus ostreatus* y se sellaron los orificios hechos con silicona caliente para evitar que posibles organismos contaminantes intervengan en el crecimiento del micelio.



Fig\_ 34: Entramado fibra de 10mm de espesor.



Fig\_ 35: Entramado fibra de 5mm de espesor.



Fig\_ 36: Inoculación entramado fibra de 10mm de espesor.



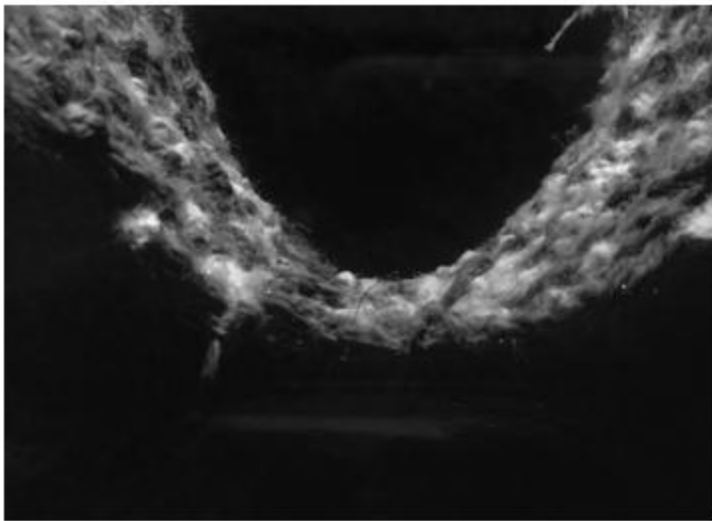
Fig\_ 37: Inoculación entramado fibra de 5mm de espesor.

Fibra 10mm  
9/11/17

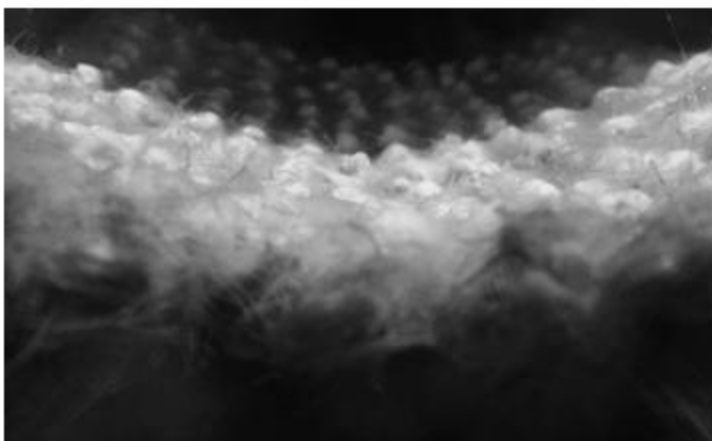
Fibra 5mm  
9/11/17



Fig\_ 38: Prototipo hecho en base a catenarias de 50cm de longitud. Fotografía sacada una semana después de la inoculación (16/11/17).



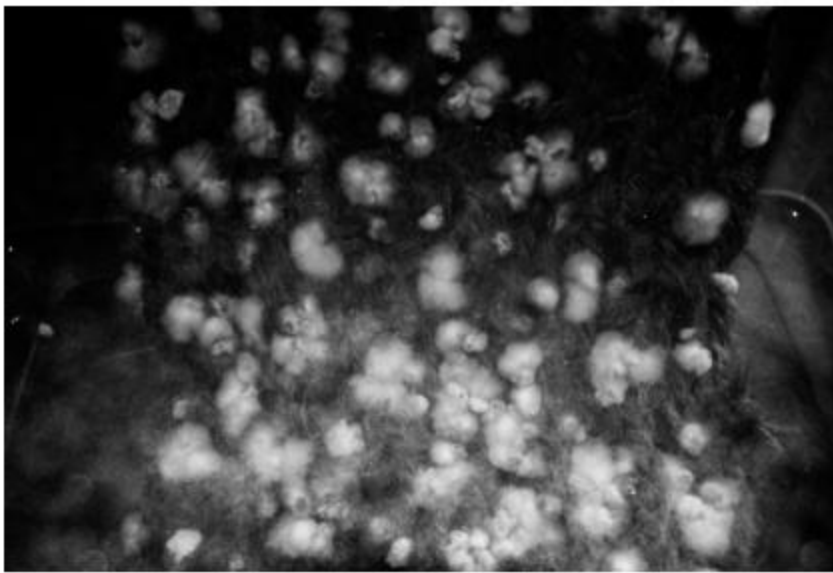
Fig\_ 39: Prototipo hecho con base a catenarias de 50cm de longitud.



Fig\_ 40: Prototipo hecho con entramado tejido a telar con fibra de 5mm de espesor.



Fig\_ 41: Prototipo catenarias dos días después de la inoculación. (11/11/17)



Fig\_ 42: Prototipo catenarias seis días después de la inoculación. (16/11/17)

## Conclusiones

El experimento sigue en proceso, por lo que aun no es posible validar si estas estructuras fraccionadas podrán eventualmente funcionar a la compresión. Sin embargo hay ciertos aprendizajes que podemos obtener de esta primera etapa de experimentación.

El micelio tiene la capacidad de conectar dos fibras con una separación de aproximadamente 2cm horizontalmente, sin embargo, este también tiene un crecimiento vertical por lo que podríamos pensar en conectar fibras verticalmente.

Por otro lado los entramados que se hicieron con fibra de cáñamo (10mm y 5mm) tienen mucho menos libertad de forma que un textil de cáñamo (1mm), de hecho era necesario un peso de plomo para poder acentuar la curvatura, por el contrario la catenaria da cierta libertad de diseño que el textil no te puede entregar. Es interesante además pensar que de la repetición una línea bidimensional, gracias al micelio y la geometría, es posible llegar a una estructura tridimensional.

## TERCERA PARTE: PROYECTO

## **12. CUANTIFICACIÓN DE LA FORMA Y ESCALA**

Se ha estudiado nuevas posibilidades de dar forma a componentes constructivos micelares por medio de fibras vegetales. A partir entonces de una línea bidimensional (catenaria), micelio y una geometría diseñada se tendrá como resultado estructuras tridimensionales de cáscaras auto portantes que abrirán el espectro de espacialidades y forma en la construcción con micelio.

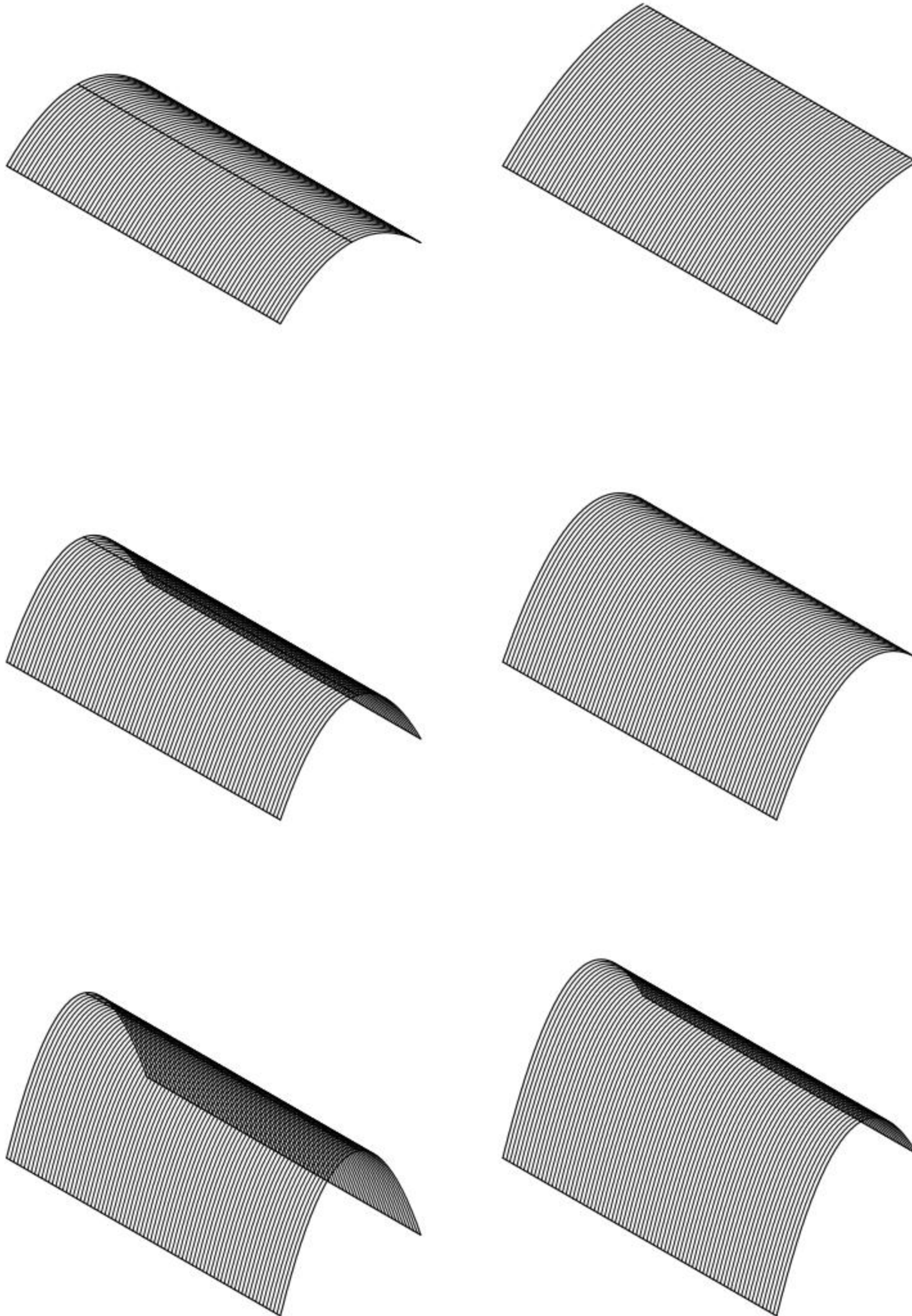
Se busca realizar un estudio de las posibles formas que se pueden alcanzar con catenarias, dejando de lado los entramados y textiles ya que al comprobar que el micelio es capaz de conectar dos fibras que se encuentran a una cierta distancia, es posible entonces hacer un ahorro de

material y alcanzar geometrías más complejas y formas más libres que lo que un entramado de fibra puede ofrecer.

Existen tres variables de diseño para obtener formas de catenarias distintas: el largo de la fibra, las cargas distribuidas a lo largo de ella y el descalce de los extremos. Se propone entonces un atlas de las posibles formas y espacialidades que se pueden obtener a partir de una fibra catenaria.

Si bien el objetivo es que sean habitables las propuestas no lo son debido a que no se experimentó lo suficiente para poder hacer pruebas de formas y espacialidad que además cumplieran con los principios básicos para estructurar proyectos de mayor escala.

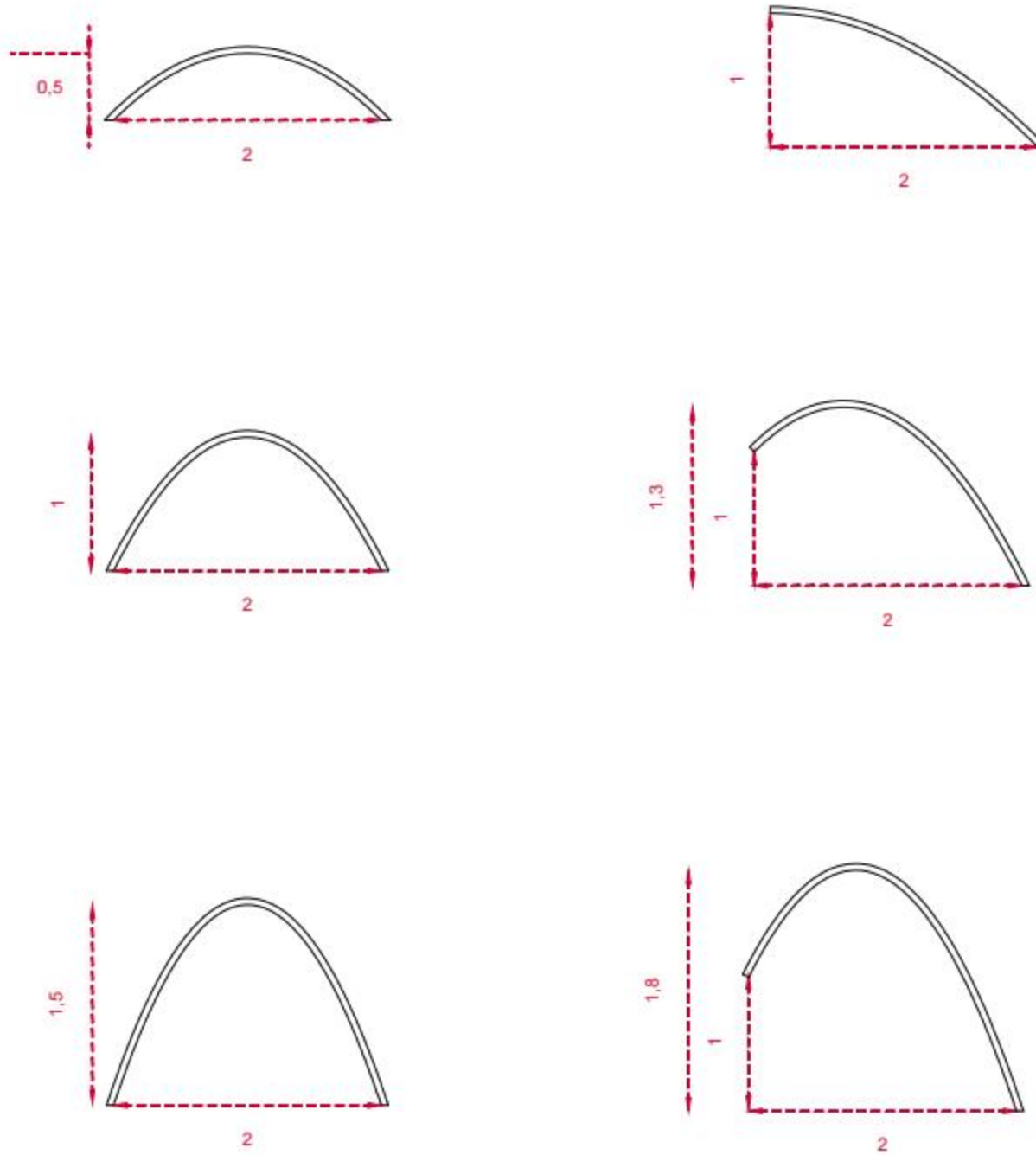
Escala 1:50



Fig\_ 42: Columna izquierda: isométricas de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y por lo tanto el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: isométrica de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y un lado se encuentra 1m más arriba que el otro. Se podrían pensar refuerzos en los extremos y poner costaneras principales con una fibra de mayor espesor

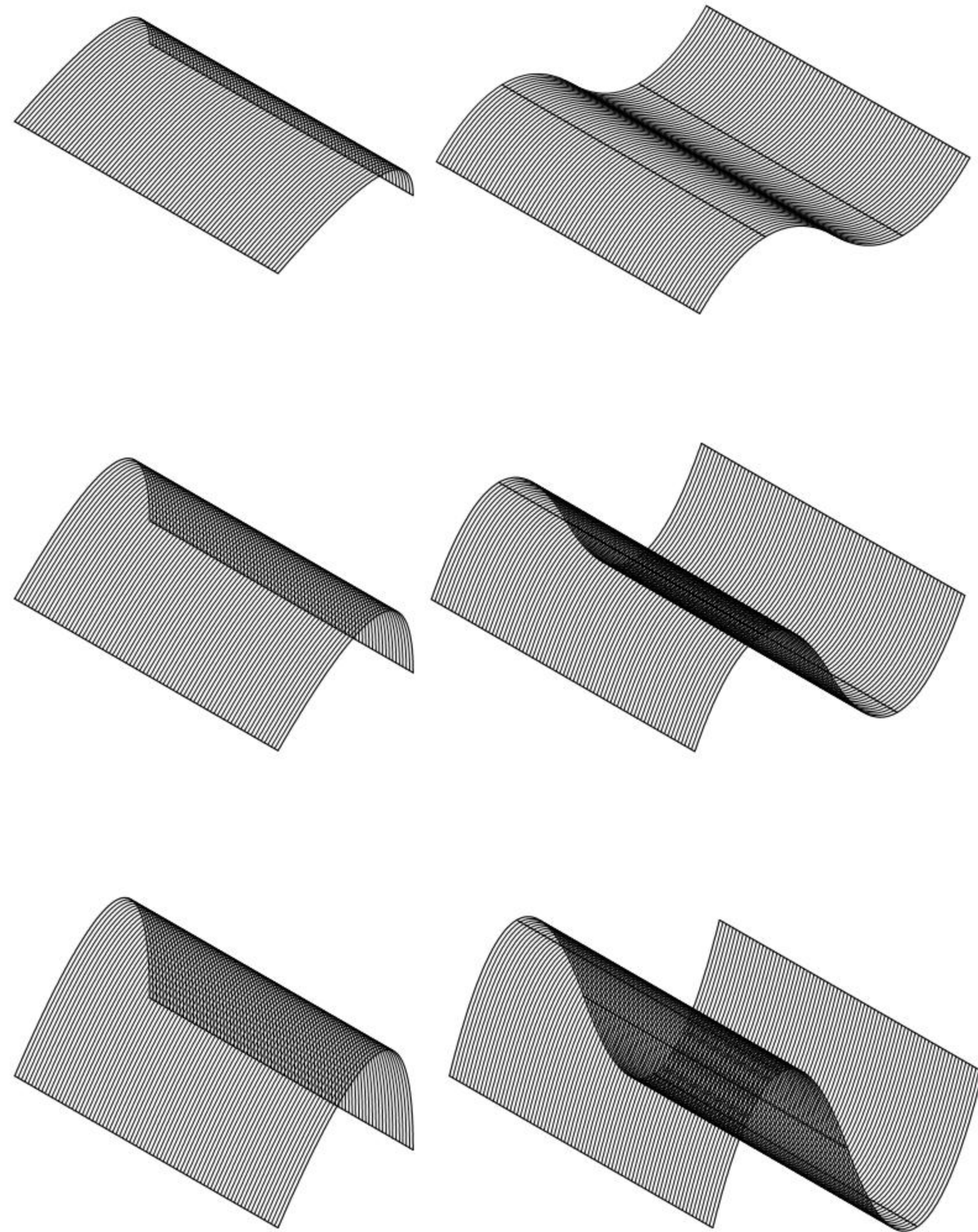


Escala 1:50



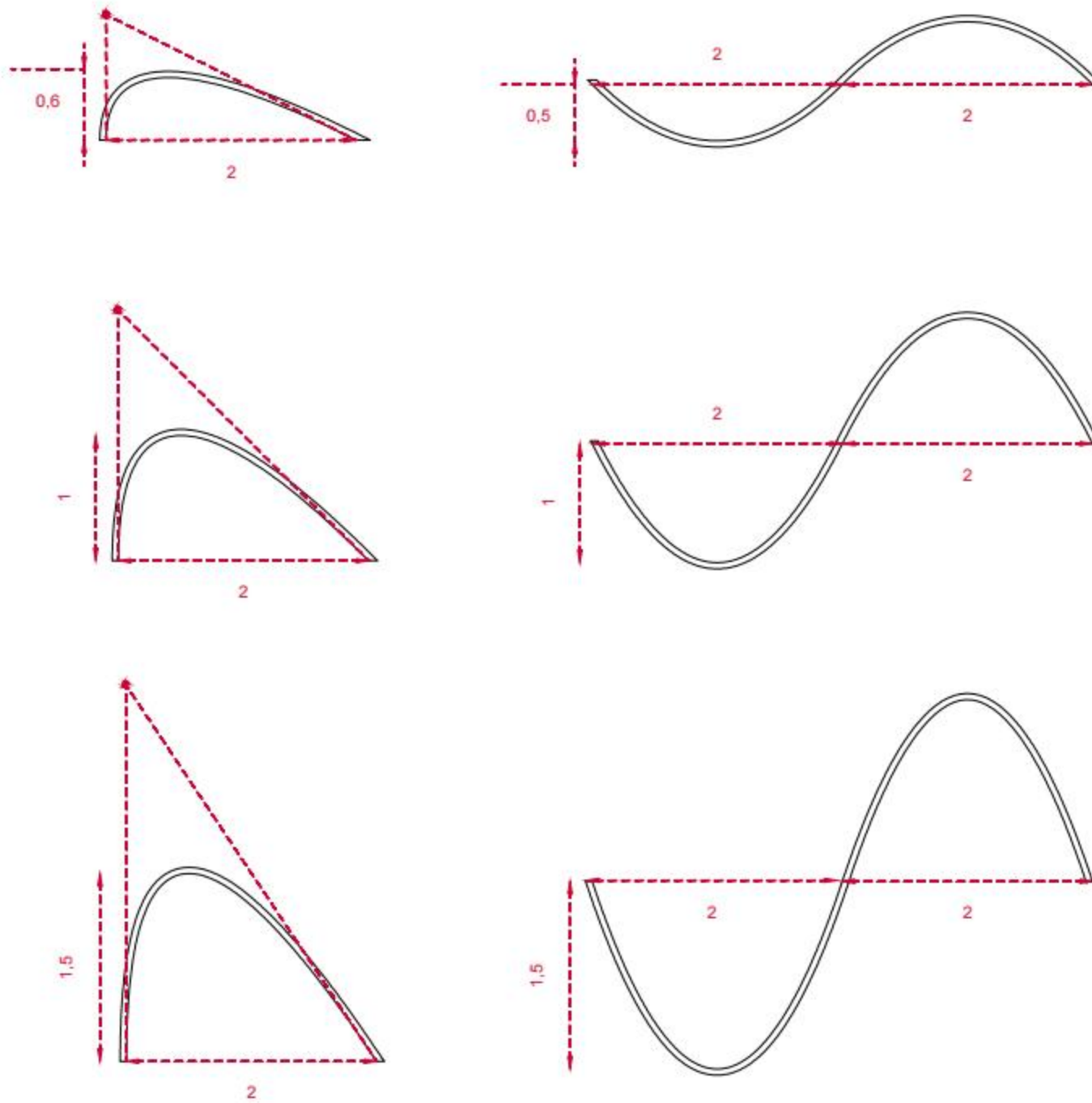
Fig\_ 43: Columna izquierda: elevaciones de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y por lo tanto el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: elevaciones de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y un lado se encuentra 1m más arriba que el otro..

Escala 1:50



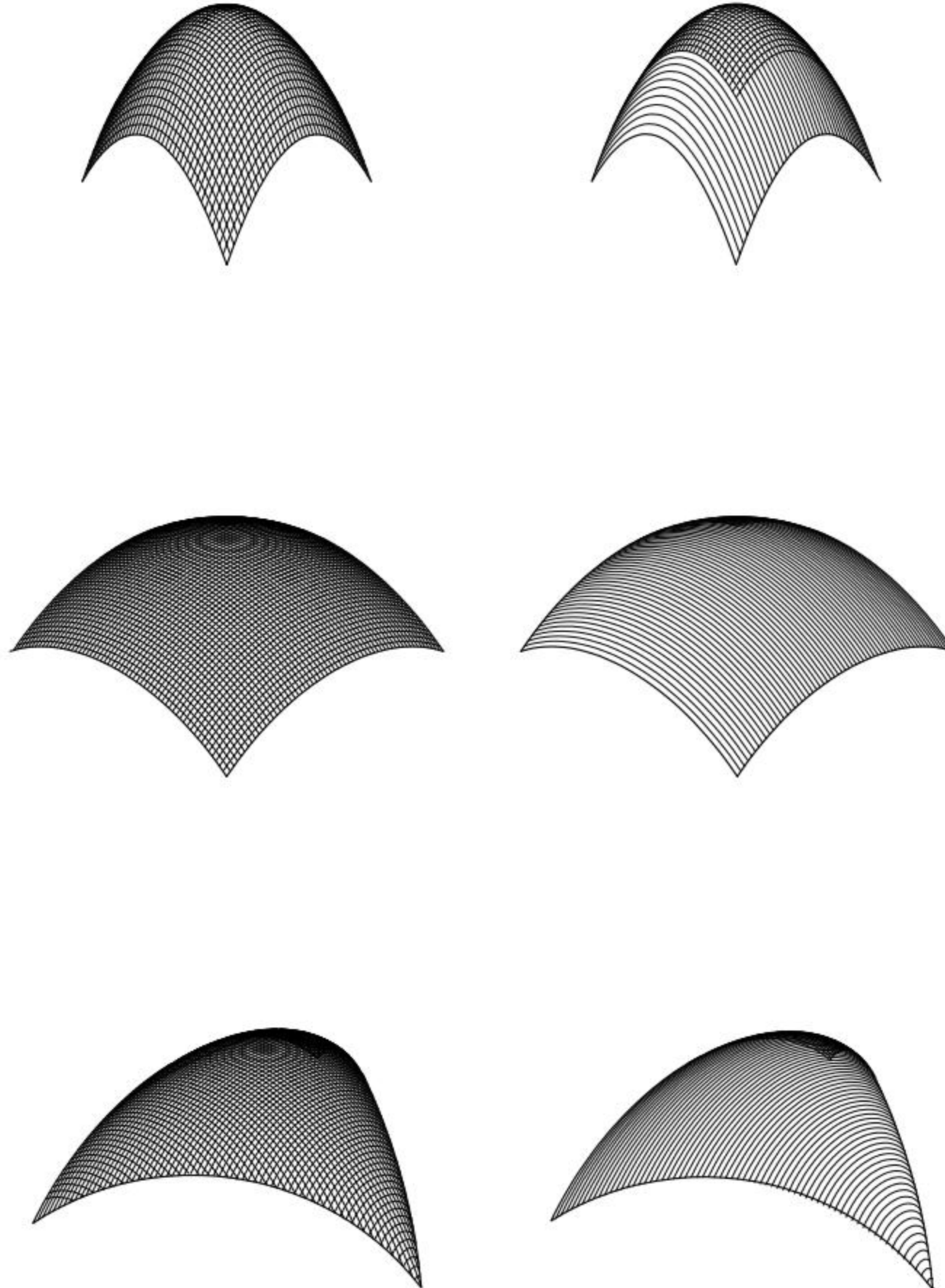
Fig\_ 44: Columna izquierda: isométricas de tres catenarias donde las cargas o son equivalentes a lo largo de la fibra por lo que varía y el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: isométrica de tres catenarias donde se une un catenaria y una catenaria invertida dando como resultado una forma de ola de mar.

Escala 1:50



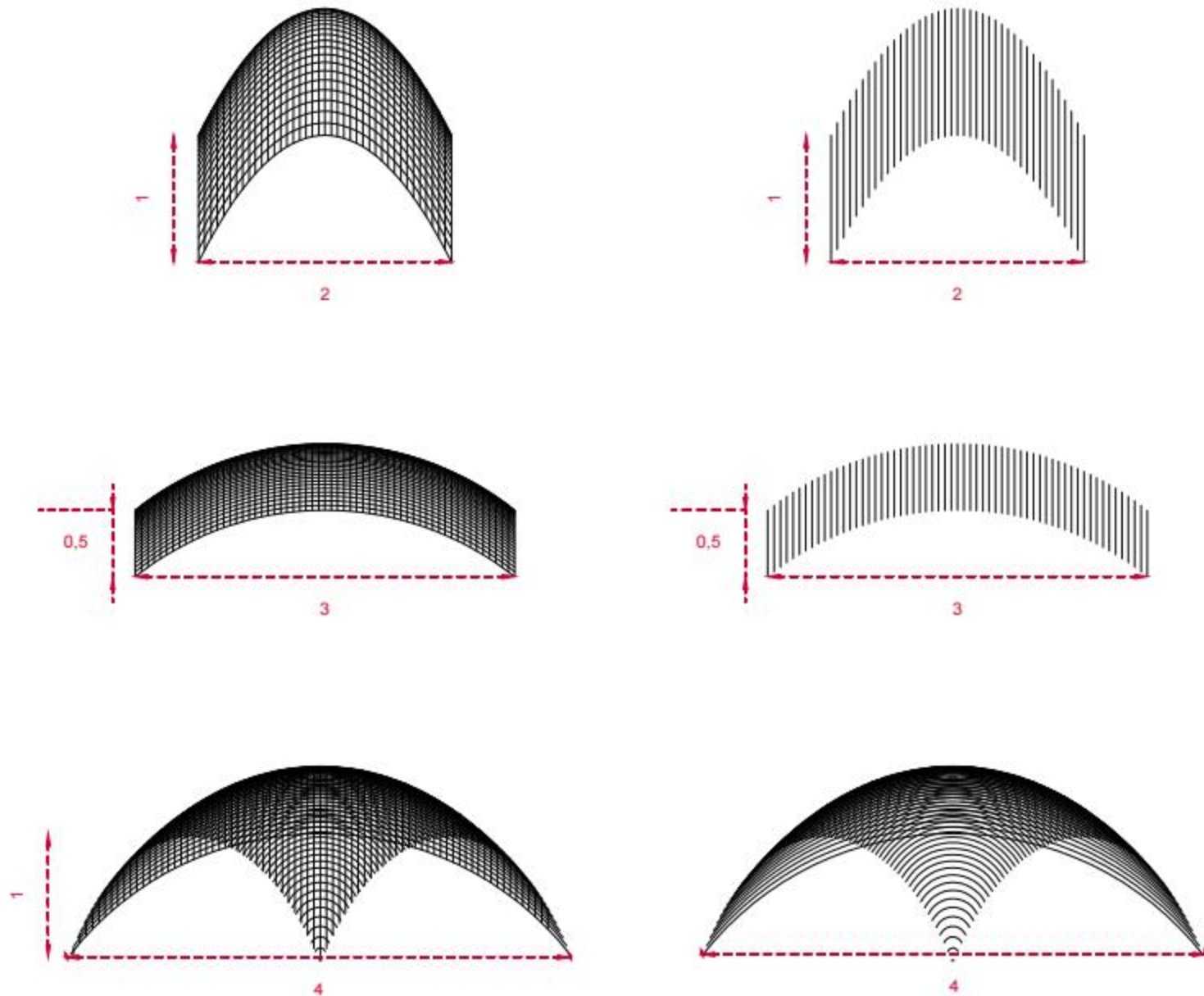
Fig\_ 45: Columna izquierda: elevaciones de tres catenarias donde las cargas o son equivalentes a lo largo de la fibra por lo que varía y el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: elevaciones de tres catenarias donde se une un catenaria y una catenaria invertida dando como resultado una forma de ola de mar.

Escala 1:50



Fig\_ 46: Fila superior: isométrica cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila intermedia: isométrica cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila inferior: isométrica cáscara de tres apoyos con y sin entramar.

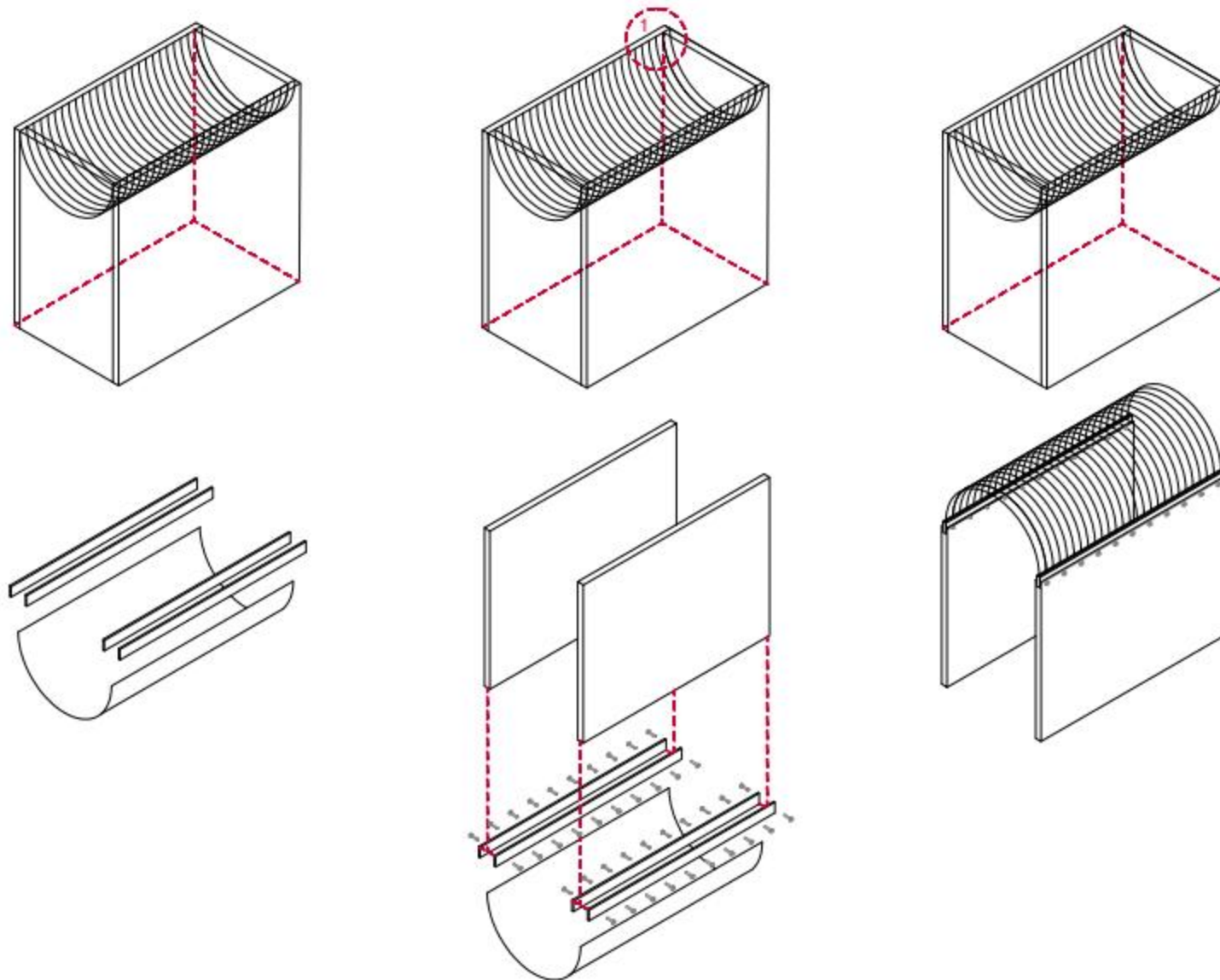
Escala 1:50



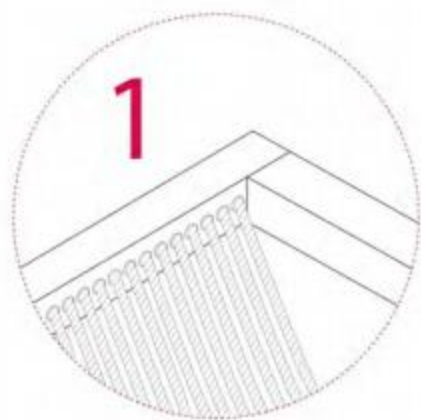
Fig\_ 47: Fig\_ 48: Fila superior: elevación cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila intermedia: elevación cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila inferior: elevación cáscara de tres apoyos con y sin entramar.

### 13. SECUENCIA EVOLUTIVA

Escala 1:100

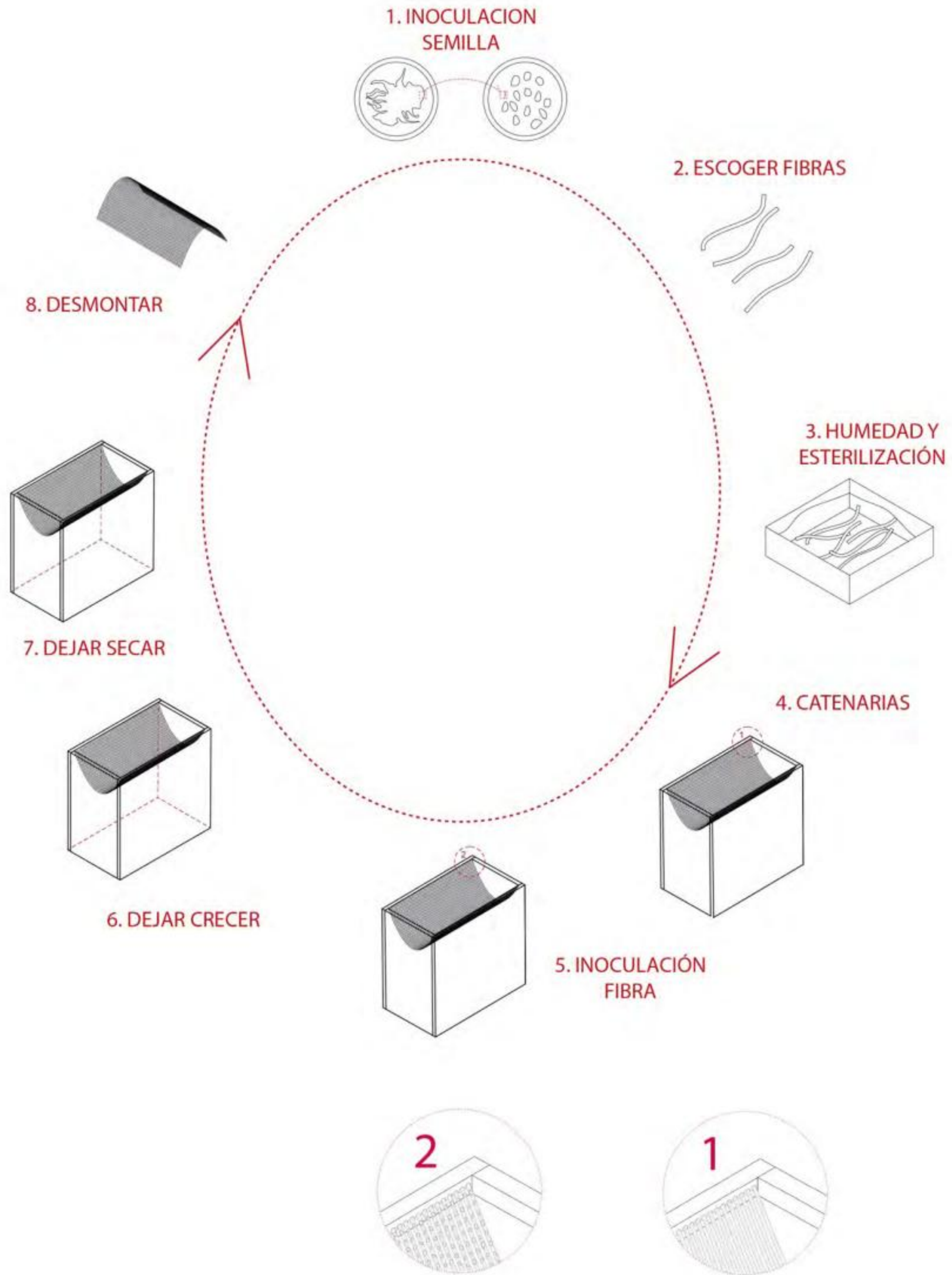


Fig\_ 49: Secuencia evolutiva.



Fig\_ 50: Detalle de fibras colgadas.

## 14. CICLO DE VIDA



Fig\_ 51: Ciclo de vida.

## **15. CONCLUSIONES FINALES Y PROYECCIONES**

Se logró confirmar que el micelio es capaz de construir puentes entre fibras que están a cierta distancia, lo que proyectado a futuras experiencias significaría que es posible pasar de una a dos y de ahí a tres dimensiones a partir de elementos unidimensionales.

Los prototipos fueron desarrollados en condiciones de esterilización precarias; aun así el micelio se desarrolló con robustez y dentro de los tiempos esperados. Obviamente el control de los parámetros es relevante, pero los márgenes de manejo son razonablemente holgados. Afirmaciones similares pueden hacerse en relación al resto de las variables que afectan el crecimiento, como la humedad, la luminosidad y la temperatura.

La escala de tiempo de los procesos biológicos es, en condiciones estándar, un parámetro sobre el que no se puede ejercer control. Por ello, solo es posible exhibir los resultados que se alcanzan a obtener en un periodo limitado de tiempo. En ese sentido, no se ha llegado a validar más allá de toda duda, que una vez que el micelio haya alcanzado la configuración deseada colonizando toda la fibra, efectivamente se logre producir una membrana catenaria auto portante. No obstante ello, el aprendizaje logrado durante las múltiples pruebas constituyen un aporte invaluable para el diseño de un proyecto de mayores pretensiones, pero aun así más bien tentativo en aspectos tales como la morfología, la espacialidad y la habitabilidad.



## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Tabellini, Gianluca. (2014) Mycelium Tectonics: Studio di comportamenti morfológico-construttivi attraverso sistema biologici e simulazioni al computer. Bologna: Universidad de Bologna.
- Stamets, Paul. (2005) "Myceliym Running: How mushrooms can Help save the World" – ten speed pr.
- Thomson, d'arcy Wentworth. (1945)– "On Growth and Form" – Dover publications; revised, complete edition (June 23, 1992).
- Moussavi, Farshid. (2009). The Function of Form. Barcelona: Actar.
- Otto, Frei. (2005). Frei Otto: complete works: lightweight construction, natural design. Basel: Birkhäuser.
- Automation in Construction, 2010, Vol.19(8), pp.1087-1105.
- Zerbst, Farshid. (2012). Gaudí Obra Arquitectónica Completa. Tokyo, Japón: Rikuyo-sha Publishing.
- Giedion, Sigfried. (2009). ESPACIO, TIEMPO y arquitectura: origen y desarrollo de una nueva tradición. Barcelona: Reverte.
- Muttoni, Aurelio. (2011). The Art of Structures: Introduction to the Functioning of Structures in Architecture. Oxford, UK: Routledge.
- Rodríguez, S. (2016). Mycelium: material bio-basado, compuesto del micelio del hongo Trametes versicolor y cáscaras de nuez Juglans Regia. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Charleson, Andrew. (2005). La estructura como arquitectura: Formas, detalles y simbolismo. . Kidlington, UK: Reverté.
- M. R. Islam, G. Tudryn, R. Bucinell, L. Schadler & R. C. Picu. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. Noviembre de 2017, de Scientific Reports Sitio web: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13295-2>
- Carvajal, G. (2010). Evaluación del crecimiento y producción de Pleurotus ostreatus sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de cundinamarca, pag 29.
- Ross, P. (2017). MycoWorks. Retrieved November 13, 2017, from <https://www.mycoworks.com/>
- Lelivelt, R. J. J. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials. Retrieved from [http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/bwk/Lelivelt\\_2015.pdf](http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/bwk/Lelivelt_2015.pdf)
- Peng Wei, Sun Bingnan, Tang Jinchun. (1999). A catenary element for the analysis of cable structures. 5, 20, 30-45.

## 17. INDICE DE IMÁGENES

Fig_ 1: Protective Packaging Ecovative....	2	Fig_ 21: Estructura ramificada MycoTree.	11
Fig_ 2: Phil Ross. Detalle estructura micelar realizada a partir de moldes..	3	.....	11
Fig_ 3: Phil Ross. Arco micelar realizada a partir de moldes.....	3	Fig_ 22: Detalle unión de componentes.	11
Fig_ 4: Arco Romano de Cáparra. Ejemplo de construcción en albañilería (ladrillos de piedra unidos con mortero). .....	3	Fig_ 23: Detalle componente. ....	11
Fig_ 5: Cáscara Cónica .....	4	Fig_ 24: Render Pabllón Hi-Fy, MOMA-PS1 YAP.	
Fig_ 6: Pilar Paragua Hiper Curvado.....	4	<a href="https://imgs.6sqft.com/wp-content/uploads/2014/06/21041847/MOMA-PS1-Hi-Fy-Tower-YAP-2014-4.jpg">https://imgs.6sqft.com/wp-content/uploads/2014/06/21041847/MOMA-PS1-Hi-Fy-Tower-YAP-2014-4.jpg</a> .....	12
Fig_ 7: Cáscara Hiper Curvada de Tres Puntos.....	4	Fig_ 25: Interior Pabellón Hi-Fy. Aperturas reforzadas con aero.	
Fig_ 8: Energía consumida y emisión de CO <sub>2</sub> de Ecovative Desing. ....	5	<a href="https://images.adsttc.com/media/images/53b2/f0de/c07a/80eb/1c00/023c/large_jpg/hy-fi3.jpg?1404235972">https://images.adsttc.com/media/images/53b2/f0de/c07a/80eb/1c00/023c/large_jpg/hy-fi3.jpg?1404235972</a> .....	12
Fig_ 9: Silk Pavillion, Neri Oxman. Pabellón construido a partir de una estructura primaria creada de 26 paneles poligonales hechos de hilos de seda establecidos por una máquina CNC. Se aprovechó r la habilidad del gusano de seda para generar un capullo tridimensional a partir de un único hilo de seda. ....	6	Fig_ 26: Crecimiento micelio en fibra de cáñamo 15 días después de la inoculación. ....	12
Fig_ 10: Estructura del hongo.....	6	Fig_ 27: Estructura de fibra de cáñamo funcionando a tracción. Día 1 de la inoculación. ....	13
Fig_ 11: Detalle microscópico 8x de crecimiento micelar en fibra de cáñamo. ....	7	Fig_ 28: Después de 15 día de crecimiento (en la oscuridad, temperatura entre 18 y 20 °C y humedad) la fibra se encuentra colonizada por el micelio. La estructura sigue funcionando a tracción. ....	13
Fig_ 12: Después de cinco días de secado.	7	Fig_ 29.....	16
Fig_ 13: Cuatro días de crecimiento. ....	7	Fig_ 30.....	18
Fig_ 14: Ocho días de crecimiento.....	7	Fig_ 31.....	20
Fig_ 15: Once días de crecimiento. ....	7	Fig_ 32.....	21
Fig_ 16: Maqueta catenarias de la Sagrada Familia de Gaudí. ....	8	Fig_ 33.....	22
Fig_ 17: Modelo de lana de Frei Otto. ....	8	Fig_ 34: Entramado fibra de 10mm de espesor. ....	23
Fig_ 18: Modelos de textiles colgantes de Heinz Isler.....	8	Fig_ 35: Entramado fibra de 5mm de espesor. ....	23
Fig_ 19: Construcción Silk Pavilion <a href="https://i.pinimg.com/originals/1a/77/06/1a77062eab9e5e161426e3d3b834e55f.jpg">https://i.pinimg.com/originals/1a/77/06/1a77062eab9e5e161426e3d3b834e55f.jpg</a> .....	10	Fig_ 36: Inoculación entramado fibra de 10mm de espesor.....	23
Fig_ 20: Render Silk Pavillion. <a href="http://matter.media.mit.edu/assets/images/SP-Comp-01.png">http://matter.media.mit.edu/assets/images/SP-Comp-01.png</a> .....	10	Fig_ 37: Inoculación entramado fibra de 5mm de espesor.....	23
		Fig_ 38: Prototipo hecho en base a catenarias de 50cm de longitud. Fotografía sacada una semana después de la inoculación (16/11/17).....	24

Fig_ 39: Prototipo hecho con base a catenarias de 50cm de longitud. ....	24		
Fig_ 40: Prototipo hecho con entramado tejido a telar con fibra de 5mm de espesor. ....	24		
Fig_ 41: Prototipo catenarias dos días después de la inoculación. (11/11/17) .....	25		
Fig_ 42: Columna izquierda: isométricas de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y por lo tanto el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: isométrica de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y un lado se encuentra 1m más arriba que el otro. Se podrían pensar refuerzos en los extremos y poner costaneras principales con una fibra de mayor espesor .....	28		
Fig_ 43: Columna izquierda: elevaciones de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y por lo tanto el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: elevaciones de tres catenarias donde varía la longitud de la fibra y un lado se encuentra 1m más arriba que el otro.....	29		
Fig_ 44: Columna izquierda: isométricas de tres catenarias donde las cargas o son equivalentes a lo largo de la fibra por lo que varía y el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: isométrica de tres catenarias donde se une un catenaria y una catenaria invertida dando como resultado una forma de ola de mar.....	30		
Fig_ 45: Columna izquierda: elevaciones de tres catenarias donde las cargas o son equivalentes a lo largo de la fibra por lo que varía y el ángulo, pero no la apertura. Columna derecha: elevaciones de tres catenarias donde se une un catenaria y una catenaria invertida dando como resultado una forma de ola de mar.....	31		
Fig_ 46: Fila superior: isométrica cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila intermedia: isométrica cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila inferior: isométrica cáscara de tres apoyos con y sin entramar.....	32		
Fig_ 47: Fig_ 48: Fila superior: elevación cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila intermedia: elevación cáscara de cuatro apoyos compuestas por catenarias con y sin entramar. Fila inferior: elevación cáscara de tres apoyos con y sin entramar.....	33		
Fig_ 48: Secuencia evolutiva. ....	34		
Fig_ 49: Detalle de fibras colgadas. ....	34		
Fig_ 50: Ciclo de vida. ....	35		

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, R. Open source hardware. (Tesis Magíster). Massachusetts Institute of Technology, USA. 2009
- BENYUS, Janine. Biomimicry: Innovation inspired by nature. Harper Perennial (September 17, 2002)
- BLENKER, Y. The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom. New Haven, CT: Yale University Press. 2006
- BRAUNGART, Michael; MAC DONOUGH, William. Cradle to cradles: REmaking the way we make things. North Pint Press. 1st edition (April 22, 2012)
- BRAUNGART, Michael; MAC DONOUGH, William. The Upcycle: Beyond sustainability - Design for abundance. North Pint Press. 1st edition (April 16, 2013)
- BRUNTLAND, Gro. Nuestro Futuro Común. Ediciones ONU, Bruselas 1987
- CARSON, Rachel. The Silent Spring. Penguin Classics; Edición: New Ed (28 de septiembre de 2000)
- CERVANTES, G. Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. Paper, 21 páginas. México, 2007.
- CISTERNAS C. Características generales del cultivo del Pleurotus ostreatus de, Hongos.cl url: <http://hongos.cl/es/pleurotus-ostreatus>. 2002
- CONAMA. Biodiversidad de Chile Patrimonio y desafíos. Editorial Ocho Libros Editores, 640 páginas. Chile 2008
- DELEUZE, G. & GUATARI, F. A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia. Minneapolis: University of Minnesota Press. 1997
- DUNNE, Anthony; RABV, Fiona. Speculative everything: Design, Fiction and social Dreaming. MIT Press. Cambridge, Massachusetts. December 6, 2013
- ECOVATIVE. Grow It Yourself Mushroom Materials, de Ecovative. url: <http://giy.ecovativedesign.com/>. 2016
- FURCI, G. Fungi Austral; Guia de campo de los hongos más vistosos de Chile. Andros Impresores, 200 páginas. Chile, 2007.
- INGSBERG, Daisy; CALVERT, Jane; SCHYFTER, Pablo. Synthetic Aesthetics: Investigating Synthetic Biology's design on nature. MIT Press. Cambridge, Massachusetts. Febraury 18, 2014
- KULDELL, Natalie, BERNSTEIN, Rachel. INGRAM, Karen. Biobuilder: Synthetic Biology in the lab. O'Reilly Media; 1 edition (July 3, 2015)
- LEE, Jenny. Material Alchemy. BIS Publishers. March 31, 2015
- LOPEZ, L. y FUENZALIDA, F. Algunos problemas identificados en la comercialización de productos provenientes del Bosque Nativo. CONAF, 1998.
- MANZINI, E., BIGUEZ, J. Ecología y Democracia, De la injusticia ecológica a la democracia ambiental. Editorial Icaria, páginas 95. Barcelona, España, 2000.
- MYERS, William. Biodesign: Nature, Science, Creativity. Thames & Hudson. July 14, 2014
- POWELL, A. Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware. Media, Culture & Society. 34 (6) 691 - 708. 2012

# Taller de Investigación en BIOFABRICACION

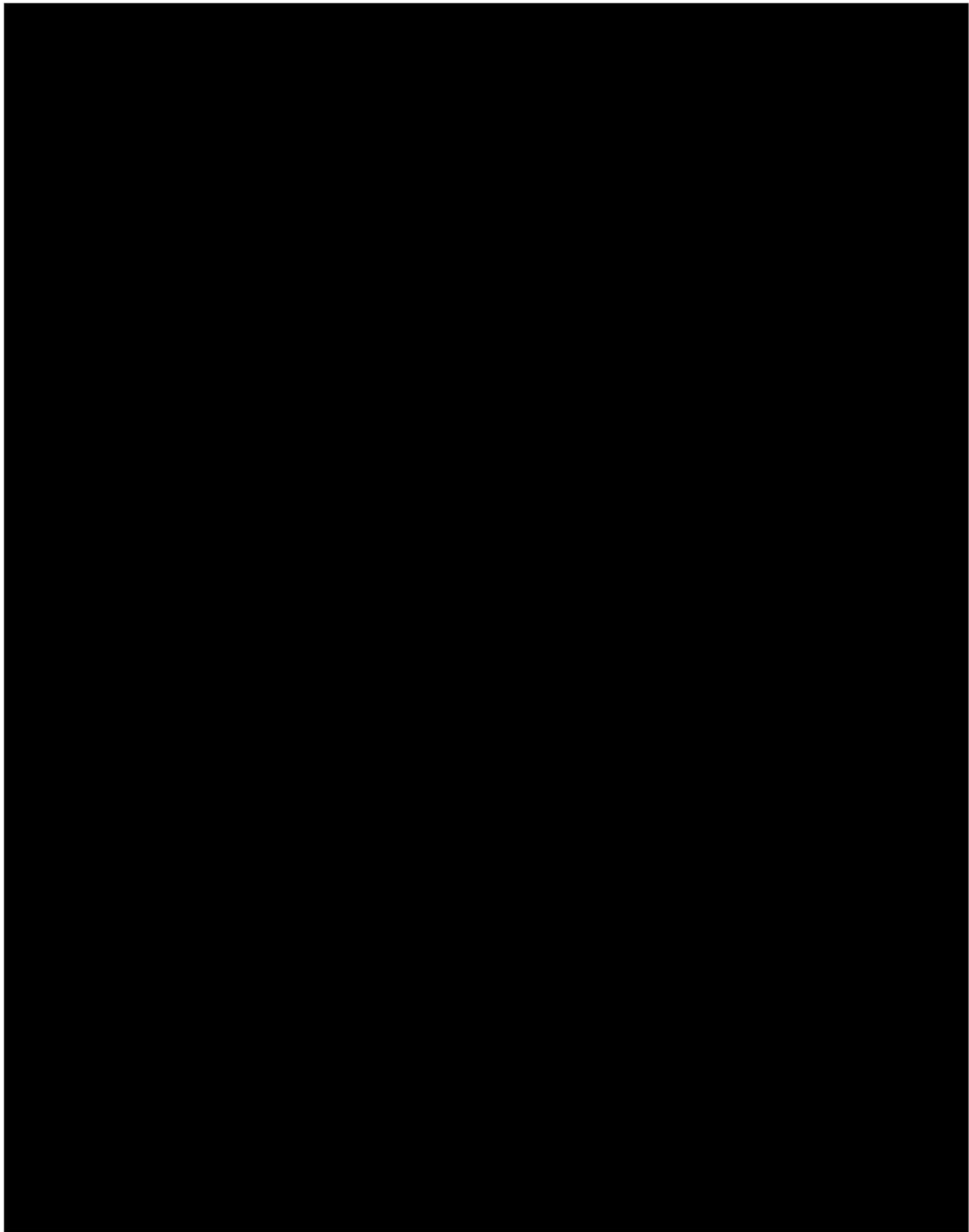
Editado por **Alejandro Soffia**

Impreso en IPLOT

4 copias

Tipografías Helvetica y Garamond

Sigue nuestro Instagram! @biodesign lab



171,061,484.

BIOLUMINESCENT LAMP No. 1  
APPLICATION FILLED MAY. 14, 2016

Not To Be Patented  
Jul. 27, 2021  
3 SHEETS-SHEET 1.

Fig. 1

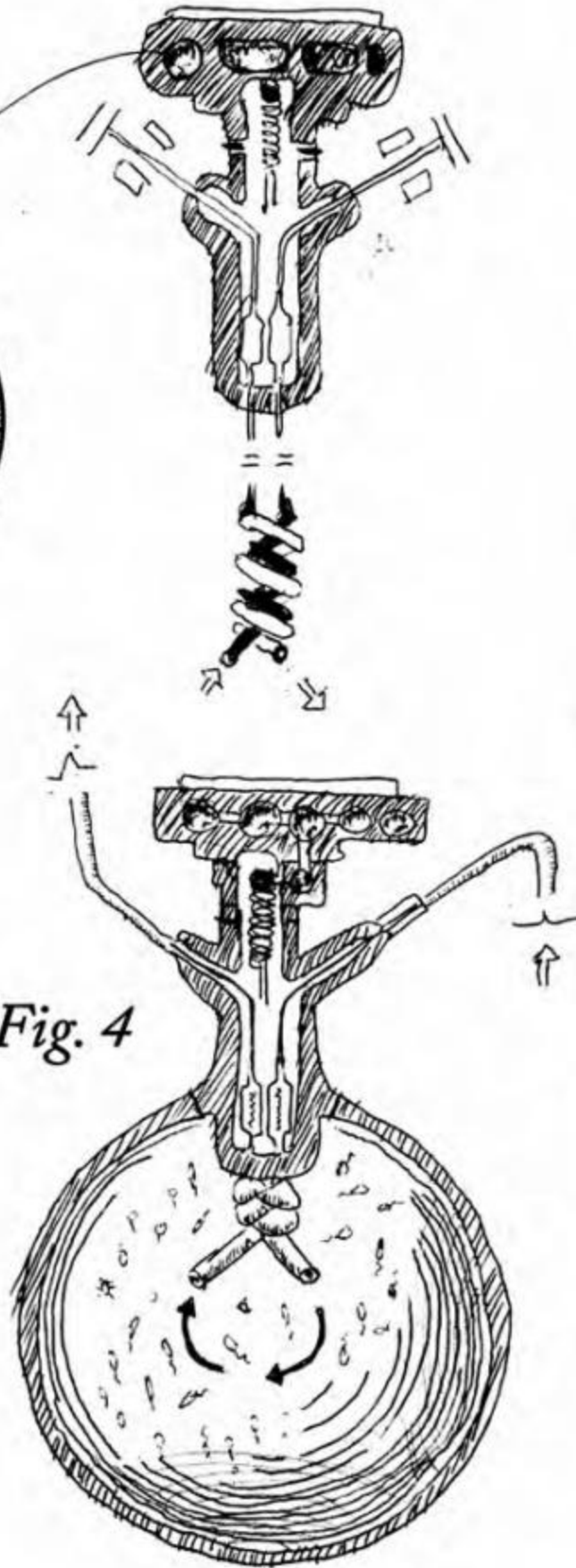


Fig. 3

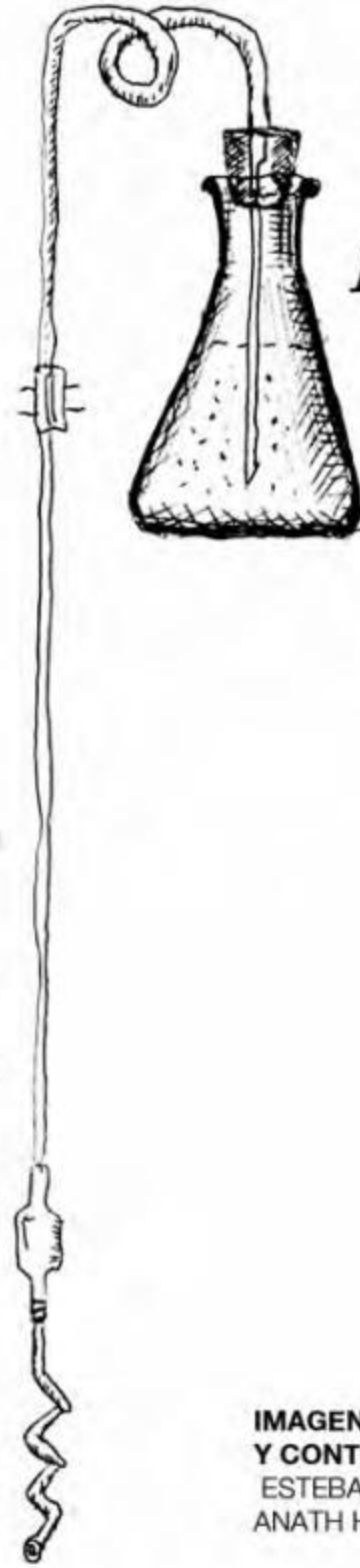


Fig. 2

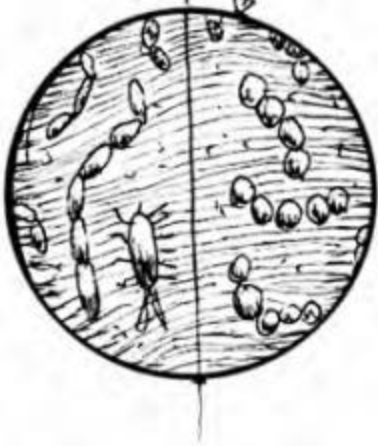


Fig. 4

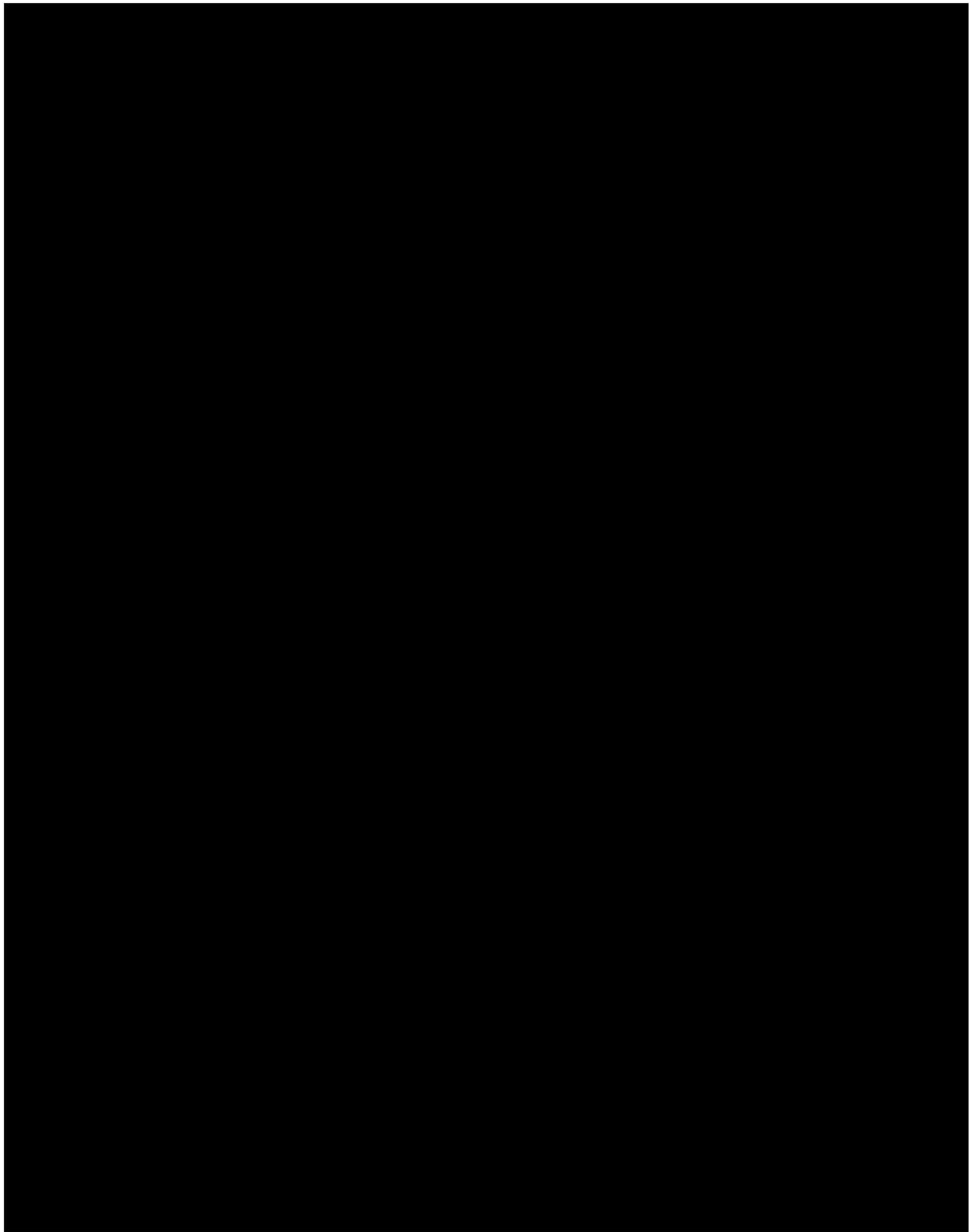


Fig. 5

IMAGENES PORTADA  
Y CONTRAPORTADA  
ESTEBAN GUZMAN  
ANATH HOJMAN

*Witnesses:*  
*Lute D. Allen*  
*Louis W. Gratz*

*Inventor:*  
*Thaddeus S. C. Howe*  
*by Thomas J. H. H. H. H.*





171,061,484.

BIOLUMINESCENT LAMP No. 1  
APPLICATION FILLED MAY. 14, 2016

Not To Be Patented  
Jul. 27, 2021  
3 SHEETS-SHEET 1.

Fig. 1

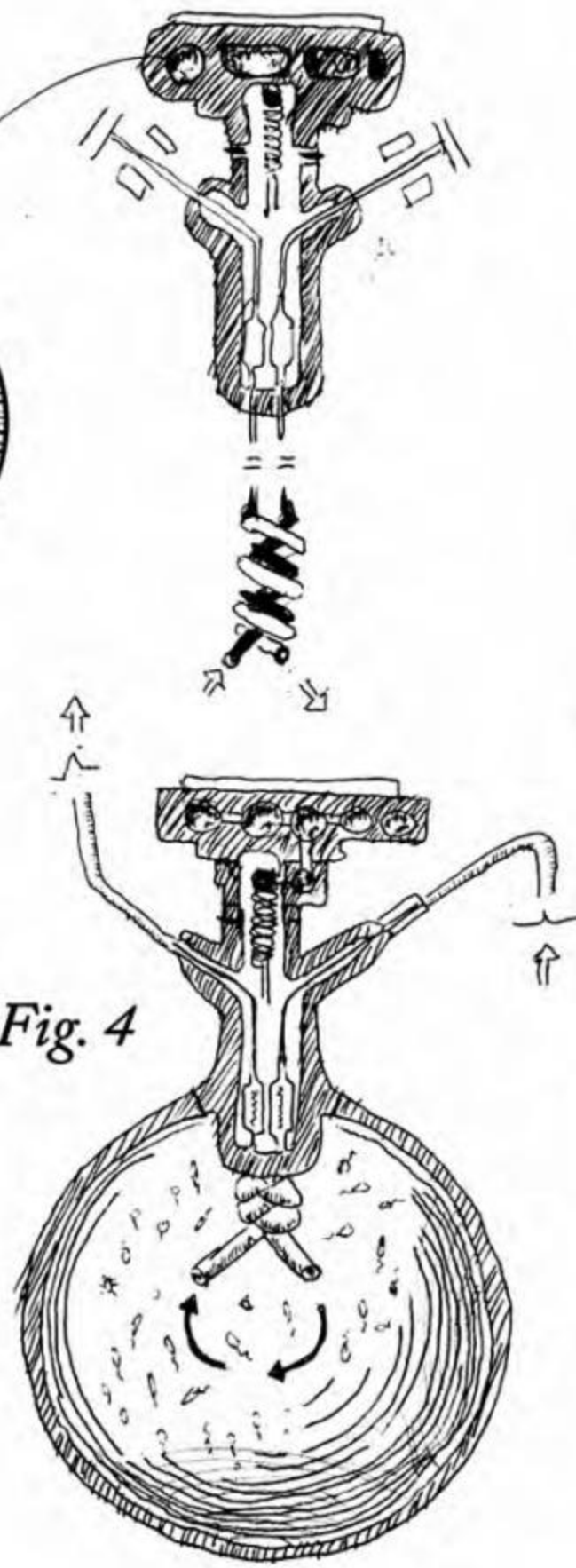


Fig. 3

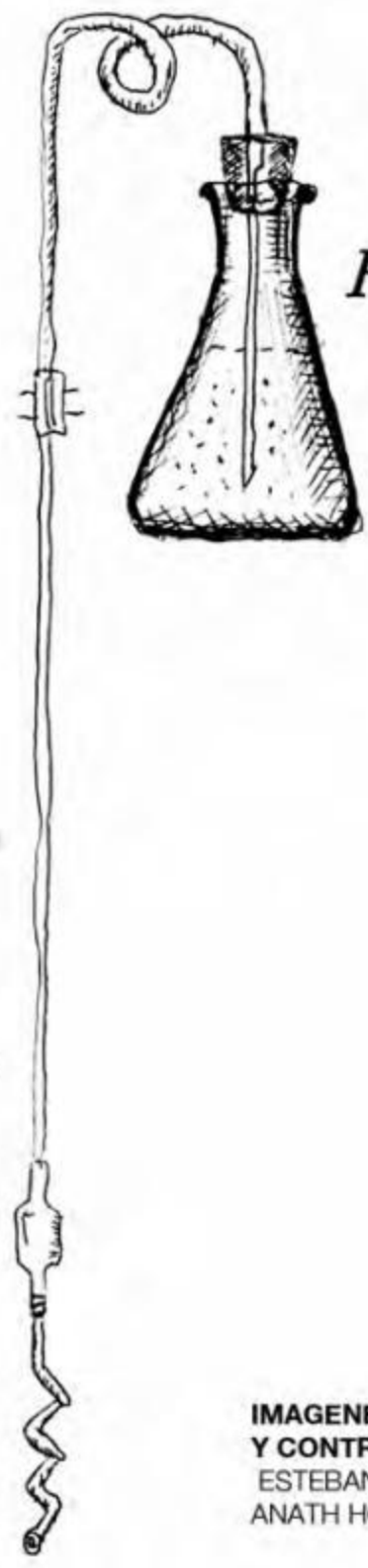


Fig. 2

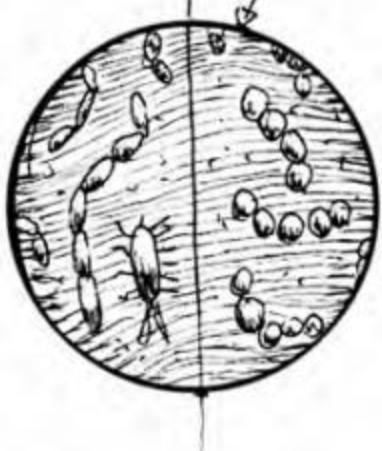


Fig. 4



IMAGENES PORTADA  
Y CONTRAPORTADA  
ESTEBAN GUZMAN  
ANATH HOJMAN

*Witness:*  
*Lute A. Allen*  
*Louis W. Gratz*

*Inventor:*  
*Thaddeus S. C. Howe*  
*by Thomas J. aux Hackley*  
*att.*