



ESCUELA DE ARQUITECTURA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO  
Y ESTUDIOS URBANOS

**mase**

## **TECHUMBRE EN BASE A MICELIO DE HONGO**

INTEGRACIÓN DE MATERIALES BIOFABRICADOS EN UN PROYECTO DE  
ARQUITECTURA

**CRISTÓBAL MONTECINOS NAREA**

Tesis para optar al título de Arquitecto y grado de magíster en Arquitectura Sustentable y Energía

Profesores guía:  
Francisco Chateau y Sebastián Rodríguez

Ayudante:  
Matías Elliot

Enero 2022  
Santiago, Chile

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por entregarme todas las condiciones y facilidades para sacar adelante este proyecto. A Pilar por hacer de guía en los aspectos técnicos que dan forma a esta tesis.

A mi profesor guía Francisco Chateau, por haber tenido la paciencia y disponibilidad de corregir sin importar el día ni el horario, particularmente en el contexto de pandemia en el cual este trabajo fue elaborado. A Matías Elliot por tener la disponibilidad de contestar y ayudarme a resolver todas las dudas, por más absurdas que parecieran y por su gran labor al apoyarnos con todo lo relacionado al laboratorio. A Sebastián Rodríguez por compartirnos su amplio conocimiento en biofabricación y a todos los profesores funcionarios y trabajadores de la universidad que han aportado en este largo camino.

Finalmente, a Sofía Montealegre por haberme acompañado en todo este proceso lleno de altos y bajos, por estar ahí siempre brindándome ayuda y compañía.

© 2022, Cristóbal Montecinos Narea

Se autoriza la reproducción, total o parcial, con fines académicos,  
por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## 1. ABSTRACT

Los materiales en base de micelio de hongo prometen ser el material del futuro. Gracias a su producción ecológica que utiliza residuos agroindustriales, su rápido crecimiento y su capacidad de biodegradarse, se abre la oportunidad para comenzar a diseñar desde una perspectiva más consciente con los procesos de la construcción. Pero producto a su reciente investigación y tratamiento, aún es un material teórico, elaborado en condiciones ideales y controladas, poco masivas y, así mismo, aplicadas en estructuras efímeras y experimentales, como pabellones y museos.

En esta investigación, enmarcada en el Magíster de Sustentabilidad y Energía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, se buscará indagar sobre este material desde una perspectiva energéticamente eficiente, exigiendo no solo un carácter sustentable en la producción del material, sino también en la utilización y aplicación de este a la hora de reemplazar los materiales actuales de la construcción e industria. Así, evaluando sus capacidades físico-mecánicas, se pondrá a prueba su capacidad de cumplir un rol de envolvente y aislante del exterior, a un usuario que habita por periodos más largos que en un pabellón, exigiendo habitabilidad en un contexto natural y adverso, como la Estación Biológica Senda Darwin en el sur de Chile.

Por medio del Laboratorio de Biofabricación UC, se llevarán a cabo una serie de testeos aplicados sobre el material, que permitan estudiar los límites de este, sin perder sus capacidades fundamentales: ligereza y aislación. Estos ensayos serán siempre una forma de indagar sobre un material que sirva a las necesidades arquitectónicas y ambientales, utilizando el proyecto arquitectónico como método y medio para la investigación.

Palabras clave: Habitabilidad, Biofabricación, Sustentabilidad, Envolvente.

# ÍNDICE

## 1. ABSTRACT

## 2. FORMULACIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

2.2. PREGUNTA

2.3. HIPÓTESIS

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. OBJETIVOS GENERALES

2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.5. METODOLOGÍA

## 3. ANTECEDENTES

3.1. ANTECEDENTES DE LABORATORIO DE BIOFABRICACIÓN UC

3.2. BIOFABRICACIÓN

3.3. FABRICACIÓN CON MICELIO Y LABORITARIO DE BIOFABRICACIÓN UC

3.4. MOTIVACIONES PERSONALES

3.5. MARCO TEÓRICO

## 4. PROYECTO

4.1. ENCARGO

4.2. LUGAR

4.2.1. PREEXISTENCIAS Y PROGRAMA

4.2.2. CLIMA

4.2.3. TERRENO Y ZONIFICACIÓN

4.3. CONSIDERACIONES

4.3.1. USO - CENTRO DE INTERPRETACIÓN

4.4. ESTRATEGIAS

## 5. ELABORACIÓN

5.1. PAQUETE CONSTRUCTIVO

5.1.2. CIELO

5.1.3. TECHUMBRE

5.2. TESTEO

5.3. RESULTADOS

5.3.1. PRIMEROS RESULTADOS

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 2. FORMULACIÓN

### 2.1. INTRODUCCION

Desde hace ya cerca de una década, la industria de la construcción se ha visto fuertemente criticada por su participación como una de las principales fuentes de polución a nivel mundial. La producción de materiales tradicionales como son el hormigón, el acero, la madera y los ladrillos, entre muchos otros, se han visto enfrentados a críticas, poniendo en cuestión el uso de estas técnicas industriales en construcciones nuevas por el enorme impacto asociado a su elaboración y uso. Ante esta crisis, la biofabricación se presenta como una oportunidad de construir mediante la utilización de materiales sustentables, los cuales, en lugar de consumir recursos naturales, utilizan desechos agroindustriales para su producción, haciéndole frente tanto a la problemática asociada a la producción misma del material, como a la del manejo de desechos, pudiendo hacerse cargo, en este caso, de los desechos agroindustriales en base a materias lignocelulósicas.

El estado vegetativo de la gran mayoría de los hongos es conocido como Micelio y corresponde al conjunto de hifas, siendo estas últimas estructuras celulares alargadas y cilíndricas compuestas por quitina (Haneef, et al., 2017) (fig.1). Estas estructuras filamentosas se caracterizan por su rápido crecimiento, generando grandes y densas redes sobre los sustratos a partir de los cuales se alimentan,

teniendo que ser en el caso de las especies de hongo trabajados, sustratos centrados en elementos lignocelulósicos como la madera, las cáscaras de frutos como la nuez y en mayor medida subproductos los cuales pueden ser asociados a los desechos agroindustriales. Sobre estos sustratos, se deja crecer el micelio, el cual mediante el crecimiento de esta red de hifas colonizará el medio unificando el sustrato en un solo elemento. Las características tanto formales como físico-mecánicas resultantes de todo este proceso, dependerán de numerosos factores, en gran medida controlables durante el proceso de crecimiento y posterior secado del elemento, pero que también pueden variar según la aplicación de ciertos procesos posteriores a la producción, como son la compresión o la aplicación posterior de sellantes, resinas o químicos (fig.2).

Pese a la investigación científica existente entorno a la biofabricación en base a micelio, la mayor parte de las muestras producidas, corresponden más bien al mundo de lo demostrativo, enmarcándose en el desarrollo de diseño y arte experimental como en la elaboración de arquitectura efímera, manteniéndose inmersos en una esfera donde sus capacidades físico-mecánicas son prescindibles o mínimamente exigidas.

De aquí surge la interrogante sobre el cómo desarrollar un proyecto de arquitectura elaborado en función de las posibilidades que

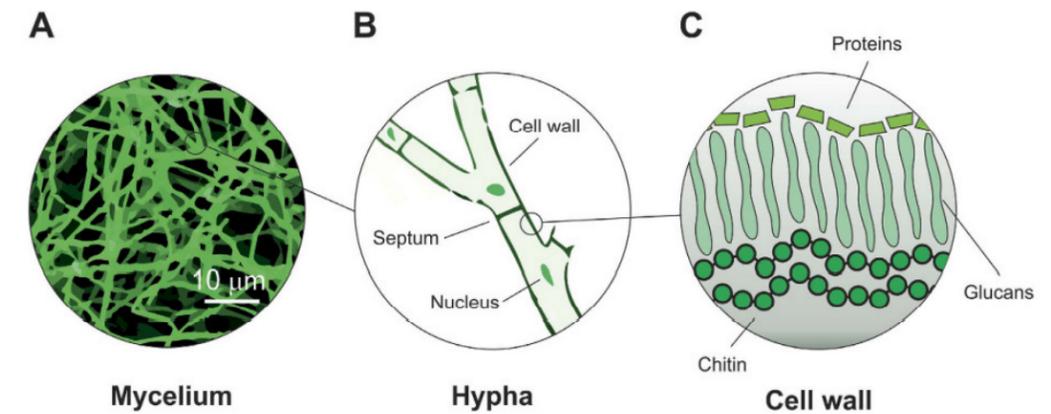


Figura 1. Schematic representation of mycelium physiology at different scales. (A) Optical microscopy image of a mycelium film showing a branched network of micro-filaments (hyphae). (B) Schematic representation of a hypha that is formed by cells separated by cross walls (septa), all enclosed within a cell wall. (C) Schematic representation of the cell wall that is composed of a layer of chitin on the cell membrane, a layer of glucans (whose composition varies between species) and a layer of proteins on the surface. Esquema elaborado por Haneef et al. (2017).

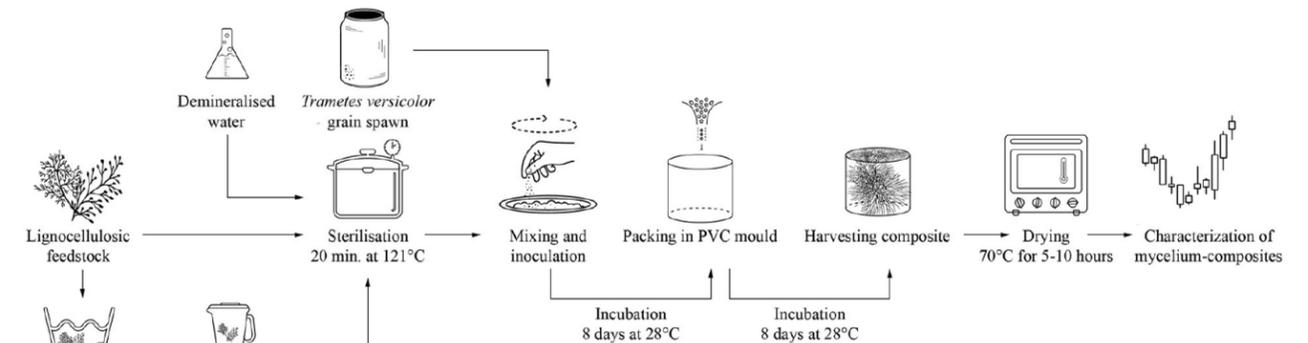


Figura 2. Process flow chart showing the applied fabrication method of mycelium-based composites (Elsacker, et al., 2019).

entregan los materiales realizados a partir de micelio de hongo. El interés de esta investigación se centra en buscar entender cuál es el alcance de la integración de materiales biofabricados en base a micelio, llevándolo fuera de las situaciones ideales como han sido los espacios de exhibición y pabellones, enfrentándolos, pese a su baja resistencia mecánica y alta absorción de humedad, a tener que satisfacer necesidades de confort y de uso determinadas por el programa y que se verán influenciadas por el contexto en el cual se emplazará el proyecto.

## 2.2. PREGUNTA

Surge así una gran interrogante entorno a la integración de estos materiales a la arquitectura. ¿Cómo y hasta qué punto se puede incorporar el micelio en la arquitectura de manera que esté al servicio de los programas determinados por un proyecto donde prime un enfoque puesto en el confort y la habitabilidad?

## 2.3. HIPOTESIS

Se tiene entonces por conjetura, que mediante la exploración de las posibilidades de trabajar con el micelio como “un material más” de la construcción, al cual se le exija un rendimiento a la par del que se exigiría a un material de construcción tradicional, elaborado de forma industrial y no como un material demostrativo

o de exhibición, es que se podrá entender y conseguir una verdadera integración al mundo de la construcción, entendiendo estos materiales desde sus propias cualidades sustentables, tanto por sus capacidades de resguardar y aislar de la intemperie como por su aporte al avance de una economía circular.

## 2.4. OBJETIVOS

### 2.4.1. OBJETIVOS GENERALES

Esta investigación busca explorar los alcances y posibles aproximaciones al desarrollo de un material elaborado en base a micelio que tenga la capacidad de integrarse a un proyecto de arquitectura sin una pretensión expositiva ni demostrativa, sino que encuentre su valor en el aporte que haga a la habitabilidad del proyecto.

### 2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indagar y explorar respecto al espectro de posibilidades que presenta el micelio para ser un aporte favorable al funcionamiento de un proyecto.
- Desarrollar métodos de elaboración y montaje para el paquete propuesto.
- Estudiar, proponer y poner a prueba piezas que respondan a la habitabilidad del proyecto.

## 2.5 METODOLOGÍA

Para la elaboración de esta investigación, la metodología se desarrolla a partir de dos frentes, por un lado una metodología deductiva, abordando y analizando los factores para el proyecto desde el general hasta pulir al caso particular, como también una metodología especulativa experimental, donde asumiendo ciertos factores estudiados del material, se ponen a prueba determinadas capacidades específicas de este para aplicar en un proyecto de arquitectura.

Estos frentes se abordan a partir de 5 pasos: Primero, el análisis del estado del arte, la experiencia actual y literatura sobre los biomateriales a base de micelio, comprendiendo y ensayando insitu su proceso de producción, las limitaciones de este y categorizando sus distintos tipos de aplicación.

En segundo lugar, se desarrolla un análisis del lugar en el que se proyectará, levantando información en cuanto a su ubicación geográfica, pendiente del terreno y condiciones climáticas, como también su carácter de estación biológica y reserva natural, donde se pone en valor la misión de investigación y resguardo de la vegetación existente como un factor de diseño programático, como de intervención del terreno.

En tercer lugar, se lleva a cabo el estudio del programa encargado, empezando por distintos casos de Centros de Interpretación, para entender el carácter de este y las necesidades de la Estación y sus usuarios en complemento, para condensarlas en una sola propuesta.

Entendidas las necesidades del programa, el tipo de usuario y las exigencias del medio natural en el que se emplaza, se propone un diseño arquitectónico que incorpore el micelio en un paquete constructivo de envolvente, estudiando los límites estructurales de este, los beneficios declarados en la literatura existente y reconociendo sus características basales para especular sobre su mejor aplicación en un proyecto habitable, sustentable y que asegure confort térmico.

Por último, a partir de dicho diseño especulativo, incluyendo el biomaterial en base a micelio, se desarrolla una serie de prototipos de cultivos de micelio para testear las capacidades de este para cumplir con su rol en el proyecto, para terminar por aplicar esos resultados en el diseño final. De esta manera resulta fundamental reconocer que esta es una investigación a través del proyecto, donde el desarrollo de esta depende del ir y venir entre el diseño y la experimentación, donde prima el cumplimiento de las necesidades de los usuarios, la habitabilidad y el confort.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. ANTECEDENTES DEL LABORATORIO DE BIOFABRICACIÓN UC

El presente trabajo se inscribe en la investigación en base a fabricación con micelio desarrollada por el equipo del laboratorio de Biofabricación UC.

Iniciada en el año 2017, sus objetivos son desarrollar investigación aplicada en torno a procesos de fabricación que involucran el uso de micelio de hongos descomponedores de celulosa, buscando la producción de biomateriales y la divulgación de los procesos y las tecnologías involucradas.

En dicha iniciativa participan investigadores de las Facultades de Ciencias Biológicas, Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos e Ingeniería de la de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente se aloja en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos (FADEU) de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

#### 3.2. BIOFABRICACIÓN

Hablar de diseño y biofabricación significa hablar de materiales y productos generados a partir de moléculas orgánicas tales como proteínas y carbohidratos; células y sus distintas formas de organización, pasando desde tejidos a

organismos pluricelulares complejos; llegando a considerarse incluso el uso de moléculas inorgánicas como el  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio), el cual cumple roles estructurales vitales en diversos organismos. También significa hablar de procesos productivos, ciclos de vida, economías circulares, sustitución de materiales sintéticos fabricados a gran escala o fabricación de componentes compatibles con otros organismos vivos.

Durante los últimos años, las tecnologías de biofabricación y el desarrollo de biomateriales han permitido instalar una agenda centrada en la obtención de biomateriales renovables, cuya producción y ciclo de vida tiene el potencial de reducir el impacto en el medio ambiente, permitiendo articular de forma eficiente y territorial las necesidades de las comunidades en relación con la disponibilidad de sus materias primas y requerimientos propios del usuario final.

Considerando esto, el éxito en la implementación de estas tecnologías no depende exclusivamente de sus atributos internos (baja huella de carbono, bajo consumo energético, uso eficiente de los recursos naturales, etc.), sino que también se vincula con el modo en que se concibe los procesos de investigación, producción y divulgación en relación al territorio, la gestión de las comunidades locales involucradas, el

modo en que se administra la propiedad de los medios de producción, la procedencia de los insumos y el manejo de los desechos vinculados al proceso productivo, además de la forma en que los productos derivados de estas nuevas industrias se comercializan y compiten en el mercado. (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott, 2019)

### 3.3. FABRICACIÓN CON MICELIO Y LABORATORIO DE BIOFABRICACIÓN UC

Entre el año 2018 y el 2019 se llevan adelante tres proyectos de investigación complementarios, orientados a instalar en el Laboratorio de Biofabricación UC las capacidades para producir materiales conformados por el micelio de hongos y residuos agroindustriales. Se proyectó en estos dos años testear sus posibilidades en el ámbito de la arquitectura y el diseño para posteriormente prototipar una línea de producción de escala industrial orientada a la producción de bloques estructurales de micelio. De esta forma, se buscó validar empíricamente la hipótesis de que es posible producir materiales resistentes en base a micelio y sustratos lignocelulósicos con un uso útil para componentes constructivos, fabricados a una escala apropiada para la industria, proporcionando una alternativa efectiva de materiales con baja huella ecológica

y posibilidades de integrarse efectivamente en un ciclo que abarque la fabricación, el uso y la descomposición.

La experiencia se llevó a cabo en colaboración Rafael Astaburuaga Armanet y la empresa Hongos de Chile —entidad privada dedicada a la producción industrial de champiñones comestibles—, los que permitieron el despliegue in-situ de un “laboratorio de campaña” para el escalamiento de los procesos de inoculación y cultivo ensayados en el laboratorio durante los años 2017 y 2018.

El cultivo, testeo y prototipado involucró dos especies de hongos lignocelulolíticos: *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*, los cuales fueron colectados en el parque Karukinka y la industria agropecuaria, respectivamente. La secuencia completa de cultivo y fabricación se llevó a cabo haciendo uso de ambas especies lo que finalmente llevó a optar por la utilización de *P. Ostreatus* debido a su mayor robustez y velocidad de crecimiento en el rastrojo de trigo, llegando a producirse aproximadamente 250 bloques estructurales de 10 x 20 x 50 cm, con una densidad aproximada de 25 kg/m<sup>2</sup>; y un protocolo para la producción industrial de estos.

Derivado de esta experiencia, actualmente se trabaja en la caracterización físico-mecánica

de los bloques y de forma paralela se busca reproducir, en el Laboratorio de Biofabricación, el proceso desarrollado que se realizó en Hongos de Chile, variando los sustratos con los que se cultiva el micelio para controlar la densidad y resistencia final del material.

Paralelamente, a partir del año 2019, mediante un FONDART de Investigación en Diseño, se desarrolla una investigación alternativa cuyo objetivo fue desarrollar un textil a partir de micelio y fibras naturales, además de una incubadora de bajo costo y de código abierto. Esta última no sólo permite a los interesados replicar los resultados de la investigación, sino que también da la posibilidad de manejar variables de interés en el crecimiento del hongo, otorgando la posibilidad de experimentar en el área sin la necesidad de invertir grandes sumas de dinero en equipamiento. (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott, 2019)

### 3.4. MOTIVACIONES PERSONALES

Junto a estos antecedentes, esta investigación se enmarca, a su vez, en el contexto del Magister en Sustentabilidad y Energía (MASE) impartido por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Desde este nace también el interés por la elaboración de un proyecto que contemple además de lo planteado en los puntos anteriores, aspectos que deriven en la factibilidad de uso

del proyecto, poniendo así especial énfasis en las dimensiones relacionadas al confort de uso, al mismo tiempo que buscan mantener una conciencia de los gastos operativos del proyecto. Es entonces así que se busca extender el alcance de los aspectos sustentables del proyecto, poniendo en valor las características físico-mecánicas de los materiales biofabricados en base a Micelio, disponiéndolos a favor de una arquitectura sustentable tanto en su materialidad, como en su planteamiento y su operación.

### 3.5. MARCO TEÓRICO

La biofabricación en base a micelio, pese a llevar unos años popularizándose, se ha mantenido sobre todo relacionada al mundo del diseño y el arte experimental, quedando enmarcado en un contexto donde sus capacidades físico-mecánicas pueden ser dejadas más bien de lado, enfocándose así en cumplir objetivos puntuales o estéticos, encontrando gran variedad de productos asociados al diseño (fig.3) de prototipos y a la arquitectura efímera (fig.4 y fig.5). Sin embargo estas primeras experimentaciones han generado conocimientos y entregado el espacio para que, en los últimos años, diversas entidades se embarcaran en la misión de refinar sus procesos de producción, creando



Figura 3. Mushroom mycelium used to create suede-like furniture by Sebastian Cox and Ninela Ivanova. Fotografía por Petr Krejci publicada en el artículo de la página web Dezeen (20 de septiembre 2017).



Figura 4. Pabellón construido a partir de cultivos de micelio expuesto en la Semana del Diseño en Holanda. Diseñado por el escenógrafo y artista Pascal Leboucq en colaboración con el estudio Krown Design. Fotografía de Erik Melander publicada en el artículo de Dezeen, escrito por Augusta Pownall (29 de octubre 2019).



Figura 5. Torre de bio-ladrillos elaborados en base de micelio y maíz expuestos en el MoMa PS1. Pabellón diseñado por David Benjamin, director del estudio neoyorquino The Living. Fotografía por Kris Graves presentada en el artículo de Dezeen, escrito por Amy Frearson. (1 de julio 2014)

productos con el potencial de generar un gran impacto en términos de sustentabilidad, como son el reemplazar el poliuretano expandido en el packaging o el cuero animal en productos textiles (fig.6), a la vez que generan un primer acercamiento de la biofabricación en base a micelio a un mayor público. En arquitectura la variedad de productos que se pueden encontrar es más bien reducida, por un lado, tenemos la presentación de numerosos pabellones, que buscan difundir y exponer el uso del micelio pero sin someterlo a las condiciones adversas (estructurales y de resistencia a la intemperie) a las que se ve usualmente enfrentada la arquitectura a lo largo del tiempo, si no, más bien a condiciones ideales, temporalmente acotadas y de exhibición. Por otro lado, el desarrollo de productos orientados al uso en arquitectura de uso diario, fuera del espacio de exhibición, se limita sobre todo a la producción de paneles aislantes tanto térmicos como acústicos como son el Sinewave Panel (fig.7) y el Insulation Panel (fig.8) de Grown Bio. De esta muestra, se entiende también que la producción de materiales en base a micelio se limita a tres elementos principales, el bloque, el panel y el textil, siendo este último el menos estudiado.

Antes de entrar a profundizar en cómo se propone llevar a cabo la aproximación de un material biofabricado a un proyecto

arquitectónico, hace falta comprender qué características y referentes son los que dan pie al interés de estudiar la posibilidad de producir un paquete constructivo de envoltente exterior que sea realmente funcional y satisfaga las necesidades de un proyecto de arquitectura.

De aquí se tiene que una de las características más reconocidas de los materiales de micelio es que presentan malas capacidades mecánicas (Appels, et al., 2019), por lo que su uso como elementos estructurales queda descartado, junto a esto se descarta la posibilidad de utilizarlos como un elemento que quede al alcance de la mano del usuario, ya que esta poca resistencia va también acompañada de cierta fragilidad que podría traducirse en un muy rápido deterioro de los elementos constructivos. Por el contrario, suelen tener muy buenas capacidades como aislantes tanto térmicos (Jones, et al., 2 de diciembre 2019) como acústicos (Pelletier, et al., 2013), de aquí es que despierta el interés en integrarlo en los paquetes constructivos de cerramiento. Por último, su comportamiento en relación al agua es variado, dependiendo del método de producción este se puede comportar como un material hidrofóbico o como un material particularmente absorbente, esto dado porque el micelio, por sí sólo presenta características hidrofóbicas, pero, son los sustratos y la densidad del micelio en la superficie los que

definen su comportamiento en relación al agua (Appels, et al., 2019). Es así como los desafíos ligados al desarrollo del paquete constructivo serán, por un lado, la determinación de una morfología que cumpla con los intereses anteriormente descritos, mientras que por el otro y a su vez el más desafiante, será estudiar el cómo elaborar un elemento de cubierta que no pierda las capacidades hidrofóbicas del micelio.



Figura 6. Adidas presenta las zapatillas Stan Smith Mylo hechas de cuero de micelio. Fotografía publicitaria publicada en el artículo de Dezeen, escrito por Jennifer Hahn (19 de abril 2021).



Figura 7. Sinewave panel de MycoFoam™ tiene propiedades acústicas inherentes que lo convierten en un material ideal para Sinewave, de Ken Lush de Ecovative. Tamaño disponible: L 40,7 cm x B 40,7 cm x H 5,1 cm (tolerancia 5%). Grown Bio (2022).



Figura 8. Panel Aislante a base de micelio de hongo. Dimensiones disponibles (aprox.): L 1200 mm x W 600 mm x H 60 mm. Grown Bio (2022).

## 4. PROYECTO

### 4.1. ENCARGO

Para entender el desarrollo de este proyecto, se busca poner especial énfasis en la exploración material y su aproximación a la arquitectura, entregando, así como factores generales para todo el grupo de investigación, la ubicación geográfica y el programa, permitiendo así concentrar la investigación en el desarrollo de un material y el proyecto de arquitectura al cual se integra bajo estas condiciones dadas. Es decir, este trabajo se desarrolla bajo un grupo de datos establecidos abarcando su uso, contexto y las condiciones asociadas a ambos, quedando así fuera de la argumentación vinculada al proceso.

### 4.2. LUGAR

La Estación Biológica Senda Darwin (EBSA) es un área protegida privada ubicada al Norte de la Isla Grande de Chiloé. La EBSA es administrada por la Fundación Senda Darwin con el apoyo del Instituto de Ecología y Biodiversidad y la Pontificia Universidad Católica de Chile, formando parte de la Red de Centros Regionales y Estaciones de Campo de esta. La EBSA busca ser un espacio de encuentro y reflexión sobre deberes y responsabilidades del ser humano con la naturaleza y las futuras generaciones. Para este objetivo provee de infraestructura para recibir científicos, presentar cursos y ser un espacio de recreación e información

ecológica, buscando hacer una puesta en valor desde la experiencia (Estación Biológica Senda Darwin, s.f).

Su particular ubicación se presenta como una oportunidad por su fácil acceso desde la Ruta 5 y su relación casi inmediata con algunas de las zonas urbanas más importantes del sector (fig.9). Esta característica vuelve a la EBSA un parque con el potencial de tener un flujo de visitantes considerable que mantenga activa la Estación como un centro fundamental para el aprendizaje, la experimentación y el desarrollo ecológico, todo esto de la mano del turismo especializado y con un objetivo claro como es el turismo lupa.

Esta dualidad presente, entre reserva aislada y ubicación estratégica en relación con Ancud y Puerto Montt (fig.10), se presenta como una oportunidad para profundizar en esta misión científica que se propone la Estación, teniendo la posibilidad de un dialogo directo con escuelas y universidades locales e investigadores interesados en desarrollar trabajo en terreno. Estas condiciones no solo son ideales para el desarrollo de una conciencia e investigación ecológica en Chile, sino además para la profundización y generalización en investigaciones sobre biomateriales, como el micelio, en ambientes remotos, pero de fácil acceso.

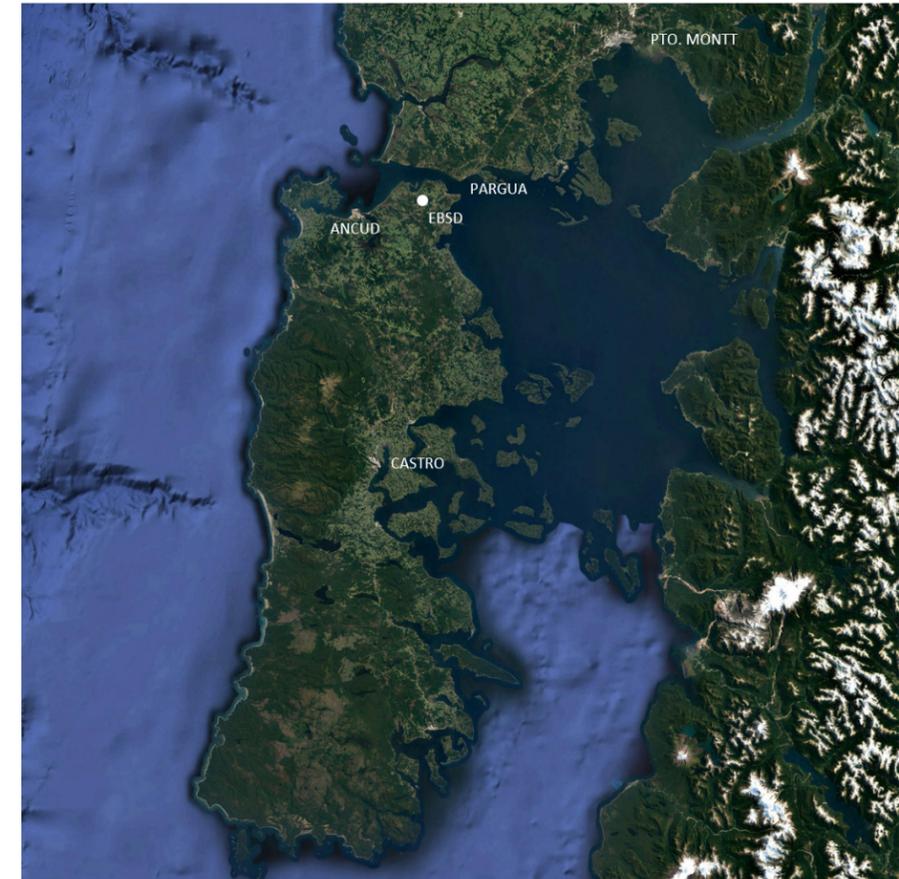


Figura 9. Contexto geográfico Estación Senda Darwin. Elaboración propia a partir de Google Earth.

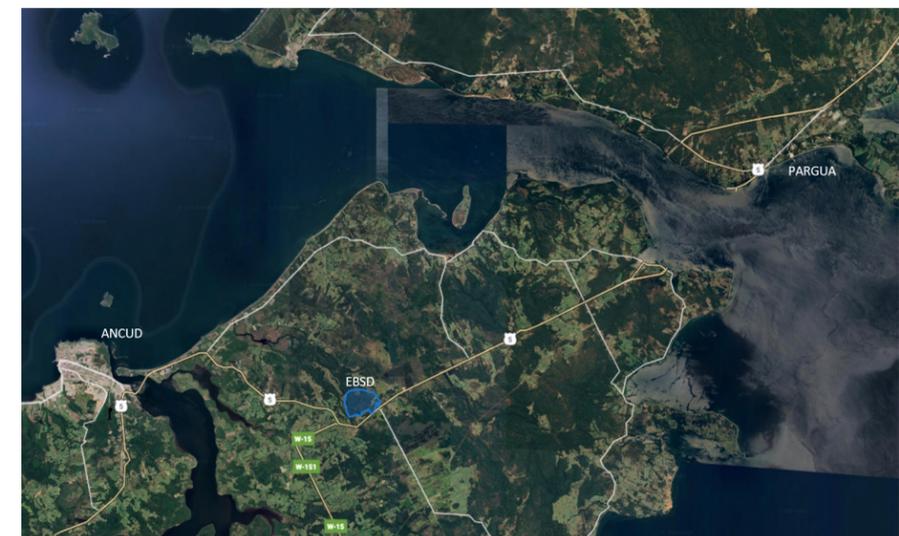


Figura 10. Contexto geográfico y su relación a la Ruta 5. Elaboración propia a partir de Google Earth.

#### 4.2.1. PREEXISTENCIAS Y PROGRAMA

La EBSD posee infraestructura que permite actualmente el desarrollo de sus objetivos mínimos, investigativos, educativos y de aplicación, pero no aprovechando el potencial presente; el parque tiene por preexistencias: una casa de Huéspedes (fig.11), un salón-auditorio para 30 personas llamado Centro Beagle (fig.12), una Unidad Agroecológica que busca revalorizar métodos de producción y cultivo ancestrales de la isla (fig.13), un vivero donde se producen especies del bosque nativo para restauración ecológica (fig.14) y finalmente un grupo de senderos, los cuales se dividen entre visitables y otros reservados para el uso de investigadores (fig.15). Toda esta infraestructura se encuentra principalmente en el sector de pradera contiguo a la zona de acceso al parque, cruzando el río Huicha, evitando así intervenir con el desarrollo natural de este, con la excepción de pequeños y simples senderos.

#### 4.2.2. CLIMA

La estación Biológica Senda Darwin, en su interés por estudiar la ecología y la biodiversidad del Área Protegida, instala en 2013 su propia estación meteorológica, publicándolos en el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, a partir de la cual se obtienen los datos siguientes.

La estación presenta una alta pluviosidad, siendo su mes más seco enero con un promedio mensual por sobre los 60mm, mientras que su mes más lluvioso, agosto, presenta un promedio poco por debajo de los 300mm, teniendo entonces un promedio anual apenas por debajo de los 2000mm.

La temperatura en la estación es más bien baja, teniendo el mes más cálido, en este caso enero, un promedio mensual de 14,2°C y una temperatura máxima mensual promedio de 28,9°C en el mes de febrero. A su vez, el mes más frío es julio con un promedio mensual de 6,3°C, un promedio mínimo de -3,7°C en el mes de junio (CEAZA MET, s.f).

Lamentablemente la estación no posee un sensor de humedad relativa del aire propio en su estación meteorológica, por lo que se utilizaron los datos de la estación más cercana, siendo esta la estación Macopulli en Castro publicados en la Dirección General De Aeronáutica Civil. A partir de los datos registrados se calcula que el promedio anual de humedad relativa del aire se encuentra por sobre el 81% lo que nos habla de una zona con una humedad considerablemente alta (Dirección Meteorológica de Chile, s.f). De este análisis se desprende que la Estación Biológica Senda Darwin se encuentra en un clima Templado Lluvioso Cálido sin Estación Seca, o Cfb, según la clasificación climática de Köppen – Geiger.



Figura 11. Casa de Huéspedes.



Figura 12. Centro Beagle.



Figura 13. Unidad Agroecológica.



Figura 14. Vivero Restauración.

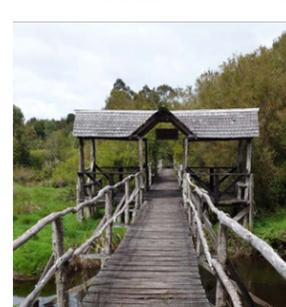


Figura 15. Puente de acceso y Senderos.

### 4.2.3. TERRENO Y ZONIFICACIÓN

El terreno de la estación comprende cerca de 100ha, dentro de las que se identifican seis estratos de vegetación principales, en los cuales se desarrollan diferentes actividades de investigación: la pradera, el matorral, el bosque ribereño, el bosque renoval, el bosque antiguo y el pomponal (fig.16). Junto a esto, la estación se caracteriza por tener una topografía sin mayores cambios de nivel a excepción de las zonas contiguas a la cuenca del río Huicha que hace de frontera natural en prácticamente todo el borde sur y poniente, pero así mismo entorpeciendo su acceso, el cual se encuentra en el extremo suroriente del parque. El acceso principal al parque está a unos 250m de la Ruta 5, teniendo, en la única sección de la estación anterior al río, un pequeño estacionamiento y luego un camino que cruza el río Huicha gracias un puente peatonal de madera. (fig.17)

### 4.3. CONSIDERACIONES

Se tiene finalmente que la EBSD es una reserva con un planteamiento educativo e investigativo bien definido, para ello han ido equipando la Estación Biológica para poder satisfacer las necesidades e intereses bajo las que se ha desarrollado el parque. Pese a esto, Mariela Núñez, directora de la Fundación Senda Darwin comenta que la Estación tiene

un interés turístico que no ha sido del todo trabajado (comunicación personal, 13 octubre 2020), su ubicación de fácil acceso y cercanía a centros urbanos de diferente magnitud le confieren un gran potencial para la realización de este tipo de actividades, las cuales se pueden ver potenciadas mediante relaciones directas con colegios y universidades de la zona. De este potencial surge a la vez el interés de acercar el parque de mejor manera a la comunidad, en un sentido físico, mediante la creación de un edificio que haga de cara visible al público, a la vez que, en un sentido cultural, poniendo en valor el área de conservación. Es bajo este foco que se vuelve importante el desarrollo de un centro de interpretación para la Estación Biológica Senda Darwin.

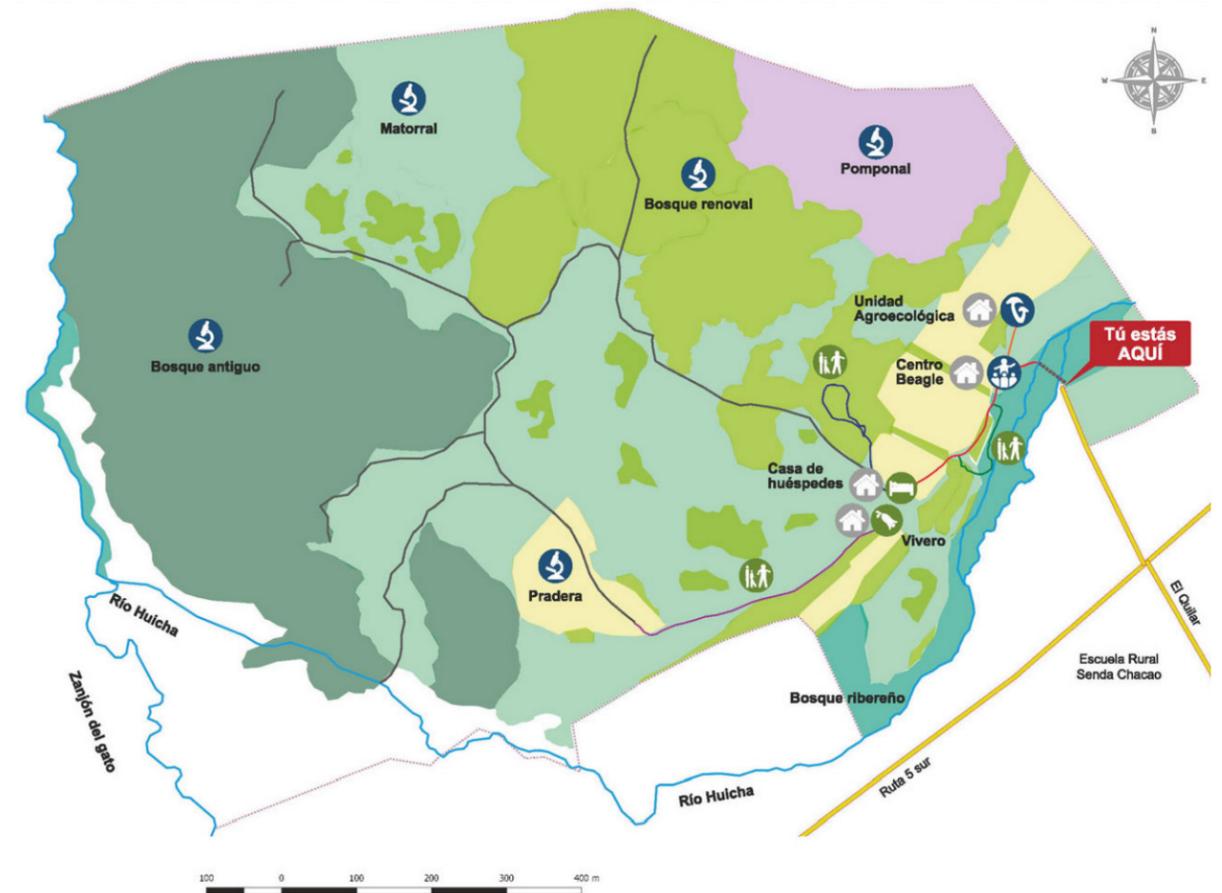


Figura 16. Zonificación Estación Biológica Senda Darwin

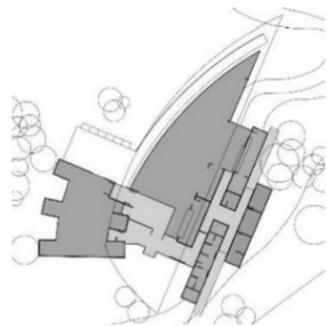


Figura 17. Río Huicha y puente peatonal de acceso a la EBSD.

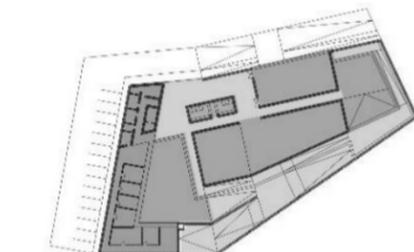
#### 4.3.1. USO - CENTRO INTERPRETACION

El proyecto consiste en desarrollar un centro de interpretación para Senda Darwin, es decir un espacio que haga las veces de equipamiento cultural que permita acercar y dar entender el valor cultural e histórico de la Estación Biológica y todo lo que resguarda e investiga. Al igual que la EBSD, el objetivo de un centro de interpretación está directamente ligado a la enseñanza, la investigación, la divulgación y la puesta en valor de, en este caso, la reserva natural Senda Darwin.

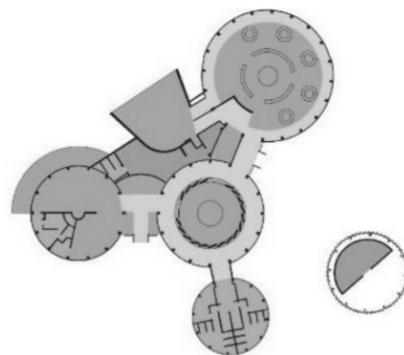
Entendido esto, se decidió hacer una revisión de referentes programáticos, buscando entender tanto la variedad de dimensiones de un centro de interpretación, como la distribución y relación de superficies de sus diferentes recintos y programas (fig.18).



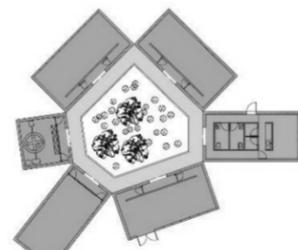
Centro de Interpretación - Dunedin, Nueva Zelanda



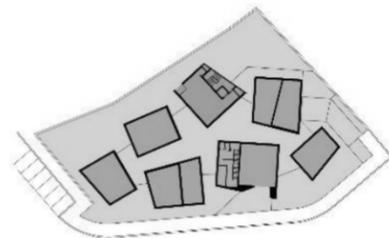
Oficina Central Parque Natural FOGO/OTO



Buhais Geology Park Interpretative Center



Desert Interpretation Center



Centro de Interpretación del Románico - Lousada, Portugal

Figura 18. Planimetría Centros de Interpretaciones estudiados. Elaboración propia

#### 4.4. ESTRATEGIAS

El proyecto se centrará así en el único sector de la reserva que se encuentra anterior al río Huicha, lo que nos permitirá el desarrollo de un proyecto que funcione de antesala a la Estación, donde mediante el paso por el Centro de Interpretación, los visitantes tendrán la oportunidad de hacer una visita consciente e informada, a la vez que la obra realizada se mantiene en un área que se podría considerar como externa a la zona de conservación (fig. 19). Del estudio del terreno se tiene que la EBSD se presenta como un terreno más bien plano, teniendo cambios de nivel leves y con poca pendiente, con la excepción de las zonas contiguas al lecho del río, donde la pendiente es considerablemente mayor, siendo este último el caso del emplazamiento escogido. En vista de esta última característica, se busca utilizarla a favor del proyecto para crear un edificio que no interrumpa visualmente la experiencia de llegar a una reserva natural y que a su vez haga aporte al imaginario de salir de la reserva hacia lo urbano. Es decir, se utilizará la pendiente a favor del proyecto, respetándola, de manera que al aproximarse a la Estación el edificio, en su mayor parte estará escondido por el terreno y su vegetación, mientras que, al salir, este se presentará en su totalidad.

Siendo la ubicación de este proyecto en una zona de alta pluviosidad, se toma la decisión de elevarlo, separándolo del terreno. De esta manera se consigue resguardar los interiores de los altos niveles de humedad del sector y del terreno, derivados tanto de las precipitaciones como de la cercanía al lecho del río Huicha y la posibilidad de afloramientos de napas subterráneas.

Tenemos así un proyecto que con la intención de seguir la pendiente del terreno en que se emplaza, se gesta a partir de la distribución de diferentes plataformas en las cuales se ubican los programas y recintos necesarios para el desarrollo del centro de interpretación. Los recintos se disponen en diferentes niveles sobre un sistema de plataformas que se adaptan a la pendiente con diferencias de 500mm entre ellos, permitiendo así que los pisos puedan relacionarse visualmente (fig.20), a su vez que el poco desnivel permite la correcta integración de rampas, asegurando así el acceso universal a toda el área pública del proyecto (fig.21).

Los cerramientos se diseñan con la intención de asegurar tanto un correcto ingreso de luz natural, como la mantención de una temperatura dentro de los rangos de confort. Nuevamente, uno de los desafíos que surgen del emplazamiento es el alto nivel de humedad, por lo que para evitar tener problemas de condensación a la vez que se resguarda la

iluminación y aislación se propone un paquete constructivo en base a paneles de policarbonato alveolar, los cuales a su vez tienen la cualidad de tamizar la luz, resguardando así los interiores de deslumbramientos, siendo esto particularmente importante en las salas de interpretación, las cuales además se distancian entre ellas, permitiendo que franjas de vegetación se adentren al edificio, generando una cercanía al exterior y asegurando un ingreso de luz natural más homogéneo al interior. Este cerramiento será intercalado con paneles de doble vidrio hermético, en el laboratorio de manera de poder observar lo que pasa en su interior y con tabiques opacos en las zonas de administración y servicios (fig.22).

El sistema estructural es compuesto por una grilla de pilares y vigas de madera las cuales se posan sobre fundaciones en base a pilotes roscados, escogidos estratégicamente por su fácil instalación, rápido montaje, una baja intervención del terreno y por su cualidad de soportar altos niveles de humedad. Sobre el sistema de vigas de techo, se posa el paquete constructivo de cielo y cubierta. Es finalmente aquí donde se integra el micelio al proyecto. Se genera un paquete constructivo que contempla un cielo con capacidades aislantes y un diseño que deja un espacio intermedio que permita dejar fuera de la vista de los usuarios parte de las instalaciones que hacen posible el

correcto funcionamiento del proyecto, como cielo técnico. Esta primera capa de cielo y aislación se posa sobre las vigas secundarias y una serie de tensores de acero que cruzan entre vigas. Sobre esta se busca establecer una segunda capa que cumple el rol de proteger de la intemperie, siendo capaz de resistir, a la lluvia y el viento característicos del lugar. Esta cubierta continua e inclinada, es entonces, la que otorga protección a la serie de terrazas que componen los diferentes recintos del centro de interpretación (figs.23y 24).

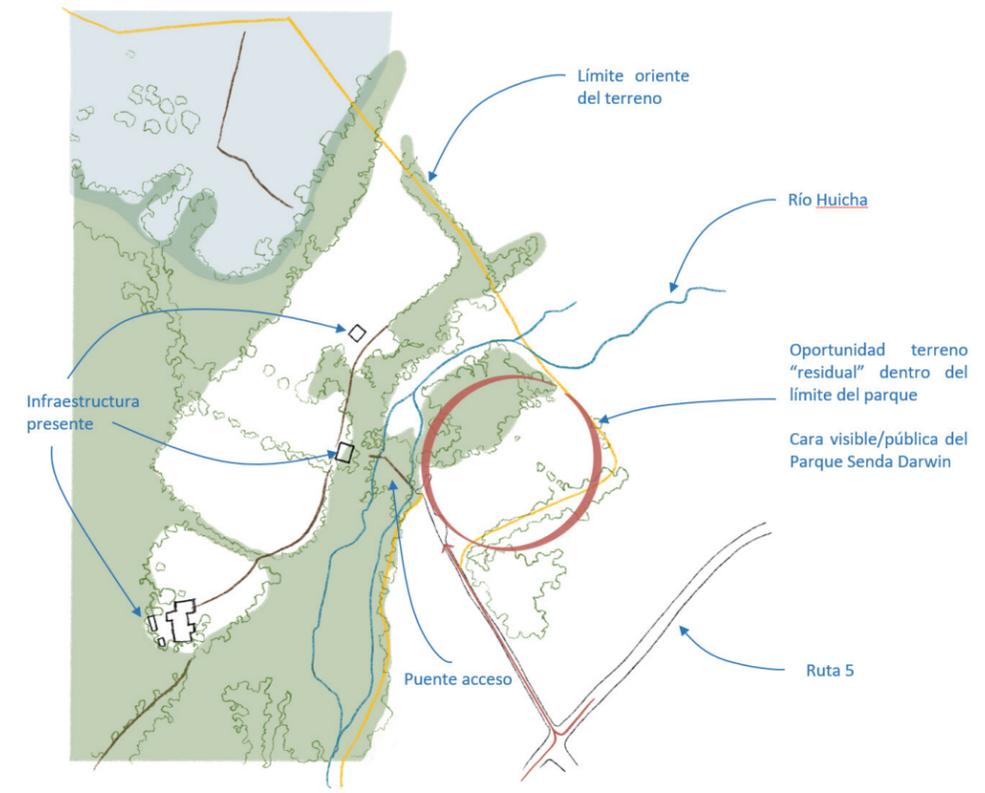
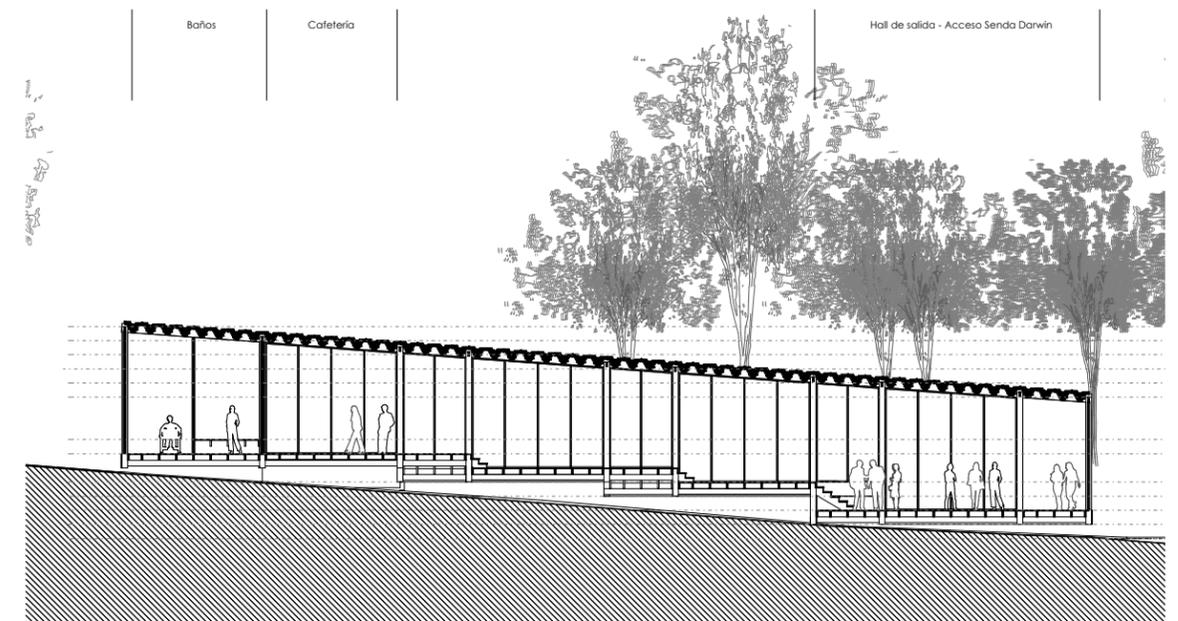


Figura 19. Esquema emplazamiento proyecto y relaciones. Elaboración propia.



1. La inclinación final que tendrá el paquete constructivo de techo, será definida a partir de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre los prototipos.

Figura 20. Corte Transversal proyecto. Elaboración propia.

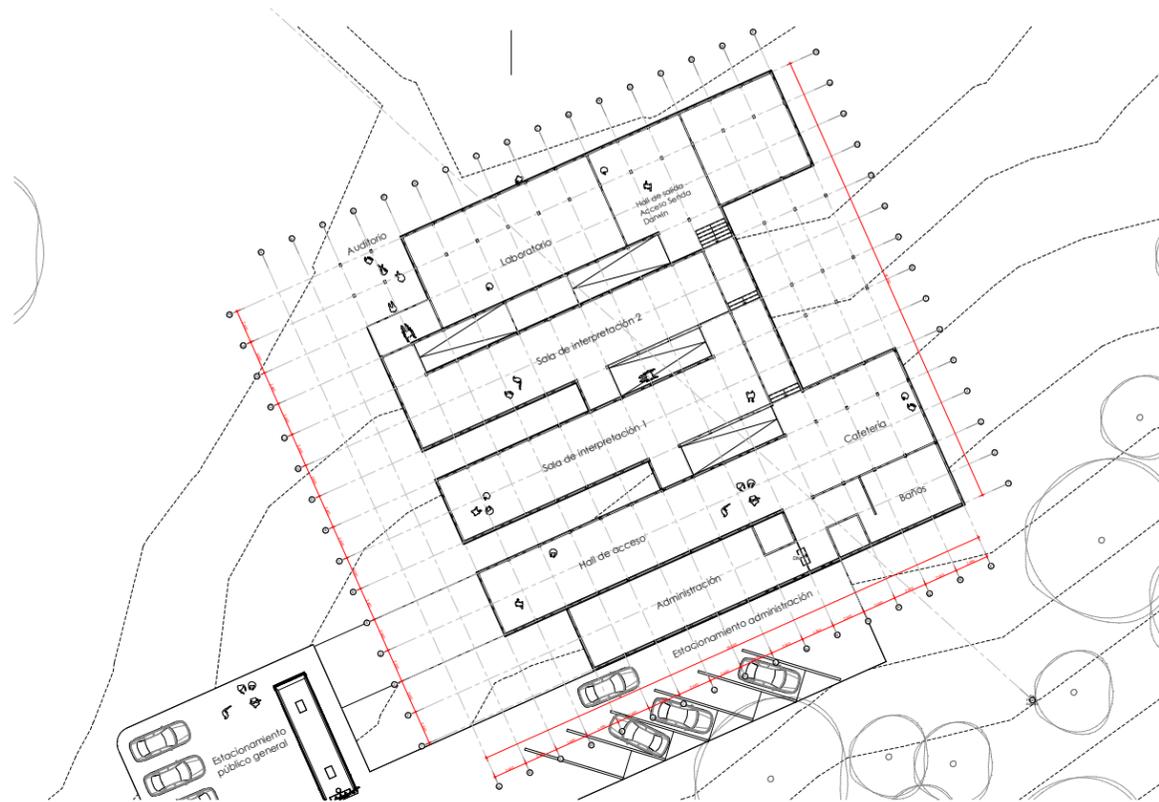


Figura 21. Planta programática. Elaboración propia.

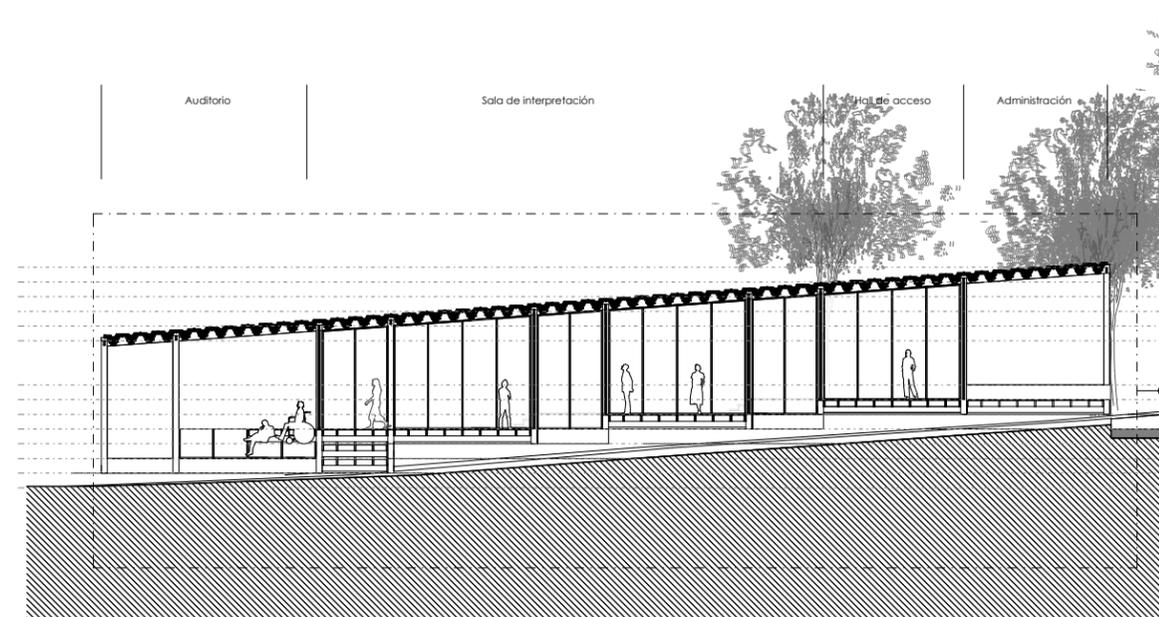


Figura 21. Corte Transversal proyecto. Elaboración propia.



Figura 23. Axonométrica proyecto. Elaboración propia.

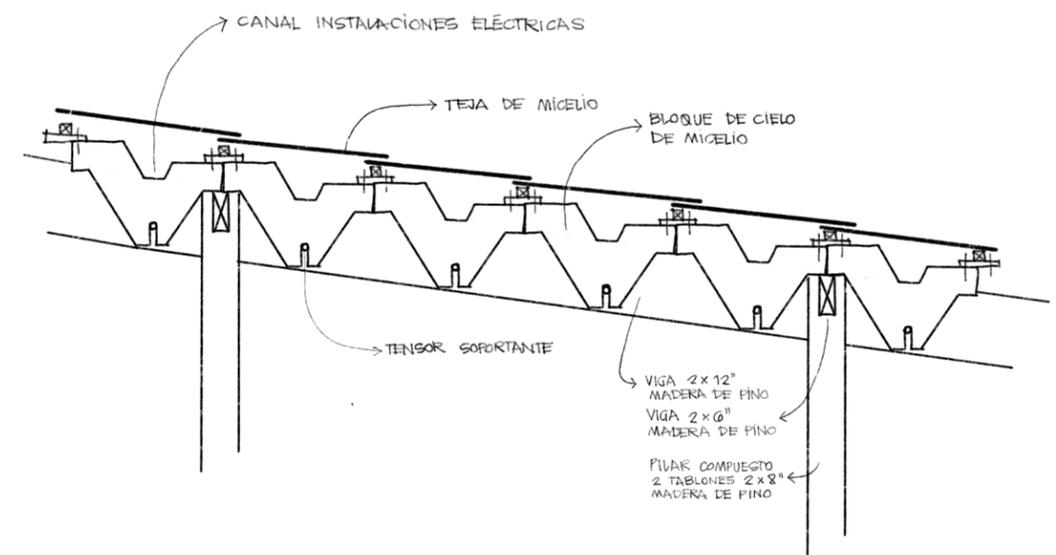


Figura 24. Escantillón montaje paquete constructivo.

## 5. ELABORACIÓN

### 5.1 PAQUETE CONSTRUCTIVO

En vista de la aspiración que el paquete constructivo sea capaz de proteger de la intemperie, este consistirá en una pieza interior de cielo y una exterior que haga las veces de una teja. Para el componente de cielo y aislación se hace la aproximación al estudio desde la lógica de un bloque, esto dado primeramente por el hecho de que los bloques, a diferencia de las placas, tienen mejores capacidades aislantes. Ante la pretensión de que este elemento tenga la capacidad de ser utilizado como un espacio para mantener los componentes de instalaciones fuera de la vista de los usuarios, se evalúa la posibilidad de que la pieza siga la lógica de un bloque ahuecado o parcialmente ahuecado de manera de conseguir este objetivo. El segundo elemento, la teja, se trabajará bajo la lógica de las placas, ya que estas tienden a presentar menor absorción y retención de humedad a la vez que presentan una mayor resistencia, atributos imperantes para un elemento que se verá enfrentado a las condiciones exteriores. Dicho esto, a continuación, se describirán los pasos y procesos a seguir para el desarrollo del paquete propuesto y los resultados esperados.

#### 5.1.2 CIELO

Primeramente, referiremos al hecho que, el bloque es uno de los elementos biofabricados en base a micelio más estudiados tanto en la literatura científica como en el Laboratorio de Biofabricación UC, por lo que para este no se realizarán pruebas físicas.

Para la elaboración de este se comienza utilizando viruta de madera de pino como sustrato principal el cual antes de añadirle el hongo que lo colonizará, deberá ser esterilizada mediante la técnica de autoclavado, con el fin de eliminar cualquier rastro de otro hongo que haya podido estar creciendo en la viruta. A continuación, se añadirá cal, lo que permitirá crear un ambiente con un pH alcalino de 8, el cual se considera como un pH ideal para el crecimiento de los hongos, logrado esto, se añadirá aproximadamente un 5% del peso de la viruta de madera en Mote previamente colonizado por *Pleurotus Osetratus*, dándose inicio así a la colonización del sustrato. Se decide hacer uso de este hongo ya que es uno de los más descritos en la literatura relacionada a la biofabricación en base a Micelio y por tener como atributos un rápido crecimiento y pocas variables que dificulten su desarrollo (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott 2019).

El sustrato preparado, se traslada entonces a un molde previamente construido principalmente con PAI (poliuretano de alto impacto) termoformado, agregando el sustrato lentamente y comprimiendo de forma manual a medida que se va añadiendo. El molde consiste en tres piezas principales, las 2 laterales y la tapa superior las cuales son atravesadas por tuberías de PVC de 30mm generando perforaciones en el bloque. Estas, son necesarias para la evacuación de calor del sustrato durante el proceso de colonización, que de elevarse puede entorpecer el proceso de crecimiento (Aedo, 2021), pero que, posteriormente tendrán la función de permitir el traspaso de cañerías eléctricas para la instalación de luminarias. Finalmente, el molde se cierra con 3 listones de madera terciada que aportarán resistencia a la zona de apoyo de la pieza. La definición de esta geometría triangular aporta tanto a la resistencia del material como a la reducción de material colonizado, reduciendo tanto su peso como su producción de calor.

Pasado el tiempo de colonización del bloque, se desmoldará la pieza y se llevará a un horno a 100°C por una hora de forma de neutralizar el hongo evitando así que este siga creciendo y eliminando la posibilidad de que fructifique (genere champiñones) una vez instalado. Posterior a esto, se dejará expuesto al sol por aproximadamente 5 horas para terminar con

su secado, pudiendo, finalmente darle una terminación en cal la cual otorga una mayor resistencia a la humedad, disminuyendo la absorción de esta (Orellana, 2021). Además, esta terminación en cal otorga un aspecto superficial blanco, el cual aporta a la obtención de un aspecto más pulcro, teniendo por resultado una pieza no sólo funcional sino también con un valor estético que se suma a la misión de hacer un espacio educativo y demostrativo, en este caso haciendo una puesta en valor del micelio.

Finalmente, desde los anteriores estudios revisados para el desarrollo de esta investigación tenemos que el bloque propuesto debería tener por resultados una transmitancia térmica en el rango de los 0,05 y 0,08 W/mK (Elsacker, et al., 2019), lo que habla de un desempeño cercano al esperable de la lana mineral o el poliestireno expandido de bajas densidades. Además, se espera encontrar una resistencia a la tracción cercana a los 0,05 MPa y un módulo de elasticidad cercano a los 13 MPa (Appels, et al., 2019).

### 5.1.3 Techumbre

El primer punto por considerar al momento de querer desarrollar una techumbre, particularmente para un lugar como Chiloé, es su capacidad impermeable y, así mismo, que este no retenga agua, ya sea por contacto directo con precipitaciones o por absorción desde la humedad ambiental. Aquí es donde se presenta una de las mayores deficiencias de los materiales elaborados en base a micelio. En su gran mayoría estos tienden a absorber y retener grandes cantidades de agua, llegando en algunos estudios a crecer hasta en un 508% su peso al estar en contacto directo con el agua y cerca de un 12% al estar expuesto a una humedad del 80% (Appels, et al., 2019).

Por el contrario, el micelio por sí sólo y en condiciones adecuadas de crecimiento que le permitan desarrollarse como un film, presenta una baja absorción por humedad, cerca de un 6% estando expuesto a una humedad relativa de 85% y así mismo presenta ángulos de contacto cercanos a  $121^\circ$ , atributos que nos hablan de un material con características hidrofóbicas (Haneef, et al., 2017). Estos alentadores resultados son obtenidos al poner a prueba el material bajo una lógica de film, obtenido a partir del crecimiento en placas Petri colonizando PDB (agar de papa-dextrosa) siguiendo una lógica de crecimiento en dos

dimensiones. Es entonces que la problemática surge al momento de elaborar un elemento que implique la colonización de un sustrato en tres dimensiones, lo cual, a diferencia de un film, genera porosidades las cuales aumentan la propensión del material a absorber agua.

Finalmente, la techumbre se trabajará siguiendo la lógica de elaboración de las placas, para las cuales hay dos métodos principales de elaboración, la colonización del sustrato bajo presión, o bien, el comprimir el elemento durante su proceso de secado. Se decide trabajar con placas, dado que, en diferentes estudios se ha visto que la compresión ayuda a reducir a la cerca de la mitad los porcentajes de absorción de humedad de los materiales elaborados en base a micelio (Jones, et al., 2 de diciembre 2019). Junto a esto se tiene también la intención de trabajar con placas ya que estas funcionan como un homólogo a las tejas, pudiendo entonces respetar la lógica constructiva propuesta para el paquete.

Para la elaboración de la teja propuesta para el paquete constructivo, se realizaron seis moldes de poliestireno de alto impacto de alrededor de 18x20cm cada uno (fig.24), un primer grupo de tres moldes fueron rellenos entonces solo con viruta de madera de pino para ser colonizadas por micelio de *Pleurotus Ostreatus*, siguiendo el procedimiento descrito al comienzo del

apartado anterior. Mientras el segundo grupo de tres moldes, antes de ser rellenos con el sustrato se incorporó una capa de PDB en la base del molde (fig.25), buscando facilitar el crecimiento del micelio bajo la lógica de film. El periodo de crecimiento de los moldes se dividió en tres etapas, en una primera, se permitió que el micelio creciera en el sustrato sin aplicar presión (fig.26), permitiendo así que la capa de PDB se mantuviera intacta durante la colonización, buscando evitar que esta se viera deteriorada por la presión de la viruta antes de ser colonizada. Pasada una semana, se revisaron los moldes y se comprimieron aplicando aproximadamente 65kg sobre la superficie de 20x18cm, en este punto ya era posible apreciar que los moldes estaban siendo correctamente colonizados y que no había señales de infecciones por parte de otros hongos. Posterior a esto, se mantuvieron otra semana guardados para su crecimiento, esta vez montados entre ellos buscando mantener algo de compresión durante esta segunda etapa (fig.27). Completada esta semana, se pasó a la tercera etapa de crecimiento, la cual consistió en dejar los prototipos fuera de sus moldes, permitiendo que el micelio colonizara de forma correcta las caras exteriores a la teja, es decir las zonas de contacto con el molde y dando la posibilidad de reincorporar pequeñas secciones de sustrato que quedaron adosadas a este (fig.28)

Posterior a esto, al igual que para los componentes de cielo, se neutralizó el hongo durante 1 hora en un horno a  $100^\circ\text{C}$  para luego dejar los componentes secando al sol por unas 5 horas. Por último, las tejas se pintarán con una capa de cal y agua, para proporcionarles mayor protección a la absorción de humedad y una terminación homogénea.

De aquí se espera obtener placas con una resistencia a la tracción cercana a los 0,03 MPa a su vez que presentaría un módulo de elasticidad entre 6 y 9 MPa. Junto a esto se espera que la presencia de una capa de PDB en el moldaje propicie el crecimiento del micelio en forma de film al menos en una cara, lo que nos permitiría obtener una cara con cualidades hidrofóbicas, lo cual, en conjunto al revestimiento en base a cal y agua junto con la elaboración de esta pieza como placa, debería resultar en un componente con mejores cualidades de resistencia al agua y la humedad de las descritas en la literatura.

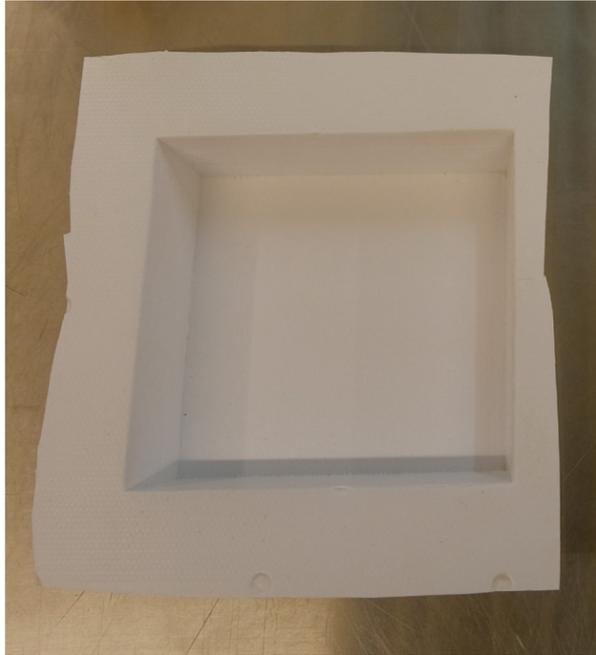


Figura 24. Moldajes para la elaboración de los prototipos de teja. Elaboración propia.

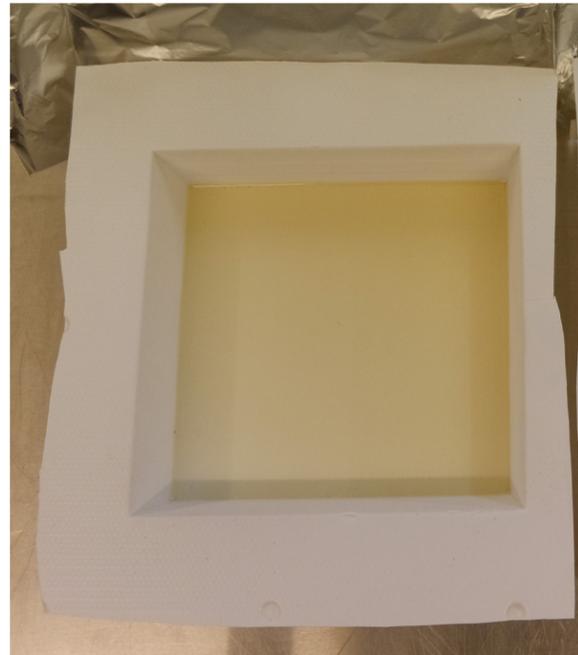


Figura 25. Moldajes para la elaboración de los prototipos de teja con capa de PDB. Elaboración propia.



Figura 26. Sustrato colonizado al termino de la primera etapa de crecimiento. Elaboración propia.

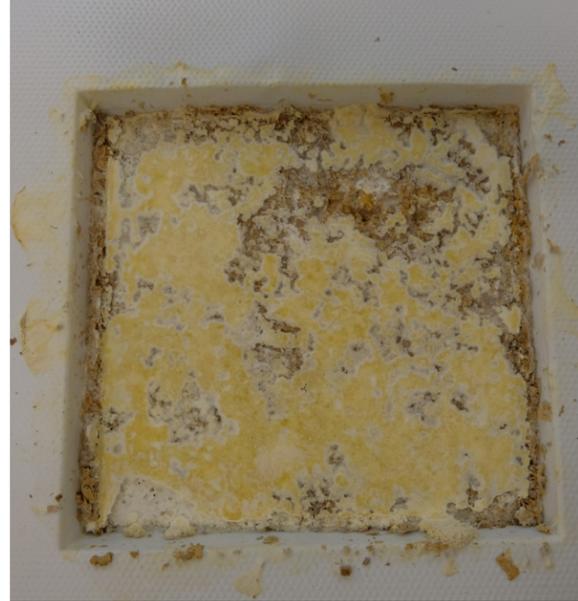


Figura 27. Sustrato colonizado al termino de la segunda etapa de crecimiento. Elaboración propia.

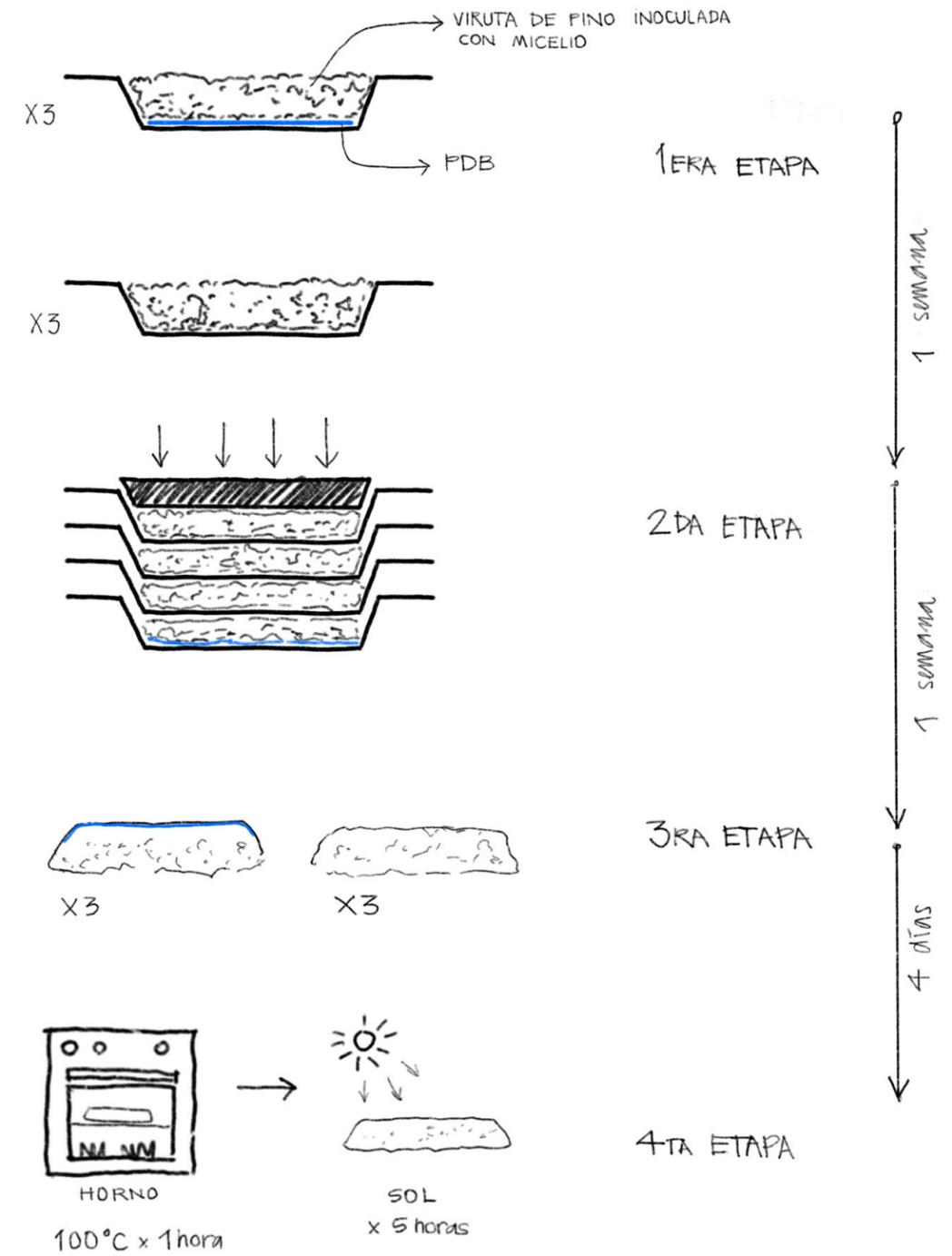


Figura 28. Esquema resumen del proceso de elaboración para los prototipos de teja. Elaboración propia.

## 5.2 TESTEO

Para poder poner a prueba si los elementos de teja producidos consiguieron los resultados esperados, se elaboran una serie de pruebas a partir de las cuales se espera poder comparar el desempeño de los bloques del primer grupo, elaborados sin PDB, en contraposición a los bloques del segundo grupo. Para esto se harán tres evaluaciones que nos ayuden a determinar diferencias entre sus comportamientos.

La primera prueba consistirá en someter los bloques a humedades relativas del aire elevadas, manteniendo los bloques en un ambiente que se mantenga a un el 80% de humedad relativa durante al menos un día. Para evaluar sus diferentes comportamientos se tomará el peso y medidas de cada uno de los bloques antes de ser expuestos a la humedad, durante la exposición y luego de completado el día. De estos pesajes y mediciones se obtendrá cuál es el porcentaje de crecimiento de peso de cada bloque, cuánto peso en agua son capaces de absorber durante este periodo y que tanto varía su tamaño. Desde estos resultados se podrá hacer una comparación que permita determinar diferencias, mejorías o falencias en su desempeño.

Luego, se dispondrá una segunda serie de placas, una con y otra sin PDB, de forma paralela al piso y se les expondrá al contacto directo con agua, midiendo si el material es capaz de absorber suficiente agua como para saturarse y comenzar a filtrar por su cara posterior, y, de ser así, cuánto tiempo toma que esto suceda. Finalizada la prueba, nuevamente se hará la comparación entre mediciones iniciales de peso y tamaño.

Finalmente se dispondrá el último par de placas, esta vez anguladas con una pendiente del 10%, estas a su vez se les expondrá a un caudal de agua constante, buscando evaluar sus capacidades de escurrimiento de agua superficial, midiendo al igual que en el apartado anterior, cuánto tiempo son capaces de soportar antes que el agua absorbida los sature y comiencen a filtrar por su cara posterior. Nuevamente se evaluará la variación de su peso y tamaño antes y después de la prueba.

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 PRIMEROS RESULTADOS

Al retirar los bloques de sus moldes, lo primero que vale destacar, es que, la capa de PDB incorporada en la base de los tres moldes del segundo grupo fue muy gruesa, por lo que al final de la segunda etapa, no se había podido conseguir un crecimiento tipo film del micelio como era esperado para poder hacer las pruebas de impermeabilidad propuestas para el desarrollo de esta investigación (fig.29). Debido a esto en este punto, se vuelve clave la capacidad del micelio de poder finalizar con la colonización de las que serán las caras exteriores de la teja, lo que corresponde a la tercera etapa descrita, pero que están pobremente colonizadas por estar en contacto con el moldaje. Por otro lado, uno de los moldes realizados sin PDB tuvo, durante la segunda etapa, un crecimiento particularmente denso, alcanzando características como las que se buscó conseguir en los moldes realizados con una capa de PDB en su base (fig.30). Lamentablemente, no pudimos definir qué diferencias o factores hubo al momento del crecimiento de la segunda etapa que pudiesen haber provocado esta singularidad en su crecimiento.



Figura 29. Prototipo de teja con capa de PDB. Se puede ver que hay crecimiento de micelio por debajo de esta primera capa de PDB, pero la capa de PDB no fue colonizada en su superficie.



Figura 30. Prototipo de teja sin capa de PDB pero con crecimiento muy denso en una de sus caras.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adidas. (19 de abril 2021). Adidas unveils Stan Smith Mylo trainers made from mycelium leather [Fotografía]. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2021/04/19/stan-smith-mylo-trainers-adidas-mycelium-leather/>

Aedo, B. (2021). Centro de visitantes construido con bloques perforados fabricados con micelio de hongo. [Tesis de maestría no publicada]. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Appels, F. V.W.; Camere, S.; Montalti, M.; Karana, E.; Jansen, K. M.B.; Dijksterhuis, J.; Krijgsheld, P.; Wösten, H. A.B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials and Design* 161; 64–71.

CEAZA MET. (s.f). Estación Biológica Senda Darwin (IEB). [Web]. Chile. <http://www.ceazamet.cl/index.php?pag=mod-estacion&e-cod=CNSD>

Dirección Meteorológica de Chile. (s.f). Servicios Climáticos. Inventario Componentes por Estación. [Web]. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/inventarioComponentesPorEstacion/420014/107/292>

Elsacker E., Vandeloock S., Brancart J., Peeters E., De Laet L. (2019) Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE* 14(7): e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>

Estación Biológica Senda Darwin. (s.f). Quiénes Somos. [Web]. <https://www.sendadarwin.cl/inicio/quienes-somos/>

Estación Biológica Senda Darwin. (s.f). Estación. [Web]. <https://www.sendadarwin.cl/inicio/quienes-somos/>

Graves, K. (1 de julio 2014). Tower of "grown" bio-bricks by The Living opens at MoMA PS1. [Fotografía]. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/>

Grown Bio (2022). Insulation panel (set of 10). [Fotografía]. <https://www.grown.bio/product/insulation-panel/>

Finalmente, por impedimentos directamente relacionados a la pandemia y a la salud del equipo de profesores guía, los ensayos propuestos no pudieron ser llevados a cabo, por lo que, esta tesis, deja abiertas las puertas a próximas investigaciones a partir del diseño del experimento y un primer acercamiento al posible desarrollo de materiales biofabricados en base a micelio que posean un cierto nivel de impermeabilidad para masificar su uso en condiciones y permanentes.

### Primeras reflexiones

Para la realización de un bloque que tenga una capa que contenga PDB con la intención de poder crear un film de micelio, la cara no debe estar en contacto con el moldaje, por lo que se propone la posibilidad de agregar la capa de film a posteriori, mediante el uso de la anastomosis, mecanismo bajo el cual elementos biofabricados por separado pueden ser unidos gracias al crecimiento natural del micelio, siguiendo el método utilizado por Aniela Hointink en la creación de su vestido (fig.31)



Figura 31. Vestido creado con micelio de hongo. Fotografías de Aniela Hointink presentadas en el artículo de Dezeen, escrito por Alicia Morby (1 de abril 2016).

Grown Bio (2022). Sinewave panel. [Fotografía]. <https://www.grown.bio/product/sinewave-panel/>

Haneef, M.; Cesercciu, L.; Canale, C.; Bayer, I.S.; Heredia-Guerrero, J.; Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. Scientific reports. <https://www.nature.com/articles/srep41292>

Hoitink, A. (1 de abril 2016). Aniela Hoitink creates dress from mushroom mycelium [Fotografía] Dezeen. <https://www.dezeen.com/2016/04/01/aniela-hoitink-neffa-dress-mushroom-mycelium-textile-materials-fashion/>

Jones, M.; Mautner, A.; Luenco, S.; Bismarck, A.; John, S. (2 de diciembre 2019). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. Materials and Design. Editorial Elsevier.

Krejci, P. (20 de septiembre 2017). Mushroom mycelium used to create suede-like furniture by Sebastian Cox and Ninela Ivanova. [Fotografía]. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2017/09/20/mushroom-mycelium-timber-suede-like-furniture-sebastian-cox-ninela-ivanova-london-design-festival/>

Melander, E. (29 de octubre 2019). Pavilion grown from mycelium acts as pop-up performance space at Dutch Design Week. [Fotografía]. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/>

Orellana, S. (2021). Componente de micelio para cubierta. Tablero integrado con matriz de hongo en centro interpretativo de bosques subantárticos. [Tesis de maestría no publicada]. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Pelletier, M; Holt, G.; Wanjura, J.D.; Bayer, E; McIntyre, G. (2013). An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates. Industrial Crops and Products 51, 480-485.

