



ESCUELA DE ARQUITECTURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO
Y ESTUDIOS URBANOS

mase

CENTRO DE VISITANTES CONSTRUIDO CON BLOQUES PERFORADOS FABRICADOS CON MICELIO DE HONGO

Proyecto de construcción de centro de investigación ambiental y turístico en Puerto Grosse.

Benjamín Marcelo Aedo Venegas

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

Octubre, 2021
Santiago, Chile

Profesores Guía:
Francisco Chateau Gannon
Sebastián Rodríguez Jara

Ayudante:
Matías Elliot Oyarce

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional y el cariño entregado en esta etapa de mi vida.

A todos los profesores, ayudantes y trabajadores de la universidad en especial a Francisco Chateau junto con Sebastián Rodríguez por enseñarnos y tener la paciencia necesaria para poder revisar trabajos en el contexto complejo de la labor remota.

A Matías Elliot por su disposición inmediata a cualquier problema en torno al laboratorio.

A los lazos de amistad que pude lograr en este largo trayecto, especialmente a Luciano Cuq que fue un pilar fundamental para sacar adelante este trabajo.

Quisiera agradecer por último a todas las personas que trabajan y trabajarán en el Laboratorio de Biofabricación UC por interesarse en una rama de la arquitectura que tiene especial importancia en el contexto mundial en el que nos encontramos.



Fig 01

01 - Ganoderma australe y detalle microscópico del micelio, Tierra del Fuego

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

1 Abstract

A través de la economía circular se empieza a formar y descubrir nuevos usos para los residuos agrícolas y orgánicos, entregando al campo del diseño una nueva y ecológica herramienta que son los biomateriales, entregando a la arquitectura una nueva forma de pensar los materiales de construcción con grandes ambiciones beneficiosas al medio ambiente.

La presente investigación se limitará a la experimentación y la exploración de las capacidades volumétricas y espaciales del material biobasado de micelio de *Pleurotus Ostreatus* estableciendo así su oportunidad espacial de formar un centro cultural en la región de Aysén en Chile.

Se investigará la relación que existe entre el espesor máximo de un muro de biomaterial de acuerdo con la temperatura interior propia del muro, ganada gracias al metabolismo de la colonización. Esta relación podrá entonces aumentar en su espesor de acuerdo a la ventilación por perforaciones transversales

al muro, haciendo que el pabellón prescindiera de materiales estructurales ajenos al micelio como lo son la madera, el acero y el hormigón entregando así un espacio construido netamente por el hongo.

Finalmente, luego de estudiar la relación entre espesor y la ganancia de calor se evaluará situar el pabellón dentro de un clima frío oceánico de bajas temperaturas, como lo es Puerto Grosse, lugar que por sus características geográficas presenta cualidades de final de camino terrestre, abriendo el traspaso a lo marítimo para llegar a la Estación Patagonia de Investigaciones Interdisciplinarias UC.

Palabras clave: *Pleurotus Ostreatus*, Biomaterial, Características mecánicas, Temperatura metabólica, Región de Aysén.

Índice

Contenido

Abstract	5
Contexto	9
Antecedentes del laboratorio de biofabricación UC	9
Biofabricación	9
Fabricación con micelio y laboratorio de biofabricación UC	11
Objeto de estudio	13
Marco teórico	13
Definición del problema	19
Preguntas de investigación	21
Objetivos	21
Hipótesis	23
Metodología	25
Antecedentes y Estado del arte	29
Economía circular	29
The living	33
Implementación del Material	37
Emplazamiento	37
Uso	41
Forma	43
Bibliografía	45
Anexos	49



Fig 02

02 - Laboratorio de Biofabricación UC

Director: Francisco Chateau
Coordinador tecnológico: Sebastián Rodríguez Jara

2 Contexto

.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 proceso 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 .

.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 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 esta 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.¹

¹ (Chateau, Romero, Rodríguez y Elliott 2019)

2 Contexto

3 Fabricación con micelio y Laboratorio de biofabricación UC

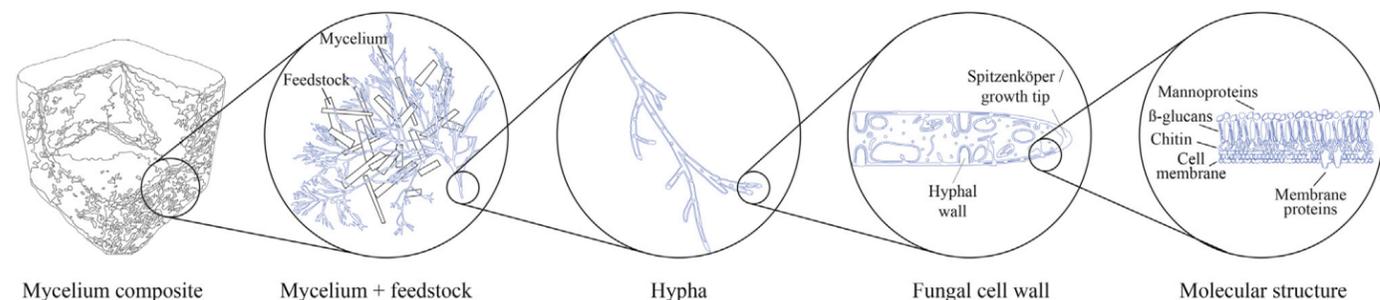


Fig 03

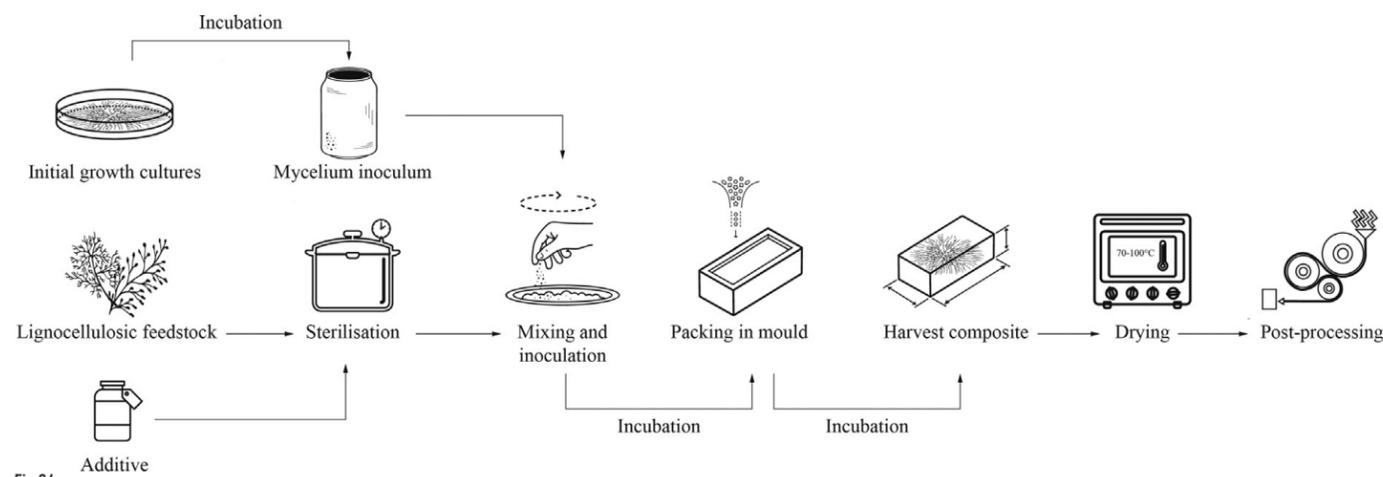


Fig 04

03 - "Schematic representation of the mycelium materials at different scales."

Elsacker, E., Vandeloek, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L. and Peeters, E., 2020. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. 1st ed. Bélgica: Konstantinos G Moustakas.

04 - "Process flow chart showing the applied fabrication method of mycelium-based composites"

Elsacker, E., Vandeloek, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L. and Peeters, E., 2020. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. 1st ed. Bélgica: Konstantinos G Moustakas.

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 agro-industriales. 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/m³; 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 equipamiento².

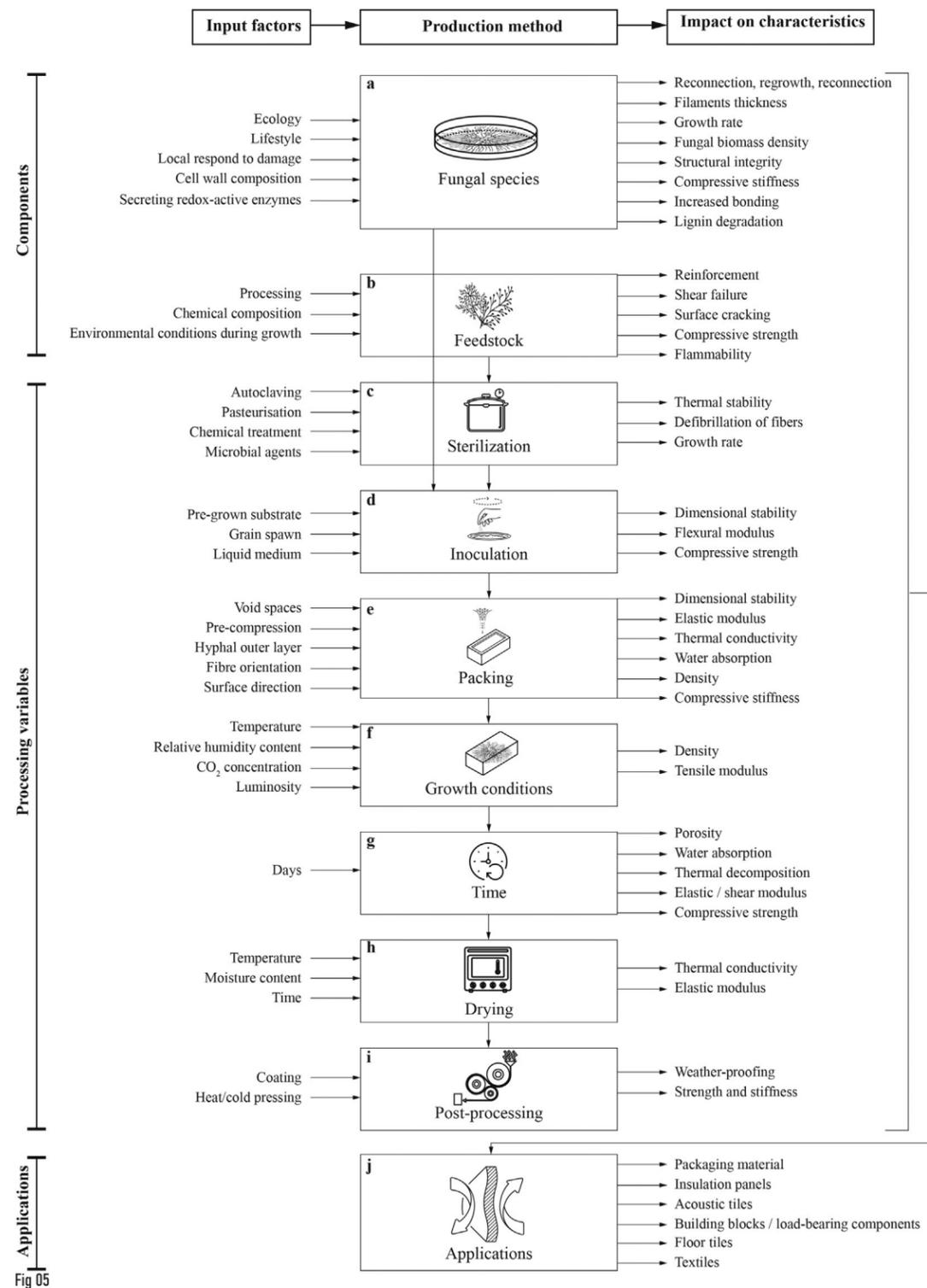


Fig 05

05 - "Illustrative framework of the main factors affecting the production methods of mycelium based materials"

Elsacker, E., Vandeloock, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L. and Peeters, E., 2020. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. 1st ed. Bélgica: Konstantinos G Moustakas.

3 Objeto de estudio

.1 Marco teórico

Los biomateriales se definen como los materiales los cuales se cultiva una especie particular regularmente del mundo de las plantas y de los hongos, los cuales se diferencian de los materiales corrientes que se ocupan en la construcción porque estos últimos se extraen de los recursos naturales, cerrando el ciclo de las materias primas de los cuales se extrae el material, provocando así que se generen residuos y poluciones al medio ambiente. Los biomateriales entonces pueden ocupar estos mismos residuos de la fabricación de materiales comunes para así generar una nueva tecnología en la construcción para crear un material biodegradable y liviano que no necesita de una gran cantidad de energía adquirida externamente en su producción, más bien la energía requerida para generar estos materiales se obtienen a partir del propio metabolismo de la especie cultivada.

La construcción con micelio de hongo se inicia a partir de la búsqueda de nuevas tecnologías de materiales para contrarrestar el problema inminente del aumento considerable de poluciones plásticas, por lo que la biofabricación es una necesidad. Sin embargo, los trabajos académicos y experimentales en torno a los biomateriales pese a ser cruciales para la mejora del medio ambiente son relativamente nuevos en el campo de la construcción y arquitectura por lo que el costo de investigar y realizar experimentos en laboratorios se torna una actividad bastante costosa y con poca extensión literaria, así mismo, al ser un material vivo su uso se deteriora en el tiempo producto del metabolismo propio de la especie.

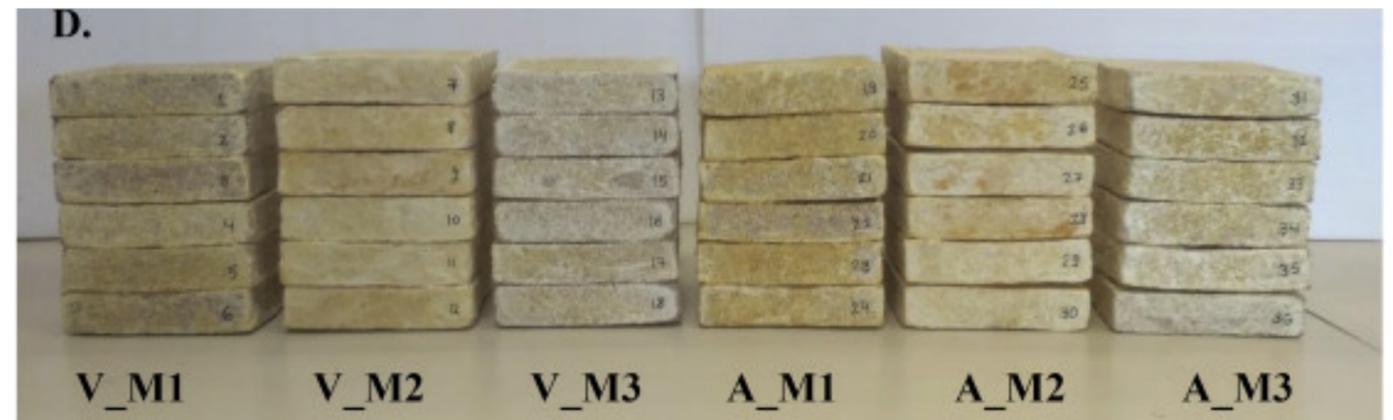


Fig 06

06 - Moldes experimentales de biomaterial para pruebas de resistencia a la compresión

Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.



Fig 07

07 - Moldes de biomaterial incubado en residuos de vid y manzana.

Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.

Puntualmente la fabricación del biomaterial en base a micelio de hongos consta de distintos procesos que constan principalmente en el cuidado de la inoculación, cultivo y colonización del hongo, por lo que las precauciones de invasión de otras especies son de suma importancia para fabricar el bloque, por lo que en primer lugar se esteriliza la zona de fabricación y los utensilios a ocupar. En segundo lugar, se inocula la especie escogida desde una muestra en una placa de Petri en un sustrato previamente experimentado para que la colonización sea óptima y pueda seguir con la etapa de crecimiento en las condiciones ambientales para una correcta incubación, procurando que el sustrato el sustrato más difícil de digerir produce resultados de bloque más rígidos³. El postproceso del material puede derivar a un secado en horno para aumentar sus características físico-mecánicas además de un término en la etapa de crecimiento, lo que mantiene la estructura de la red filamentosa del micelio.

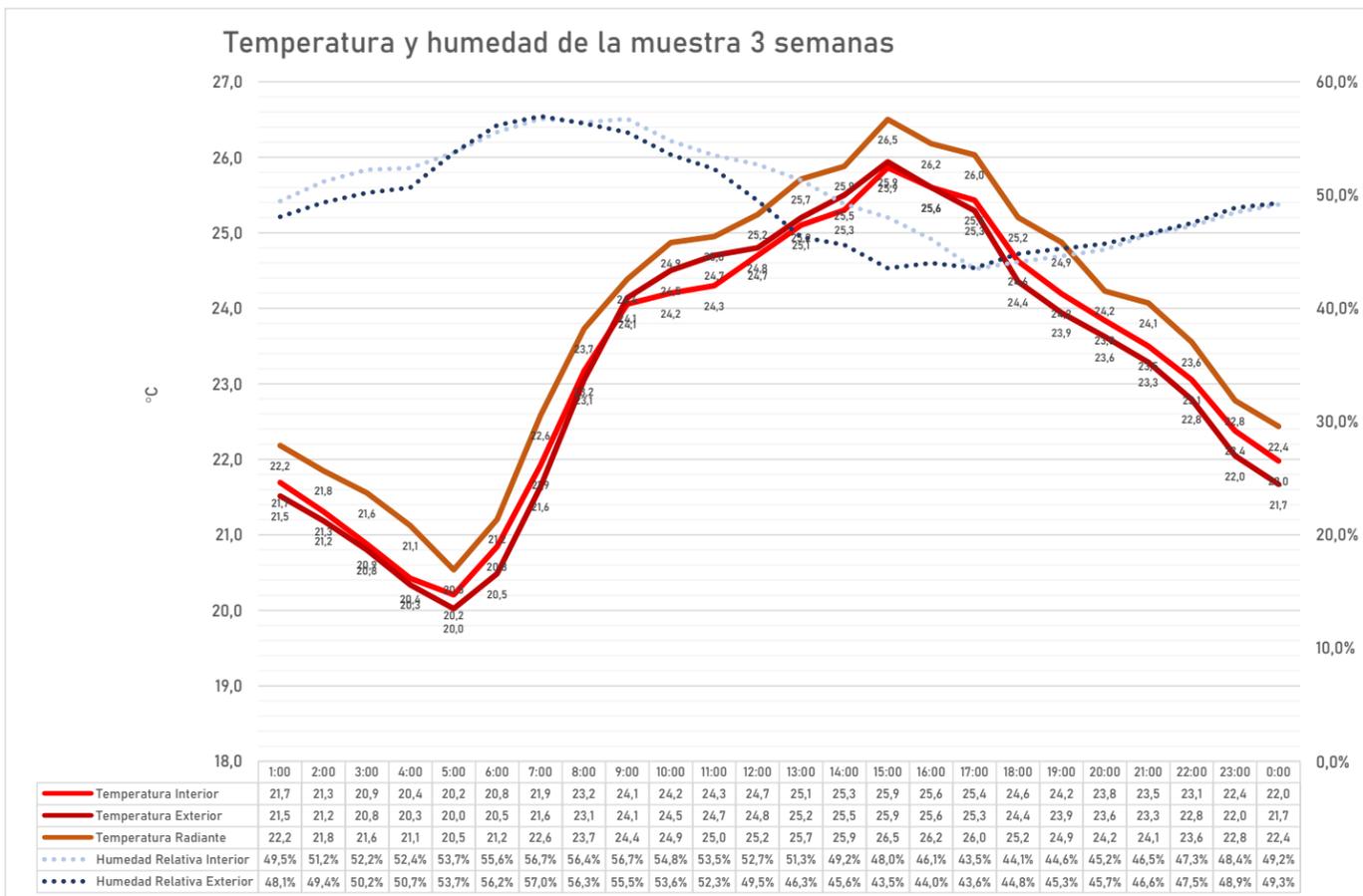
Los distintos estudios⁴ que investigan el biomaterial en base a micelio de hongo indican que el sustrato con los mayores beneficios estructurales es la poda de vid la que genera un material que puede soportar hasta 380 kilopascales de presión en un molde de 30x30x7 cm el cual fue inoculado con una especie de hongo llamada *Pleurotus Ostreatus* a comparación del poliestireno de gran densidad alcanzando unos 100 kilopascales.

Así mismo, las fallas por cizallamiento del biomaterial en un molde pueden variar a partir de un sustrato en base a fibra natural, aludiendo así a que el uso de fibras naturales residuales de otros procesos ajenos al biomaterial puede servir de igual manera para la fabricación de estos moldes de material biológico así mismo como una mejor resistencia a la compresión al aplicar fuerzas de carga con el material ya finalizado.

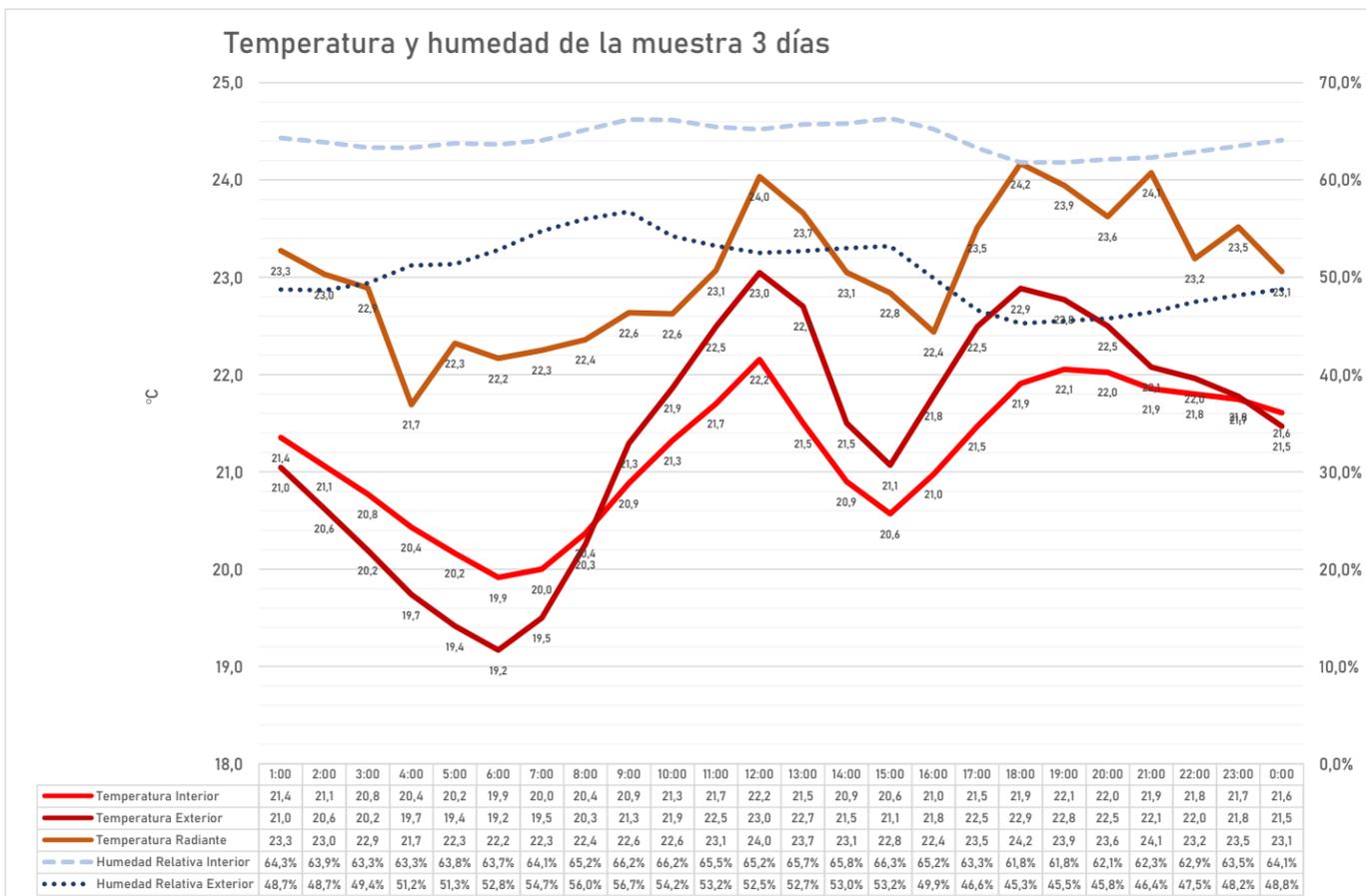
Otra cualidad importante para los materiales de la construcción explicado en el estudio *Mycelium bio-composites in industrial design and architecture* es la absorción de agua, la cual puede afectar negativamente de manera considerable la característica aislante del material explicando así que la variable de densidad está relacionada con la capacidad aislante, ya que la piel del micelio aumenta la resistencia a la compresión del material y su repelencia al agua, además de mejorar sus propiedades estéticas al envolver el sustrato orgánico en una superficie uniforme. El propio estudio explica que la especie *Trametes Versicolor* es uno de los hongos que menos absorben agua de las especies estudiadas, siendo *Trametes Multicolor* la especie que más absorbió agua en el experimento. Por otra parte, la especie *Pleurotus Ostreatus* es la más balanceada de acuerdo con la absorción de agua.

³ (Sabantina, L., Kinzel, F., Hauser, T., Többer, A., Klöcker, M., Döpke, C., Böttjer, R., Wehlage, D., Rattenholl, A., & Ehrmann, A. (2019). Comparative study of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on modified PAN nanofiber mats. *Nanomaterials*, 9(3), 475.)

⁴ (Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and Experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.)



La capacidad aislante propia del material está dada entonces por 3 factores; densidad, absorción de agua y porosidad interior entendiendo que el material final será una espuma biofabricada, este material entonces al estar vivo realiza un metabolismo propio del hongo, el cual, ligado a la colonización, genera una cantidad de temperatura que se puede medir a partir de 3 aspectos; su temperatura interior, temperatura exterior y temperatura radiante. La cual se estudio a partir de 2 bolsas de micelio ya colonizado con desfases de tiempo de 3 semanas de colonización con otra de 3 días. Los resultados son concluyentes para saber que el proceso metabólico es exotérmico subiendo una media de 2.5 °C comparado con la temperatura interior de la caja incubadora.



El propio desfase de tiempo de incubación también resulta en comparaciones de temperatura teniendo que la muestra con más edad biológica genera una temperatura más estable porque el proceso metabólico ya está terminando comparado con la muestra de 3 días que es más errática debido al metabolismo inicial. Éstas temperaturas de los procesos metabólicos son importantes ya que podrían significar que el biomaterial pueda correr peligro de no colonizar la totalidad del molde, debido que las altas temperaturas al interior tienen la capacidad de matar el hongo en el centro quedando un sustrato no colonizado.

08 - Gráficos de temperaturas de dos muestras de biomaterial

Elaboración propia

Fig 08

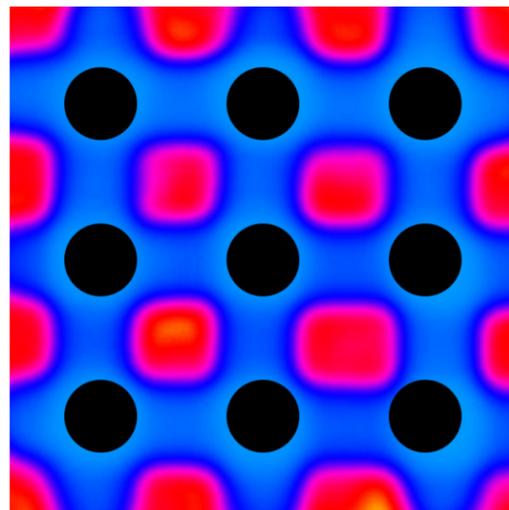
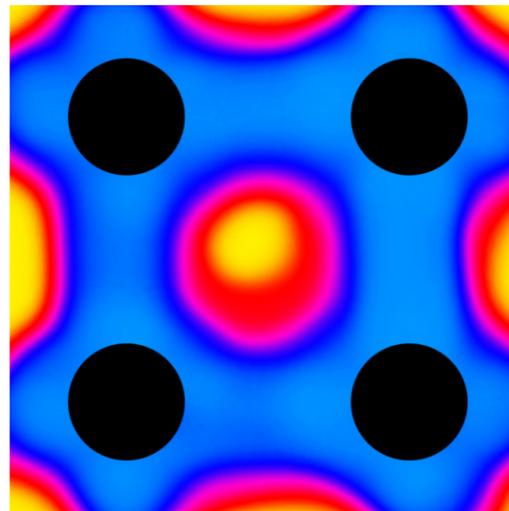
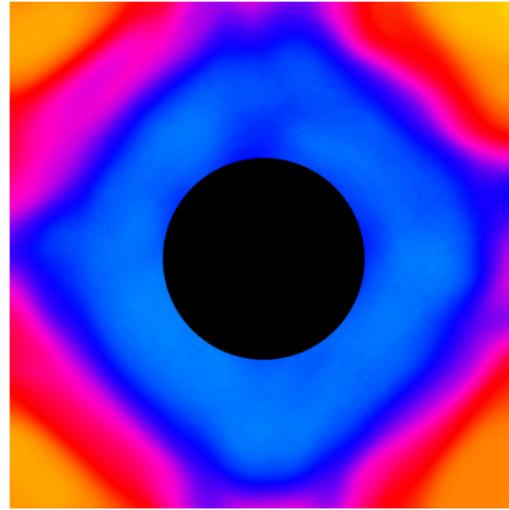


Fig 09

09 - Esquemas de temperaturas interiores a partir de las perforaciones de un molde

Elaboración propia

3 Objeto de estudio

.2 Definición del problema

Dada la escases de material literario que concierne a la fabricación de biomateriales de construcción se buscará relacionar los distintos experimentos en el estudio de material en base a micelio para entender sus capacidades físico-mecánicas y características intrínsecas del material.

Esto quiere decir que el material se define a partir del estudio y experimentación para luego dar con la forma final en la construcción, por lo que al final, el pabellón tendrá como resultado una voluntad biodegradable y sustentable.

Los estudios estarán centrados en obtención de material de clasificación de bloque, con los mínimos materiales externos al biomaterial experimentado, teniendo en cuenta principalmente la ventilación del material en su dirección transversal para que la colonización sea óptima, eficiente y para que el hongo no cese durante el proceso de fabricación.



Fig 10

10 - Molde experimental de perforaciones en un módulo de muro biofabricado

Elaboración propia

3 Objeto de estudio

.3 Preguntas de investigación

General

¿Cuál es el espesor máximo de los bloques de micelio perforados para que el hongo no muera y que tipo de perforación y post procesos se deben aplicar para prolongar su vida en la construcción de un pabellón?

Específica

¿Cómo afecta la temperatura del metabolismo del hongo a la colonización del bloque completo?

¿Cuál es el diámetro mínimo y máximo que podría soportar un bloque de biomaterial de micelio de hongo?

¿Cómo se ve afectada la capacidad físico-mecánica a la compresión del bloque de micelio?

3 Objeto de estudio

.4 Objetivos

Generales

Establecer los procesos para generar un material de clasificación de bloque de biomaterial en base a micelio para que la fabricación y diseño de los moldes propague de manera uniforme las hifas del hongo en el interior despegando la temperatura propia del metabolismo para que no extinguir el hongo.

Específicos

-Estudiar los experimentos requeridos para fabricar un molde de dimensiones máximas y óptimas.

-Identificar la relación sustrato-hongo para generar un bloque resistente a la compresión

-Comparar distintos materiales con similares características mecánicas con los bloques de micelio fabricados.

-Especificar los tamaños posibles de las perforaciones en los bloques para una mayor superficie de contacto con el exterior para aumentar la capa externa del bloque y también para establecer las posibilidades formales del muro.

3 Objeto de estudio

5 Hipótesis

General

El biomaterial en base a micelio actúa de manera relacionada con el sustrato en donde se inocula, por lo que es necesario centrarse en primera instancia en el sustrato ya que, al ser un sustrato más fibroso y difícil de degradar para el micelio, hará que el resultado final sea más denso y pueda soportar las cargas de compresión que se le asocian al bloque. El biomaterial, al no extraerse de la materia prima como los materiales de construcción convencionales, sino que crece dentro de un residuo de las creaciones industriales es totalmente biodegradable y sustentable lo que hará que los bloques finales sean ecológicos igualmente.

Específica

Los bloques, al estar vivos generan bastante temperatura por el propio proceso metabólico de la colonización del hongo, por lo que las perforaciones creadas a partir del molde añadirán más superficie de contacto con el exterior lo que hará que el micelio interior no cese durante el proceso. Además, al sacar material mediante las perforaciones el muro se podrá fabricar con menos material que el anticipado antes de las perforaciones.



Fig 11

11 - Vaciados de los moldes perforados

Elaboración propia

3 Objeto de estudio

.6 Metodología

El estudio está centrado en fabricar un biomaterial biodegradable, sustentable y ecológico en base a micelio de hongo y sustrato de residuos lignocelulósicos. Los resultados de la relación entre hongo y sustrato han sido experimentados y estudiados para generar un material que soporte cargas de compresión. Por lo siguiente, se propone la siguiente metodología de trabajo para fabricar y estudiar los bloques.

Dentro del laboratorio se encontraron diferentes sustratos los cuales se clasificaron a partir de su homogeneidad final de los bloques, por lo que el sustrato elegido será la viruta de pino autoclavada. En segundo lugar y a partir del estudio en el laboratorio de biofabricación se eligió ocupar una cepa de hongo lignocelulósicos llamado *Pleurotus Ostreatus* dada su basto trabajo en el área de la biofabricación y sus pocas variables críticas de cultivo.

La línea de la investigación basa el uso del micelio en la biofabricación de forma que el material pueda sostenerse por sí mismo luego de ser secado, por lo que se diseña un módulo perforado de forma con escala 1:10 que se pueda estudiar las fuerzas de compresión propias del peso de los bloques, además de que el diseño de los módulos en re-utilizable y termoformable con el fin de que sea replicable.

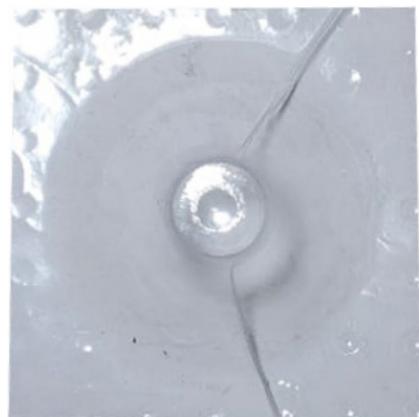
Las superficies de la caja del molde se aisló de la humedad propia del sustrato inoculado con cinta adhesiva plástica, además de las partes conoidales del interior del molde que forman la perforación.

Se detalló también construir un segundo molde a escala 1:5 que pueda ser cortado longitudinalmente para observar y estudiar la inserción del micelio de hongo al interior del molde.

Los moldes de los módulos se ocuparán las recomendaciones que se presentan en el laboratorio de biofabricación UC, por lo que las variables constantes dentro de los prototipos serán el mantenimiento de la una temperatura constante de 25°C, un ph de la mezcla de 8 y una humedad relativa del 70%

Para el primer prototipo se preno en frío, el cual se observará su desarrollo dentro de los 3, 7 y 10 días el cual estará en su punto de desarrollo de micelio más alto según las recomendaciones literarias. Para el día 7 se invertirá el sentido de la presión superior para así lograr un acabado mucho más denso. Luego del proceso de crecimiento se cocerá en un horno en 2 ocasiones; la primera a 140°C por 20 minutos y luego 40 minutos a una temperatura de 100°C, la cual es la indicada para frenar el posterior crecimiento del micelio y así preservar la forma del molde.

El proceso de secado del molde ayuda a cohesionar aún más las partículas de madera con el micelio de manera que las hifas cesan de su proceso de desarrollo, además para frenar el proceso de fructificación del hongo el cual resta las capacidades de compresión del producto final. El proceso de secado por su parte permite que el peso final del material disminuya en un 8%.



12 - Moldes termoformados de las perforaciones

Elaboración propia

Elaboración propia



Fig 13

Inserción de micelio

Para obtener una variable de la eficacia de las perforaciones en los módulos se detallará mediante la observación y la medición de cuanto distancia el micelio creció al interior del bloque gracias al prototipo número 2 el cual está a escala 1:5. La distancia entre la cara exterior del molde con el último indicio de micelio creciente observable dará una indicación de que el micelio no murió gracias a las altas temperaturas del propio metabolismo del biocompuesto.

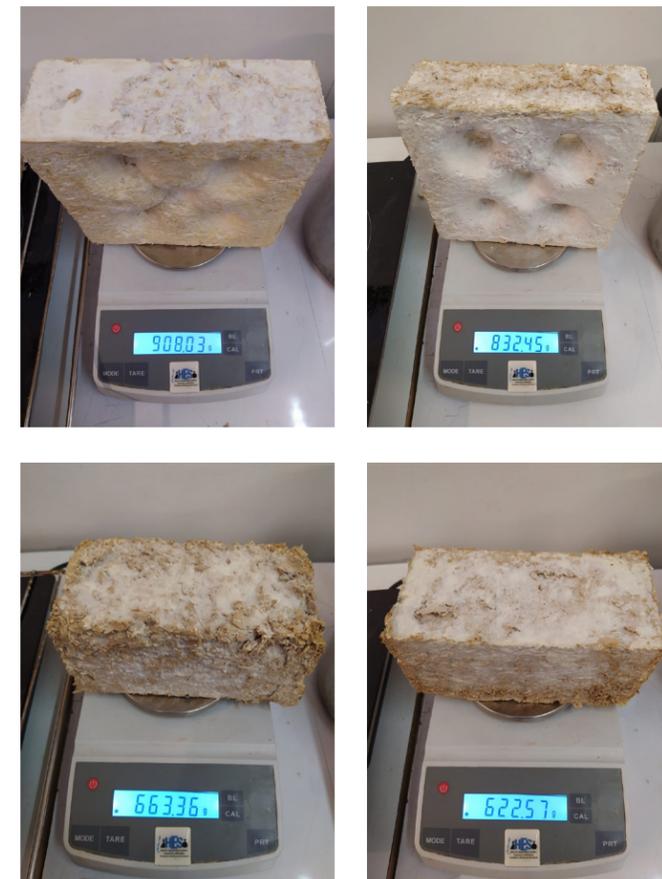


Fig 14

Elaboración propia

4 Antecedentes y Estado del arte

.1 Economía circular

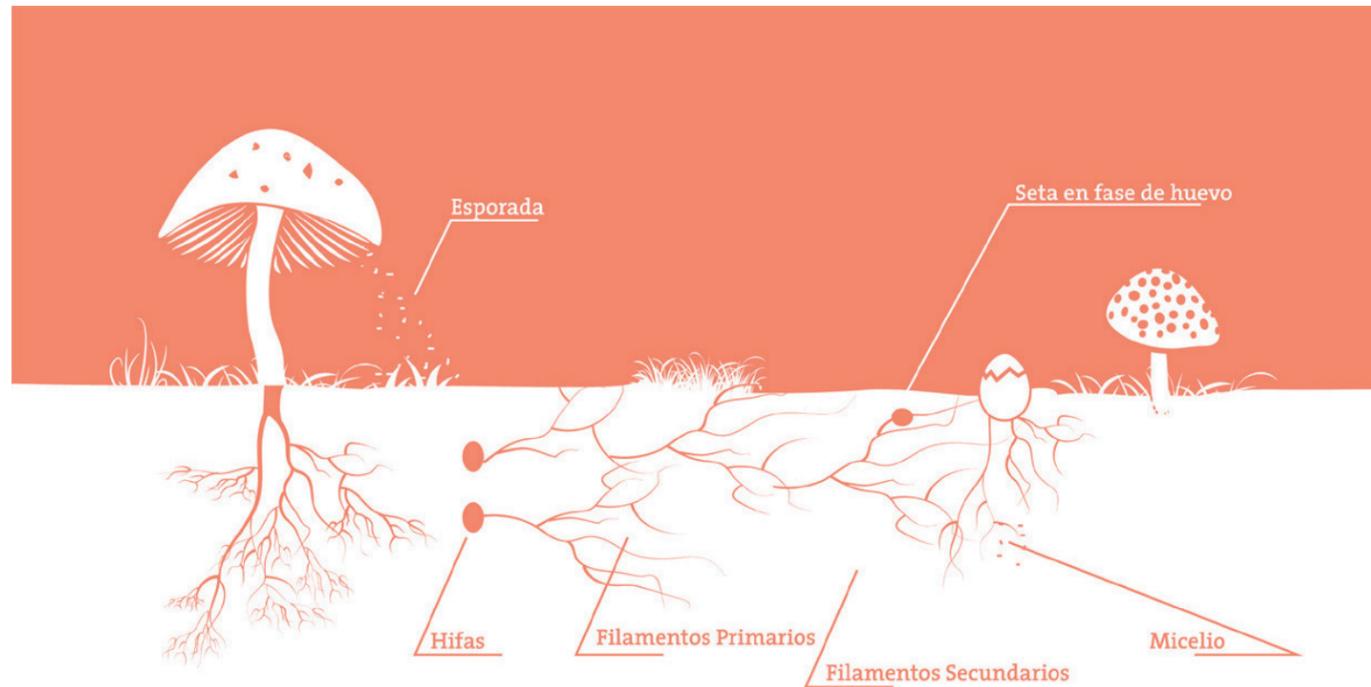


Fig 15

En vista a la gran cantidad de residuos producidos a partir de la industria del plástico y más específicamente con la construcción se genera una necesidad importante en la disciplina para reducir y/o reutilizar estos productos y subproductos creados a partir de la fabricación. Lo que se plantea desde la década de los 70 y más fuertemente en la actualidad es el concepto de economía circular, la cual en su concepto más grande presenta a la humanidad una manera de ocupar estos subproductos y darles una nueva vida a través de la reutilización y el reciclaje, para así reducir los residuos plásticos en el ecosistema y para el desarrollo de productos en base a este tipo de reestructuración económica.

Así mismo, dado el cambio tecnológico el cual se está viviendo en el mundo es donde se genera un nicho científico el cual se va desarrollando, aportando nuevos métodos de cultivo y fabricación de biomateriales así mismo como la profundidad científica que generan las bases de los materiales, teniendo como resultado por ejemplo los materiales bio-basados que se generan a partir del crecimiento y cultivo de un organismo vivo como los hongos, las bacterias y algas, como una alternativa a los materiales sintéticos.

Los hongos que se ocuparán en esta investigación son de carácter descomponer de madera, en primer lugar, porque los hongos descomponedores de madera tienen la capacidad de descomponer el sustrato en donde se inoculara

y permite modificarlo a partir del micelio, lo que da la posibilidad de fabricar vaciados de moldajes de un material homogéneo y re-utilizable. En segundo lugar, por la masiva y variada gama de especie de hongos descomponedores de madera en Chile, lo que entrega a su vez un variado espectro de posibilidades de mecanismos de biofabricación.

La composición general de la madera tiene 3 polímeros; la celulosa, hemicelulosa y la lignina y la manera en que los hongos la descomponen se distinguen de 3 formas: Hongos de podredumbre parda; los que se alimentan de celulosa y hemicelulosa, hongos de podredumbre blanda; capaces de ablandar la madera por medio de modificar la lignina y hongos de podredumbre blanca; capaces de alimentarse de la lignina, dejando la celulosa a la vista.

Específicamente, , lo que sin embargo puede atrasarse por efecto de bajas temperaturas o densidad del sustrato. Para la fructificación, sin embargo, se sugiere una temperatura de 15ª a 18ªC, con una luminosidad indirecta por 12 horas y una humedad relativa de entre 85 y 90%. No obstante, en el biomaterial final no se buscará una fructificación, sino una densidad del material final que tenga el riesgo de desprendimiento.

Los compuestos a base de micelio son el resultado del crecimiento de hongos filamentosos en materiales orgánicos como los residuos agrícolas.

15 - Estructura de un hongo tipo sombrero.

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



Fig 16

16 - Rango de temperatura apta para el desarrollo estable del hongo dentro del sustrato.

Elaboración propia

Este biomaterial representa una alternativa para el diseño de productos y de fabricación tanto en términos de procesos de fabricación sostenibles, como de vida útil circular. Por lo tanto, las características morfológicas, de densidad, resistencia a la tracción y a la flexión son necesarias para un estudio completo del material, así mismo como el prensado en calor que ayuda a la rigidez del material.

Es así como la reciente convergencia de herramientas biotecnológicas y de diseño ha estimulado la aparición de nuevas prácticas de diseño que utilizan mecanismos naturales para programar la materia de abajo hacia arriba. Permitiendo así, que la red fibrosa del micelio -la parte vegetativa de los hongos- se emplea para producir por ejemplo, alternativas sostenibles para espumas sintéticas⁵.

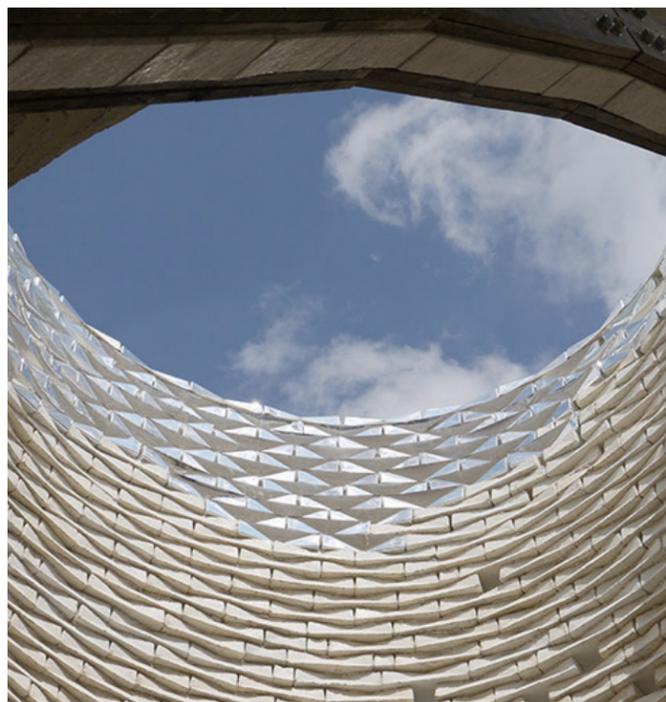
⁵ Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71.

4 Antecedentes y Estado del arte

.2 The living



Fig 17



17 - Hy-fi, Moma 2014

David Benjamin, The living

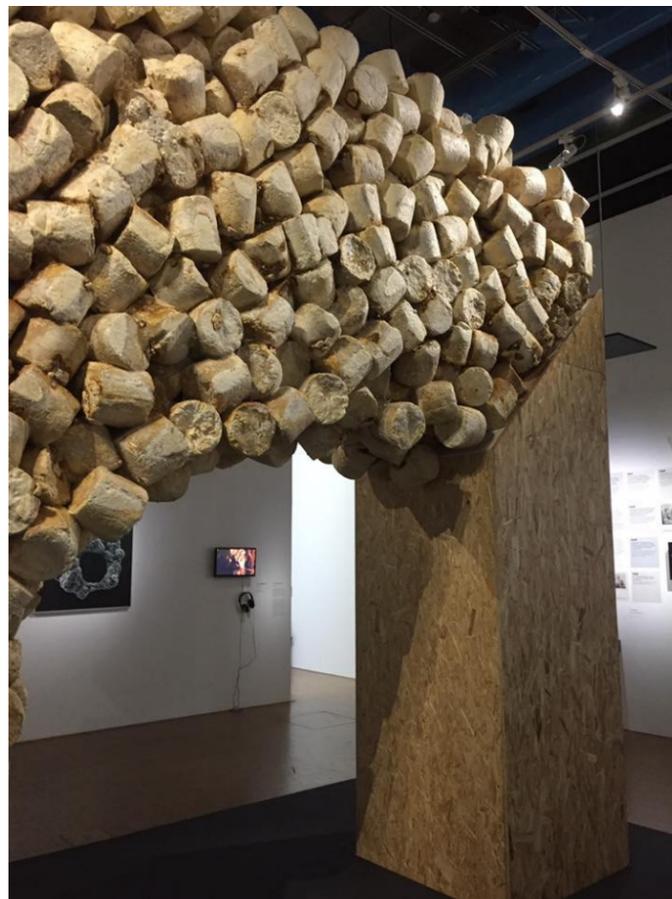
David Benjamin presenta en el año 2014 bajo el concurso YAP del MoMA en Nueva York una torre de planta circular fabricado a partir de bloques de biomaterial en base a micelio llamado "Hy-fi". Los bloques están conformados a partir de hojas de maíz y micelio elaborados por Ecovative, una compañía que colabora en este proyecto. La estructura no pretende mostrarse como un gran muro que soporte las cargas, sino que al contrario presenta un muro estrecho y ligero, gracias a que los ladrillos de micelio tienen una densidad bastante baja.

"Hy-fi ofrece un ambiente físico cautivante y un nuevo paradigma para la arquitectura sustentable. En 2014, testeamos y refinamos un nuevo edificio de materiales biológicos de baja energía, manufacturamos 10.000 ladrillos compostables para construir una torre de 13 metros de largo, invitando a eventos públicos por 3 meses. Luego de eso, desarmamos la estructura y compostamos los ladrillos devolviendo así la tierra resultante a jardines comunitarios locales. Este exitoso experimento ofrece demasiadas posibilidades para la construcción del futuro."
David Benjamin, MoMa 2014.

Los ladrillos están fabricados a partir de un moldaje hecho de plástico el cual busca por una parte una búsqueda estética en la geometría propia del ladrillo y por otro lado obtener una superficie lisa en la cara exterior de los ladrillos, los cuales en este dispositivo pueden ser producidas para generar un revestimiento reflectante que ayuda a que la luz entre por la parte superior del edificio.



Fig 18(1)



18 - Exposición « La fabrique du vivant », 2019, MNAM/CCI, Centro Pompidou, Paris

"The Living" David Benjamin
Fotografo Philippe Migeat

La exposición "La fabrique du vivant" en el centro Pompidou en París marca también un nuevo punto de inflexión en el ámbito de la fabricación de biomateriales generando así un dialogo entre espacios compartidos por hongos dentro de un dispositivo habitado por humanos. El muro en concreto forma parte de una búsqueda formal de cómo ocupar el material en base a micelio por medio de bolsas vivas que se juntan a partir de un proceso biológico llamado anastomosis el cual es una fusión de las hifas del hongo en la cual se produce un intercambio genético haciendo así una conexión duradera entre tejidos del micelio pudiendo unir las bolsas inoculadas entre sí por medio de este proceso.



Fig 18(2)

5 Implementación del Material

1 Emplazamiento

El proyecto se sitúa en la Región de Aysén (**Latitud: 46°19'22.33"S, Longitud: 73°24'53.13"O**) en un pequeño puerto llamado Puerto Grosse, el cual tiene como característica principal que el último destino terrestre antes de llegar a la Estación Patagonia de Investigaciones Interdisciplinarias UC pasando por una pequeña costanera desde Puerto Tranquilo. La costanera por otro lado es un camino encajonado entre cerros, montañas y ríos que terminan por desembocar en la laguna San Rafael.

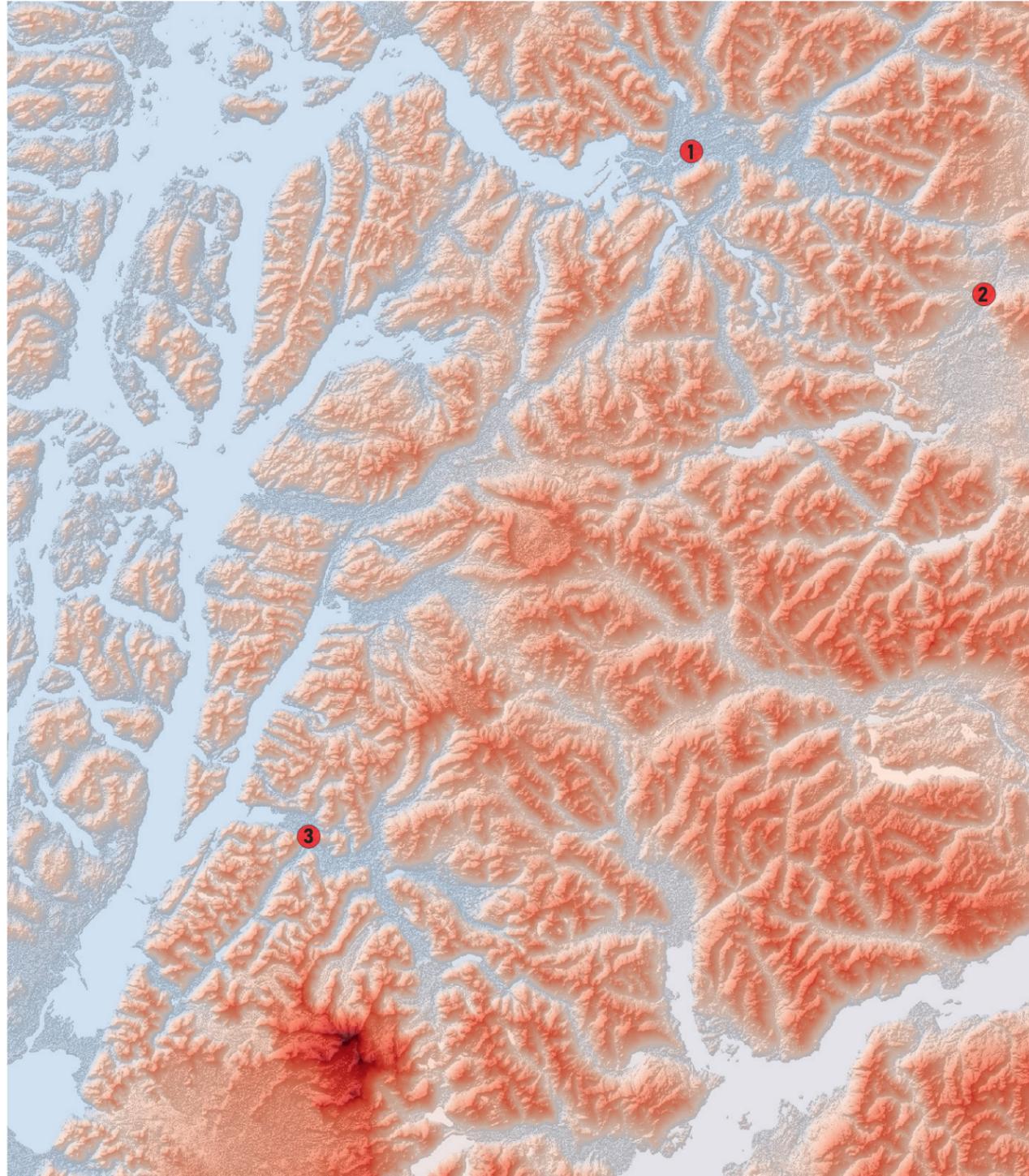


Fig 19

19 - Plano topográfico de la región de Aysén.

- 1) Puerto Aysén
- 2) Coyhaique
- 3) Puerto Grosse

Elaboración propia

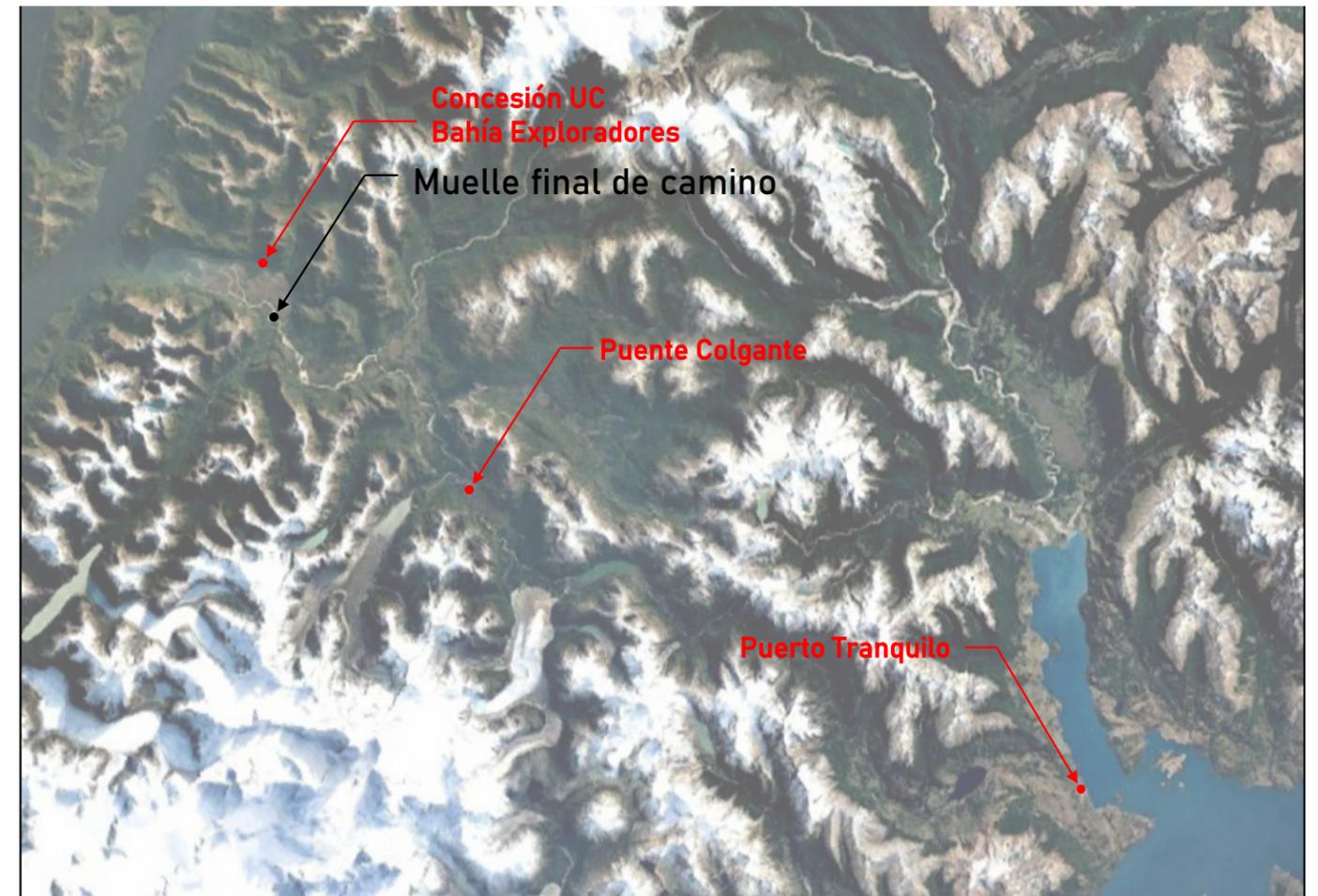


Fig 20

20 - Mapa de lugares importantes de la zona

Elaboración propia

La distancia significativa del lugar hacia la estación UC son de 4,2 km de camino marítimo, 22,9 km desde el puente colgante y 66 km desde Puerto Tranquilo lo que equivale a un viaje de 2 hrs en camioneta para llegar al puerto.

Para llegar al lugar se debe tener precaución ya que se la travesía está totalmente condicionada al clima propio del lugar, por lo que las empresas de turismo que viajan desde puerto Grosse con el fin de llegar a la laguna San Rafael mantienen estrictos protocolos para revisar la travesía en caso de accidentes condicionados por factor meteorológicos.

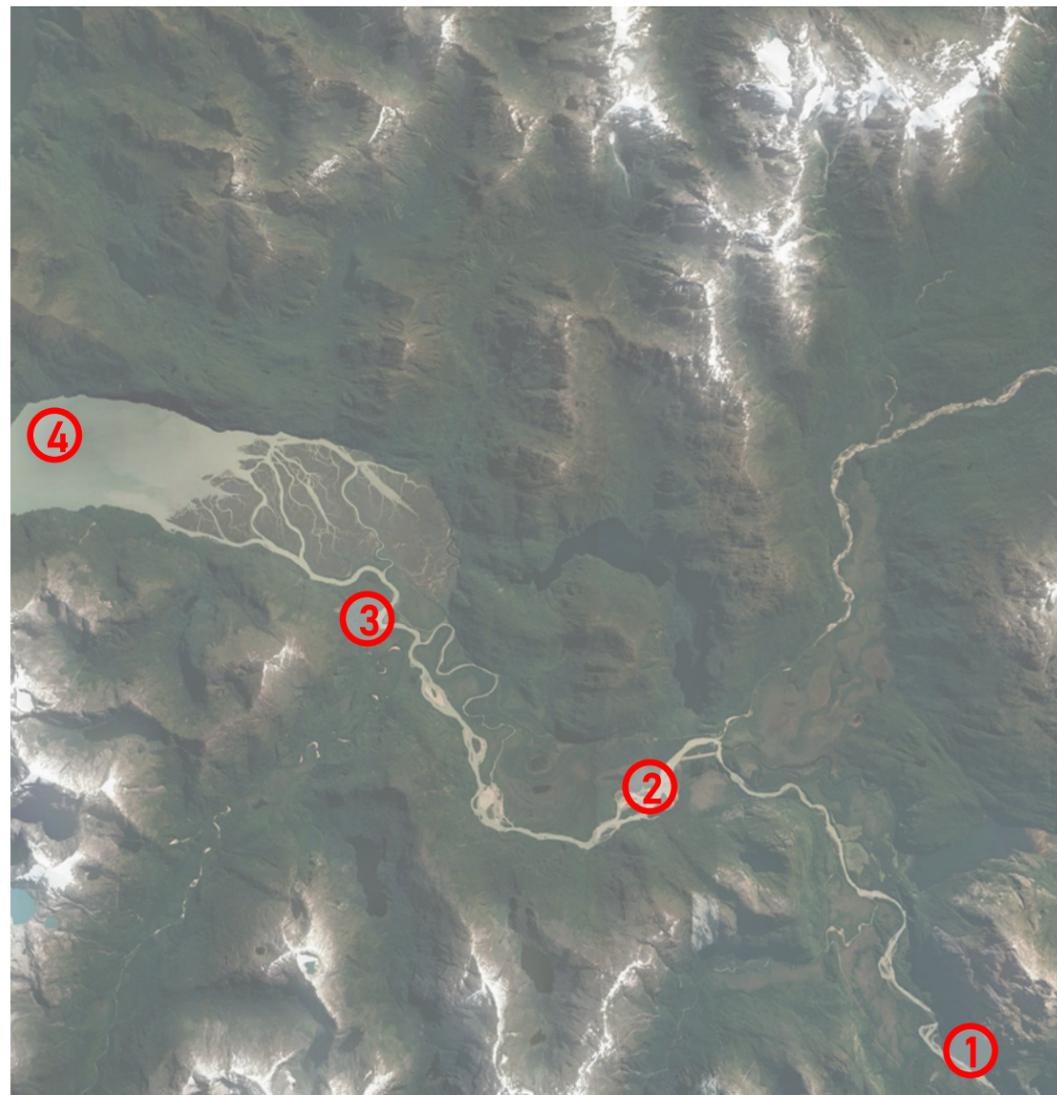


Fig 21

21 - Esquemas de las diferentes secciones del camino encajonado hasta Puerto Grosse
Elaboración propia

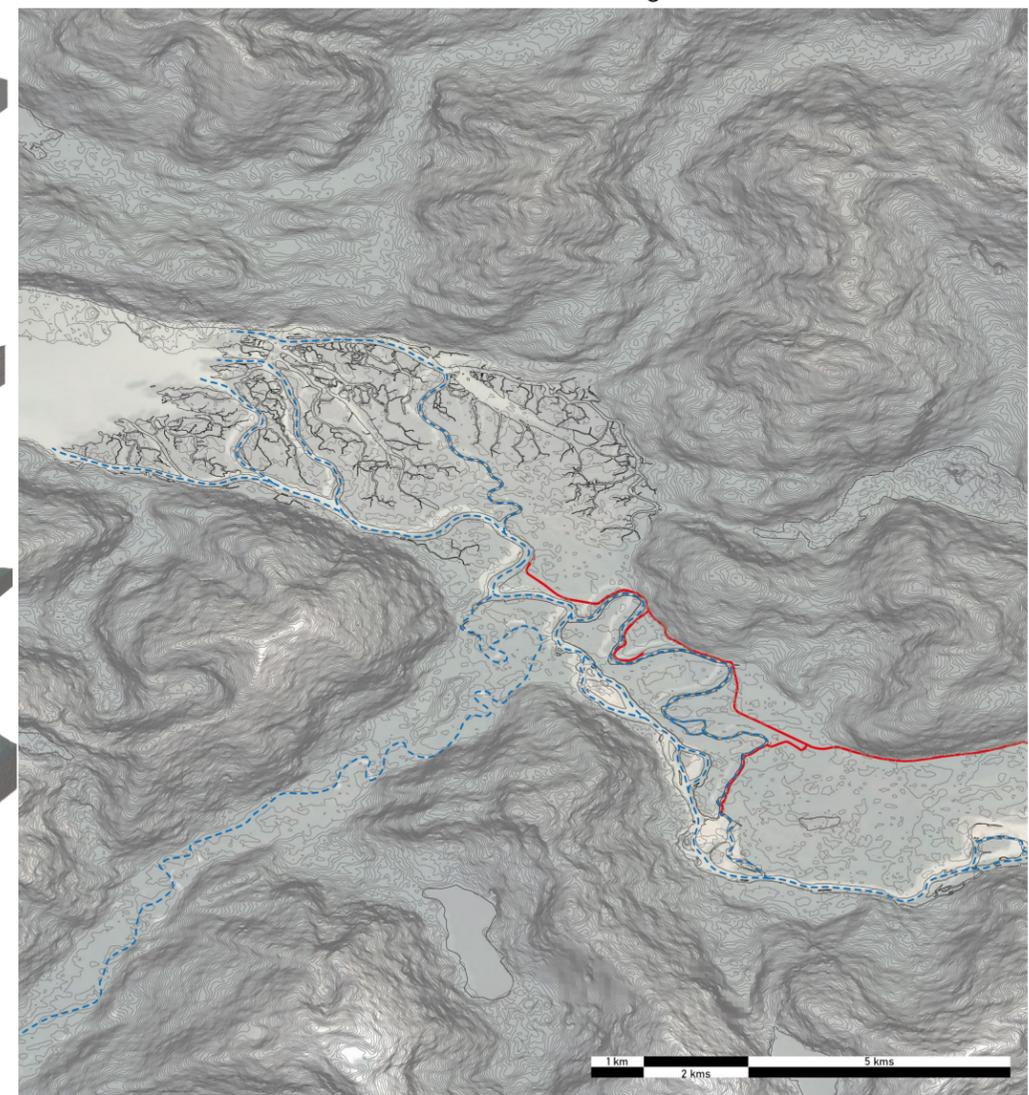
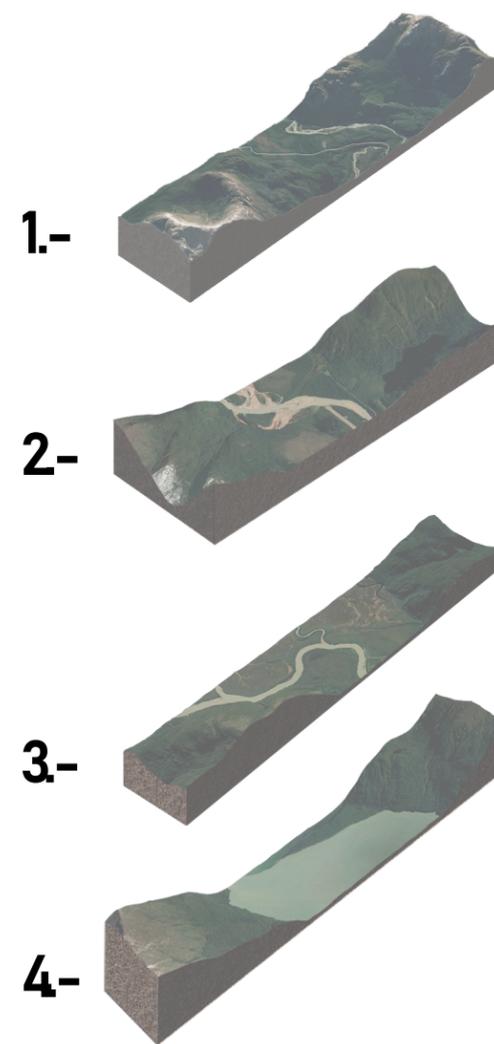


Fig 22

22 - Plano topográfico de Puerto Grosse.
Elaboración propia

5 Implementación del Material

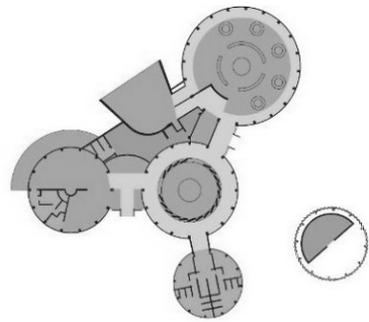
2 Uso

Dado que el lugar tiene una gran importancia para el traspaso de lo terrestre a lo marítimo es que se ubicará el proyecto en forma que paso en camioneta no se vea interrumpido por el proyecto, lo que da paso a que el proyecto se emplace en la costa del Río Exploradores.

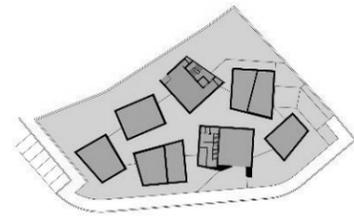
Se propone entonces que los recorridos estén dentro del edificio acompañado de una cubierta de tela impermeable que ayuda a generar un espacio temperado con compañía del material y que protege al usuario que habitará el lugar de forma no permanente, al igual cómo lo generan los recorridos exteriores del referente de usos del proyecto para el parque nacional Queulat.

Por otra parte, los usos fueron escogidos a partir de un estudio de referentes que comparten la connotación de refugio y de centros de interpretación, estudio el cual dio luz a escoger una planta estirada con distintas vistas hacia el río acompañado por su lado oriente por la llegada de los visitantes.

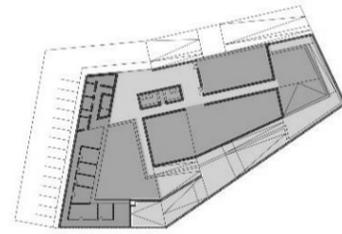
Al igual que el proyecto para parque nacional Queulat, los programas seleccionados consisten en la recopilación y orden de los usos, tales como; auditorios, recepción, salas, laboratorios, lugares de exposición, espacios multiuso y de uso público.



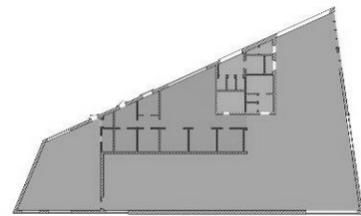
BUHAIS GEOLOGY PARK INTERPRETIVE CENTRE



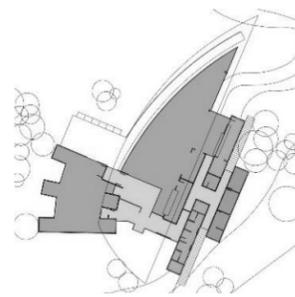
CENTRO DE INTERPRETACIÓN DEL ROMÁNICO - LOUSADA, PORTUGAL



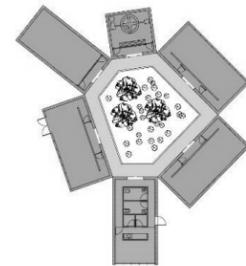
OFICINA CENTRAL PARQUE NATURAL FOGO / OTO



NATURUM KOSTERHAVET / WHITE ARKITEKTER

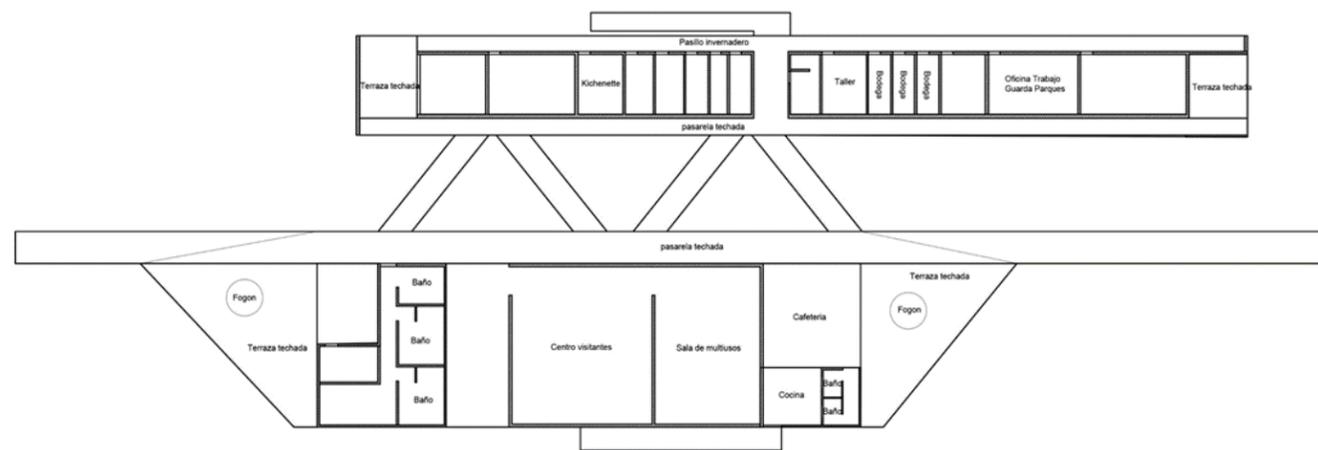


CENTRO DE INTERPRETACIÓN - DUNEDÍN, NUEVA ZELANDA



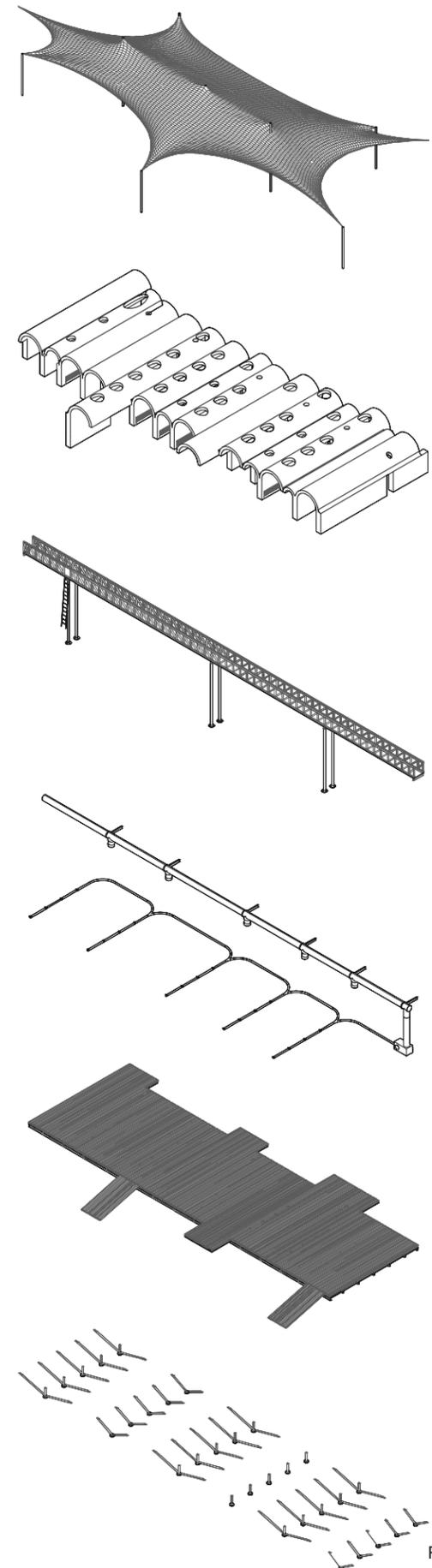
DESERT INTERPRETATION CENTER

INFRAESTRUCTURA PARA EL PARQUE NACIONAL QUEULAT (PROYECTO)



23 - Recopilación de distintos programas de parques.

Elaboración propia



24 - Partes formales del proyecto. De arriba a abajo;

Tela Impermeable, muro perforado de micelio, sistema de climatización, suelo registrable, apoyos metálicos diagonales.

Elaboración propia

Fig 24

5 Implementación del Material

3 Forma

Dado que el material se piensa de forma modular y con perforaciones se optó por formar con los ladrillos lugares alargados que ayudados por la resistencia a la compresión y por la forma resistente de la geometría de cañón corrido dan lugar a diferentes espacios que podrían conectarse entre sí a través de vanos dependientes del recorrido.

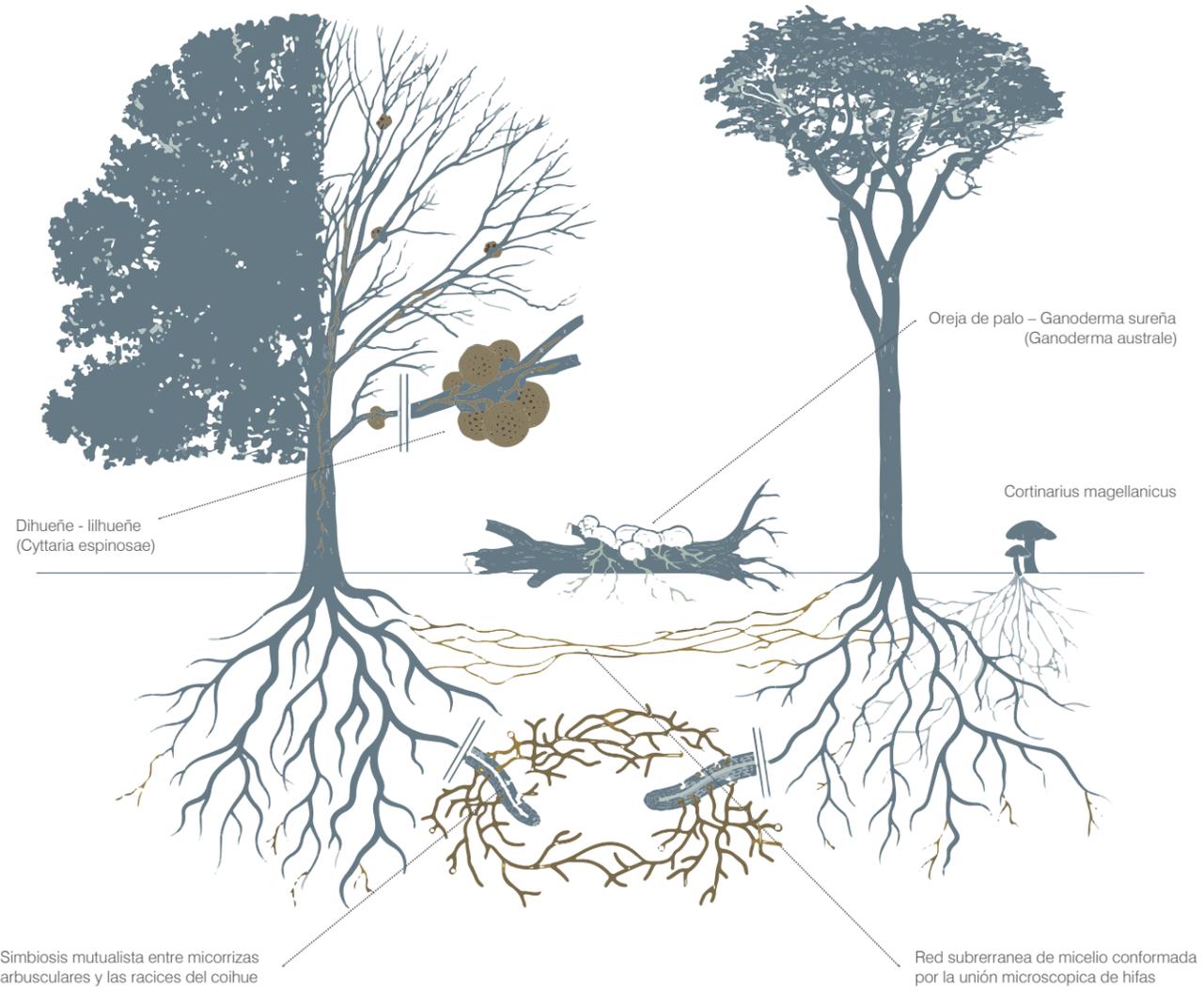
Las distintas partes y elementos del proyecto se diseñaron para un cuidado del espacio correspondiente a la temperie y el confort del usuario, teniendo un sistema de acondicionamiento de aire por la parte superior del proyecto, entre la cubierta de tela y la parte superior de las bóvedas de cañón corrido, teniendo especial cuidado en la importancia estética y funcional de los agujeros en el cielo del edificio. Para el sistema de reparación del equipo de calefacción se optó por proyectar una pasarela que acompaña a los grandes tubos de ventilación además de brindar la opción de un espacio elevado con vista hacia la costanera del Río Exploradores.

El suelo del pabellón está pensado para ser registrable, lo que ayuda a separar el cuidado del propio biomaterial con el cuidado de los equipos de ambientación del pabellón, teniendo en su interior el sistema de extracción de aire diseñado en el suelo para un recirculamiento del aire. Además, el suelo registrable ayuda a esconder el sistema eléctrico del pabellón, permitiendo así que los servicios del edificio no entren en contacto directo con el biomaterial.

Por último, el pabellón se encuentra elevado para ayudar a separar el material biológico del agua, el cual sufre problemas de tipo físico-mecánicas cuando está en contacto con las aguas lluvias.

Lenga – haya austral
(*Nothofagus pumilio*)

Guindo – coihue de magallanes
(*Nothofagus betuloides*)



6 Bibliografía

Fig 25

25 - Red filamentososa de las hifas del micelio del hongo *Cyttaria espinosae*

Laboratorio de Biofabricación UC, Franco Nieri

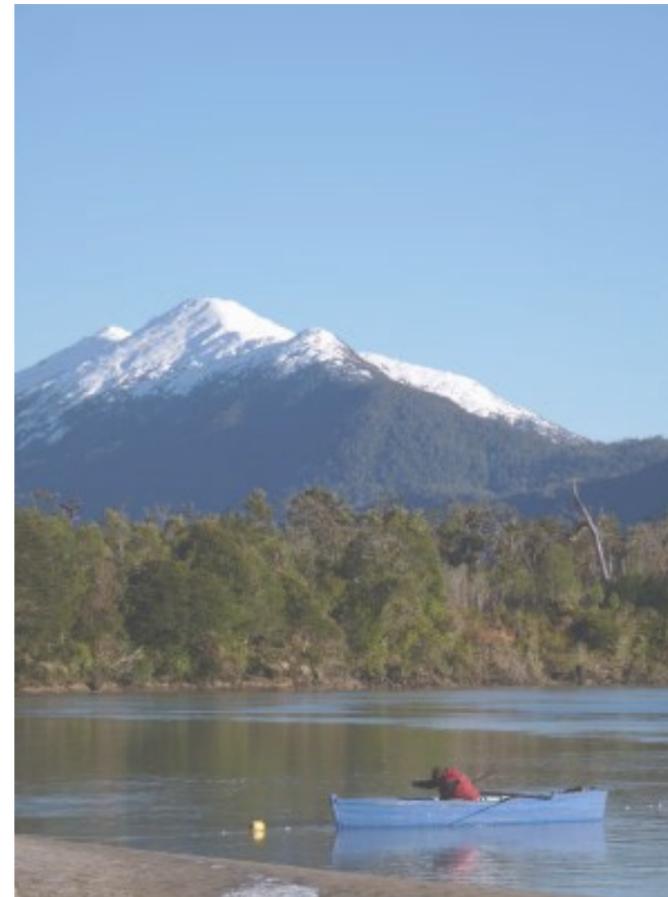
Referencias Bibliográficas

- [1] 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 & Design*, 161, 64-71.
- [2] Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.
- [3] Elsacker, E., Vandelook, 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.
- [4] Elsacker, E., Vandelook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, 725, 138431.
- [5] Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7(1), 41292.
- [6] Islam, M., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, R. (2018). Mechanical behavior of mycelium-based particulate composites. *Journal of Materials Science*, 53(24), 16371-16382.
- [7] Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- [8] Karana, E., Blauwhoff, D. R. L. M., Hultink, H. J., & Camere, S. (2018). When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials. *International Journal of Design*, 12(2), 119. Lelivelt, R., Lindner, G., Teuffel, P., Lamers, H., & SD, U. S. D. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials. Eindhoven university of technology (TU/e).
- [9] Sabantina, L., Kinzel, F., Hauser, T., Többer, A., Klöcker, M., Döpke, C., Böttjer, R., Wehlage, D., Ratten-holl, A., & Ehrmann, A. (2019). Comparative study of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on modified PAN nanofiber mats. *Nanomaterials*, 9(3), 475.
- [10] Yang, Z., Zhang, F., Still, B., White, M., & Amstislavski, P. (2017). Physical and mechanical properties of fungal mycelium-based biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(7), 04017030.

7 Anexos



Fotos de Puerto Grosse.
Ladera Sur.



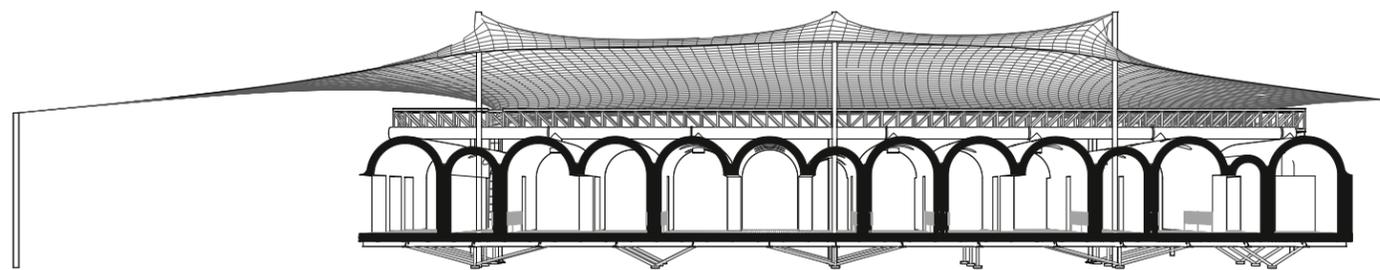
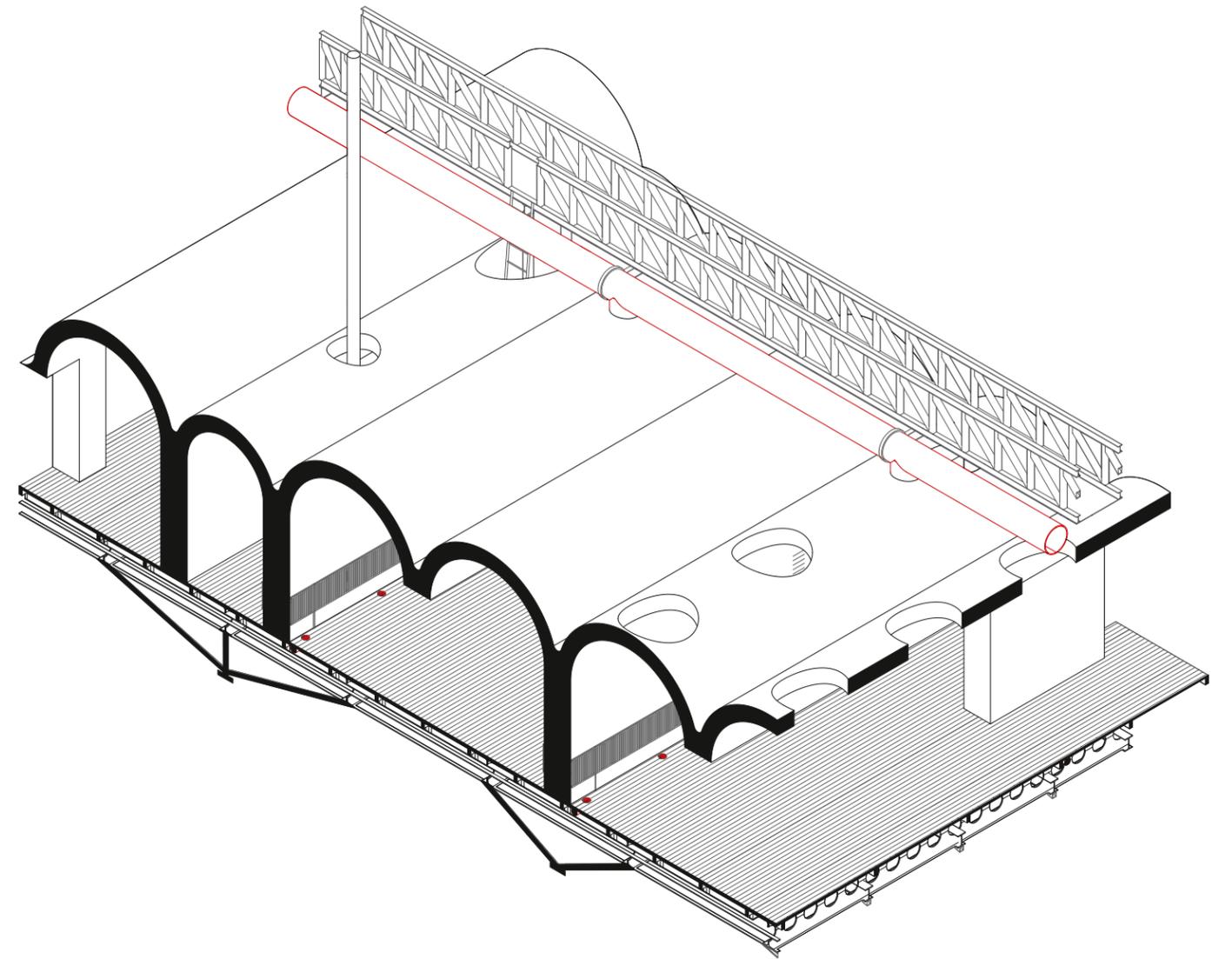
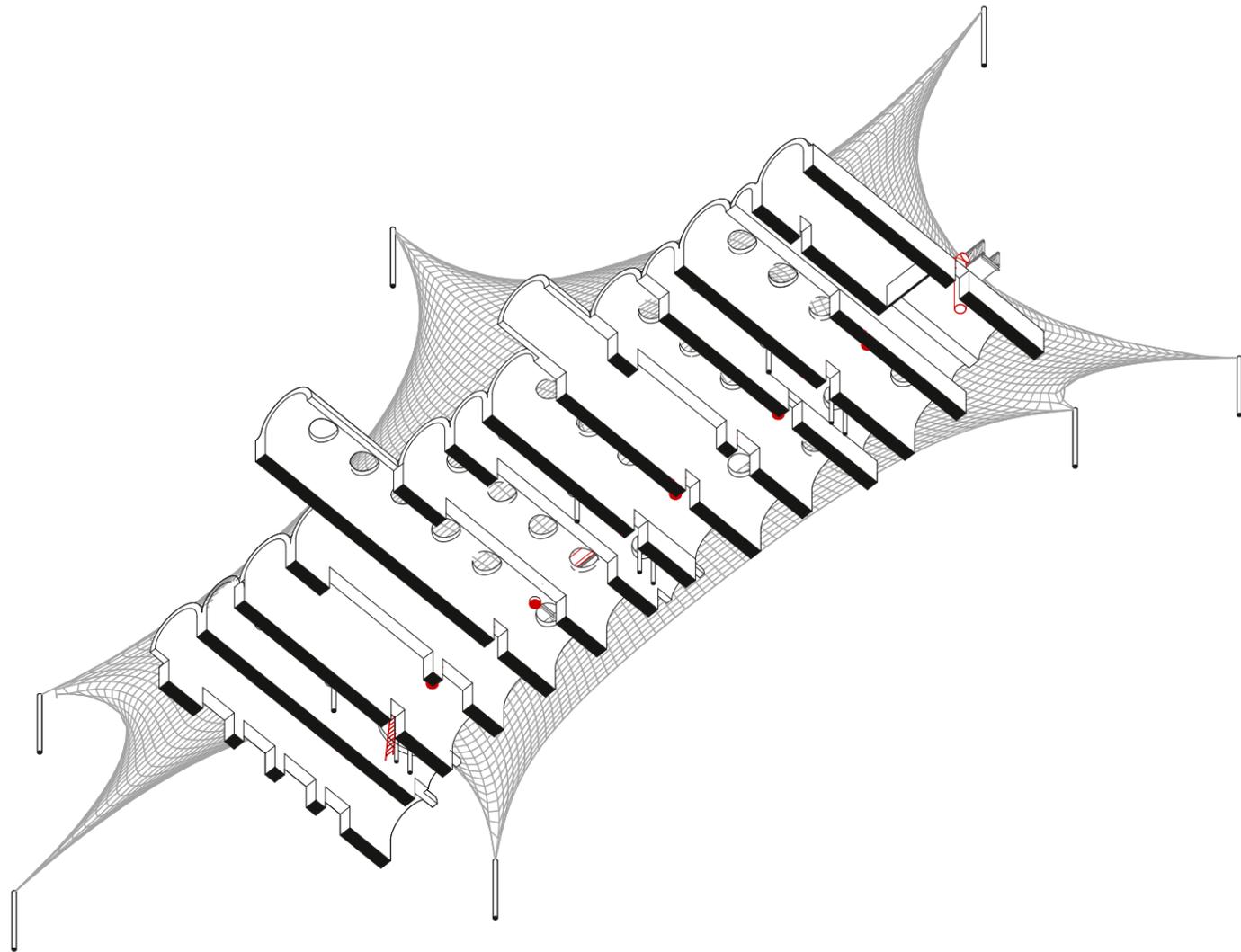
Puerto Grosse



3.-

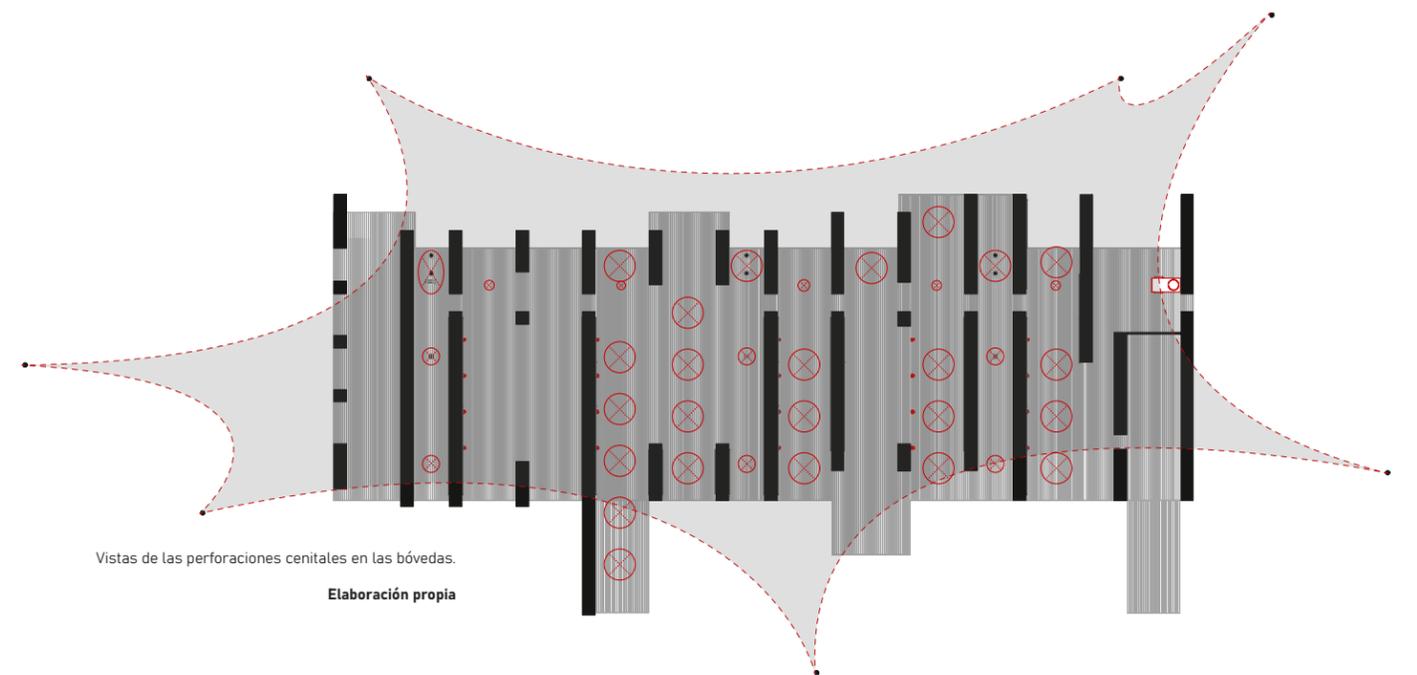
Dibujos de las crujiás paralelas de bóvedas de cañon corrido perforadas.

Elaboración propia



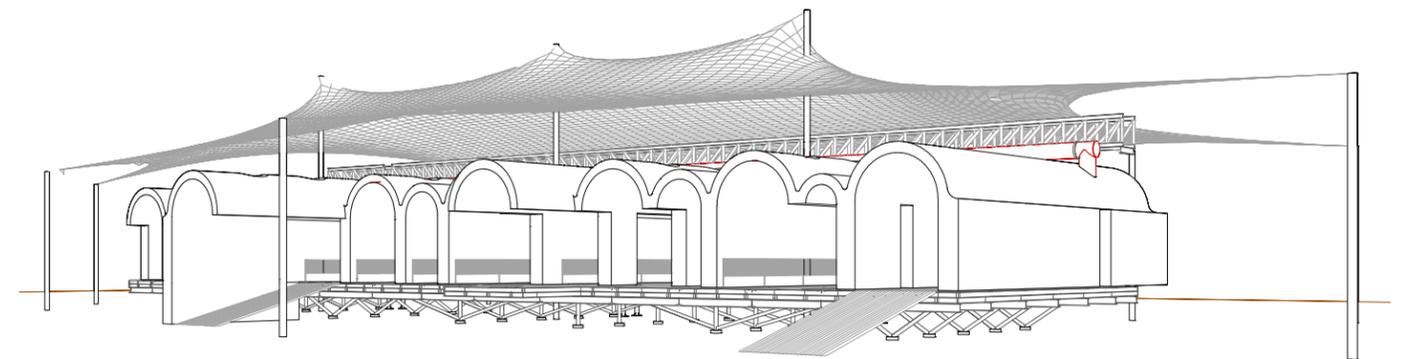
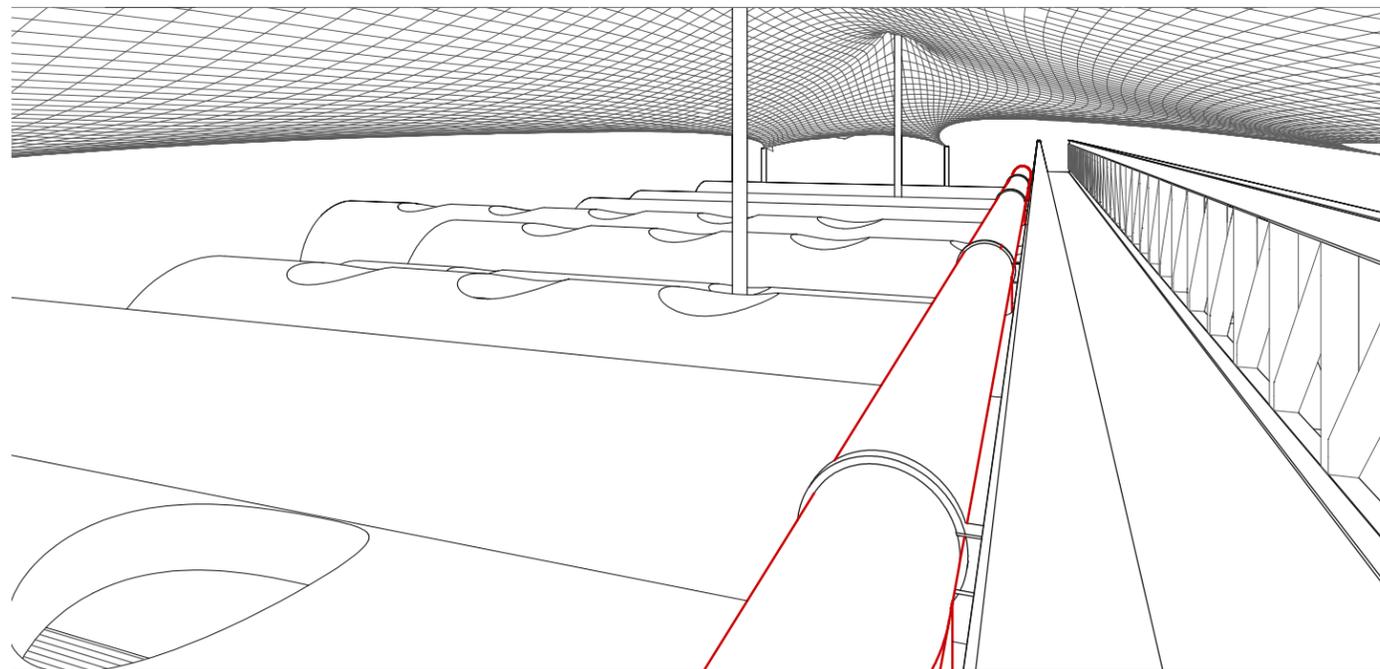
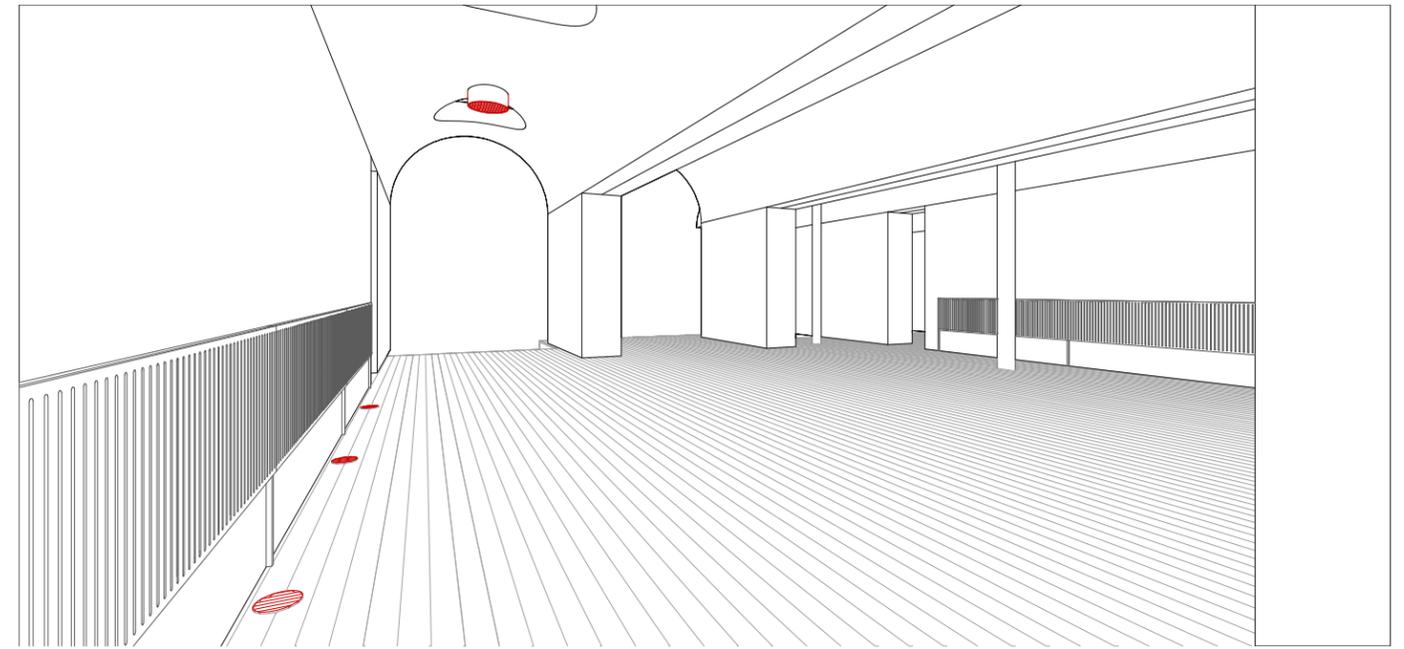
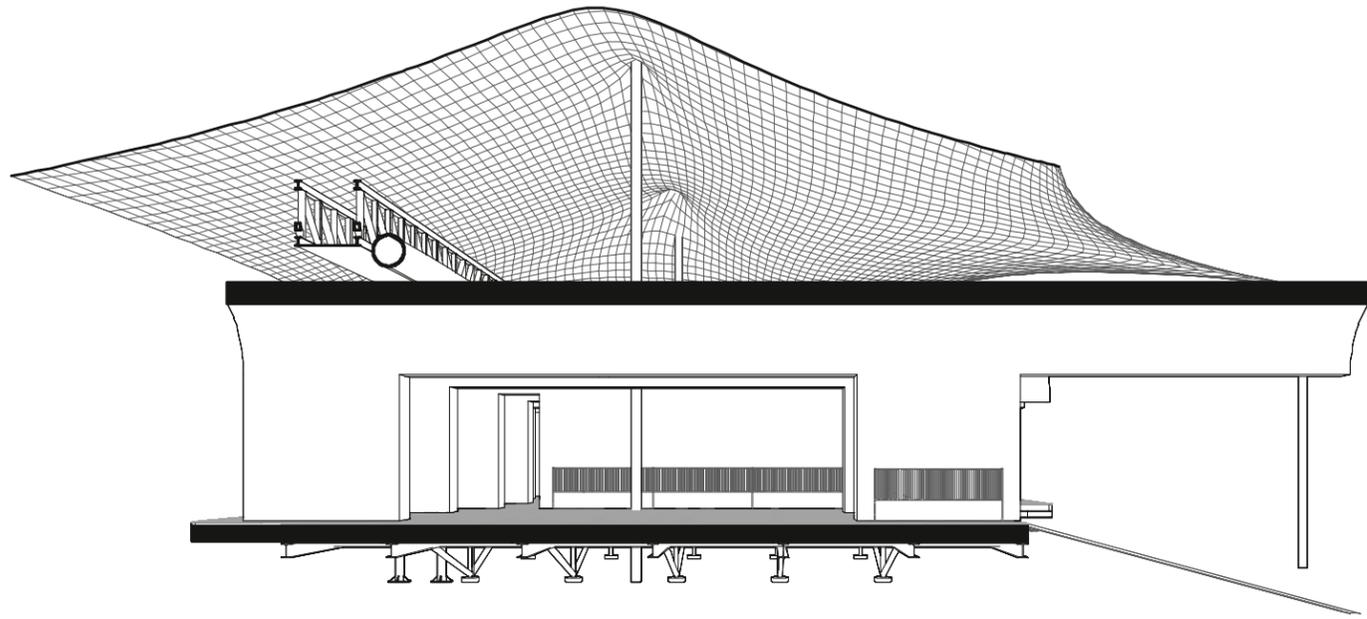
Dibujos de las crujiás paralelas de bóvedas de cañon corrido perforadas.

Elaboración propia



Vistas de las perforaciones cenitales en las bóvedas.

Elaboración propia

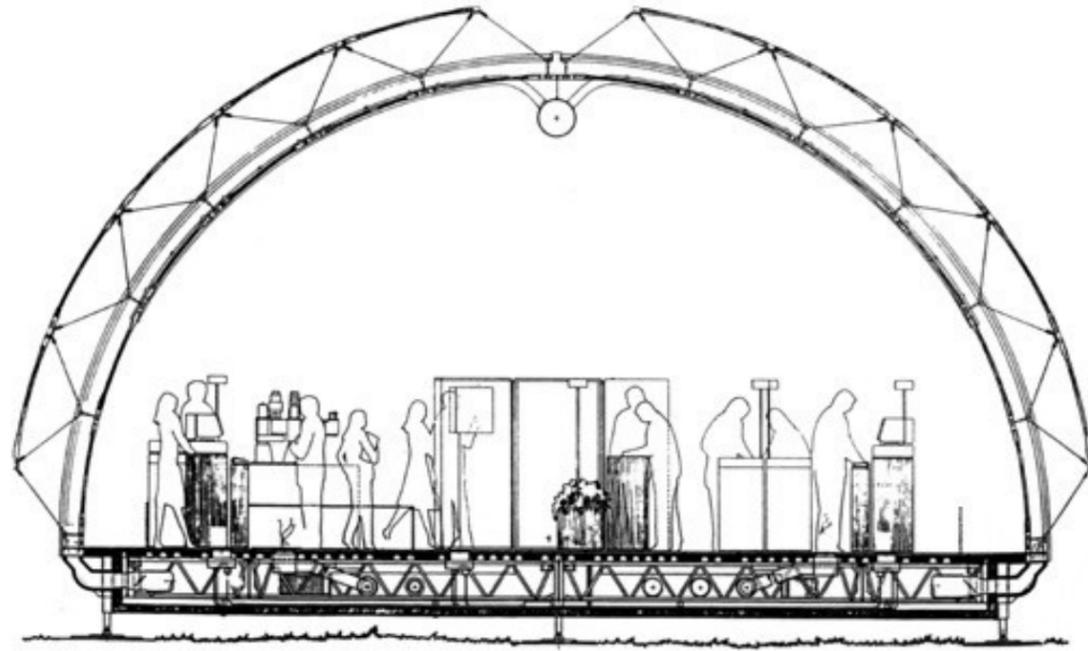


Construcción del espacio pasarela-ventilación-tela.

Elaboración propia

Vista interior y exterior del proyecto.

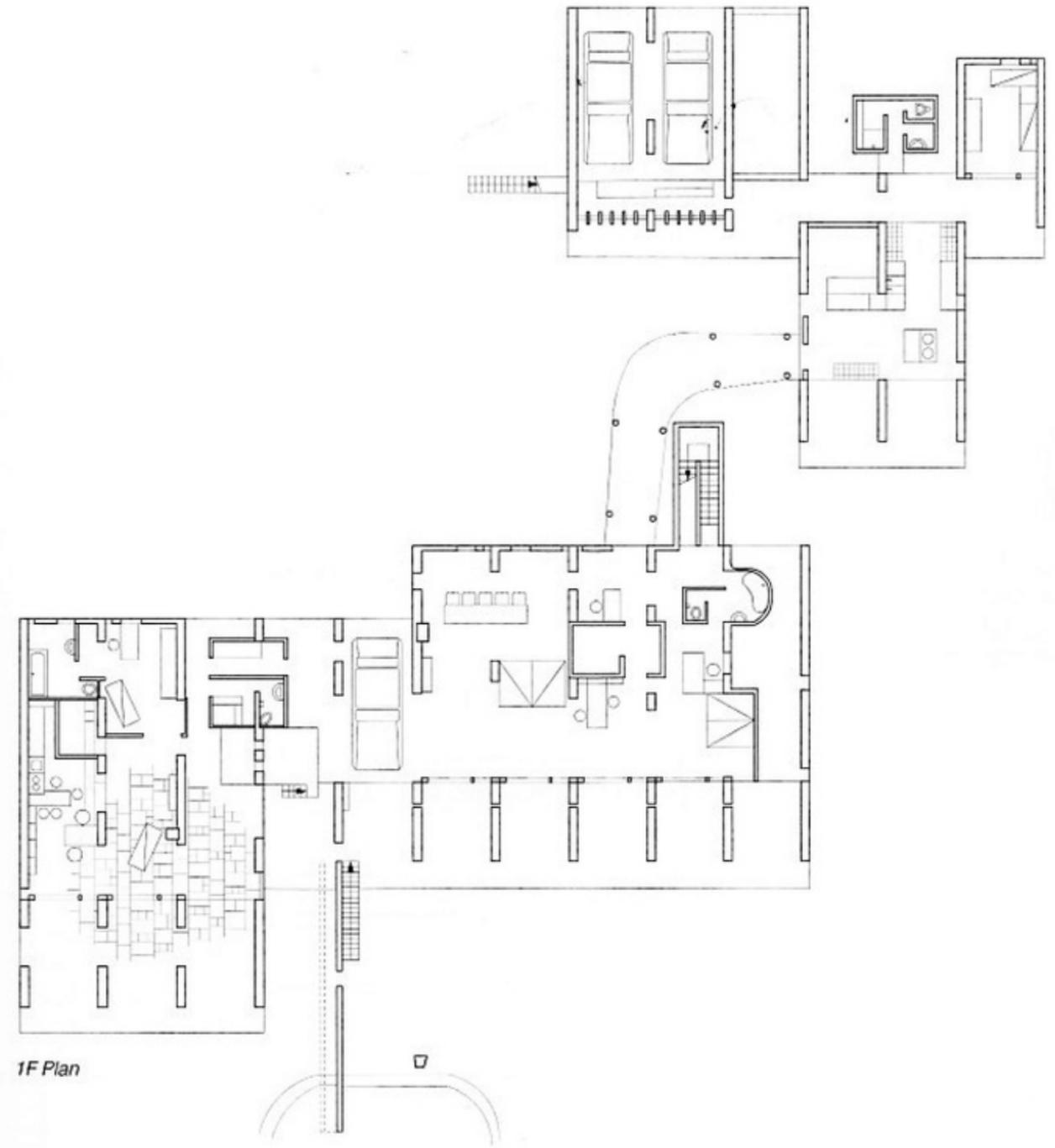
Elaboración propia



IBM Travelling pavilion
Renzo Piano



Madame Manorama Sarabhai, Ahmedabad, India, 1951
Le Corbusier.



1F Plan

Madame Manorama Sarabhai, Ahmedabad, India, 1951
Le Corbusier.



Kimbell Art Museum

Louis Kahn.