

## La acústica del micelio en función del aporte de distintos sustratos: cartón, aserrín y avena.

**Alumna: Salomé Marcel Cruzat**

Profesora Guía: Mirtha Pallarés

Seminario de licenciatura

Departamento de Arquitectura

Línea de tecnología

Semestre primavera 2022

# INDICE

## Capítulo I: Contexto y presentación del problema

### 1.1 Antecedentes

### 1.2 Biofabricación

### 1.3 Micelio

### 1.4 Presentación del problema

- Problema
- Pregunta
- Hipótesis
- Objetivos
- Metodología

### 1.5 Revisión de literatura

## Capítulo II: Objetivo I

### 2.1 Introducción

- Objetivo 1

### 2.2 Sustratos

- Cartón
- Aserrín
- Avena

### 2.3 Metodología de producción del micelio

- Proceso
  - PDA
  - Etapa 1. Inoculación PDA
  - Etapa 2. Esterilización del grano
  - Etapa 3. Cultivo en Spawn
  - Etapa 4. Esterilización de sustrato
  - Etapa 5. Cultivo en el sustrato
  - Etapa 6. Moldaje
  - Etapa 7. Prensa
  - Etapa 8. Secado

### 2.4 Síntesis

## Capítulo III: Objetivo II

### 3.1 Introducción

- Objetivo 2

### 3.2 Producción del micelio

### 3.3 Laboratorio FabLab

### 3.4 Síntesis

## Capítulo IV: Objetivo III

### 4.1 Introducción

- Objetivo 3

### 4.2 Funcionamiento teórico del tubo de Kundt

### 4.3 Errores y márgenes

### 4.4 Funcionamiento práctico del tubo de Kundt

### 4.5 Resultados e interpretaciones

- Micelio en aserrín
- Micelio en cartón
- Micelio en aserrín y cartón de 30 mm, 50 mm, 70 mm
- Modelo de regresiones lineales

## Capítulo V: Comentarios finales y conclusiones

### 5.1 Comentarios finales

### 5.2 Conclusiones

## INTRODUCCIÓN

Toda investigación requiere profundizar en el tema de interés, mediante una revisión bibliográfica y recolección de datos, aspectos que se tuvieron en consideración y que permitieron una primera aproximación a los biomateriales, orientando la investigación a **la comprensión de la capacidad acústica que puede desarrollar el micelio**. Donde se profundiza el potencial del micelio como un material absorbente, acústico y sustentable.

En ese contexto, este primer capítulo presenta la problemática planteada, la pregunta de investigación, su hipótesis, los objetivos propuestos y cómo se abordó cada uno de ellos.

## CAPÍTULO I: CONTEXTO

### 1.1 ANTECEDENTES

Si bien la producción industrial genera crecimiento económico, el cual se consigue a través de la explotación de los recursos naturales, ello trae consigo la producción de residuos y contaminación, situación que con el tiempo se ha vuelto insostenible para la sociedad actual y las generaciones futuras. Asimismo, la civilización se ha acostumbrado a una forma de vida más expedita, donde los productos normalmente se utilizan y se desechan con facilidad, sin otorgarle una nueva vida útil (Figura 1). A partir de esto, se reconoce que son pocas las industrias que han optado por un desarrollo sustentable y una economía circular (Rodríguez, 2017 y Silva, 2021).

De igual forma, el sector de la construcción mantiene estos mismos procesos y problemáticas. A nivel mundial, la construcción y las edificaciones son responsables del 30%

del consumo energético y, a su vez, del 27% de las emisiones correspondientes al sector de la energía eléctrica (Agencia Internacional de la Energía, 2020; 2021). Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) expone que la construcción a nivel mundial genera el 38% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En este contexto, en Chile la industria de la construcción produce el 35% de los residuos sólidos totales, empleando además, distintos tipos de energías y recursos no renovables en su producción (Silva, 2021). Basado en lo anterior, se han desarrollado nuevas investigaciones que profundizan en la biofabricación, y los biomateriales, entendiendo estos como una respuesta sustentable a las problemáticas antes mencionadas y aportando una nueva forma de plantear la arquitectura (Silva, 2021).

### 1.2 BIOFABRICACIÓN

Desde la perspectiva de la sustentabilidad, se ha logrado obtener un método de fabricación sostenible, el cual se basa en el cultivo de sustancias naturales o artificiales, en vez de manufacturarlos, utilizando desechos

de la agricultura e incurriendo en un bajo costo de energía en su producción. Proceso que se conoce como biofabricación entregando como resultado los biomateriales (Fuentes y Monereo, I. 2020). En este escenario tiene



Figura 1. Sistema lineal de producción. Fuente: (Rodríguez, 2017)

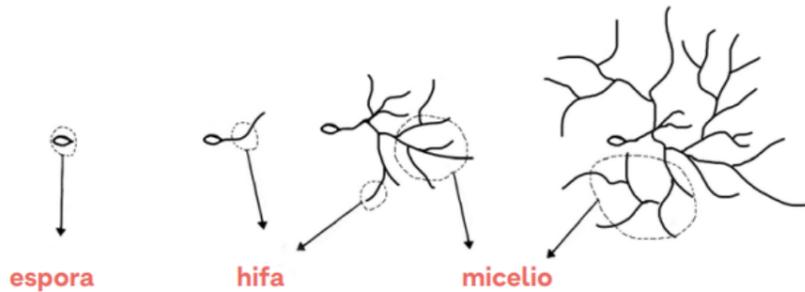


Figura 2. Reproducción del micelio y sus componentes. Fuentes: (Montenegro & Stuardo, 2021).

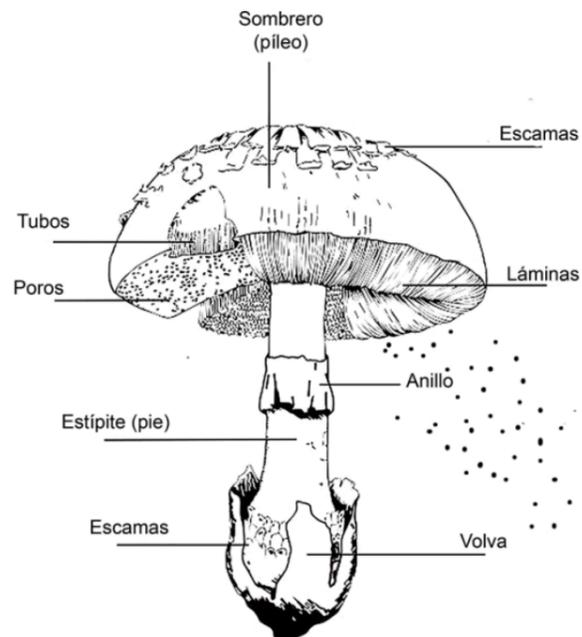


Figura 3. Estructura de un hongo provisto de pie y sombrero. Fuentes: (Montenegro & Stuardo, 2021).

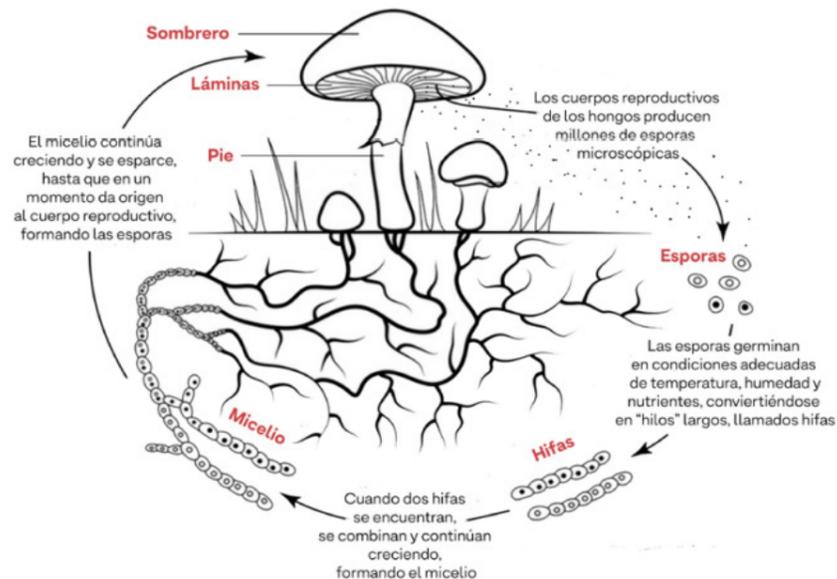


Figura 4. Composición del hongo según su desarrollo en su hábitat natural, mostrando sus diversos componentes, donde entre ellos se encuentra el micelio. Fuente: (Montenegro & Stuardo, 2021).

su origen el biomaterial micelio, que se ha destacado por su contribución al desarrollo sostenible, razón por la cual es el insumo relevante para la investigación. El micelio pertenece al reino fungí, que

está compuesto por mohos, levaduras y setas. Según Blackwel (2011), de él se tiene un conocimiento cercano al 5%, relativo a la diversidad estimada de más de 5 millones de especies

### 1.3 MICELIO

Los hongos son esenciales para el desarrollo de la vida, se encargan de la descomposición de los desechos de la naturaleza alimentándose del material vegetal, el sustrato. Asimismo, estos establecen conexiones con las raíces de las plantas, ayudándose mutuamente. Por un lado, el micelio proporciona nutrientes que las plantas no pueden absorber de su entorno, y, por otro lado, la planta dispone del sustrato necesario para el crecimiento del micelio (France, Cañumir, & Cortez, 2000, Montenegro & Stuardo, 2021, y Palacios & Jara, 2019).

La producción del micelio se genera a través de esporas, las cuales son análogas a las semillas de las plantas que brotan microscópicamente de la seta (cuerpo reproductivo del hongo). A partir de estas esporas crecen las hifas, cuyo conjunto conforma el micelio, el cual corresponde al cuerpo vegetativo del hongo que crece bajo tierra (Figura 2-3). Dicho esto, el desarrollo del micelio requiere del uso de sustratos y de determinadas condiciones ambientales, tales como: humedad, temperatura, nutrientes, etc. (Montenegro & Stuardo, 2021).

### 1.4 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

#### Problema

El confort acústico en la arquitectura es un factor esencial para la vida de las personas, debido a la necesidad de contener y absorber las propagaciones del ruido ambiental, siendo este un "sonido no deseado o nocivo generado por la actividad humana" (DOCE, 2002). Según Gómez & Fernández (2018), el ruido genera desfavorables condiciones en la salud, imposibilitando y reduciendo la productividad en distintas tareas. Así, el tratamiento acústico es una necesidad en las edificaciones.

esta razón, se han ido generando nuevas alternativas técnicas para proporcionar el confort acústico necesario, aparte de la aislación que requieren las edificaciones. Ámbito donde encuentran los paneles acústicos, los cuales en su mayoría se destacan por la absorción del sonido en el interior de la edificación. En función de esto, se reconoce que "actualmente existen materiales comerciales que brindan propiedades de absorción del sonido como la fibra de vidrio, espumas de poliestireno, entre otros. Estos (...) resultan costosos, además no son reciclables" (Gómez y Fernández, 2018, pág. 61). Es por ello que existe la necesidad de buscar alternativas sostenibles a estos materiales.

Del mismo modo, hay que tener en cuenta que existen ciertos tipos de edificaciones que no cuentan con los estándares mínimos de confort acústico, ya sea por su antigüedad, por el tipo de actividad que se genera en donde se emplazan o por el cambio de uso del edificio. Por

En este contexto, se han investigado nuevas técnicas y productos

sustentables, tales como los biomateriales. Entre ellos se encuentra el micelio que, según Montenegro y Stuardo (2021), es esencial para la vida, ya que descompone el material vegetal (sustrato) y le otorga nutrientes a las plantas. Micelio que se comporta diferente según el tipo de cepa, la época del año, las determinadas condiciones ambientales, la vegetación y el tipo de suelo (Figura 4).

Según Silva (2021) el desarrollo del micelio depende de cuatro factores principales (Figura 5):

- Cepa
- Sustrato
- Método de Cultivo
- Tratamientos post cultivos

Estos son factores variables, difíciles de controlar completamente, razón por la cual es que no se pueden fijar principios básicos en las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y acústicas

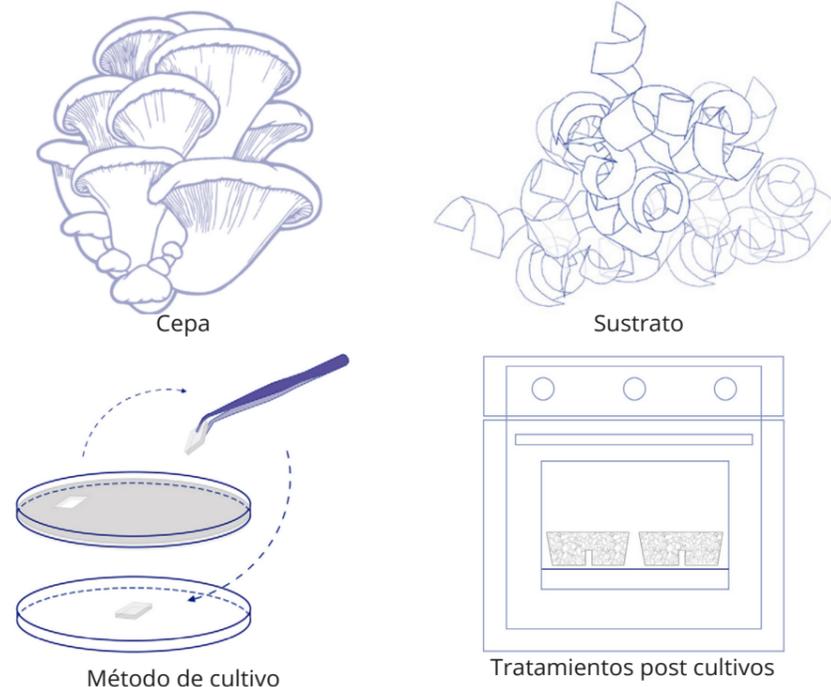


Figura 5. Factores principales del desarrollo del micelio, cepa, sustrato, método de cultivo y tratamientos post cultivos. Fuentes: (Silva, 2021).

de los materiales generados mediante el micelio.

Dadas las variables que presenta el micelio en su desarrollo, es factible obtener diversas propiedades en el producto final, haciéndolo único en comparación con otros materiales. Con base en lo anterior, se analizaron las capacidades acústicas del micelio según distintos sustratos y densidades.

Actualmente, solo existe una empresa italiana que se especializa en paneles acústicos en micelio, haciendo hincapié en las capacidades del material. Sin embargo, debido a la falta de información en el área, existe poco interés en el medio nacional (Palacios & Jara, 2019). De los escasos trabajos que han estudiado las capacidades del micelio en Chile, se consideró la investigación de Donoso (2021) la cual se basó su seminario en la "Elaboración de Biocompuestos de Micelio de Hongo para el Desarrollo de un Panel de Absorción Acústica para Muros de Entramado liviano de Madera"

en donde expone que "es necesario seguir trabajando para conseguir mejores coeficientes de absorción acústica, centrándose en el estudio de los sustratos". (Donoso, 2021, pág. 14) Por consiguiente, la investigación analiza la contribución acústica del biomaterial micelio en Chile utilizando distintos sustratos.

En concreto, a través de un estudio práctico se analizó si los distintos tipos de sustratos pueden cambiar o mejorar las propiedades acústicas del micelio. Para llevar a cabo lo indicado, se eligió la cepa *Pleurotus Ostreatus*, debido a su fácil acceso y a las múltiples investigaciones existentes sobre su crecimiento. Asimismo, se seleccionaron tres sustratos, debido a su buen comportamiento con la cepa y por sus distintas características: el cartón por su absorción acústica, el aserrín por el rápido crecimiento y la avena por su fácil adquisición. En cada caso, se evaluaron las características acústicas por medio de un tubo de Kundt.

A partir de lo anterior, se presentan los planteamientos principales de la investigación.

### Pregunta de investigación

¿Existe una mejora en la condición acústica del micelio al incorporar los sustratos cartón aserrín y avena en función de su espesor?

### Hipótesis

Según investigaciones anteriores:

"De cada sustrato se obtienen propiedades diferentes que se evidencian en el material final. Así, (...) Appels y otros, (...) concluyeron

que, a partir de sustratos de mayor densidad, como el aserrín, en comparación con el algodón o la paja, proporcionalmente se obtenían materiales con mayor densidad." (Silva, 2021, pág. 28).

En base a la cita anterior, la hipótesis de esta investigación es que, los sustratos aportan al micelio una mayor absorción acústica, diferenciando así a los sustratos que no cuentan con esta propiedad, es decir, el sustrato afecta directamente a la propiedad del micelio, en este caso la acústica.

### Objetivos

#### General

Analizar la incidencia de los sustratos: cartón, aserrín y avena, en las capacidades acústicas del biomaterial micelio, a través de su densidad (condicionada por el espesor de las muestras).

#### Específicos

- Investigar los distintos sustratos y procesos de crecimiento del micelio, estableciendo criterios de selección y los principios básicos para la experimentación.
- Desarrollar el micelio con los diferentes sustratos escogidos para generar distintos prototipos de pruebas.
- Analizar las capacidades acústicas de los prototipos de micelio, según los diferentes sustratos usados para su crecimiento.

### Metodología

Para la realización del objetivo general mencionado anteriormente, se

plantearon tres objetivos específicos que dan cuenta del proceso necesario para el desarrollo de la investigación. A partir de esto, se presenta cada objetivo con la metodología acogida para llevarlos a cabo.

**Investigar los distintos sustratos y procesos de crecimiento del micelio, estableciendo criterios de selección y los principios básicos para la experimentación.**

La metodología aplicada en el primer objetivo consistió en revisar la literatura sobre los sustratos que se han desarrollado con la cepa *Pleurotus Ostreatus*. Condicional a ello, se procedió a fijar las propiedades que debían cumplir los sustratos a utilizar. Esto se hizo en función de la relación que tuviera el sustrato con la cepa, ponderando también la utilidad de cada material, a fin de cumplir con los intereses de esta investigación.

Así como se hizo con los sustratos, se investigó sobre las distintas metodologías utilizadas para el cultivo del micelio, con el fin de establecer los materiales necesarios y las condiciones que requería la cepa para su desarrollo y crecimiento. Se revisaron varios documentos y videos para poder entender de mejor forma tanto el crecimiento del micelio, como las eventuales complicaciones a las cuales puede estar sujeto. A partir de dicha bibliografía, se decidió que el micelio se cultivaría de forma casera definiendo cuales eran las etapas que requería para crecer de forma adecuada y controlada.

Los documentos que más influyeron el desarrollo del primer objetivo fueron los siguientes:

“Manual de Biofabricación con hongos” del Laboratorio FADEU; “Introducción al cultivo de hongos comestibles” de

Montenegro y Stuardo y; “Biomateriales en la estructura arquitectónica” de Silva.

Todos estos documentos se caracterizan por contener información relevante sobre los sustratos y el proceso de crecimiento del micelio. Los resultados de este objetivo fueron establecer los sustratos a utilizar y la producción de la metodología que, posteriormente, se utilizaría para desarrollar el micelio.

**Desarrollar el micelio con los diferentes sustratos escogidos para generar distintos prototipos de pruebas.**

Para la realización del segundo objetivo se trabajó con la información obtenida en el primer objetivo. Primero, se consiguió un espacio en el cual se pudieran llevar a cabo los procedimientos de cada etapa con las condiciones establecidas previamente. Luego, se consiguieron los materiales necesarios para iniciar la primera etapa. Una vez cumplida esta, se hizo lo mismo para la segunda etapa, así sucesivamente hasta llegar a la última etapa de la metodología.

El desarrollo del micelio fue realizado de forma casera y luego, para complementar los conocimientos y el desarrollo del micelio, se consiguió un espacio en el FabLab de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile. En dicho lugar, se entró en contacto con personas que también estaban investigando sobre el micelio, lo cual ayudo a fortalecer la investigación y a resolver las complicaciones que surgieron a medida que crecía el micelio.

Con todo lo anterior, se tuvo como resultado la confección de muestras aptas, con micelio, para medir su coeficiente de absorción acústica en un tubo de Kundt.

**Analizar las capacidades acústicas de los prototipos de micelio, según los**

**diferentes sustratos usados para su crecimiento.**

Para abordar el tercer objetivo, se investigó sobre las distintas formas de análisis de las capacidades acústicas de las muestras que se produjeron en el objetivo 2. En particular se realizaron mediciones en un tubo de Kundt, facilitado por el Departamento de Sonido de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile. En dicho lugar se contó con la asistencia de la profesora Carla Badani, quien instruyó sobre los conceptos básicos de un absorbente acústico, la manera de hacer uso correcto del tubo de Kundt y las fórmulas necesarias para calcular los datos relevantes para esta investigación (coeficiente de absorción, errores y márgenes).

Con los resultados obtenidos de las mediciones se registró la información relevante de cada una de estas en una planilla de Excel (cada fila representaba una medición de una muestra en específico). Planilla que se trabajó como una base de datos que contenía información sobre las siguientes variables: Frecuencia, Frecuencia estimada, Amplitud (L) mínima, Amplitud (L) máxima, Delta L, Medida mínima, Medida Máxima,  $\lambda/4$ ,  $\lambda/4$  teórico, Coeficiente de absorción, Margen de error.

Con los insumos obtenidos en el paso anterior, se generaron gráficos y tablas descriptivas del comportamiento de las muestras y de sus características.

Más específicamente, las muestras se compararon por tipo de sustrato y espesor. Asimismo, se recopiló información entregada por Acusonic (2021) sobre el comportamiento de algunos absorbentes que se encuentran en el mercado (lana de vidrio y lana mineral), con el fin de comparar su

desempeño acústico con el de los prototipos confeccionados en esta investigación.

Adicionalmente, dado que realizar un análisis de resultados únicamente basado en promedios y relaciones bidimensionales puede ser un recurso limitado para revisar los hallazgos de esta investigación, se decidió estimar un modelo de regresiones lineales en base a los datos obtenidos.

Un modelo de regresiones lineales consiste en estimar una relación de dependencia desde una variable dependiente (Coeficiente de absorción acústica) con una o más variables independientes (Presencia de micelio en la muestra, densidad, sustrato, tipo de tubo y frecuencia). Utilizar este modelo tiene como ventaja considerar múltiples variables que afectan de manera simultánea el valor del coeficiente de absorción acústica. Dichas estimaciones, a diferencia de métodos más simples como la comparación de gráficos, que únicamente aceptan 2 o 3 variables, permiten aislar la contribución (en promedio) de cada variable al resultado final.

Para esto se construyeron muestras de control adicionales de ambos sustratos de cartón y aserrín que no tenían micelio. Se obtuvo sus coeficientes de absorción, al igual que con los prototipos con micelio, y sus resultados fueron incorporados en la base de datos Excel, la cual posteriormente fue exportada al software Stata, orientado al trabajo estadístico. Proceso que permitió aislar las propiedades acústicas de los sustratos y analizar la contribución del micelio en los resultados finales de la investigación. Con todo lo anterior, se logró generar una serie de resultados gráficos y cuantitativos asociados a la experimentación de muestras acústicas con micelio.

## Ejemplos de aplicación del micelio

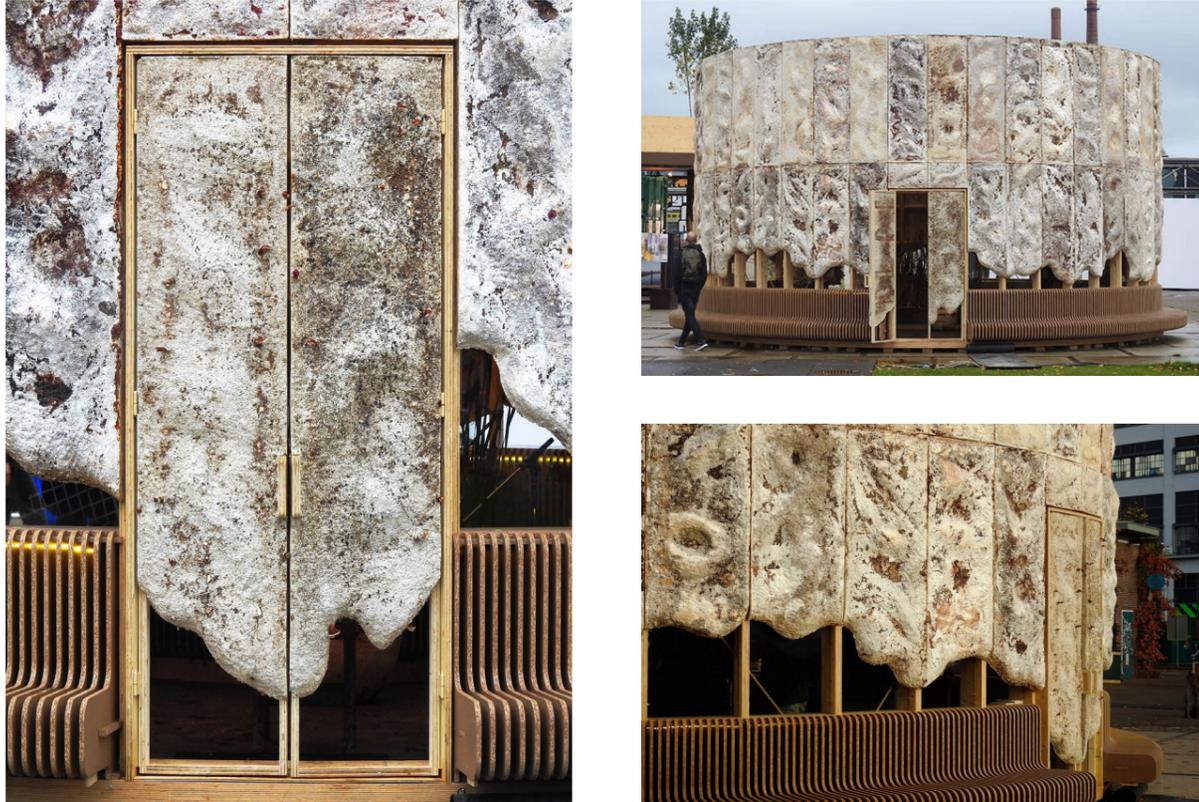


Figura 7. "The living. HY-FI tower" edificación 100% ecológica, sin emisiones de carbono, sin residuos y siguiendo una economía circular, desarrollada a partir de micelio. Fuente: (Conde, 2021)

## 1.5 REVISIÓN DE LITERATURA

### Antecedentes

La literatura informa ampliamente sobre las propiedades del micelio y sus posibles aplicaciones. Entre estas destacan la plasticidad de su forma, su rápido crecimiento, su bajo costo de fabricación y el uso de desechos vegetales industriales como materia prima. Aquello lo posiciona como una alternativa sustentable y económica, mejor que los materiales sintéticos (Fuentes & Monereo, 2020 y Conde, 2021).

A partir de lo anterior, se recogen distintos precedentes sobre el empleo del micelio en la arquitectura, donde múltiples autores señalan la creación de nuevas empresas debido al estudio y empleo de este material. De hecho, "en cuanto al material se refiere (...) Ecovative desing, (...) comenzó (...) varias líneas de aplicación como: Moda, comida, embalaje, mobiliario." (Conde, 2021, pág. 78).

Igualmente, han surgido varios proyectos que emplean el micelio de distintas maneras, como el "The Growing Pavillion" (Figura 6), desarrollado por Krown-Design, una empresa de mobiliario que utiliza el micelio para un cerramiento, el cual reduce la huella ecológica en comparación con otros materiales.

También está "The living. HY-FI tower" (Figura 7) de David Benjamín, donde se usan ladrillos orgánicos y biodegradables de micelio. Esta estructura es la más alta construida con este material, alcanzando los 12 metros de altura (Conde, 2021 y Fuentes & Monereo, 2020).

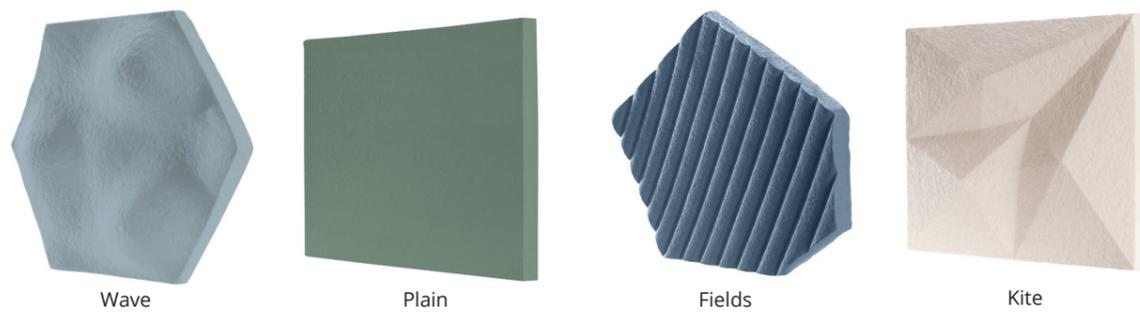
Por último, se encuentra el desarrollo de paneles acústicos (Figura 8) diseñados

por la empresa italiana MOGU, que es la pionera en el desarrollo de paneles de acondicionamiento acústicos a partir de micelio y tela, para el confort de las oficinas (Conde, 2021 y Fuentes & Monereo, 2020). Estos paneles representan un avance en la acústica del micelio; sin embargo, las investigaciones sobre estos paneles están limitadas a solo los coeficientes de absorción acústica y no a su desarrollo ni a su funcionamiento.

### Micelio

Tal como se comentaba anteriormente, la cepa es uno de los factores más importantes. Al respecto, Fuentes y Monereo (2020, pág. 44) indican que la cepa *Pleurotus Ostreatus* "es muy común y fácil de conseguir, sencillo de cultivar (...) y con posibilidades de replicación sencillas, es uno de los hongos que se encuentran actualmente en uso para el diseño de biomateriales.". De igual manera, esta cepa es una de las más estudiadas, por lo que se encuentra más información en cuanto a los rangos óptimos en que se desarrolla, ya sea en temperatura, humedad o luz (López & Hernández, 2016). Fueron estos criterios los que primaron en la selección de la cepa elegida para la presente investigación.

Igualmente, cabe destacar que "las propiedades de los materiales en base a micelio no han sido aún determinadas de manera definitiva, ya que los estudios existentes son relativamente nuevos y poco explorados" (Silva, 2021, pág. 25). No obstante, se reconoce que las cualidades del elemento final "(...) dependen de cuatro factores principales: tipo de cepa, tipo de sustrato, método de cultivo



**Acoustic performance**

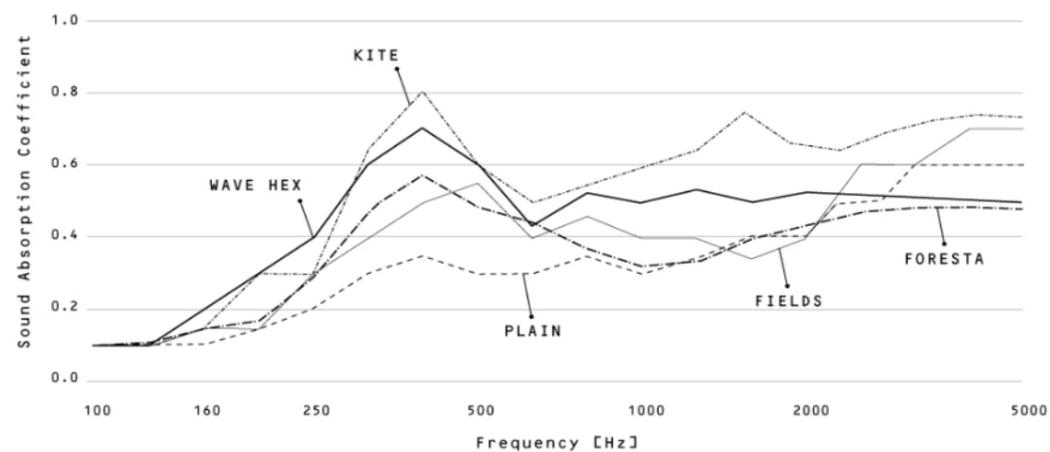


Figura 8. Coeficientes de los paneles acústicos para espacios interiores, desarrollados por la empresa MOGU. Fuente: (Conde, 2021 y Donoso, 2021).

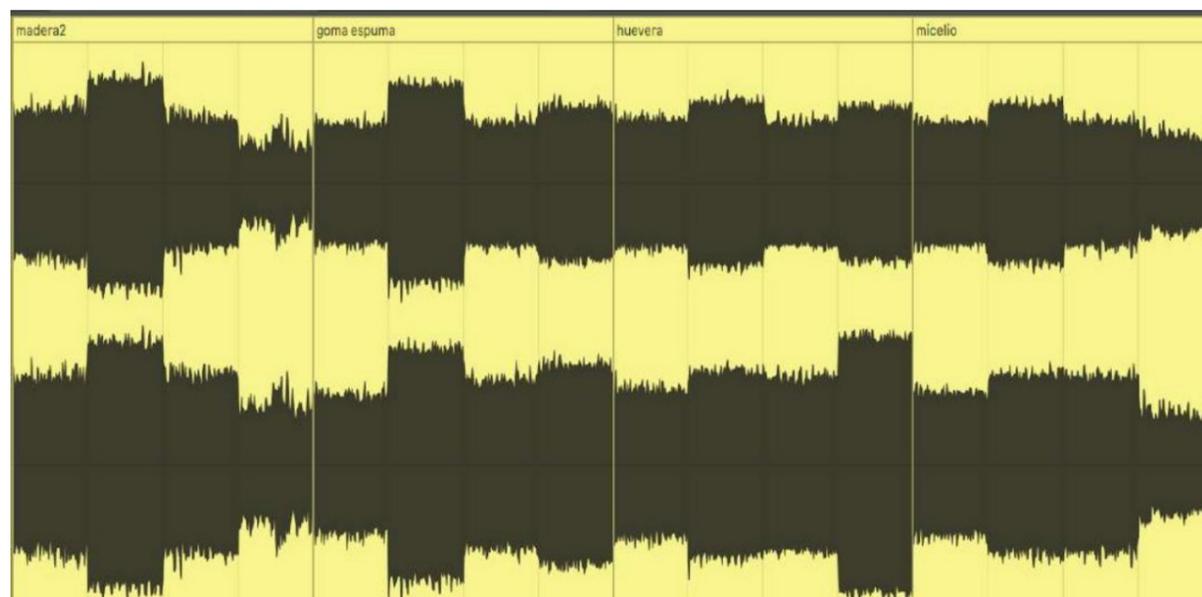


Figura 9. Comparación a partir del uso de un software (el cual no se especifica), para demostrar las capacidades acústicas de distintos materiales, madera, goma espuma, huevera y micelio, en donde este último muestra una mejor absorción acústica. Fuente: (Fuentes & Monereo, 2020).

y tratamientos poscultivo que se apliquen a cada muestra. Por la misma razón, no se pueden establecer leyes generales que sean transversales a todos los compuestos de micelio” (Silva, 2021, pág. 25).

Con todo lo anterior, se entiende que el proceso de producción del micelio depende de múltiples variables, lo cual puede perjudicar al material en su masificación y desarrollo. Sin embargo, Silva (2021) plantea que:

Las capacidades de los componentes de micelio pueden ser complejizadas y potenciadas por el mejoramiento de las técnicas de su producción, mediante experimentaciones continuas que permitan definir las cualidades de los biomateriales. Y, tal como en una receta, las posibilidades son infinitas, en tanto las cepas, sustratos y procesos varían. (pág. 91)

De esta forma, se observa que al aumentar el conocimiento y las investigaciones acerca de este biomaterial, es posible profundizar en las propiedades del micelio y en el aporte que puede entregar a la arquitectura.

Asimismo, Conde (2021) afirma que, aunque no existen muchas investigaciones sobre el micelio, este presenta múltiples propiedades físicas que pueden beneficiar a la arquitectura, como la conductividad térmica, la atenuación acústica y la reacción al fuego. Igualmente, Fernández, Gaggino, Kreiker, & Positieri, (2019) exponen que los productos que se desarrollaron en

micelio muestran liviandad, resistencia mecánica y baja conductividad térmica.

De la investigación de Fuentes y Monereo (2020) se rescata la comparación del comportamiento acústico de distintos materiales: madera, goma espuma, hueveras y micelio, respectivamente (Figura 9). Al respecto, los autores logran demostrar que los productos de micelio, en comparación con otros materiales, tienen un mejor comportamiento acústico. Adicionalmente, se revisan las capacidades físicas (compresión, tracción y tensión) del micelio desarrollado en distintos sustratos, debido al interés en probar y mejorar las capacidades de este para una aproximación estructural (Figura 10).

En cuanto al proceso de desarrollo y crecimiento del micelio, hay que destacar que existen múltiples dificultades, ya que, debido a su condición de material orgánico, que crece en condiciones específicas, se debe tener un especial cuidado en su desarrollo, pues, de lo contrario, puede sufrir el contagio por agentes externos. Por esto, la revisión de múltiples textos sobre métodos y recomendaciones para el crecimiento del micelio permitió conocer distintos procesos. De ellos se rescata a Silva (2021), que expone un proceso paso a paso (Figura 11).

**Acústica**

Por otro lado, es pertinente entender cómo funciona la acústica en espacios cerrados y como los distintos materiales responden a este. Sepúlveda y Macía (2011) exponen los principales conceptos para la internalización de la absorción acústica:

En los espacios cerrados, parte de la energía sonora incidente

Cargando	Tipo de sustrato	Sustrato	"ρ sobre (kg / m 3 )"	"E MPa"	"σ ultimate MPa"
Tensión	Fibroso	Colza paja a	115	3.0	0,025
	Partículas	Haya aserrín a	170	13	0,05
		serrín de roble rojo b	300	1,3	0,18
Compresión	Fibroso	Lino hurd c	99	0,73	-
		Cáñamo Hurd c	94	0,64	-
		Paja de trigo d	192	-	0,17
	Partículas	Virutas de pino c	87	0,14	-
		serrín de roble rojo b	300	1.0	0,49
		serrín de roble blanco d	552	-	1.1
traccion	Fibroso	Fibras de algodón a	130	1.0	0,05
		Colza paja a	115	1,5	0,14
	Partículas	Haya aserrín a	170	9.0	0,29

Figura 10. Capacidades de tensión, compresión y tracción en productos de micelio con distintos sustratos. Fuente: (Fuentes & Monereo, 2020).



Figura 11. Etapas de desarrollo del micelio. Fuente: (Silva, 2021).

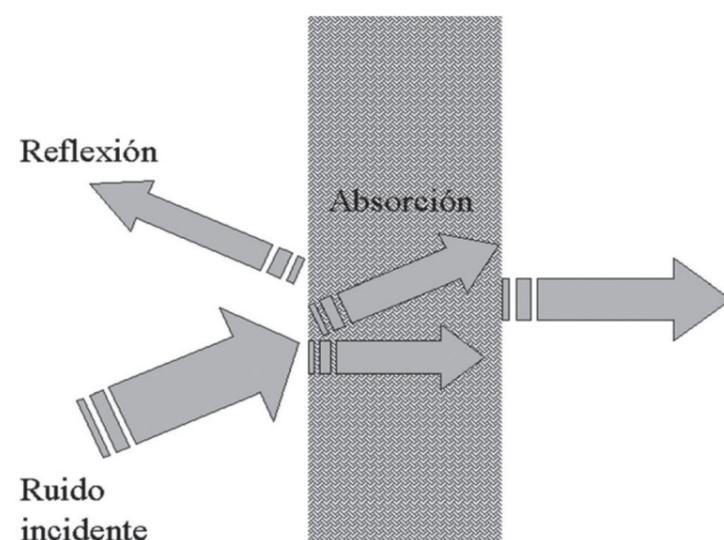


Figura 12. Propagación del sonido en espacios cerrados. Fuente: (Sepúlveda & Macía, 2011).

es reflejada, parte es absorbida y parte es transmitida a través de las paredes (límites) de dicho encerramiento; igual fenómeno ocurre en las superficies y elementos que se encuentran dentro de dicho espacio. En todos los materiales, una parte de la energía acústica que llega a su superficie es absorbida y otra es transmitida hacia el otro extremo de la superficie (Figura 12) (pág. 130).

Dicho lo anterior, los materiales absorbentes cumplen con la condición para lo que fueron creados y que "absorben la energía acústica de las ondas que inciden en su superficie, transformándola en calor, y reduciendo por consiguiente la energía acumulada en un recinto" (Castillo & Costa, 2012, pág. 1). De igual forma, consta que estos materiales tienden a ser blandos, ligeros, fibrosos y de poro abierto (Aragón, 2016);

y que dependen de variables como la porosidad, densidad, espesor, entre otros; los cuales condicionan el material.

La porosidad condiciona en gran parte la calidad de un absorbente acústico, ya que cuando la onda incide en los poros y penetra en el aire contenido, dando paso a una energía vibratoria, produce fricción en las cavidades internas, generando que la energía acústica se disipe en forma de energía calorífica (Aragón, 2016). Por lo tanto, al tener menor porosidad en un material, menor es la energía acústica que este logra disipar.

De igual forma, Castillo y Castro (2012) exponen que uno de los parámetros más importante es la densidad e indican que:

El aumento de la densidad del material genera mayor fricción produciendo mayor absorción de la onda sonora incidente. Existe un límite en el aumento de la densidad del material, ya

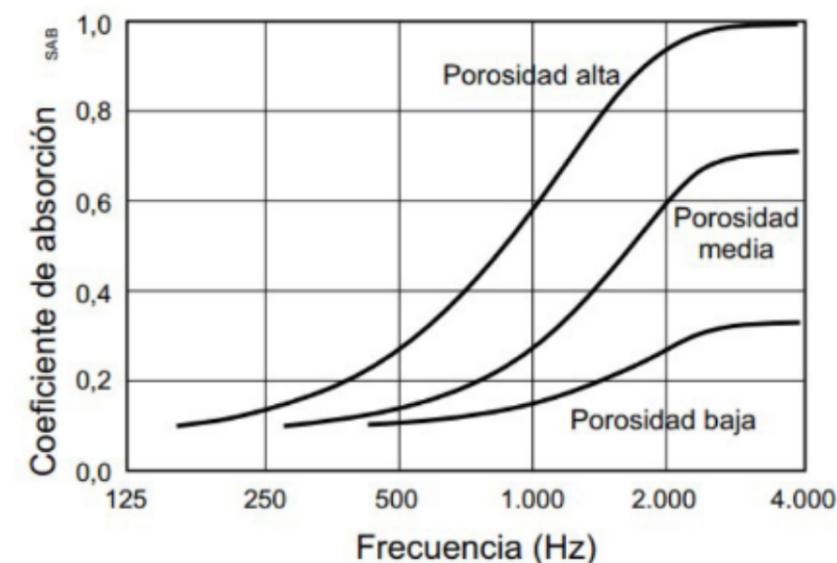


Figura 13. Variación de la absorción en función de la frecuencia de un material absorbente con distintos grados de porosidad. Fuente: (Castillo y Costa 2012).

que si se sigue aumentando la densidad la onda sonora no podrá penetrar el material y, en consecuencia, existirá una mayor reflexión de la energía. Desde el punto de vista práctico, la densidad de un material absorbente debe estar comprendida entre 40 y 100 Kg/m<sup>3</sup>. (Figura 13). (pág. 4)

En cuanto al espesor, hay que destacar que a medida que se incrementa este, aumenta la absorción en todas las frecuencias. Esto se debe a que el recorrido de la onda en el material será más largo, propiciando que la fricción enfrentada dentro de este sea superior. De esta manera, también será mayor la energía disipada (Aragón, 2016).

Para evaluar la capacidad de un absorbente acústico "se define el coeficiente de absorción acústica ( $\alpha$ ), que representa la relación entre la energía absorbida ( $E_a$ ) y la energía incidente ( $E_i$ ) por unidad de superficie" (Aragón, 2016, pág. 23). Este coeficiente adquiere valores que se encuentran entre 0 y 1, representando la mínima y máxima absorción posible, respectivamente. El coeficiente de absorción acústica depende de la

frecuencia del sonido incidente, pero no todos los materiales absorben de igual forma estas frecuencias, y en el caso de presentar mayor porosidad la absorción será mejor en las frecuencias más altas. Es por ello que los valores de este coeficiente se deben especificar para cada frecuencia en bandas de octava (Aragón, 2016).

Para la estimación del coeficiente de absorción acústica se utiliza el tubo de Kundt (Figuras 14-15-16-17). Este aparato cuenta, en un extremo, con un tubo que contiene la muestra de prueba (1). En el centro, el tubo de Kundt cuenta con un parlante (3), el cual reproduce un sonido en diferentes frecuencias (2), mientras que, en el otro extremo, se encuentra un carro (4) que recibe la onda que se refleja de la muestra. Este carro cuenta con un monitor (5), el cual transforma la onda en datos que permiten calcular el coeficiente de absorción acústica antes mencionado.

Tal como ya se ha mencionado en esta sección, es necesario tener en consideración la densidad, cuya fórmula es:

$$\rho = m / v$$

Esto significa que densidad ( $\rho$ ) es igual a masa ( $m$ ) dividido por el volumen ( $v$ ).

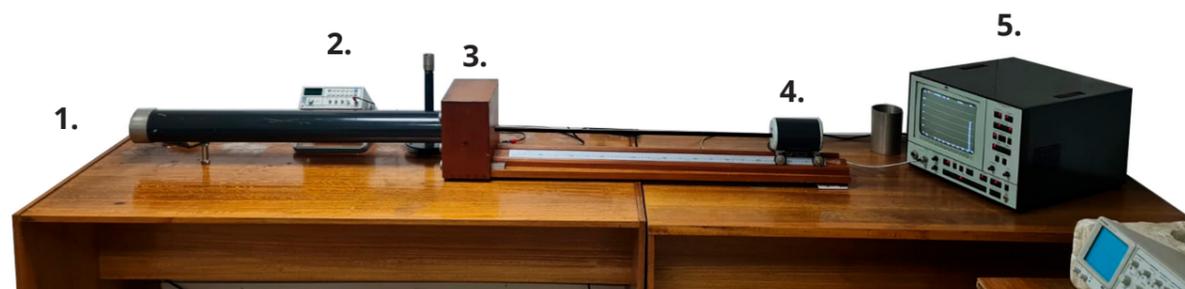


Figura 14. Tubo de Kundt del departamento de sonido de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

De igual manera, es crucial considerar el volumen del tubo de Kundt, pues dicha restricción condiciona directamente el diámetro de la muestra a revisar.

Volumen de un cilindro:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Esto implica que el volumen ( $V$ ) es igual a  $\pi$  por el radio al cuadrado por la altura del cilindro (espesor).

En síntesis, la literatura consultada sienta

las bases para el desarrollo de esta investigación, sin embargo, también da cuenta de los vacíos de conocimientos en la materia. De momento no hay evidencia sobre la incidencia que tienen los distintos tipos de sustratos en las capacidades acústicas del micelio, siendo este trabajo uno de los primeros, hasta donde se tiene conocimiento, en evaluar aquello. Con eso en mente, a continuación se detalla el proceso de elección de sustratos y se presenta la metodología desarrollada para propiciar el crecimiento del micelio.



Figura 15. Tubos de diferente diámetro para la captación de distintas frecuencias. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 16. Parlante, oscilador de frecuencia, monitor que obtiene los datos, de izquierda a derecha respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 17. Carro que se introduce en el tubo en busca de la onda sonora. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## PRIMER OBJETIVO

*"Investigar los distintos sustratos y procesos de crecimiento del micelio, estableciendo criterios de selección y los principios básicos para la experimentación."*

Se desarrolla el primer objetivo mediante la revisión de los criterios de selección del sustrato, los cuales, a su vez, se determinaron en función de la bibliografía consultada. Adicionalmente, se estableció una metodología para el crecimiento y desarrollo del micelio que, para esta investigación en particular, adquirirá una modalidad casera, sin implementos de laboratorio.

## CAPÍTULO II: OBJETIVO 1

### 2.1 INTRODUCCIÓN

#### Objetivo 1

*"Investigar los distintos sustratos y procesos de crecimiento del micelio, estableciendo criterios de selección y los principios básicos para la experimentación."*

El primer objetivo consistió en una aproximación al desarrollo y crecimiento del micelio con la incorporación de distintos sustratos, siendo necesario establecer los criterios de selección como los principios básicos para la experimentación.

### 2.2 SUSTRATOS

Tal como se mencionó anteriormente la elección de los sustratos para el desarrollo del micelio en esta investigación fue una decisión tomada, de acuerdo con lo consultado y referenciado, ya que el sustrato elegido incide en las propiedades del micelio. Esto último abre la posibilidad de manipular su desarrollo con el fin de potenciarlo para distintos usos, en este caso fue la capacidad acústica la característica más relevante para la investigación.

Basado entonces en la bibliografía consultada, se establecieron 3 criterios para la elección de cada sustrato:

1. Que cuente con propiedades de absorción acústica.
2. Que se relacione de forma óptima con la cepa.
3. Que sea de fácil adquisición.

#### Cartón

Según la Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje (ANIR, 2020) de

Chile, se recicla el 50,6% del cartón disponible en el país, y lo que no se logra gestionar es generalmente de origen domiciliario, el cual debido a la mala gestión termina en rellenos sanitarios. Basada en esta información y, con la finalidad de dotar a esta investigación de un sentido de sustentabilidad, se consideró el uso del cartón como un insumo relevante para el objeto de estudio. Los datos asociados al reciclaje del cartón se pueden apreciar en la Figura 18.

Con respecto a los criterios para la elección de los sustratos, en relación a las propiedades de absorción acústica, se debe considerar que los materiales con mayor porosidad, es decir, con más poros, son aquellos que cuentan con mayor absorción acústica (Castillo y Costa 2012). Asimismo, tal como expone Aragón (2016), "la porosidad en un material ayuda a mejorar las características de absorción acústica de un recinto y el cartón corrugado al ser un material abundante en el mercado, de costo mínimo y corrugas, permiten la circulación de aire en su interior". (pág. VI)

De igual forma, es importante que este sustrato sea capaz de propiciar un desarrollo notable en la cepa escogida. En cuanto a esto, Fernández, Gaggino, Kreiker, & Positieri, (2019) expone que uno de los casos más favorables para el crecimiento del micelio ha sido la pulpa de cartón corrugado doble onda y el cartón de huevos. Por todo lo anterior, este material se destaca como un sustrato de análisis por su aporte tanto desde el punto de la sustentabilidad y de la validación de su crecimiento.

## Aserrín

De acuerdo con la información que entrega el Instituto Forestal (INFOR), la producción de madera ocasiona varios residuos, entre los cuales se encuentran el aserrín, la corteza, los lampazos, la viruta, y los despuntes. De esta forma, el INFOR menciona que, en el 2015, del total de residuos producidos por la industria del aserrío\*, el 54,3 % de ellos fue de aserrín, posicionándolo como el

mayor residuo de esta industria (Figura 19).

De igual forma, Lavado (2021) expone que estos desechos no tienen un buen retorno al medioambiente, los cuales terminan siendo quemados (y liberando CO<sub>2</sub> a la atmósfera) o contaminando ríos. Es por ello que, emplear estos desechos en un nuevo material como el micelio minimizaría el impacto ambiental de la producción de madera.

Si bien actualmente no se cuenta con datos recientes acerca de los residuos que produce la industria del aserrío, se puede, razonablemente, asumir que estos no han variado drásticamente respecto del último valor observado en el año 2015.

La presunción anterior es posible dado que, como muestra la Figura 20, la producción chilena de maderas (incluyendo todos sus tipos) ha mostrado cierta estabilidad en el tiempo, teniendo en promedio un crecimiento a tasas marginalmente pequeñas. De esta manera, dado que los residuos dependen directamente de la producción de madera, es posible sostener que la evolución de los residuos de aserrín ha seguido una tendencia similar.

En función de lo anterior y del segundo criterio (relativo a la buena sinergia del insumo con la cepa), se revisó una basta literatura que posicionan al aserrín como un sustrato de control, debido a que se relaciona de buena forma con la cepa. Tal como mencionan Hernández y López (2008, pág. 78), el aserrín es “un sustrato eficiente, rentable para la producción del hongo y utilizable como cultivo control.”

## Avena

La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) expone que la superficie cultivada en la temporada 2018/2019 corresponde, en su mayoría, a trigo, maíz y avena. Asimismo, la producción ha ido en incremento desde esa temporada (Figura 21), lo cual posiciona a la avena en el tercer lugar en la producción de cereales en Chile.

Es por ello, que la avena se plantea como un sustrato de fácil acceso (Criterio N°3) y con una alta potencialidad en función de su buen comportamiento con la cepa. Tal como menciona Montenegro y Stuardo (2021), la avena y el rastrojo de trigo son unos de los sustratos más utilizados para el cultivo de hongos ostra, ya que son accesibles, baratos, y además están

Material de cartón disponible vs gestionado



Figura 18. Material disponible de cartón en el país y el material que ha sido gestionado después de su primer uso. Fuente: (ANIR, 2020, intervenido por el autor).

Residuos de la industria del aserrío en Chile

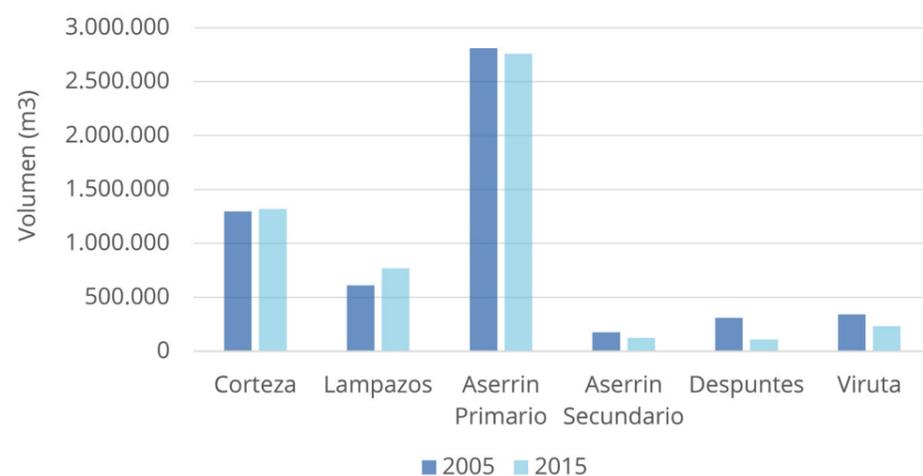


Figura 19. Residuos de la industria del aserrío en Chile. Fuente: (INFOR, 2015, intervenido por el autor).

\* Lugar en el que se sierra madera

Producción de la industria de madera a lo largo de los años

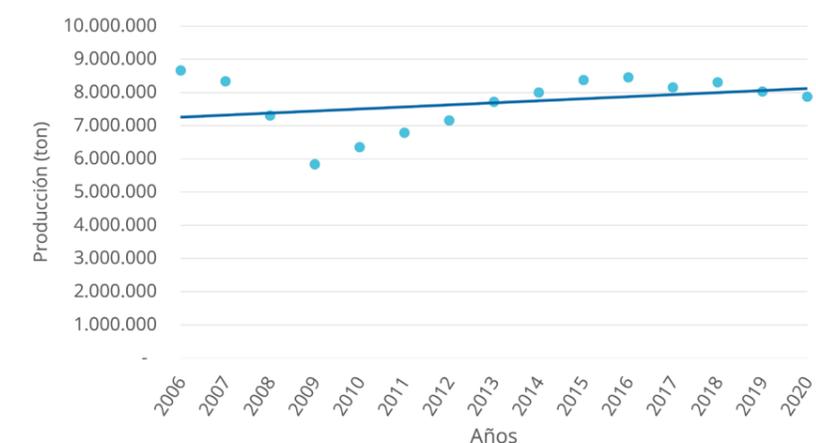


Figura 20. Producción de la industria de madera a lo largo de los años. Fuente: (INFOR, 2022, intervenido por el autor).

compuestos por celulosa y lignina, lo que genera propiedades aptas para el cultivo.

En función de todo lo anterior, los tres sustratos escogidos satisfacen cada uno de los tres criterios mencionados previamente. El cartón, al contar con una alta porosidad en sus propiedades, califica para clasificarse como un relativo buen aislante acústico. Por otra parte, se ha investigado que el aserrín interactúa de mejor forma con la cepa, mientras que la avena satisface la condición de fácil adquisición.

De igual modo, para complementar todo lo anterior, se consultaron múltiples referencias de distintos laboratorios entre los cuales se destaca el Manual

de Biofabricación con hongos del Laboratorio FADEU, del cual se logró establecer que la cepa se debe mantener en todo momento entre 22° y 28 °C, dependiendo de la especie. Asimismo, se procuró que el área de trabajo estuviese desinfectada en cada etapa y que el micelio reposara en un lugar sin luz solar y sin refrigerar. Además, se mantuvieron 2 rociadores, uno con agua y cloro al 10% (900 ml de agua y 100 ml de cloro en 1 litro de dilución) y otro con alcohol. También, se requirieron guantes y un lugar donde almacenar las muestras esterilizadas, como una caja de plástico. Además, el espacio donde se almacenen las muestras debe tener una humedad relativa al 60% para que el micelio pueda crecer de forma óptima.

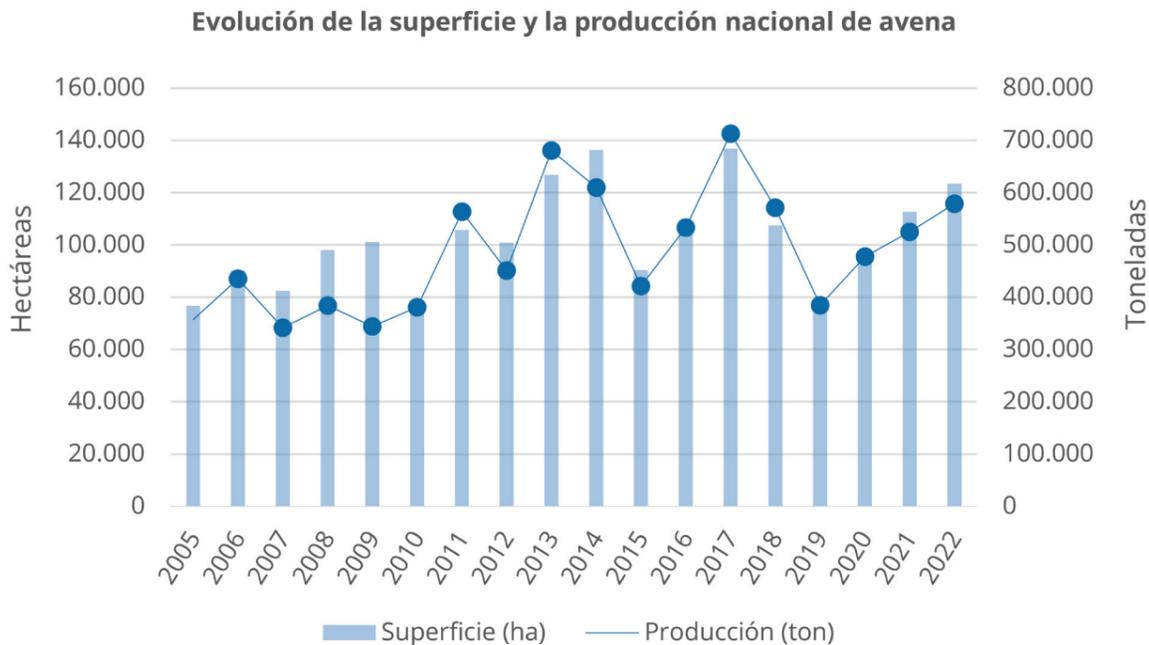


Figura 21. Evolución de la superficie y la producción nacional de avena desde el 2005 hasta julio del 2022. Fuente: (ODEPA, 2022, intervenido por el autor)

## 2.3 METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DEL MICELIO.

Para la producción del micelio se estableció una metodología que responde a los requerimientos básicos del sustrato en un ambiente casero, lo que permitió factibilizar el desarrollo del hongo. De esta forma, se establecieron 8 etapas para la producción, que consistieron en la definición de los pasos a seguir y los materiales que se necesitan para llevarlo a cabo. Dichas etapas se presentan a continuación:

### PROCESO

Antes de comenzar con la primera etapa se debe obtener el PDA (en español, Agar Papa Dextrosa), el cual es un medio rico en azúcares fáciles de sintetizar que es indispensable para que crezca y se desarrolle el micelio.

Este material se puede comprar, pero para esta investigación se elaboró caseramente de acuerdo a los recursos disponibles.

Materiales PDA (Figura 22):

- Papas
- Guantes
- Miel
- Agar Agar
- Paño de cocina
- Olla
- Olla de presión
- 1 litro de agua
- Frasco

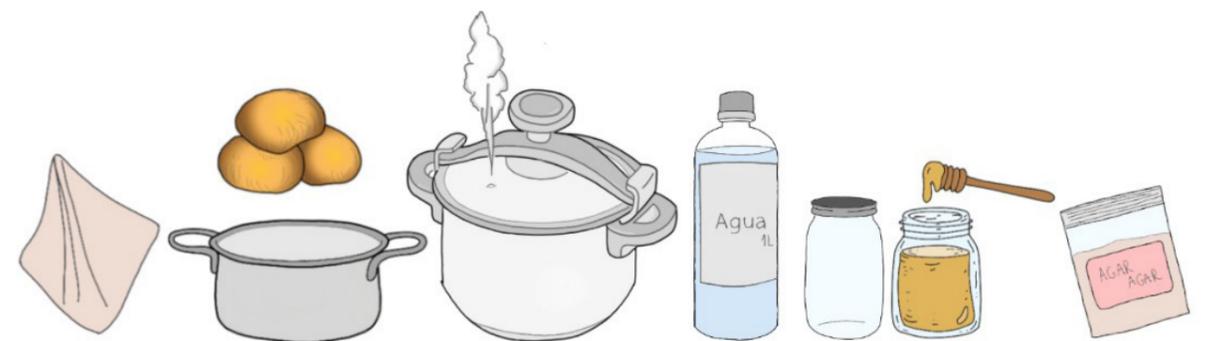


Figura 22. Materiales PDA. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

### PDA

1. Se cortaron 2 papas en trozos (con cáscara) que se hirvieron en 1 litro de agua durante una hora (Figura 23).

2. Luego de que hirvió, se dejó enfriar y se coló, introduciendo el líquido en un frasco (Figura 24).

3. Posteriormente, se le agregó 20 mg de agar agar y 20 mg de miel (dextrosa) (Figura 25).

4. Dado que la mezcla debe esterilizarse, el frasco se introdujo en una olla de presión con agua hasta la mitad de esta. El frasco no debe entrar en contacto directo con la olla, razón por la cual se dispuso un paño de cocina en la parte inferior (Figura 26).

5. Cuando la olla de presión comenzó a hervir a 100 °C se dejó por 80 minutos a fuego lento. Terminada la esterilización se pasó de inmediato a la Etapa 1, debido a que si el frasco se enfría se convierte en gelatina. Vale mencionar que, por cada litro de solución se obtuvieron 20 muestras (Figura 27).

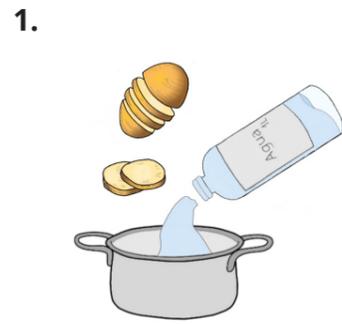


Figura 23. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 24. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 25. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

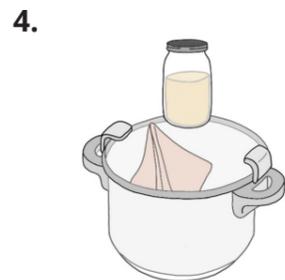


Figura 26. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

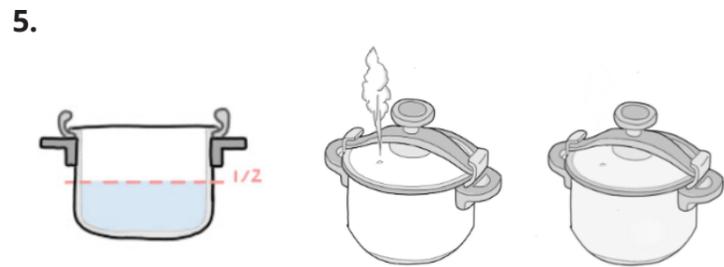


Figura 27. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 1. Inoculación PDA

Con esta etapa se inició la producción del micelio, a través de la inoculación de la semilla en el PDA.

Materiales (Figura 28):

- Placa Petri
- Cinta quirúrgica
- Pinzas
- PDA
- Semillas de micelio

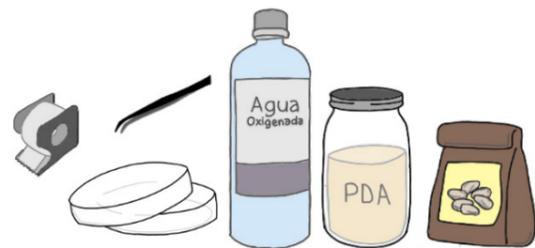


Figura 28. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**1.1** Para comenzar se distribuyó el agua oxigenada en la mitad de la placa Petri y se dejó reposar por 2 minutos para limpiar. Luego se retiró y se añadió el PDA (Figura 29).

**1.2** Cuando el PDA se convirtió en gelatina, se colocaron entre 3 a 4 semillas en la placa Petri utilizando unas pinzas esterilizadas (Figura 30).

**1.3** Se cerró la placa Petri con cinta quirúrgica para que esta no quedara en contacto con el exterior y no se contaminara. La cinta permite, a su vez, que exista un intercambio de gases. Adicionalmente, se registraron los datos esenciales de la muestra, a saber: fecha, cantidad de semillas, hongo empleado y la sustancia utilizada para el crecimiento (PDA) (Figura 30).

**1.4** A partir de esto, la placa Petri se selló completamente y se guardó entre 7 a 14 días (Figura 31).

### Recomendación

Se debe tener especial cuidado con la cinta quirúrgica, ya que esta puede mantener de mejor forma los hongos contaminantes del micelio, por lo que después de cada uso se le debe rociar alcohol.



Figura 29. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

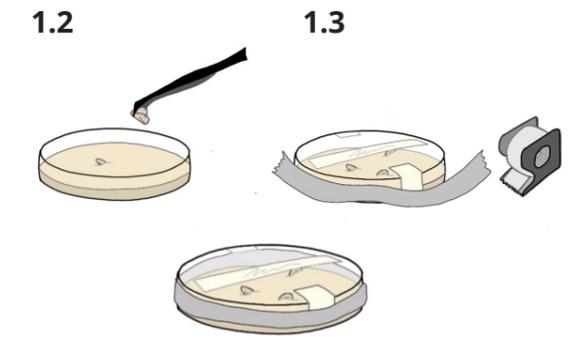


Figura 30. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

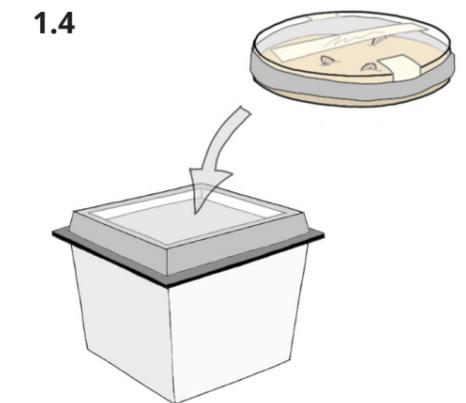


Figura 31. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 2. Esterilización del grano

Cuando la placa Petri se colonizó completamente, se realizó la esterilización del producto que posteriormente fue utilizado en la siguiente etapa (Etapa 3). Para esto, se usó arroz integral, el cual no debe tener más de un año desde su elaboración y, además, debe estar libre de pesticidas.

Materiales (Figura 32):

- Colador
- Arroz integral
- Paño de cocina
- Bolsa resistente a altas temperaturas
- Olla de presión
- Pocillo
- 1 litro de Agua



Figura 32. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**2.1** Para comenzar se lavaron los granos de arroz en 1 litro de agua hasta eliminar todas las impurezas. Luego se le echó un chorro de agua oxigenada (Figura 33).

**2.2** Los granos se dejaron reposar por 24 horas (Figura 34).

**2.3** Terminado el proceso anterior, se escurrió el agua y se dejó reposar un mínimo de 2 horas. Este estuvo listo cuando al apretarlo con la palma de la mano no salió agua. Además el grano se debe poder partir con una uña, ya que si se excede en la humedad el micelio no crecerá (Figura 35).

**2.4** Luego se echó  $\frac{3}{4}$  del arroz cocido en un frasco de vidrio o una bolsa de 500 ml (Figura 36).

**2.5** Dado que la mezcla debe esterilizarse, el frasco se introdujo en una olla de presión con agua hasta la mitad de esta. El frasco no debe entrar en contacto directo con la olla, por esto se dispuso un paño de cocina en la parte inferior (Figura 37).

**2.6** Cuando la olla empezó a soltar vapor, se le dejó reposar por 80 minutos a 100 °C. Finalizado el proceso, se espera que la bolsa con el producto adquiriera la temperatura ambiente para manejarla y se limpia exteriormente con alcohol (Figura 38).

#### Recomendación

Se puede remojar o precocer el arroz alrededor de 15 minutos para ablandarlo. La cifra exacta dependerá de la dureza del arroz.

### Etapa 3. Cultivo en Spawn

A partir de la esterilización anterior, se cultivó en Spawn, donde se utilizó la placa Petri colonizada con micelio.

Materiales (Figura 39):

- Bisturí
- Pinzas
- Placa Petri colonizada
- Arroz esterilizado

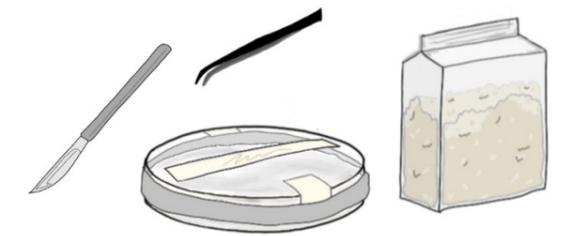


Figura 39. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**3.1** Para comenzar a inocular los granos cocidos obtenidos de la esterilización se ocupó  $\frac{1}{4}$  del micelio de la placa Petri. Este fue cortado con un bisturí, el cual se encontraba esterilizado y, a su vez, calentado al rojo vivo, para no traspasar ningún contaminante al micelio (Figura 40).

**3.2** Los trozos se dispusieron en la bolsa con arroz, estos fueron pequeños como la punta de un dedo. Cumpliéndose lo anterior, se limpió todo con alcohol (Figura 41).

Se generó un agujero a la bolsa, el cual se cubrió con cinta quirúrgica

para permitir el intercambio gaseoso.

**3.3** En función de esto, el cultivo en Spawn se selló completamente y se guardó. A los 6 días se agitó solo una vez y cuando el micelio colonizó el arroz, este estuvo listo para cultivar en sustrato (Figura 42).

#### Recomendación

Si existe una pequeña contaminación se puede intentar sacar con una cuchara desinfectada con alcohol. Asimismo, si este no se quiere cultivar de inmediato y se quiere conservar, se puede guardar bien cerrado durante 6 meses a 4 °C.

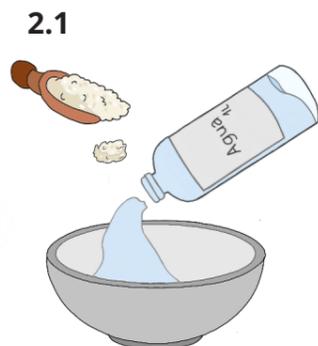


Figura 33. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 34. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

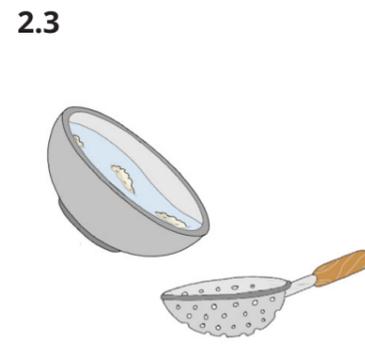


Figura 35. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

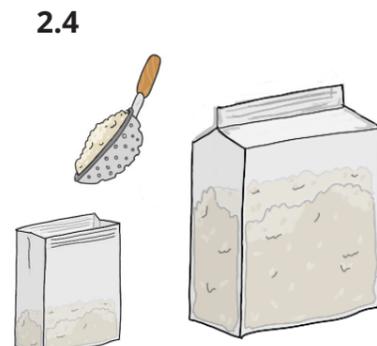


Figura 36 Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 37. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

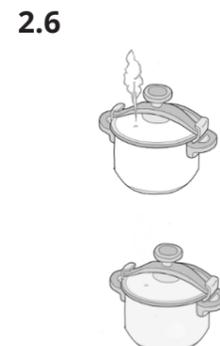


Figura 38. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

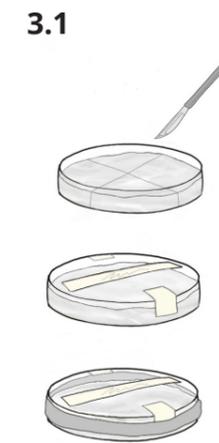


Figura 40. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

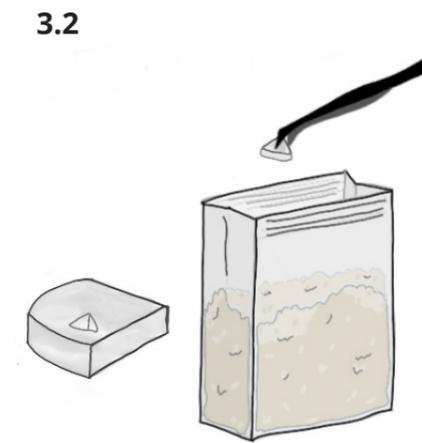


Figura 41. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

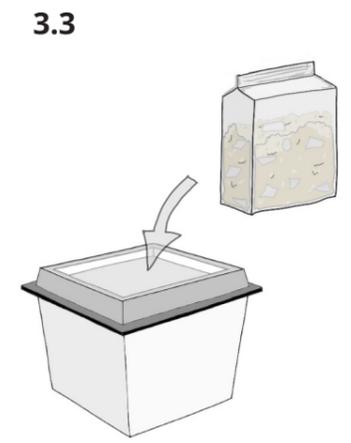


Figura 42. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 4. Esterilización de sustrato

Para continuar con la etapa siguiente se esterilizó el sustrato. Al igual que en la etapa 2, se preparó cada sustrato a utilizar (aserrín, avena y cartón). El único que tuvo un tratamiento previo fue el cartón, que debió ser cortado en trozos pequeños para que el micelio pudiera colonizarlo de mejor forma.

Materiales (Figura 43):

- Aserrín
- Avena
- Paño de cocina
- Cartón triturado
- Bolsas resistentes para altas temperaturas



Figura 43. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**4.1** A partir de esto, cada sustrato se colocó en una bolsa de 500 grs, capaz de resistir altas temperaturas (bolsas de poliestireno) (Figura 44).

**4.2** Se dispusieron en la olla de presión con las mismas especificaciones que en la Etapa 2.5 (Figura 45).

**4.3** Se insertó en la olla de presión con la mitad de agua y, cuando esta empezó a soltar vapor, se dejó 80 minutos a 100 °C. Terminado el tiempo indicado se esperó que las bolsas tomaran la temperatura ambiente para manejarlos y limpiarlos por fuera con alcohol sin abrirlos (Figura 46).

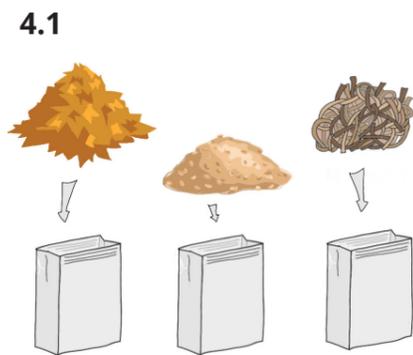


Figura 44. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 45. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

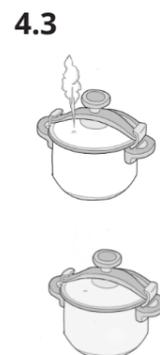


Figura 46. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 5. Cultivo en el sustrato

Luego de que se colonizaron completamente los granos cocidos y estuvo lista la esterilización, se hizo el cultivo en el sustrato.

Materiales (Figura 47):

- Aserrín esterilizado
- Cartón triturado esterilizado
- Avena esterilizada
- Micelio cultivado en Spawn
- Pinzas

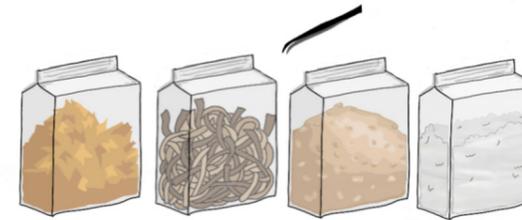


Figura 47. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**5.1** Al 10% del micelio colonizado se introdujo en el sustrato en distintas capas (el sustrato debe estar húmedo para que el micelio se desarrolle). Para asegurar un crecimiento óptimo del micelio, este fue distribuido en forma homogénea (Figura 48).

**5.2** Asimismo, se generaron pequeñas perforaciones en la bolsa, las cuales fueron cubiertas con cinta quirúrgica para que este mantuviera un traspaso constante de gases con el exterior.

**5.3** Se guardaron los sustratos de 7 a 14 días para que se colonizara completamente (Figura 49).

**Recomendación**  
Se le pueden agregar unas cucharadas de harina o borra de café (previamente pasteurizada) para acelerar el crecimiento del micelio.

## Etapa 6. Moldaje

Cuando el sustrato estuvo colonizado se pasó al moldaje, el cual fue el mismo para cada sustrato. El molde utilizado fue de 24 x 15 cm (las especificaciones pueden variar de acuerdo a la problemática)

**5.1**

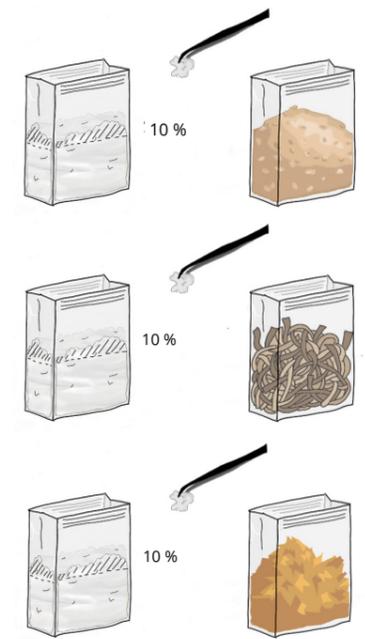


Figura 48. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**5.3**

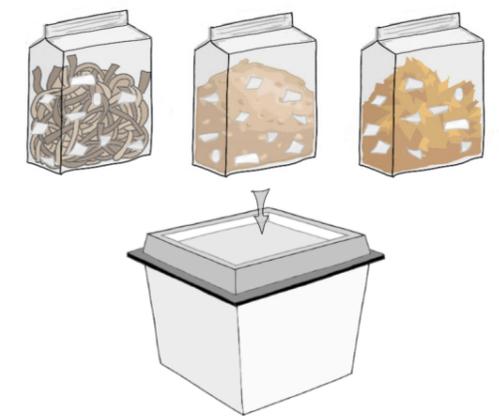


Figura 49. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Materiales (Figura 50):

- Pinzas
- Moldaje (dependiendo del proceso)
- Bolsas para poner el micelio en el molde
- Sustratos colonizados

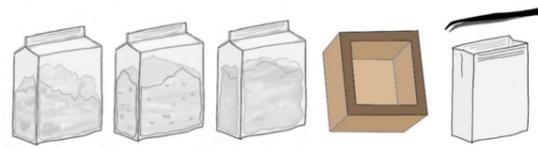


Figura 50. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**6.1** El micelio se traspasó a bolsas que se ajusten al moldaje, para así poder controlar el espesor de cada prototipo (Figura 51).

**6.2** La bolsa se puso en el molde, este tuvo una cara permeable al aire, la cual se selló con papel film y se perforó para mantener un microclima en su interior (Figura 52).

**6.3** Cuando el micelio colonizó la parte visible, este se volteó, para que la parte interior también creciera al ser expuesta al aire exterior. Este proceso duró de 7 a 10 días, sin contar el prensado (Figura 53).

6.1

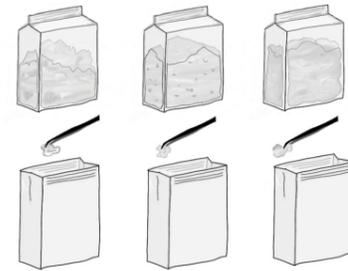


Figura 51. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

6.2

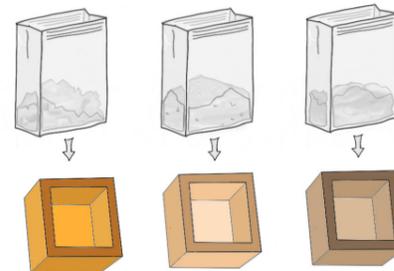


Figura 52. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

6.3



Figura 53. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 7. Prensa

El prensado se hizo cuando el micelio se adaptó por completo al moldaje. Este proceso se realizó con la finalidad de ajustar la densidad a niveles definidos para la investigación, que fueron de 7 0 mm, 50 mm, y 30 mm.

Materiales (Figura 54):

- Madera
- Prensa
- Moldes con micelio

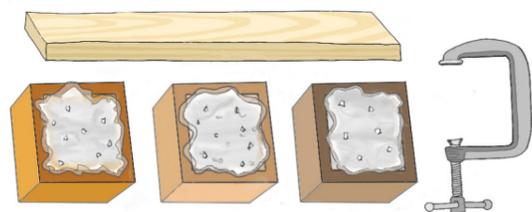


Figura 54. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**1.7** Se dispuso la madera de forma que calzara con el moldaje y se prensó durante 1 o 2 horas (Figura 55).



Figura 55. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Etapa 8. Secado

Cuando los prototipos estuvieron con la forma y el espesor adecuado, fueron secados para matar al hongo y evitar que este siguiera creciendo. Con esto se aseguró que el material no se pudiera contaminar durante el periodo útil.

Materiales (Figura 56):

- Molde prensado
- Horno

**1.8** Para realizar el secado se utilizó un horno a 180 °C por 1 hora. Existen otras maneras de secado, pero en esta investigación se hizo por calor (Figura 57).

### Recomendación

Si se quiere dejar vivo al micelio para que siga creciendo, se debe saltar este paso.

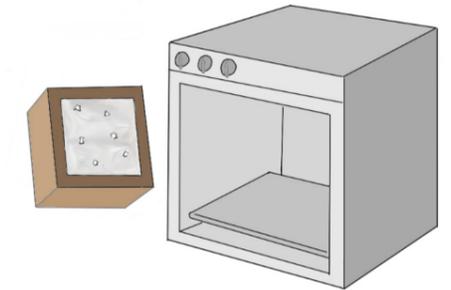


Figura 56. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

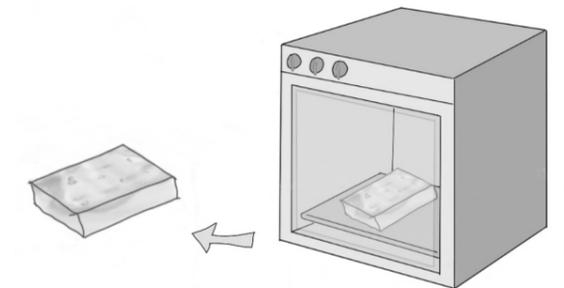


Figura 57. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## 2.4 SÍNTESIS

Para cumplir con la metodología planteada, se presupuestó un total de 54 días (Tabla 1). No obstante, dicho plazo está sujeto a grandes variaciones en caso de que surgiera alguna contaminación en cualquiera de los procesos. De esta forma se puede dar paso al crecimiento del micelio, el cual corresponde al objetivo 2 de esta investigación, que es cubierto en el siguiente capítulo.

Etapas		Tiempo estimado
1.	Inoculación PDA	7 a 14 días
2.	Esterilización del grano	2 a 4 horas
3.	Cultivo en Spawn	7 a 14 días
4.	Esterilización de sustrato	2 a 4 horas
5.	Cultivo en el sustrato	7 a 14 días
6.	Moldaje	10 días
7.	Prensa	1 día por cada molde
8.	Secado	1 día

Tabla 1. Tiempos teóricos de desarrollo del micelio  
Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## SEGUNDO OBJETIVO

**“Desarrollar el micelio con los diferentes sustratos escogidos para generar distintos prototipos de pruebas.”**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el objetivo 2, y a las problemáticas asociadas al desarrollo del micelio con los sustratos elegidos, se decide trabajar con un laboratorio para complementar tanto la metodología, como el conocimiento asociado al desarrollo del micelio. En última instancia, se presentan los imprevistos surgidos a lo largo de la experimentación y se describe cómo se llegó a buen término con 2 de los 3 sustratos empleados.

## CAPÍTULO III: OBJETIVO 2

### 3.1 INTRODUCCIÓN

#### Objetivo 2

**“Desarrollar el micelio con los diferentes sustratos escogidos para generar distintos prototipos de pruebas.”**

En función de lo revisado en el capítulo II se analizó la metodología, introduciendo modificaciones que permitieran subsanar los imprevistos ocurridos en el desarrollo del micelio.

A continuación, se describe el proceso por el cual debe pasar el micelio para llegar a convertirse en un absorbente acústico.

### 3.2 PRODUCCIÓN DEL MICELIO

De acuerdo con la metodología planteada se inició la inoculación de las semillas y preparación de PDA (Figura 57-58). Sin embargo, al terminar la esterilización, los frascos se encontraban a 100°C, debiendo dejarlos en reposo durante el tiempo necesario para que adquirieran la temperatura ambiente y, posteriormente, pasarlo a la placa Petri. Esto produjo que el PDA se gelatinizara en el frasco, por lo que se debió calentar de nuevo las muestras antes de comenzar con la etapa 1.

Teniendo presente lo ocurrido, se sugiere que al terminar esta etapa se comience inmediatamente la siguiente, por lo que es fundamental tener los insumos necesarios para completar la etapa 1. En caso de que no se utilice todo el PDA, se recomienda mantenerlo en el congelador a -4° C para que conserve sus características y sea posible reutilizarlo posteriormente.



Figura 57. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Figura 58. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Ya con el PDA listo, se inició la etapa 1 que consistió en la inoculación del micelio en el PDA, proceso que consistió en limpiar las placas Petri con un chorro de agua oxigenada y, en seguida, incorporar en ellas el PDA y las semillas. Para las primeras 3 inoculaciones se incorporaron 4 semillas; en cambio, en las siguientes 4 inoculaciones, solo se dispusieron 3 semillas (Figura 59), con la intención de comprobar si la cantidad de semillas puede afectar de alguna forma el crecimiento del micelio.

Tras 4 semanas, el micelio colonizó por completo las placas Petri. Al respecto, se realizaron 9 inoculaciones, de las cuales solo 7 llegaron a término. Lo anterior permitió seguir avanzando con las siguientes etapas. (Figura 60).

Vale mencionar que no se distinguió ninguna variación significativa en el crecimiento entre las inoculaciones de 3 y 4 semillas (Figura 62).



Figura 59. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

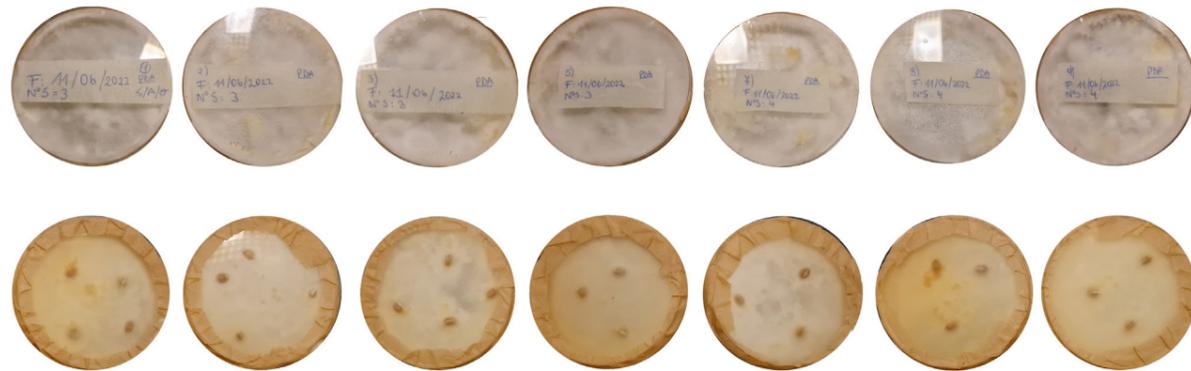


Figura 60. Placas Petris que colonizaron completamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 61. Lugar de almacenamiento de los procesos. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 62. Proceso de crecimiento de 2 placas Petris en 4 semanas. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Con las placas Petris colonizadas, se inició la esterilización del arroz, que consistió en cocer el grano de arroz durante 10 a 15 minutos a fuego lento (Figura 63) y, posteriormente, quitar el exceso de agua con un colador por 2 horas (Figura 64). Después, a partir de los materiales disponibles, se incorporaron 200 gramos de arroz en 7 bolsas (de 500 gr) (Figura 65) y 2 frascos (de 500 gr) (Figura 66) que luego fueron esterilizados (Figura 67).

Terminado este proceso, 4 de las 7 bolsas presentaron mal olor, lo que en un comienzo no fue considerado. Así, se procedió a la esterilización de las 7 bolsas y los 2 frascos, sin embargo, el mal olor persistió, decidiendo no considerarlas en el siguiente proceso.

Estas bolsas tenían bacterias que la esterilización no pudo eliminar, debido a la acumulación de agua que quedó estancada. En una autoclave no debería existir ese problema.



Figura 63. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 65. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 64. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 66. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 67. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 68. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Con la esterilización del arroz (Figura 68) y las placas Petris colonizadas, se procedió con la inoculación del Spawn (Figura 69), por lo que, se dividió cada placa en cuatro porciones (Figura 70-71-72) incorporando cada una de ellas en un recipiente con arroz esterilizado y revolviendo la mezcla con el fin de que tuviese una distribución uniforme (Figura 73- 74). El total de recipientes con que se trabajó fueron cinco.

A los 7 días se agitaron los frascos y las bolsas, ya que de esta forma el micelio se puede propagar por todo el arroz y logra colonizar el contenido completamente. Con el tiempo, se pudo observar que aquello favoreció la velocidad en la colonización. Cabe destacar que los cinco recipientes, por un mes y medio, se mantuvieron en un ambiente controlado para el óptimo desarrollo del micelio.



Figura 69. Materiales necesarios. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 71. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 70. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 72. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 73. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 74. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Ya con el arroz colonizado, se comenzó a esterilizar cada sustrato. En un principio, solo se esterilizó la avena, debido a que los otros materiales fueron más difíciles de conseguir. Ante las restricciones presupuestarias, se decidió utilizar bolsas y no frascos, dado que estos últimos eran complicados de obtener en grandes cantidades.

todos los sustratos en simultáneo, la precaución fue minimizar el riesgo de contagio entre ellos debido a la manipulación al inocular.

Luego de que se consiguieron los demás sustratos, se prepararon para la esterilización (Figura 75) y se dispusieron para la inoculación en aproximadamente 2 semanas. Al no esterilizar ni inocular

Con respecto a la cantidad de sustrato a utilizar, en un comienzo se trató de incorporar 500 grs de sustrato por bolsa, sin embargo, ello fue posible solamente con la avena. En el caso del aserrín, si bien se pudieron ingresar los 500 grs, ello fue a presión, y con el cartón solo fue posible incorporar 250 grs debido a su volumen. Una vez listos los sustratos en las bolsas, se procedió a su esterilización.



Figura 75. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Ya con la esterilización de los sustratos lista, se dio paso a la inoculación de la avena, para la cual se utilizaron 2 bolsas. Posteriormente, se hizo lo propio con el aserrín y el cartón. (Figura 76). A cada bolsa con sustrato se le incorporó una cucharada de arroz colonizado que luego fue revuelta para que el micelio pudiera colonizar de mejor forma el sustrato (Figura 77-78-79-80).

Pasado una semana, se pudo observar que las bolsas que contenía el sustrato avena no fueron colonizadas por el micelio y

que presentaban agentes contaminantes (Figura 81). Lo más complejo en este caso fue que se encontraban junto con el arroz y las placas Petri, lo que dejó como enseñanza que en cada etapa en la que el micelio se inocule, este se debe guardar en un sitio distinto. De lo contrario, se corre el riesgo de que una eventual contaminación de un determinado sustrato pueda ser traspasado a todos los demás. De ocurrir, esto podría retrasar sustancialmente los tiempos de producción, como ocurrió en este caso.



Figura 76. Sustratos cartón, aserrín y avena antes de la inoculación, respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 77. Cultivo en Spawn listo para pasar al sustrato. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 78. Incorporación del arroz con micelio en los sustratos de aserrín avena y cartón, respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 79. Sustratos ya inoculados. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 80. Sustratos ya inoculados. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 81. Avena contaminada. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Con los otros 2 sustratos (Figura 82-83), no se vio un mayor crecimiento del micelio, por lo que después de 6 semanas se decidió pasar al moldaje para favorecer la colonización, que hasta entonces avanzaba más lento de lo esperado. La principal causa de esto fue que, al intentar añadir más masa de sustrato en su respectiva bolsa, no se tuvo en cuenta que el micelio requería de más espacio para poder colonizar el sustrato. Al encontrarse el material tan apretado, el micelio tuvo grandes dificultades para propagarse por el resto del recipiente.

Para realizar lo anterior se realizaron seis moldajes a partir de las especificaciones del tubo de Kundt. El material empleado fue la madera, la cual fue cubierta con papel film, debido a que, si el micelio se junta con la madera, entonces sería muy difícil de separar, dado que este

tiene una predisposición natural a crecer en ella. Los moldajes se hicieron en dimensiones de 24 x 12 cm, a los cuales se le generó un lado permeable al aire y otro completamente cerrado con madera, pero con perforaciones de 5mm, para que la cara tuviera una transferencia constante de gases con el exterior (Figura 84).

Finalmente, se dispusieron los sustratos de cartón y aserrín en los moldajes, a los cuales se les agregó una cucharada de borra de café (pasteurizada), con la intención de que esta acelerara la colonización (Figura 85).

Luego de 4 semanas, los sustratos de cartón y aserrín fueron colonizados, por lo que se les dio vuelta en el moldaje, para que la cara que estaba cubierta quedara permeable y permitiera la colonización del micelio (Figura 86-87).



Figura 82. Sustratos con 6 semanas desde su inoculación. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 83. Interior de los sustratos sin crecimiento. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 84. Moldaje con perforaciones. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 85. Sustratos dispuestos en los moldajes. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 86. Moldajes de aserrín con 4 semanas de colonización. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 87. Moldajes de cartón con 4 semanas de colonización. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Ya con 10 días de colonización se comenzó con el secado del micelio, proceso que duró una hora por moldaje en un total de seis. En los primeros 20 minutos, los moldajes se secaron a 170 °C, no obstante, en los restantes 40 minutos estos fueron dejados a 100 °C (Figura 88-91).

Hay que tener en consideración que al secar los moldajes estos disminuyen su tamaño en 1cm aproximadamente por lado. Información que se tuvo en cuenta al establecer las dimensiones de los moldajes, por lo que luego del secado se empezaron a disponer las muestras en el tamaño adecuado para realizar las mediciones.

Se dispusieron 6 muestras, 3 de cada sustrato, y se definieron distintos espesores: 30, 50 y 70 mm. Al necesitarse 2 diámetros distintos (29 y 99 mm), se creó un total de 12 muestras: 6 de 99 mm y 6 de 29 mm. Para que las muestras no sufrieran ningún tipo de deformación al trasladarse al Departamento de Sonido de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile, se construyeron moldes de cartón de acuerdo a los diámetros y espesores antes mencionados. Luego de esto las muestras estuvieron listas para ser medidas (Figura 89-90).



Figura 88. Cartón colonizado con micelio vivo en la parte superior, parte inferior micelio secado en horno listo para pasar al tamaño adecuado para la medición. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 91. Aserrín colonizado con micelio vivo en la parte superior, parte inferior micelio secado en horno listo para pasar al tamaño adecuado para la medición. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 89. Cartón dispuesto con las medidas necesarias para su medición. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 90. Aserrín dispuesto con las medidas necesarias para su medición. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Al pasar ambos sustratos a los moldajes de carton para las mediciones se percibió que el cartón tenía una mejor colonización por dentro. Por el contrario, el aserrín solo contaba con una capa de micelio en la parte superior y nada en el interior. Esto se debe a que el aserrín cuenta con partículas más pequeñas que el cartón, por lo que es más complejo que el micelio pueda penetrar en este.

También hay que recalcar que, al matar el hongo, la capa de micelio que se encontraba en el aserrín disminuyo significativamente, por lo que era más difícil de manejar para pasarlo al tamaño de las mediciones.

### 3.3 LABORATORIO FABLAB

Tal como se mencionó anteriormente, el micelio no consiguió colonizar la avena, mientras que los sustratos de cartón y aserrín no exhibieron mayor crecimiento en sus bolsas. En respuesta a aquello, y dado el límite de tiempo para llevar a cabo esta investigación, se estableció contacto con personas que trabajan con micelio y cuentan con el espacio y equipamiento para desarrollar este proceso en un laboratorio. Con su ayuda, se consiguió trabajar el micelio en el FabLab de la Universidad de Chile que funciona en la Facultad de Ingeniería, a fin de realizar la experimentación en un entorno controlado.

En FabLab, se pudo conocer otro tipo de metodología, basada en las especificaciones técnicas en función de la experiencia con la cepa. De esta forma, se consiguió un espacio más favorable y conocimiento adicional para aumentar la producción de la cepa bajo el estudio distintos estándares y funcionamientos.

Uno de los principales requerimientos que hace que el crecimiento sea posible, es la utilización de peróxido de hidrógeno para limpiar. Este es un químico muy agresivo, el cual mata cualquier hongo, incluso el micelio, por lo que hay que tener especial precaución al utilizarlo, ya que puede ser contraproducente para el crecimiento del micelio. Este químico también produce quemaduras muy graves si llega a tener contacto con la piel, de modo que, de intentar replicar el proceso, se debe tener sumo cuidado con él.

En adición a lo anterior, se produjeron insumos mínimos adicionales para propiciar el desarrollo de los nuevos cultivos de micelio. En particular, se fabricó una

incubadora artesanal (Figura 92), la cual fue construida con una base de PVC, de tamaño adecuado para albergar todas las etapas de la producción de micelio antes descritas. Incubadora que debe contar con 2 capas; la primera tiene la finalidad de proteger la cepa del exterior, mientras que la segunda actúa como protector para impedir el paso de la luz, conservando plena oscuridad al interior. Esta envoltura permitió que el peróxido de hidrogeno no se traspasara al exterior. Por otra parte, para que la cepa mantuviera una temperatura interior de 25 ° C, se introdujo a la incubadora un frasco con agua y un calentador de pecera, el cual debía estar sumergido en agua todos los días, para que al evaporarse el agua, se calentara el interior de la incubadora.

Asu vez, también se utilizó una cámara de flujo laminar (Figura 93), la cual permitió tener un espacio limpio de cualquier contaminante en el cual trabajar. La cámara requiere, por construcción, que uno disponga las manos de manera constante en su interior, lo que permite trabajar en su interior de acuerdo a procedimientos establecidos, sin que se genere contaminación. Sin embargo, aquello dificultó obtener registros fotográficos de esta parte del proceso.

A partir de los nuevos conocimientos e implementos, fue posible saltarse algunas etapas, mientras que otras fueron complementadas con nuevos conocimientos. De esta manera, la etapa 1 no se lleva a cabo, ya que se consiguieron placas Petris colonizadas con la cepa escogida y, a su vez, todas las etapas de esterilización fueron omitidas, debido a que se consiguió una autoclave en un laboratorio.



Figura 92. Incubadora utilizada en laboratorio. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 93. Cámara de flujo laminar usada en los distintos procesos de inoculación. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



#### Materiales de cultivo de Spawn

- Cucharas
- Placas Petri
- Arroz esterilizado
- Peróxido de hidrógeno
- Pinzas
- Bisturí

Figura 94. Inoculación del Spawn. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Lamentablemente, como es parte de un laboratorio, el proceso de esterilización fue realizado por terceros, a los cuales se les entregaban los productos a esterilizar, de modo que no se logró observar cómo se realizaba este proceso. En función de lo anterior, la esterilización no se mencionará como parte de alguna etapa en específico, ya que no se tiene evidencia para explicarlo en mayor detalle.

Así, el nuevo procedimiento se inició desde el cultivo en Spawn (Figura 94), en donde se puso a cocer el arroz por unos 15 minutos a fuego bajo. Luego de que estuvo listo, el arroz se traspasó a frascos de vidrio, los cuales se llevaron a la autoclave. Cuando estuvo esterilizado, se preparó la inoculación en la cabina de flujo laminar, disponiendo todo lo necesario para la inoculación y limpiando todos los implementos con peróxido.

Una vez que el espacio de trabajo estuvo listo se dio inicio al proceso. Iniciado el proceso, se cortaron pequeños trozos de micelio (del tamaño de la punta de un dedo) de la placa Petri con el bisturí, 3 de estos trozos fueron insertados en el arroz, en donde se tuvo el cuidado de que fuera el PDA (presente en los trozos de micelio) el que entrara en contacto con el arroz, y no el micelio. Esta vez no se revolvió el frasco durante la inoculación (como sí se hizo en la parte casera), pues, de lo contrario, no se puede asegurar que sea la parte del PDA la que quede en contacto con el arroz. Sin perjuicio de lo anterior, vale mencionar que transcurridos 7 días desde la inoculación, se debe agitar el frasco, ya que el micelio tiende a propagarse mayoritariamente por los bordes, y no por el centro.

Simultáneamente, la avena que se estaba trabajando de manera casera se

contaminó por completo. Este traspasé se debió a que los sustratos deben tener un pH neutro para que el micelio los pueda colonizar. De no ser así, el micelio se contaminará, por más que se siga un protocolo estricto en su cuidado. Por esta razón fue necesario comenzar un nuevo proceso con el sustrato avena, desde cero en el laboratorio. Lo mismo se realizó con el cartón, debido a que en el proceso casero tuvo un lento desarrollo.

Se esterilizaron los sustratos necesarios para hacer 3 moldajes de cada sustrato (avena y cartón) (Figura 95). A continuación, se introdujeron todos los insumos necesarios a la cámara de flujo laminar, en donde se separaron aquellos moldajes de distinto sustrato, para minimizar los riesgos de contaminación entre ellos.

Para la inoculación de la avena (en la cámara de flujo laminar), se constató el pH del sustrato, para lo cual se colocó la avena en un bowl. De ahí se extrajo una cucharadita que se dispuso en un pote con agua, el cual se revolvió y colocó en contacto con una tira de pH. Dicha tira permite medir el pH de la sustancia con la que entra en contacto, en función del color que adquiere (Figura 96). En este caso, la avena mostró un pH de 5, que es más ácido que el pH neutro, el cual está en el rango de 6 y 7 (Figura 96). Para modificar el nivel de acidez de la avena, se le añadió una cucharada de cal viva al bowl, se revolvió y luego se volvió a comprobar el pH. Esta vez el resultado fue mejor, pues la muestra evidenció un valor de 7 (Figura 97).

Hay que tener en cuenta que la cal se debe añadir sutilmente, ya que es muy fácil que el pH se exceda hacia el lado básico, para lo que se necesitará de alguna sustancia ácida para recalibrar

hacia un nivel neutro. Si no se cuenta con cal, se le puede poner soda cáustica, no obstante, con esta última se debe tener aún más cuidado, pues, además de su peligrosidad al entrar en contacto con la piel, esta se encuentra en un nivel todavía más extremo de la escala de pH.

Habiendo logrado el pH adecuado, se inició la inoculación del sustrato. En cuanto a esto, se procedió a disponer el micelio en el bowl (donde estaba la avena). Para esto, se pesa el sustrato y se añade el 10% de su peso en micelio. En este caso se tenía 1 kilo de avena, por lo que se dispusieron 100 grs de micelio. Adicionalmente, se agregaron 100 grs de borra de café para acelerar el crecimiento del micelio.

Luego de que el micelio y la borra estuvieran integrados, se dispuso en los moldajes que conservaban las especificaciones del procedimiento casero. Se tuvo la precaución de rellenar el moldaje hasta el borde y, posteriormente, cubrir con papel film para sellar. De igual forma, se perforó el

papel film para que tuviera un traspaso constante de gases (Figura 99).

Después, se les dispuso aluminio en la parte que está más expuesta a la luz, ya que la incubadora tiende a permitir cierto paso de la luz. Así, se procedió a guardar el material por unas 2 semanas para la colonización del molde. Cuando se terminó el proceso de inoculación con la avena se sacaron todos los insumos de la cámara y se limpió con peróxido para proceder con la inoculación del cartón, el cual siguió el mismo procedimiento.

Ya pasadas 2 semanas la avena no contaba con ningún crecimiento significativo. De esta forma, debido a las complicaciones del crecimiento y las diversas contaminaciones en el proceso casero, este sustrato dejó de ser parte de las mediciones acústicas. Los moldajes de cartón, en cambio, mostraron un mayor crecimiento, pero al no conformarse colonización completa no formaron parte de las mediciones y solo se hicieron muestras de los sustratos desarrollados caseramente (Figura 100-101).

#### Materiales del cultivo de moldaje

- Cucharas
- Pinzas
- Bisturí
- Tiras de pH
- Cultivo Spawn
- Sustratos esterilizados
- Peróxido de hidrógeno
- Bowl
- Papel film
- Pesa
- Alcohol
- Moldajes



Figura 95. Sustratos y micelio. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

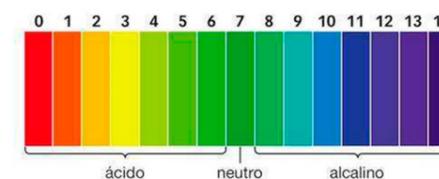


Figura 96. Rangos del pH. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

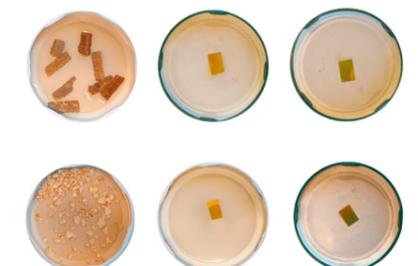


Figura 97. Tiras de pH. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 98. Cámara de flujo laminar con los implementos necesarios para la inoculación de los sustratos. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 99. Moldajes inoculados. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 100. Avena sin muestras de crecimiento luego de 2 semanas desde la inoculación. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 101. Cartón con crecimiento parcial luego de 2 semanas desde la inoculación. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

### 3.4 SÍNTESIS

En función de lo anterior, no se lograron avances significativos en el sustrato restante (avena) para las muestras que se desarrollaron en el laboratorio. Aun así, el trabajo realizado allí fue de gran ayuda para complementar la metodología y ampliar los conocimientos en el tema.

La avena fue el sustrato que implicó más dificultades en todo el proceso. De hecho, en el laboratorio, aún con muchas de las variables controladas, no se consiguieron avances importantes, debido a que el micelio requiere de un 60% de humedad para crecer y la avena, al adquirir humedad, se torna una sustancia mucho más densa. De esta manera, añadir humedad hubiera

provocado que el micelio no lograra colonizarla. Por esto, se decidió esperar que el micelio creciera en dicho sustrato solo con la humedad ambiente, lo cual, de todas formas, no prosperó. Por todo lo anterior, se reconoció que la avena no funcionaría para producir un moldaje apto para la medición acústica.

Ahora bien, el procedimiento realizado de forma casera con el micelio sí logró llegar a buen término en los moldajes de aserrín y cartón. Estos permitieron iniciar las mediciones de los coeficientes acústicos, los cuales se especificarán en detalle en el siguiente capítulo.

## TERCER OBJETIVO

*“Analizar las capacidades acústicas de los prototipos de micelio, según los diferentes sustratos usados para su crecimiento..”*

A partir de las muestras producidas en el capítulo anterior, se comienza a realizar una revisión de la información principal para hacer las mediciones en el tubo de Kundt. Luego de obtener los resultados, se desarrollaron las reflexiones necesarias para comprender las respuestas de las muestras a las mediciones.

Asimismo, debido a que los gráficos solo permiten ver 2 variables a la vez, se estimaron modelos de regresiones lineales para incorporar más variables a las interpretaciones.

## CAPÍTULO IV: OBJETIVO 3

### 4.1 INTRODUCCIÓN

#### Objetivo 3

***“Analizar las capacidades acústicas de los prototipos de micelio, según los diferentes sustratos usados para su crecimiento.”***

Con los moldajes ya listos y el micelio dispuesto con las especificaciones necesarias para medirlos tanto en espesor, como en diámetro, se tomaron las mediciones de los coeficientes acústicos.\*

Para la realización de las mediciones se ocupó un tubo de Kundt que se

encuentra en el Departamento de Sonido de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile. Equipo proporcionado por la profesora Carla Badani, Ingeniera Acústica y doctora en lingüística, envejecimiento y sintaxis, quien además se encargó de instruirnos para utilizarlo.

Antes de empezar con lo anteriormente expuesto fue necesario entender cómo funciona el tubo de Kundt, cómo se toman las mediciones, los errores o los márgenes que se pueden esperar en particular con ese tubo. Luego de aquello se expondrán las mediciones de cada una de las muestras, junto con sus interpretaciones.

### 4.2 FUNCIONAMIENTO TEÓRICO DEL TUBO DE KUNDT

El tubo de Kundt cuenta con varios aparatos, los cuales permiten realizar las mediciones acústicas en distintas frecuencias. Estos son (Figura 102):

- Tubo con contenedor de muestra (grande y pequeño) (1)
- Oscilador de frecuencia (2)
- Parlante (3)
- Carro (guía de onda y regla) (4)
- Analizador de espectro mono canal (monitor) (5)

Asimismo, el tubo de Kundt fue creado, en un principio, para visualizar las ondas sonoras, no obstante, en la actualidad este es

empleado para medir la velocidad del sonido y la impedancia acústica. Sobre su funcionamiento, Moeser (2004) señala:

Para poder determinar la absorción y reflexión sonora de una muestra de material bajo condiciones de incidencia normal, es necesario primero producir una onda plana en el laboratorio (...) se pueden lograr condiciones bien definidas y fáciles de reproducir, cuando el sonido está restringido a un

\*La variable controlada para efectos de crear las muestras fue el espesor, debido a que los volúmenes de los sustratos son diferentes, por lo que era más complicado igualar las densidades

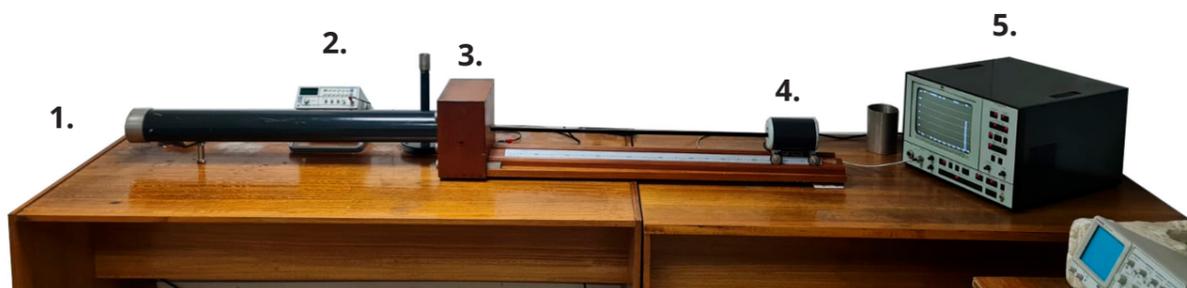


Figura 102. Tubo de Kundt del Departamento de Sonido de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 103. Tubos de diferente diámetro para la captación de distintas frecuencias. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 104. Parlante, oscilador de frecuencia, monitor que obtiene los datos, de izquierda a derecha respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 105. Carro que se introduce en el tubo en busca de la onda sonora. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

medio continuo unidimensional. Esto se puede realizar en un tubo rígido, donde el sonido es guiado internamente y forzado a propagarse en la dirección axial del tubo. Este tubo, utilizado para determinar las propiedades acústicas de una muestra ubicada al final de este, se denomina tubo de impedancia o tubo de Kundt (Kundt lo utilizó para demostrar las propiedades de onda del sonido). (pág. 167-168)

En base a lo anterior, el principio general para el funcionamiento del tubo de Kundt fue generar una onda plana longitudinal en el interior del tubo (Figura 103), la cual se extiende a lo largo de este. Esto se produce por el oscilador de frecuencia, (Figura 104) el cual transmite la frecuencia sonora a través del parlante que se encuentra en el extremo contrario a la muestra (Figura 104). El fenómeno de interferencia que se genera entre la onda sonora incidente en el material y la onda reflejada es una onda estacionaria, la cual entrega los datos necesarios para calcular el coeficiente de absorción acústica. Es posible obtener estos datos por medio de un carro (Figura 105) que cuenta con un receptor de onda que se introduce en el tubo para buscar los decibeles máximos y mínimos de la onda estacionaria, los que después se ven reflejados en el monitor (Figura 104).

Para poder sacar el coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) de las muestras existe una relación matemática, la cual relaciona el coeficiente de absorción acústica con la

diferencia de las amplitudes máximas y mínimas ( $\Delta L$ ) de la onda estacionaria que se forma en el interior del tubo, esta es:

$$\alpha = 1 - [10 (\Delta L/20) - 1] / [10 (\Delta L/20) + 1] 2 *$$

A partir de lo anterior, se debe tener en conocimiento que las muestras se deben medir en distintas frecuencias, ya que van a actuar de distinta forma dependiendo de sus características, por lo que van a tener distintos coeficientes de absorción (cuyos valores oscilan entre 0 y 1) en función de la frecuencia utilizada. Es por ello que, se debe tener un amplio espectro de frecuencias (estas actúan de diferente forma dentro del tubo)

Las frecuencias más bajas (entre 125-500 Hz) tienen una larga longitud de onda, (Figura 106) por lo que los máximos y los mínimos están muy alejados. Por esto, se necesita un tubo largo y espacioso (de diámetro de 99 mm) (Figura 107) para obtener los datos que se requieren. Por el contrario, las frecuencias más altas (entre 1000-4000 Hz) cuentan con una longitud de onda corta, (Figura 106) por lo que sus máximos y mínimos están a muy poca distancia el uno del otro. De esta manera, para poder medir las frecuencias más altas se debe cambiar a un tubo mucho más pequeño (diámetro de 29 mm) (Figura 108). Ambos diámetros deben considerarse desde un comienzo, debido a que la muestra se debe adecuar a estos, tal como se hizo en la investigación.

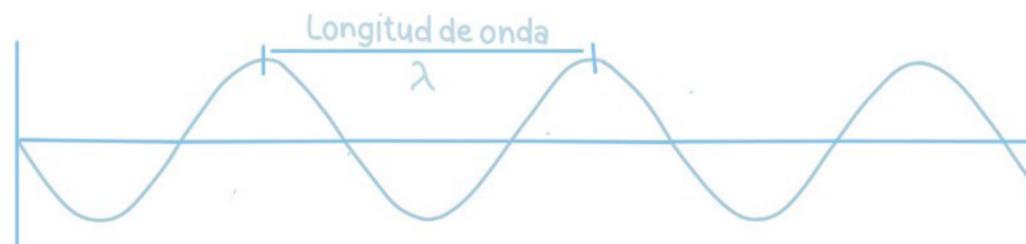
El registro de los datos fue relevante para obtener los resultados finales, luego para llevar a cabo un trabajo ordenado, los datos obtenidos fueron agrupados en una base de datos con el formato de tabla que se muestra en la Tabla 2:

\*Esta fórmula es empleada para cada frecuencia.

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Amplitud mínima	Amplitud máxima	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	82,1	92,3	10,2	815	150	665	680	0,721	5,33	1,02%
	250	253,8	81,2	96,9	15,7	376	36	340	340	0,484	0,00	1,02%
	500	507,9	73,4	85,8	12,4	175	340	-165	170	0,624	5,67	1,02%
Tubo pequeño	1000	1014,9	64,4	81,5	17,1	824	908	-84	85	0,430	1,33	1,02%
	2000	2030,5	53,4	67,8	14,4	782	821	-39	42,5	0,538	1,50	1,02%
	4000	4061,2	79,9	89,9	10	804	826	-22	21,25	0,730	0,25	1,02%
									NRC	0,519		

Tabla 2. Ejemplo de tabla utilizada en las mediciones acústica. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

### Onda de frecuencia baja



### Onda de frecuencia alta

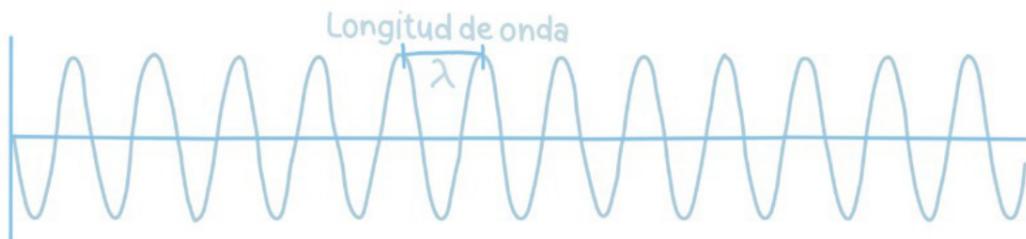


Figura 106. Distintas longitudes de ondas debido a la diferencia en la frecuencia (bajas y altas). Fuente: (Elaboración propia, 2022).

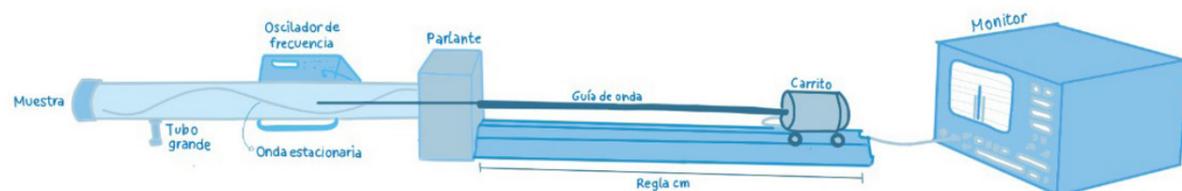


Figura 107. Tubo de diámetro de 99 mm de frecuencia bajas. Fuente: (Elaboración propia, 2022).



Figura 108. Tubo de diámetro de 29 mm de frecuencia altas. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## 4.3 ERRORES Y MÁRGENES

Uno de los puntos más importantes al momento de manipular el tubo de Kundt es saber que existen ciertos tipos de errores que se pueden presentar en las mediciones. Estos errores son instrumentales y experimentales. Los primeros dependen de las características de los instrumentos, mientras que los segundos dependen de quien realiza la medida y cómo la realiza.

Los errores instrumentales se deben a que los instrumentos que se utilizan tienen ciertos rangos de validez. El error de un instrumento análogo corresponde a la mitad de su medida, es decir, si se tiene una distancia de 1cm, el error asociado es de 0,5mm. En el caso de los errores de los instrumentos digitales, estos corresponden a su unidad de medida mínima: por ejemplo, si el instrumento emplea Hz como unidad de medida mínima, entonces el error asociado será de 1 Hz.

Los errores experimentales están directamente relacionados con la realización del experimento, pues se deben a las condiciones en las que se desarrolla y a la forma en que la persona a cargo lo lleva a cabo. Si se toma una medición reiteradas veces, es muy probable que se obtengan resultados similares. Esto se puede deber a varias razones, como cambios en el posicionamiento del material, irregularidades de la geometría, cambios en la temperatura, la experiencia o la inexperiencia con la medición.

Los errores existen siempre, por lo que hay que tenerlos en cuenta y tratar de minimizarlos. A su vez, también es importante tomar las mediciones reiteradas veces para poder estimar un promedio entre ellas.

En el caso del tubo de Kundt se reconocen diversos errores experimentales, tales como la localización del tubo, que al encontrarse en un piso inferior (-2) implica estar expuesto a una temperatura y humedad mucho menor a la del ambiente "normal". Es importante saber a qué temperatura se realizan las mediciones debido a que condiciona la velocidad en la que se propaga el sonido y en la lectura de los datos. Hay que considerar que debido a la pandemia este aparato dejó de ser utilizado y recién este año se empezó a emplear de forma intensiva, lo que puede incidir retrasando la muestra de las imágenes (monitor). No obstante, lo anterior era imposible de controlar.

Otro de estos errores se puede deber a la poca experiencia que se tiene con el aparato. Para abarcar este problema, se agendaron varias sesiones de aprendizaje con la profesora Badani para aprender a usar de manera correcta el tubo de Kundt. Adicionalmente, mencionar que el tubo empleado contaba con pequeños desajustes en la zona en donde se dispone la muestra, los cuales dificultaban la posición de paralelismo que debe tener esta con la onda sonora. Esto fue problemático, sin embargo, se corrigió marcando la posición en la que la muestra quedaba paralela al parlante (y, por ende, a la onda de sonido). En consecuencia, este problema no debería haber afectado los resultados.

Luego, el proceso por el cual se estimaban los mínimos y los máximos manualmente (a través del carrito), puede aumentar los errores sobre los datos obtenidos. No obstante, esto se puede controlar por medio del  $\lambda/4$  teórico, el cual se define como la distancia que se debe recorrer de un mínimo a un máximo, y viceversa.

Por ejemplo, si la frecuencia de banda es de 125 Hz tiene un  $\lambda/4$  teórico de 680 cm que corresponde a la distancia que el carro debe transitar desde un máximo hasta un mínimo para encontrar teóricamente dichos puntos. En la práctica, esto se logra obtener por medio de una regla en la parte inferior del carro, la que permite anotar en que posición se encontró cada mínimo y máximo. La resta de la posición de ambos puntos corresponde al  $\lambda/4$  estimado real. Este margen de incertidumbre se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Margen de incertidumbre} = x - VVC$$

En donde x es la media del  $\lambda/4$  estimado y VVC es el Valor de Control, que corresponde al  $\lambda/4$  teórico. Esto se debe hacer en cada frecuencia y de manera agrupada por cada sustrato.

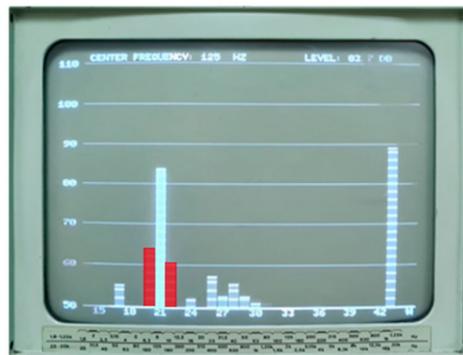


Figura 109. Oscilador de frecuencia establecido en la frecuencia de 125 Hz, en la parte superior se encuentra el monitor que muestra que las bandas laterales no están calibradas. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

En relación con los errores instrumentales digitales que se encuentran en el tubo de Kundt, es la variación (no deseada) que puede tener la frecuencia dentro del tubo. Para corregir este error se hace uso del monitor, el cual reconoce tanto el nivel de frecuencia que se mide, como el que se genera al interior del tubo. Con esto, el monitor a través de unas bandas laterales informa si la frecuencia se encuentra, o no, en la medida exacta que se desea utilizar (Figura 109). Luego para que la frecuencia este calibrada, se tiene que ajustar los Hz hasta que las bandas laterales se sitúen a la misma altura (Figura 110).

Ya expuestos todos los posibles errores, tanto instrumentales como experimentales, se procede a explicar cómo se utiliza el tubo de Kundt para medir los coeficientes acústicos de las muestras.

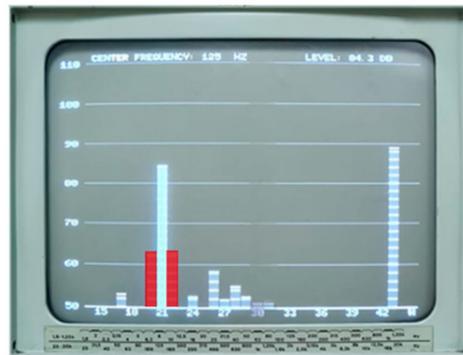


Figura 110. Oscilador de frecuencia establecido en la frecuencia de 127 Hz, en la parte superior se encuentra el monitor que muestra que las bandas laterales sí se encuentran calibradas. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

#### 4.4 FUNCIONAMIENTO PRÁCTICO DEL TUBO DE KUNDT

Las mediciones se hicieron con una temperatura de 20 °C y todas las muestras se midieron el 17 de noviembre. Para iniciar el proceso, se dispuso cada muestra en un extremo del tubo y luego se encendieron todos los instrumentos de medición. En paralelo, se generó un archivo Excel para dejar registro de todos los datos que se fueron desprendiendo del procedimiento.

Hecho lo anterior, se dispusieron las frecuencias a observar en el oscilador de frecuencia y se calibraron, como se mencionó en la sección anterior, en la pantalla del monitor.

Ya con la frecuencia calibrada se buscaron los decibeles máximos y mínimos de cada onda estacionaria. Para lo cual se fue moviendo el carrito, y paralelamente al identificar un punto máximo o mínimo, se dejaba registrado en qué centímetro (posición) se encontró y cuál era el decibel máximo y mínimo asociado.

Lo anterior, se hizo en cada frecuencia de interés. En particular, en esta investigación se usaron las bandas de 1/8 que corresponden a: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz.

#### 4.5 RESULTADOS E INTERPRETACIONES

Los datos utilizados en esta sección se encuentran registrados en los Anexos.

El método para hacer las mediciones en un mismo día fue, en primera instancia, medir todas las muestras con bajas frecuencias y, en segunda instancia, hacerlo con las frecuencias altas. Lo planteado obedece a la eficiencia en el proceso, pues permite que solo sea necesario cambiar los tubos una vez, y no cada vez que se toma una muestra.

El cálculo de los coeficientes de absorción fue realizado en Excel, con la fórmula antes expuesta, con el fin de almacenar de manera confiable, todos los datos obtenidos. Dado que Excel no cuenta con la fórmula del coeficiente de absorción "de fábrica", se ingresó el dato manualmente en el programa. Así, cuando se añadían los datos, los resultados se obtenían de manera simultánea.

Análogamente, se calculó el Noise

Reduction Coefficient (NRC), el cual corresponde al valor promedio del coeficiente de absorción para las bandas de 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Por razones de tiempo, solo se utilizó este coeficiente y no otros alternativos que también son de uso de frecuente.

Como se definió en el capítulo anterior, los espesores utilizados en las muestras fueron de 30, 50 y 70 mm para cada sustrato. Con eso, y teniendo en consideración la masa de cada uno de los prototipos, se obtuvieron las densidades, las cuales se calcularon a través de la siguiente fórmula:

$$\rho = m / v$$

Donde la densidad ( $\rho$ ) es igual a masa ( $m$ ) dividido por el volumen ( $v$ ).

Todas estas características de las muestras de aserrín se resumen en la Tabla 3, la cual las presenta en sus 3 espesores (Figura 111):

## Micelio en aserrín

Variable / Sustrato	A 30	A 50	A 70
<b>Espesor</b>	30 mm	50 mm	70 mm
<b>Densidad</b>	159 kg/m <sup>3</sup>	151 kg/m <sup>3</sup>	114 kg/m <sup>3</sup>
<b>NRC</b>	0,52	0,66	0,88
<b>Margen de incertidumbre promedio</b>	2,34	2,34	2,34



Figura 111. Muestras de aserrín, 30 mm, 50 mm, 70 mm, respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Tabla 3. Características de las mediciones acústicas de las muestras en aserrín. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Como se puede apreciar, las muestras con mayores espesores presentan consistentemente menores densidades. A su vez, el espesor se asocia positivamente con el coeficiente de reducción de ruido (NRC). Ahora bien, el margen de incertidumbre es constante para las 3 muestras, debido a que se estima a nivel de sustrato. En cualquier caso, la incertidumbre asociada a las mediciones en aserrín es despreciable, pues se trata de 0.012 (1.2%) desviaciones estándar del  $\lambda/4$  teórico del material.

Los resultados de absorción acústica por espesor se encuentran disponibles en la Figura 112:

Como se puede apreciar en el gráfico, el coeficiente de absorción de las muestras de aserrín tiende a presentar un mejor rendimiento a medida que incrementa el espesor. Adicionalmente, se observa que en las bajas frecuencias (hasta 500Hz) las tres muestras evidencian altas absorciones en relación con lo que ocurre en los 1000 y 2000Hz.

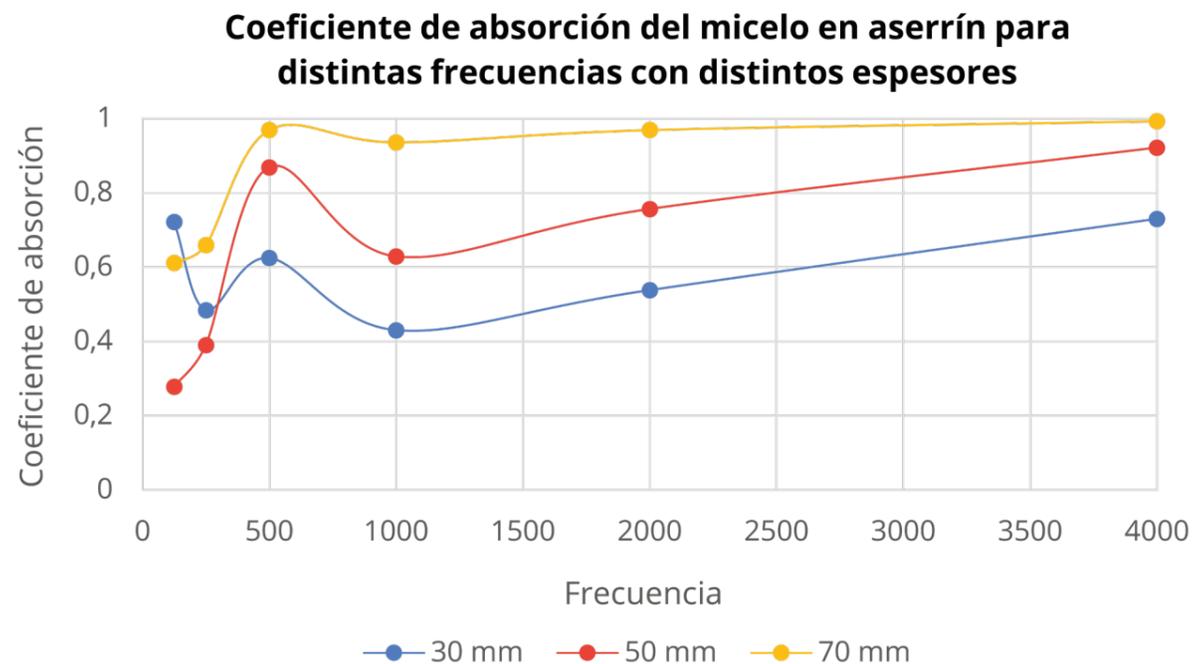


Figura 112. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio en aserrín en distintas frecuencias con distintos espesores. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

## Micelio en cartón

En la Tabla 4 se presentan las características de las muestras para el cartón en sus 3 espesores (Figura 113):

Variable / Sustrato	A 30	A 50	A 70
<b>Espesor</b>	30 mm	50 mm	70 mm
<b>Densidad</b>	131 kg/m <sup>3</sup>	120 kg/m <sup>3</sup>	94 kg/m <sup>3</sup>
<b>NRC</b>	0,53	0,70	0,69
<b>Margen de incertidumbre promedio</b>	7,71	7,71	7,71



Tabla 4. Características de las mediciones acústicas de las muestras en cartón. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Figura 113. Muestras de cartón, 30 mm, 50 mm, 70 mm, respectivamente. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

En esta ocasión, las muestras con mayores espesores presentan consistentemente menores densidades. Ahora bien, la relación positiva entre el espesor y el coeficiente de reducción de ruido (NRC) no resulta tan clara como en el caso del aserrín. Si bien hay un aumento en el NRC al pasar de C30 a C50, se presenta una leve caída al pasar a C70. En cuanto al margen de incertidumbre, por las mismas razones que en el aserrín, en este caso es constante. Sin embargo, la

la incertidumbre es considerablemente más elevada que en el otro sustrato, pues se trata de 0.034 (3.4%) desviaciones estándar del  $\lambda/4$  teórico del material. En cualquier caso, el margen de incertidumbre sigue siendo relativamente bajo, lo cual permite estar tranquilos respecto de las mediciones.

Los resultados de absorción acústica por espesor se encuentran disponibles en la Figura 114:

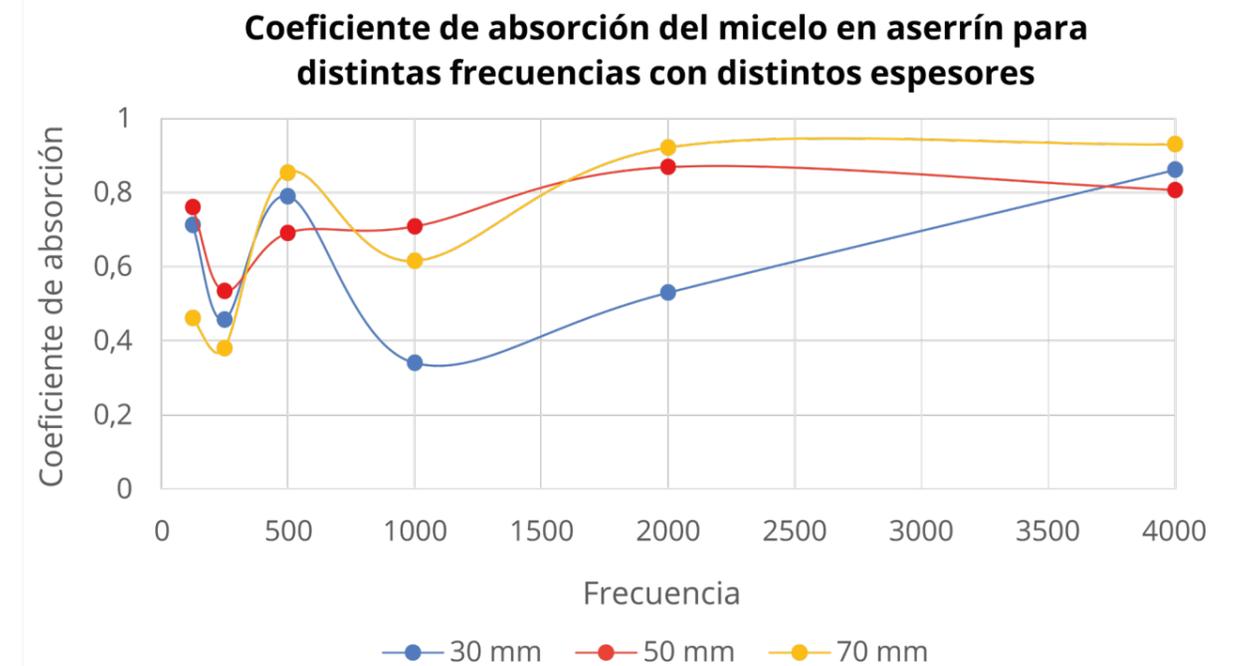


Figura 114. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio en cartón en distintas frecuencias con distintos espesores. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**Coefficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 30 mm**

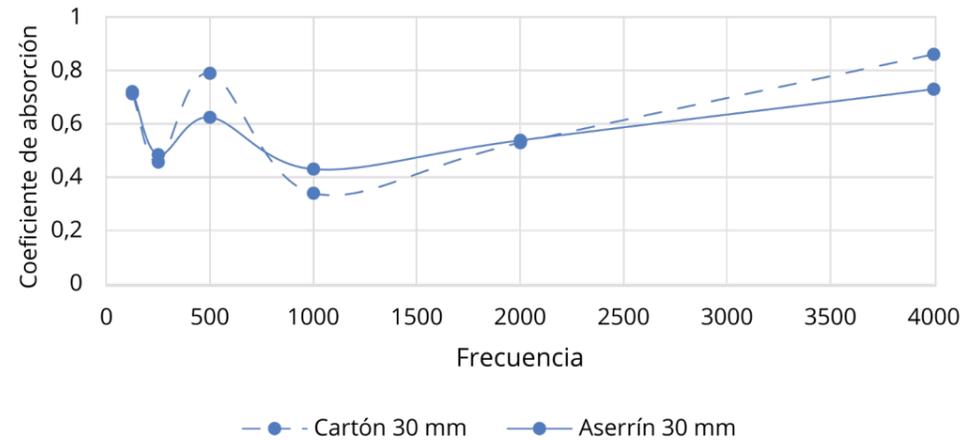


Figura 115. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 30 mm. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**Coefficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 50 mm**

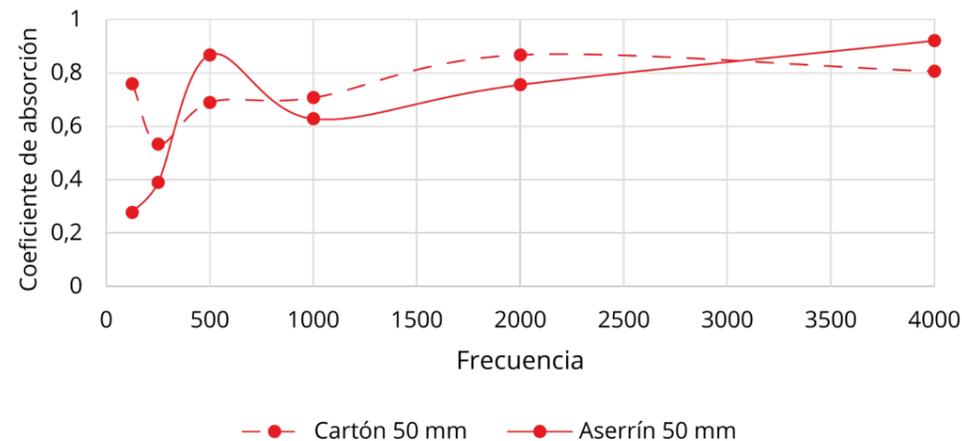


Figura 116. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 50 mm. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

**Coefficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 70 mm**

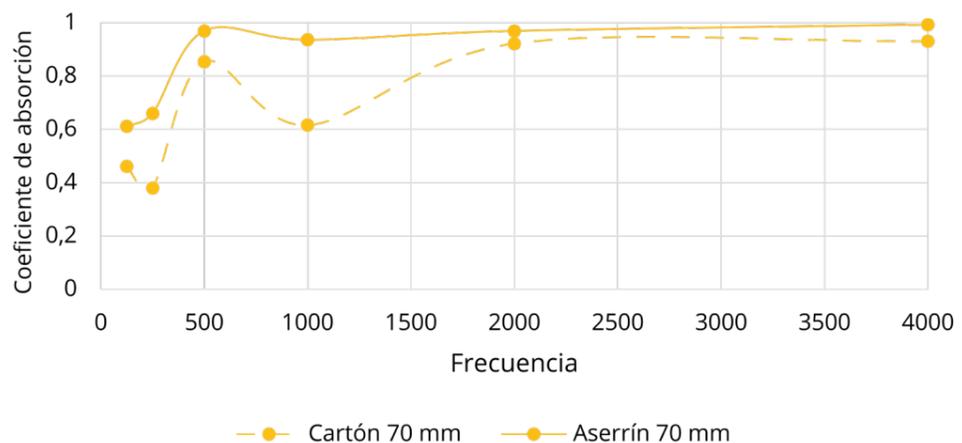


Figura 117. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio en cartón y aserrín para espesor de 70 mm. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

Al igual que en el gráfico anterior, el coeficiente de absorción de las muestras de cartón tiende a presentar un mejor rendimiento a medida que aumenta el espesor. Nuevamente, se observa que en las bajas frecuencias (hasta 500Hz) las tres muestras evidencian altas absorciones en relación con lo que ocurre en los 1000Hz. Sin embargo, el cartón parece comportarse mejor en las bajas frecuencias en comparación con el aserrín.

**Micelio en cartón y aserrín: 30, 50, 70mm**

Un aspecto interesante de esta investigación es que nos permitió comparar el comportamiento acústico de las muestras en base a los sustratos empleados. En particular, los siguientes gráficos presentan las diferencias de absorción del cartón y el aserrín en los distintos espesores (Figura 115-116-117):

A simple vista, no pareciera haber una relación clara entre los resultados obtenidos en el aserrín y aquellos en cartón. Sin embargo, sí hay ciertos patrones que vale la pena mencionar.

En primer lugar, para las muestras de 30mm de espesor, ambos sustratos se comportan de manera muy similar. Esto se condice con los NRC encontrados previamente, que muestra una diferencia de 0,01 puntos entre ambos materiales en los 30mm de espesor (A30 tenía NRC de 0.52, mientras que el NCR de C30 era de 0.53). En segundo lugar, en las muestras de 50mm, se observa que el cartón tiende a superar al aserrín en la absorción, especialmente en las frecuencias de 125, 250, 1000 Y 2000Hz. Finalmente, cuando el espesor es de 70mm, la relación es clara: el aserrín domina en todas las frecuencias al cartón, pues marca mejores valores en cada una de ellas.

¿Cómo se comparan estos resultados con los absorbentes de uso comercial?

Empleando datos obtenidos de Acusonic (2021), se construyó un gráfico que resume todos los resultados obtenidos por las muestras de este experimento en conjunto con los obtenidos por Acusonic, en los materiales de lana de vidrio y lana mineral. Estos se presentan en la siguiente Figura 118:

**Coefficiente de absorción de todas las muestras y absorbentes comerciales**

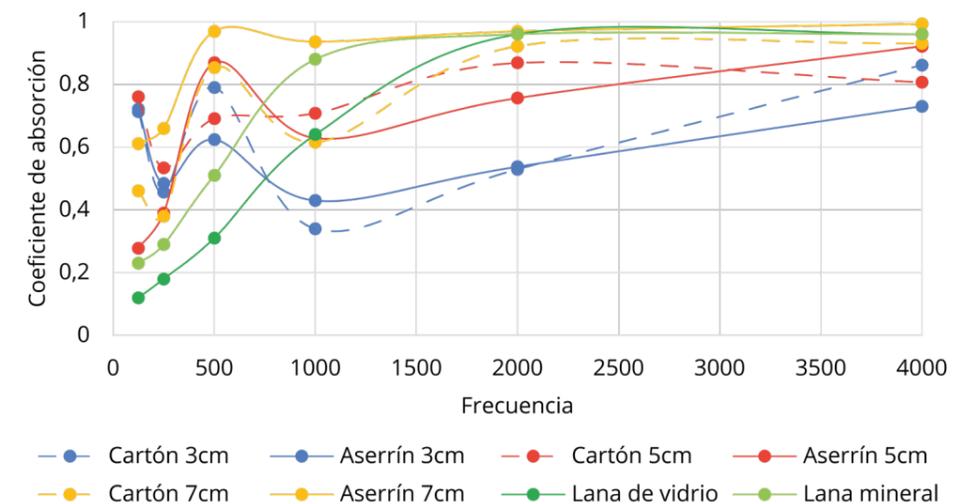


Figura 118. Gráfico del coeficiente de absorción del micelio de todas las muestras y absorbentes comerciales. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

En comparación con los materiales que están en el mercado, como la lana de vidrio o la lana mineral, las muestras de este experimento evidencian un mejor desempeño acústico en las frecuencias menores (125, 250 y 500 Hz). Esto se puede deber a que las muestras colonizadas por el micelio adquieren una forma irregular y se generan cavidades al interior de ella que generan masas acústicas y conforman frecuencias de resonancias, cuyo aporte a la absorción depende del volumen que adquieren. Ahora bien, aquello es beneficioso en frecuencias bajas y se diluye en frecuencias altas. De ahí la caída entre los 500 y 1000 Hz.

Todo lo anterior contrasta con lo sucedido en frecuencias mayores, donde la lana de vidrio (NCR = 0,52) y la lana mineral (NCR= 0,66) muestran un buen desempeño. Aun así, los absorbentes comerciales no presentan una relación que sea completamente superior a los que se encontraron en esta investigación, pues, por ejemplo, el aserrín de 70 mm (NCR=0,88) se comporta mucho mejor que aquellos.

Si se comparan únicamente los NCR de los materiales, incluyendo los absorbentes comerciales para los que se obtuvo información, se tiene que la lana de vidrio se comporta igual que el peor de las muestras analizadas (A30). En tanto, la lana mineral tiene un NCR 0,66 que solo es mejor que el C30 y A30, pues es igual al A50 e inferior a todos los demás.

Hasta aquí, el análisis se ha basado en la interpretación de gráficos y resultados que no permite tener en cuenta todas las variables al mismo tiempo. Por esto, como se verá a continuación, se utilizó el software Stata para analizar

las variables más importantes de la investigación a través de modelos de regresión lineales.

### Modelos de regresiones lineales

Como se anticipó en la metodología, se estimaron modelos lineales (en el software estadístico Stata) para comprobar la contribución de las distintas variables con los resultados de absorción acústica. Esto fue posible porque se construyeron muestras sin micelio que fueron tratadas y probadas de manera idéntica que aquellas que sí lo tenían. Específicamente, a las muestras sin micelio se les quitó la humedad a través de un secado de una hora en un horno convencional y se les obtuvo el coeficiente de absorción acústica con las mismas especificaciones. En esta sección, primero se abordó a grandes rasgos qué es una regresión lineal, se revisaron los modelos a estimar y, en seguida, se muestran y discuten los respectivos resultados.

Un modelo de regresiones lineales consiste en estimar una relación de dependencia desde una variable dependiente (Coeficiente de absorción acústica) hasta una o más variables independientes (Presencia de micelio en la muestra, densidad, sustrato, tipo de tubo y frecuencia). En palabras simples, se estima la importancia que tiene cada variable independiente para determinar el valor del coeficiente de absorción acústica.

Con los resultados obtenidos, primero se planteó un modelo que asumía que el micelio, siendo una variable binaria,\* era la única variable que incidía en el coeficiente de absorción acústica. Dicho modelo, tenía como efectos fijos,

las distintas frecuencias ( $\delta_i$ ) y los tubos de impedancia utilizados anteriormente ( $\alpha_i$ ), dado que ambas variables no varían en el tiempo, pero sí inciden en los resultados\*. Dicho modelo se estipula de la siguiente manera:\*\*

Modelo (1):

$$\text{Absorción Acústica}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Micelio}_i + \delta_i + \alpha_i + \varepsilon_i$$

Para proveer de información relevante al modelo se le dotó, en segunda instancia de la variable Densidad (esta no es una variable binaria, pues cada muestra tiene densidades distintas y el rango de valores que comprende es más amplio que 0 o 1), resultando el modelo que se muestra a continuación: \*\*\*

Modelo (2):

$$\text{Absorción Acústica}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Micelio}_i + \beta_2 \text{Densidad}_i + \delta_i + \alpha_i + \varepsilon_i$$

\* En estricto rigor, los efectos fijos corresponden a la inclusión de variables binarias por cada frecuencia y tipo de tubo.

\*\*  $\beta_0$  no tiene una interpretación por sí mismo, pues corresponde al valor del coeficiente acústico que mejor se ajusta a los datos cuando todas las variables independientes son iguales a 0.  $\beta_1$  refleja la contribución que tiene la variable Micelio para determinar la absorción acústica.  $\varepsilon_i$  es el término del error que permite considerar que existen variables que no se observan

\*\*\* Una pregunta razonable sobre esto podría ser ¿por qué se controló por densidad y no por espesor en la regresión? La razón de esto fue que, en estricto rigor, tal como se planteó en la revisión de literatura, el espesor está contenido en la densidad, pero esta última es un mejor predictor de la absorción acústica, pues además considera el volumen y la masa, ambos determinantes parciales de la absorción.

Finalmente, se desarrolló un tercer modelo que incorporo lo mismo que los anteriores, que agrega dos sustratos diferentes por medio de la variable binaria, Cartón (es binaria porque adquiere el valor de 1 si la observación era de cartón, y 0 si no). Dicho modelo es el siguiente:

Modelo (3):

$$\text{Absorción Acústica}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Micelio}_i + \beta_2 \text{Densidad}_i + \beta_3 \text{Cartón}_i + \delta_i + \alpha_i + \varepsilon_i$$

Los resultados de las estimaciones se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 5) (cada columna representa al modelo de su mismo número):

\* Adquiere el valor de 1 si la observación contenía micelio, y 0 si no.

<b>Modelo de regresiones</b>			
	Variable Dependiente: Coeficiente de Absorción Acústica		
	(1)	(2)	(3)
Micelio	0.0636* (0.0364)	0.127*** (0.0383)	0.132*** (0.0382)
Densidad		-0.00118** (0.000478)	-0.00129*** (0.000483)
Cartón			-0.0621* (0.0349)
Control por frecuencia	Sí	Sí	Sí
Control por tipo de tubo	Sí	Sí	Sí
Observaciones	72	72	72
R <sup>2</sup>	0.562	0.607	0.626

Nota: Errores estándar en paréntesis. Se omite el valor de la constante y los efectos fijos por simplicidad.

\*  $p < 0,10$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$

Tabla 5. Modelo de regresiones. Fuente: (Elaboración propia, 2022).

En la tabla anterior\*, los valores calculados corresponden a las betas ( $\beta_1$ ;  $\beta_2$ ;  $\beta_3$ ) de cada modelo. Por ejemplo, los coeficientes en la fila de la variable Micelio, 0.0636 – 0.127 – 0.132, equivalen a  $\beta_1$  de los modelos 1, 2 y 3, respectivamente. Análogamente, los coeficientes en la fila de la variable Densidad, (-0.00118) – (-0.00129), equivalen a  $\beta_2$  de los modelos 2 y 3, respectivamente (vale recordar que dicha variable no está contenida en el modelo 1, por lo cual no cuenta con un coeficiente en ese caso). De igual manera, el coeficiente de la variable Cartón, (-0.0621), corresponde a  $\beta_3$  del modelo 3 (esta variable solo está presente en dicho modelo).

Cada beta representa la importancia (o ponderación) que tiene la variable asociada (por ejemplo, para  $\beta_1$ , corresponde a la variable Micelio) en determinar el valor del coeficiente de absorción acústica. Tal como se presentó anteriormente, Micelio y Cartón son

variables binarias, pero Densidad no lo es. La interpretación no es la misma en ambos casos. Para el caso de las variables binarias, la interpretación es del estilo “Si la muestra tiene Micelio (o es de cartón) entonces el coeficiente de absorción aumenta/disminuye en X puntos”, por ejemplo. En cambio, en el caso de la variable Densidad, los resultados se leen como: “Un aumento de una unidad en la Densidad de la muestra aumenta/disminuye en Y puntos el valor del coeficiente de absorción acústica”.\*\* Vale destacar que estos resultados son siempre “en promedio” y no es una regla transversal a todos los casos observados.

El R2 es un dato arrojado por defecto por Stata que se encuentra entre 0 y 1. Típicamente, se dice que corresponde a la “bondad del ajuste” del modelo estimado. Un R2 de 0 indica que el modelo no logra modelar los datos con ninguna precisión mientras que un valor de 1 señala perfecta precisión. Valores

\*Si el valor estimado tiene al lado derecho un “\*”, entonces dicho valor es estadísticamente significativo al 10% de confianza. Si tiene “\*\*”, el valor es significativo al 5% de confianza. En tanto, si tiene “\*\*\*”, la estimación es significativa al 1% de confianza

\*\* Donde X e Y representan el valor del coeficiente estimado en la tabla

de R2 intermedios como, por ejemplo, 0.2 sugieren que el 20% de las variaciones en la variable dependiente (coeficiente de absorción acústica) son explicadas por las variables independientes (Micelio, Densidad, Cartón). Si bien puede parecer deseable tener valores elevados de este indicador, es un factor que no tiene mucha importancia.

Dicho lo anterior, en la columna (1) de la tabla, correspondiente al modelo 1, se observa que la presencia del micelio incrementa, en promedio, en 0.06 puntos el coeficiente de absorción acústica. Si bien el coeficiente estimado es significativo, lo es al 10% de confianza.\* Respecto a ese modelo, se sabe que no es del todo razonable, porque omite variables relevantes como la densidad y el tipo de sustrato.

La columna (2) incorpora como variable explicativa a la densidad de la muestra testeada. En este caso, ocurren tres cosas interesantes:

Primero, el coeficiente estimado del micelio se duplica. Esto implica que cuando se tiene en consideración (se controla) el hecho de que las muestras tienen distintas densidades, el modelo predice que la presencia de micelio aumenta, en promedio, en 0.12 puntos el coeficiente acústico. Esto es un efecto considerable si se tiene en cuenta que

\* Esto es, en un escenario hipotético donde el micelio tiene un efecto aleatorio sobre la absorción acústica, el caso observado en el experimento solo sería posible en 10 de 100 casos. En dicho escenario, se tendría el 10% de confianza para afirmar que es posible observar lo ocurrido en los datos de esta investigación por efectos del azar. Aquello es equivalente a decir que se tiene el 90% de confianza para señalar que lo observado no es producto del azar, y que hay un efecto “real” del micelio sobre el coeficiente de absorción acústica.

Producto de lo anterior, siempre será preferible que los resultados sean significativos a niveles bajos de confianza, pues sugieren evidencia a favor de que hay efectos “reales” de las variables independientes sobre las variables dependientes. Todo esto es análogo a otras variables y niveles de confianza. Por ejemplo, si los resultados fueran significativos al 1% de confianza, se tendría que lo observado solo podría ocurrir de manera aleatoria en 1 de cada 100 casos y que, por lo tanto, podríamos estar un 99% seguros de que los resultados no son aleatorios y hay efectos “reales” del micelio u otra variable sobre el coeficiente de absorción acústica).

el coeficiente de absorción adquiere valores entre 0 y 1.

Segundo, la Densidad se asocia con un efecto negativo sobre el coeficiente de absorción acústica. La interpretación del valor estimado es que un aumento de una unidad en la densidad de las muestras se asocia con una disminución de 0.00118 puntos en el coeficiente de absorción acústica, porque el signo es negativo (Por ejemplo, si se aumenta en 100 la densidad, sería esperable que en promedio el coeficiente disminuyera en  $100 \times 0.00118 = 0.118$  puntos).

Tercero, tanto la variable Micelio como la de Densidad son significativas estadísticamente. La primera pasa a ser significativa al 1% de confianza (con relación al modelo 1), mientras que la segunda lo es al 5% de confianza (esto es visible en la tabla anterior a través del número de “\*” que acompaña a cada valor estimado. Un asterisco implica significancia estadística al 10% de confianza; si hay dos, el valor es significativo al 5%; y si hay tres este lo es al 1%). Esto es evidencia favorable a la idea de que ambas variables tienen incidencia sobre el coeficiente de absorción acústica.

Paralelamente, la columna (3) añade, en comparación con el modelo 2, la variable

binaria Cartón.\* En este caso, se obtuvo que aquellas muestras hechas de cartón presentan, en promedio, peores coeficientes de absorción. De igual forma, es destacable el hecho de que la inclusión de dicha variable mejore el valor predicho del efecto del micelio. En relación con el modelo (2), Micelio pasa de 0.127 a 0.132. Asimismo, la variable Densidad aumenta su magnitud en valor absoluto (se hace "más negativo") y, además, se vuelve significativo al 1% de confianza.

Todos estos resultados constituyen evidencia cuantitativa a favor de que el micelio tiene efectos importantes en mejorar la capacidad acústica de las muestras. Se demostró con el análisis previo que los resultados son significativos en las distintas especificaciones de modelos, en el sentido de que, aun agregando variables relevantes, la variable Micelio sigue conservando alta incidencia en los resultados de la absorción acústica.

Dado que es un experimento controlado, es posible atribuir causalidad al efecto del micelio sobre la capacidad acústica de las muestras. Un aspecto que podría sesgar los resultados sería la omisión de la porosidad de los materiales (no existe una forma accesible de obtener una medida razonable de estas características). Sin embargo, al controlar las regresiones por el tipo de material de cada muestra (variable Cartón), aquello deja de ser problemático, porque permite tener en consideración las variables fijas en el tiempo que son inobservables, como es el caso de la porosidad.

Ya obtenidos todos los resultados de esta investigación, el siguiente capítulo da paso a los comentarios finales y conclusiones. En él, se dará respuesta a la pregunta de investigación, se revisará el logro de objetivos y se contrastarán los resultados finales con la hipótesis inicial.

---

\* Al respecto, puede parecer controvertido, en primera instancia, que solo se incluya una variable para el sustrato de cartón y no para el aserrín. Sin embargo, esto fue realizado así debido a que, para esta investigación, la intención fue revisar si el cartón tenía alguna característica superior al aserrín. Por lo demás, esto no es correcto metodológicamente, pues al tratarse de solo dos sustratos, incluir uno permite considerar el otro de forma indirecta. Si la variable Cartón era igual a 1, entonces la muestra era de cartón. En cambio, si Cartón era igual a 0, la muestra no era de Cartón y, por lo tanto, era de aserrín.

En función de los resultados, reflexiones e interpretaciones del capítulo anterior se da respuesta a la pregunta de investigación, hipótesis y a los objetivos planteados.

## CAPÍTULO V: COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Ya expuestos los principales resultados de la investigación en el capítulo 4, se puede iniciar la revisión de los puntos más importantes que impulsaron la investigación inicialmente, los cuales

serían la pregunta, los objetivos, tanto generales como específicos, y la hipótesis. Lo cual se abordará en los comentarios finales.

### 5.2 COMENTARIOS FINALES

Esta investigación tenía intención de analizar, con sustento empírico, si mejoraba la condición acústica del micelio al incorporar los sustratos de cartón, aserrín y avena. Sin embargo, dadas las constantes contaminaciones sufridas por los cultivos de micelio en avena, fue necesario adaptarse a las circunstancias y excluir dicho sustrato de la experimentación.

Con lo anterior, se complicó comprobar la hipótesis y responder a la pregunta de investigación inicial. Por un lado, se esperaba encontrar que los sustratos con capacidades acústicas (cartón y aserrín) traspasaran sus propiedades al micelio y que esto no sucediera en los sustratos que carecían de esta propiedad (avena). Por otro lado, la intención de la investigación era descubrir si la condición acústica del micelio mejoraba al incorporar los sustratos cartón, aserrín y avena.

La hipótesis no se cumplió, pero se logró dar una respuesta parcial a la

interrogante de esta investigación. En particular, a través del modelo de regresión, se pudo constatar que, en promedio, las muestras se comportaron mejor con el aserrín que con el cartón, pues este último estaba asociado a menores valores de coeficiente acústico. Adicionalmente, se pudo comprobar y cuantificar que el biomaterial micelio cuenta con una capacidad de absorción acústica que va más allá de su sustrato. Esto se evidenció en que al contar con micelio se pudo aumentar, en promedio, 0,13 puntos del coeficiente de absorción acústica de las muestras, en relación con aquellas que no tenían micelio.

Paralelamente, se tenía como objetivo general analizar la incidencia de los sustratos en las capacidades acústicas del biomaterial micelio, a través de su densidad. Al respecto, como se anticipa en el párrafo anterior, se pudo constatar que las capacidades acústicas del micelio eran sustancialmente mayores en las muestras de aserrín, respecto de las de cartón. La superioridad del aserrín

trasciende, incluso, a algunos absorbentes comerciales, pues se comprobó que su NCR era de 0.88, superior al NCR de la lana mineral (0.52) y la lana de vidrio (0.66). En el caso del cartón, aunque su desempeño no fue el mejor, también superó las capacidades de los absorbentes comerciales, pues se estimó un NCR 0.70 para dichas muestras.

Por otro lado, se cumplieron los objetivos principales de esta investigación, haciendo un acercamiento general y exhaustivo a la metodología del crecimiento del micelio, lo cual favoreció el desarrollo de este. Se logró producir suficientes muestras para medirlas acústicamente. También se llegaron a resultados prometedores en cuanto a la absorción acústica de las muestras, las cuales se comportaron especialmente mejor en las frecuencias bajas, sin dejar de tener buenos resultados en las frecuencias altas.

Las expectativas iniciales sobre los resultados de esta investigación fueron ambiciosas. Por ello, en retrospectiva, era complejo conseguir, en tan corto tiempo, a cabalidad los planteamientos que se fijaron en aquel entonces. El micelio requiere tiempo y condiciones adecuadas para desarrollarse, las cuales en un ambiente casero no siempre estaban disponibles y eso, claramente, tuvo un impacto negativo en los resultados generales de la investigación. Sin embargo, descubrimientos que, aunque no estaban planificados en un

principio, resultaron prometedores y dejan bases, pero también desafíos, para próximas investigaciones en esta área.

Sería muy provechoso que replicar esta misma investigación, con un horizonte temporal más amplio, empleando una mayor variedad de sustratos, en un ambiente controlado y con las condiciones idóneas para que micelio pueda desarrollarse óptimamente. Esto podría agregar nueva evidencia sobre la importancia de los distintos sustratos sobre el micelio y sus características acústicas.

De igual manera, hay espacio para investigar sobre el aporte del micelio a la absorción acústica empleando distintos tiempos de colonización sobre el sustrato. ¿Existe algún tiempo óptimo de crecimiento del micelio en el cual las condiciones acústicas son superiores a otros?

Asimismo, sería atractivo poder controlar las granulometrías de los sustratos, con el fin de entender de qué el volumen del sustrato afecta las capacidades acústicas del micelio y los tiempos de crecimiento de este. En cuanto a esto último, se pudo apreciar, a grandes rasgos, que el micelio tuvo mayor colonización al interior del molde cuando las partículas del sustrato eran más grandes, como en el caso del cartón.

Dicho lo anterior, se procede a entregar las principales conclusiones derivadas de la investigación.

### 5.3 CONCLUSIONES

Esta fue una investigación rica en aprendizajes. Uno de ellos es la metodología de trabajo que se logró llevar a cabo. Al tener que realizar las inspecciones del micelio y las

inoculaciones en periodos constantes de tiempo y espacios caseros, el proceso tuvo que ser mucho más pulcro y cuidadoso que en un lugar más controlado.

De igual forma, fue necesario trabajar bajo presión y tomar decisiones importantes, en un contexto de incertidumbre, que determinaron el curso de la investigación y que esta llegara a buen término. A modo de ejemplo, cuando la avena se contaminó y no llegó a término, fue necesario replantear la investigación para llegar a resultados que permitieran alcanzar objetivos similares a los deseados en ausencia de un insumo clave (avena).

Una de las experiencias más importantes que impulsó el aprendizaje fueron las mediciones acústicas, ya que se tuvieron que adquirir mayores conocimientos sobre cómo funcionaban, tanto teórica, como prácticamente. Además, se debió aprender a hacer las mediciones en el tubo de Kundt, un instrumento hasta entonces desconocido. Todo esto tuvo como aprendizaje relacionado el entendimiento de los errores asociados a las mediciones, procedimientos y datos, aspectos que son transversales a casi cualquier investigación científica.

Al tener la oportunidad de trabajar en un laboratorio, se tuvo la posibilidad de cooperar con un grupo de personas que estuvieran trabajando en temas relacionados, lo cual favoreció los derrames de conocimientos a nivel de grupo y minimizó los errores, dada la supervisión mutua.

Hay que recalcar que, aunque la mayor parte del proceso logró llegar a término, esto se debió a todo un proceso oneroso, ya que para cultivar el micelio y convertirlo en muestras se debió gastar en muchos materiales que no se tenían. En caso de pretender desarrollar nuevas investigaciones similares a esta, se debe de tener en cuenta esta variable, ya que es indispensable hacer gastos a lo largo del proceso.

Para finalizar, me gustaría agradecer a todas las personas que estuvieron involucradas en este proceso. En particular, al laboratorio FabLab y a todo su equipo que nos permitió trabajar en sus instalaciones y hacer uso de sus herramientas e implementos; y a los compañeros del laboratorio que siempre estuvieron dispuestos a entregarme los conocimientos necesarios para llevar a cabo la investigación. Asimismo, agradezco a la profesora Carla Badani por enseñarnos la teoría y la práctica de cómo efectuar mediciones acústicas y que, a su vez, proporcionó el espacio y los instrumentos necesarios para realizarlas. También, deseo dar las gracias al profesor Gabriel Felmer, quien me proporcionó un espacio con sus otros alumnos para formar parte del trabajo de ellos. A mi familia, que facilitó el espacio necesario para llevar a cabo el desarrollo del micelio y que me apoyó en los momentos más difíciles de esta investigación. Y, finalmente, agradezco a mi profesora guía, Mirtha Pallarés, quien me proporcionó un apoyo constante, estuvo dispuesta a ayudar y disponible para cualquier duda o problema relacionado, o no, a este seminario, aportando enormemente a mi crecimiento como estudiante.

Gracias a todos quienes estuvieron detrás de este proceso (directa e indirectamente), que tomó mucho más tiempo del esperado, pero que logro llegar, finalmente, a buen puerto.

#### 5.4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANIR. (2020). Estudio del Material Disponible País y el reciclado de los productos prioritarios en Chile. Asociación Nacional de la Industria de Reciclaje. <https://www.anir.cl/wp-content/uploads/2021/12/ANIR-2020-Estudio-del-material-disponible-Pais-Carton.pdf>

Aragón, S. (2016). Análisis del uso del papel multipliego extensible y cartón corrugado como relleno en muros de placas de yeso laminado y fibrocemento para absorción acústica.

Blackwell, M. (2011). The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species?. *American Journal Of Botany*, 98(3), 426-438. doi: 10.3732/ajb.1000298

Castillo, J. & Costa, A. (2012). Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos. *Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica*, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Conde Santiago, I. (2021). Biocompuestos de Micelio y sus posibles aplicaciones en la arquitectura.

Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (25 de junio de 2002). Sobre evaluación y gestión del ruido ambiental - Declaración de la Comisión ante el Comité de Conciliación de la Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. *Diario Oficial n° L 189*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/TML/?uri=CELEX:32002L0049&from=HU>.

Donoso, K. (2021). Elaboración de Biocompuestos de Micelio de Hongo para el Desarrollo de un Panel de Absorción Acústica para Muros de Entramado liviano de Madera. [Tesis de seminario no publicada]. Universidad de Chile.

Fernández, N., Gaggino, R., Kreiker, J., & Positieri, M. J. (2019). Desarrollo tecnológico de paneles multicapa a partir de residuos lignocelulósicos bioligados con micelio de hongos. *AJEA*, (4).

France, A., Cañumir, J. A., & Cortez, M. (2000). Producción de Hongos Ostras.

Fuentes-Cantillana Monereo, I. (2020). Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos.

Gómez, T. S., Roza-Restrepo, C., Ramírez-Castrillón, R., & Fernández-Morales, P. (2017). Caracterización acústica de materiales no tejidos basados en fibras naturales para el acondicionamiento de espacios laborales y académicos.

Hernández, R. & López, C. (2008). Evaluación de crecimiento y producción de pleurotus ostreatus sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca.

IEA. (2021). Global energy-related CO2 emissions by sector, 2020. IEA, Paris, Francia.

INFOR. (diciembre 2020). Industria del Aserrío. Recuperado el 13 de agosto de [https://wef.infor.cl/index.php/consultas-en-linea/industria-del-aserrio?view=consultas\\_aserrios](https://wef.infor.cl/index.php/consultas-en-linea/industria-del-aserrio?view=consultas_aserrios)

Lavado Tintaya, L. O. (2021). Producción de hongos (*Pleurotus ostreatus*) en sustratos: coronta de choclo, bagazo de caña, ichu y aserrín de madera.

Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). Introducción al cultivo de hongos comestibles.

Möser, M., & Barros, J. L. (2009). Absorción del sonido. *Ingeniería acústica: teoría y aplicaciones (Vol II)*, pp. 167-213. Springer Science & Business Media.

ODEPA. (2020). Cereales. Recuperado agosto de 2021, de Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: <https://www.odepa.gob.cl/rubros/cereales>

ONU. (16 de diciembre de 2020). Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU. ONU para el programa del medio ambiente. Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU (unep.org)

Palacios, A. F., & Jara, S. R. (2019). Manual de Biofabricación con hongos. Laboratorio de Biofabricación-FADEU.

Rodríguez Jara, S. (2017) Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. *RChD: creación y pensamiento*, 3(5), 1-15 doi: 10.5354/0719-837x.2018.50632

Sepúlveda, H. D., & Macía, C. A. (2011). Metodología experimental para obtener coeficientes de absorción de ruido. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 29(2), 128-138.

Silva, C. (2021). Biomateriales En La Estructura Arquitectónica: Componente Autoportante Biobasado En Micelio Para Infraestructura turística En Bahía Exploradores (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)).

# ANEXOS

## Mediciones de micelio con sustrato de aserrín

### 30 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	82,1	92,3	10,2	815	150	665	680	0,721	5,333	1,02%
	250	253,8	81,2	96,9	15,7	376	36	340	340	0,484	0,000	1,02%
	500	507,9	73,4	85,8	12,4	175	340	-165	170	0,624	5,667	1,02%
Tubo pequeño	1000	1014,9	64,4	81,5	17,1	824	908	-84	85	0,430	1,333	1,02%
	2000	2030,5	53,4	67,8	14,4	782	821	-39	42,5	0,538	1,500	1,02%
	4000	4061,2	79,9	89,9	10	804	826	-22	21,25	0,730	0,250	1,02%
									NRC	0,519		

### 50 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	68,5	90,3	21,8	66	758	-692	680	0,278	5,333	1,02%
	250	253,8	76,2	94,4	18,2	334	20	314	340	0,390	0	1,02%
	500	507,9	76,4	83	6,6	519	674	-155	170	0,868	-5,667	1,02%
Tubo pequeño	1000	1014,9	68,1	80,4	12,3	817	892	-75	85	0,629	-1,333	1,02%
	2000	2030,5	57,7	67,1	9,4	863	907	-44	42,5	0,756	-1,5	1,02%
	4000	4061,2	83,3	88,3	5	846	867	-21	21,25	0,922	-0,25	1,02%
									NRC	0,661		

### 70 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	126,8	80	92,7	12,7	774	75	699	680	0,611	5,333	1,02%
	250	253,7	81,9	93,5	11,6	347	713	-366	340	0,660	0	1,02%
	500	507,3	77,7	80,8	3,1	571	398	173	170	0,969	-5,667	1,02%
Tubo pequeño	1000	1014,9	73,9	78,4	4,5	822	914	-92	85	0,936	-1,333	1,02%
	2000	2030,5	63	66,1	3,1	944	984	-40	42,5	0,969	-1,5	1,02%
	4000	4061,2	85,3	86,8	1,5	900	920	-20	21,25	0,993	-0,25	1,02%
									NRC	0,883		

## Mediciones de micelio con sustrato de cartón

### 30 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	82,6	93	10,4	785	120	665	680	0,713	23,33	3,40%
	250	253,8	80	96,4	16,4	352	695	-343	340	0,457	9,00	3,40%
	500	507,9	77,9	86,5	8,6	154	320	-166	170	0,790	6,67	3,40%
Tubo pequeño	1000	1014,9	62,3	82	19,7	829	909	-80	85	0,340	2,00	3,40%
	2000	2030,5	53,3	67,9	14,6	784	819	-35	42,5	0,529	4,17	3,40%
	4000	4061,2	88,7	81,9	-6,8	851	873	-22	21,25	0,861	1,08	3,40%
									NRC	0,529		

### 50 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	83,6	92,9	9,3	893	235	658	680	0,760	23,33	3,40%
	250	253,8	84	98,5	14,5	395	24	371	340	0,534	9,00	3,40%
	500	507,9	77,2	88,1	10,9	459	301	158	170	0,691	6,67	3,40%
Tubo pequeño	1000	1014,9	70,4	80,9	10,5	849	763	86	85	0,708	2,00	3,40%
	2000	2030,5	60,4	67	6,6	781	742	39	42,5	0,868	4,17	3,40%
	4000	4061,2	81,1	89,3	8,2	807	829	-22	21,25	0,807	1,08	3,40%
									NRC	0,700		

### 70 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	126,8	80	92,7	12,7	774	75	699	680	0,461	23,33	3,40%
	250	253,7	81,9	93,5	11,6	347	713	-366	340	0,380	9,00	3,40%
	500	507,3	77,7	80,8	3,1	571	398	173	170	0,854	6,67	3,40%
Tubo pequeño	1000	1014,9	73,9	78,4	4,5	822	914	-92	85	0,615	2,00	3,40%
	2000	2030,5	63	66,1	3,1	944	984	-40	42,5	0,922	4,17	3,40%
	4000	4061,2	85,3	86,8	1,5	900	920	-20	21,25	0,930	1,08	3,40%
									NRC	0,693		

### Lana de Vidrio

	Frecuencia	Coef de absorción
Tubo grande	125	0,12
	250	0,18
	500	0,31
Tubo pequeño	1000	0,64
	2000	0,96
	21,25	0,96
	NRC	0,52

### Lana mineral

	Frecuencia	Coef de absorción
Tubo grande	125	0,23
	250	0,29
	500	0,51
Tubo pequeño	1000	0,88
	2000	0,96
	21,25	0,96
	NRC	0,66

## Mediciones de absorbentes comerciales

Información entregada por Acusonic

## Mediciones de aserrín sin micelio

### 30 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	73,3	92,9	19,6	684	15	669	680	0,343	13,67	2,90%
	250	253,8	73,5	95,4	21,9	320	661	-341	340	0,275	12,00	2,90%
	500	507,9	76,5	91,9	15,4	475	646	-171	170	0,496	13,33	2,90%
Tubo pequeño	1000	1014,9	68,7	78,4	9,7	100	184	-84	85	0,743	3,00	2,90%
	2000	2030,5	64,4	74	9,6	152	110	42	42,5	0,748	3,50	2,90%
	4000	4061,2	87,4	92,3	4,9	131	152	-21	21,25	0,924	1,58	2,90%
									NRC	0,566		

### 50 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	75,7	92,6	16,9	688	25	663	680	0,438	13,67	2,90%
	250	253,8	79	95,5	16,5	334	637	-303	340	0,453	12,00	2,90%
	500	507,9	78	89	11	495	655	-160	170	0,686	13,33	2,90%
Tubo pequeño	1000	1014,9	69,4	78,4	9	91	158	-67	85	0,773	3,00	2,90%
	2000	2030,5	64,3	72,7	8,4	140	194	-54	42,5	0,798	3,50	2,90%
	4000	4061,2	86,7	90,5	3,8	124	142	-18	21,25	0,954	1,58	2,90%
									NRC	0,678		

### 70 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	126,8	80,5	93,3	12,8	742	75	667	680	0,607	13,67	2,90%
	250	253,7	83,9	96,3	12,4	355	695	-340	340	0,624	12,00	2,90%
	500	507,3	76,7	86,9	10,2	516	377	139	170	0,721	13,33	2,90%
Tubo pequeño	1000	1014,9	68,8	78,7	9,9	95	190	-95	85	0,734	3,00	2,90%
	2000	2030,5	63,2	73,4	10,2	142	184	-42	42,5	0,721	3,50	2,90%
	4000	4061,2	86,9	92,4	5,5	80	100	-20	21,25	0,906	1,58	2,90%
									NRC	0,700		

## Mediciones de cartón sin micelio

### 30 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	71,2	92,9	21,7	694	56	638	680	0,281	65,00	4,47%
	250	253,8	70,3	95,7	25,4	322	655	-333	340	0,193	3,33	4,47%
	500	507,9	71,9	94,7	22,8	475	638	-163	170	0,252	3,67	4,47%
Tubo pequeño	1000	1014,9	63,3	79,5	16,2	85	165	-80	85	0,464	0,67	4,47%
	2000	2030,5	68,6	73	4,4	151	192	-41	42,5	0,938	1,17	4,47%
	4000	4061,2	87,5	92,9	5,4	174	194	-20	21,25	0,909	1,92	3,40%
									NRC	0,462		

### 50 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	127	76	92,9	16,9	700	113	587	680	0,438	65,00	4,47%
	250	253,8	74,3	95,5	21,2	320	672	-352	340	0,295	3,33	4,47%
	500	507,9	76,3	91	14,7	462	643	-181	170	0,525	3,67	4,47%
Tubo pequeño	1000	1014,9	68,7	78,7	10	99	179	-80	85	0,730	0,67	4,47%
	2000	2030,5	67,5	73,4	5,9	152	194	-42	42,5	0,893	1,17	4,47%
	4000	4061,2	88,4	91,5	3,1	130	149	-19	21,25	0,969	1,92	4,47%
									NRC	0,611		

### 70 mm

	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax	Delta L	Medida mínima	Medida máxima	$\lambda/4$	$\lambda/4$ teórico	Coef de absorción	Margen de error	%
Tubo grande	125	126,8	70,1	92,5	22,4	685	65	620	680	0,262	65,00	4,47%
	250	253,7	73,4	94,6	21,2	310	655	-345	340	0,295	3,33	4,47%
	500	507,3	77,2	85,6	8,4	428	605	-177	170	0,798	3,67	4,47%
Tubo pequeño	1000	1014,9	67,3	79,1	11,8	100	193	-93	85	0,651	0,67	4,47%
	2000	2030,5	61,6	73,5	11,9	143	184	-41	42,5	0,646	1,17	4,47%
	4000	4061,2	88,1	92	3,9	168	187	-19	21,25	0,951	1,92	4,47%
									NRC	0,598		

# Base de datos

## Para el modelo de regresiones

Material	Espesor (mm)	Micelio	Cartón	Tipo de tubo	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax
Aserrín	30	1	0	Grande	125	127	82,1	92,3
Aserrín	30	1	0	Grande	250	253,8	81,2	96,9
Aserrín	30	1	0	Grande	500	507,9	73,4	85,8
Aserrín	30	1	0	Pequeño	1000	1014,9	64,4	81,5
Aserrín	30	1	0	Pequeño	2000	2030,5	53,4	67,8
Aserrín	30	1	0	Pequeño	4000	4061,2	79,9	89,9
Aserrín	50	1	0	Grande	125	127	68,5	90,3
Aserrín	50	1	0	Grande	250	253,6	76,2	94,4
Aserrín	50	1	0	Grande	500	507,4	76,4	83
Aserrín	50	1	0	Pequeño	1000	1014,9	68,1	80,4
Aserrín	50	1	0	Pequeño	2000	2030,5	57,7	67,1
Aserrín	50	1	0	Pequeño	4000	4061,2	83,3	88,3
Aserrín	70	1	0	Grande	125	126,8	80	92,7
Aserrín	70	1	0	Grande	250	253,7	81,9	93,5
Aserrín	70	1	0	Grande	500	507,3	77,7	80,8
Aserrín	70	1	0	Pequeño	1000	1014,9	73,9	78,4
Aserrín	70	1	0	Pequeño	2000	2030,5	63	66,1
Aserrín	70	1	0	Pequeño	4000	4061,2	85,3	86,8
Cartón	30	1	1	Grande	125	127	82,6	93
Cartón	30	1	1	Grande	250	253,6	80	96,4
Cartón	30	1	1	Grande	500	507,8	77,9	86,5
Cartón	30	1	1	Pequeño	1000	1014,9	62,3	82
Cartón	30	1	1	Pequeño	2000	2030,5	53,3	67,9
Cartón	30	1	1	Pequeño	4000	4061,2	88,7	81,9
Cartón	50	1	1	Grande	125	127	83,6	92,9
Cartón	50	1	1	Grande	250	253,7	84	98,5
Cartón	50	1	1	Grande	500	507,6	77,2	88,1
Cartón	50	1	1	Pequeño	1000	1014,8	70,4	80,9
Cartón	50	1	1	Pequeño	2000	2030,5	60,4	67
Cartón	50	1	1	Pequeño	4000	4061,2	81,1	89,3
Cartón	70	1	1	Grande	125	127	76,4	92,7
Cartón	70	1	1	Grande	250	253,6	75,4	93,9
Cartón	70	1	1	Grande	500	507,7	76,9	83,9
Cartón	70	1	1	Pequeño	1000	1014,8	68,8	81,4
Cartón	70	1	1	Pequeño	2000	2030,5	61,3	66,3
Cartón	70	1	1	Pequeño	4000	4061,2	83	87,7

Delta L	Medida mínima	Medida máxima	&4	&4 teórico	Coef de absorción	Densidad	Margen de error	NRC
10,2	815	150	665	680	0,721	274,06	5,33	0,519
15,7	376	36	340	340	0,484	274,06	0,00	0,519
12,4	175	340	165	170	0,624	274,06	5,67	0,519
17,1	824	908	84	85	0,430	274,06	1,33	0,519
14,4	782	821	39	42,5	0,538	274,06	1,50	0,519
10	804	826	22	21,25	0,730	274,06	0,25	0,519
21,8	66	758	692	680	0,278	147,60	5,33	0,661
18,2	334	20	314	340	0,390	147,60	0,00	0,661
6,6	519	674	155	170	0,868	147,60	5,67	0,661
12,3	817	892	75	85	0,629	147,60	1,33	0,661
9,4	863	907	44	42,5	0,756	147,60	1,50	0,661
5	846	867	21	21,25	0,922	147,60	0,25	0,661
12,7	774	75	699	680	0,611	124,59	5,33	0,883
11,6	347	713	366	340	0,660	124,59	0,00	0,883
3,1	571	398	173	170	0,969	124,59	5,67	0,883
4,5	822	914	92	85	0,936	124,59	1,33	0,883
3,1	944	984	40	42,5	0,969	124,59	1,50	0,883
1,5	900	920	20	21,25	0,993	124,59	0,25	0,883
10,4	785	120	665	680	0,713	230,09	23,33	0,529
16,4	352	695	343	340	0,457	230,09	9,00	0,529
8,6	154	320	166	170	0,790	230,09	6,67	0,529
19,7	829	909	80	85	0,340	230,09	2,00	0,529
14,6	784	819	35	42,5	0,529	230,09	4,17	0,529
-6,8	851	873	22	21,25	0,861	230,09	1,08	0,529
9,3	893	235	658	680	0,760	173,53	23,33	0,700
14,5	395	24	371	340	0,534	173,53	9,00	0,700
10,9	459	301	158	170	0,691	173,53	6,67	0,700
10,5	849	763	86	85	0,708	173,53	2,00	0,700
6,6	781	742	39	42,5	0,868	173,53	4,17	0,700
8,2	807	829	22	21,25	0,807	173,53	1,08	0,700
16,3	692	45	647	680	0,461	149,61	23,33	0,693
18,5	314	647	333	340	0,380	149,61	9,00	0,693
7	420	586	166	170	0,854	149,61	6,67	0,693
12,6	830	747	83	85	0,615	149,61	2,00	0,693
5	856	815	41	42,5	0,922	149,61	4,17	0,693
4,7	873	896	23	21,25	0,930	149,61	1,08	0,693

# Base de datos

## Para el modelo de regresiones

Material	Espesor (mm)	Micelio	Cartón	Tipo de tubo	Frecuencia	Frecuencia estimada	Lmin	Lmax
Aserrín	30	0	0	Grande	125	127	73,3	92,9
Aserrín	30	0	0	Grande	250	253,6	73,5	95,4
Aserrín	30	0	0	Grande	500	507,4	76,5	91,9
Aserrín	30	0	0	Pequeño	1000	1014,9	68,7	78,4
Aserrín	30	0	0	Pequeño	2000	2030,5	64,4	74
Aserrín	30	0	0	Pequeño	4000	4061,2	87,4	92,3
Aserrín	50	0	0	Grande	125	127	75,7	92,6
Aserrín	50	0	0	Grande	250	253,8	79	95,5
Aserrín	50	0	0	Grande	500	507,4	78	89
Aserrín	50	0	0	Pequeño	1000	1014,9	69,4	78,4
Aserrín	50	0	0	Pequeño	2000	2030,5	64,3	72,7
Aserrín	50	0	0	Pequeño	4000	4061,2	86,7	90,5
Aserrín	70	0	0	Grande	125	127	80,5	93,3
Aserrín	70	0	0	Grande	250	253,6	83,9	96,3
Aserrín	70	0	0	Grande	500	507,4	76,7	86,9
Aserrín	70	0	0	Pequeño	1000	1014,9	68,8	78,7
Aserrín	70	0	0	Pequeño	2000	2030,5	63,2	73,4
Aserrín	70	0	0	Pequeño	4000	4061,2	86,9	92,4
Cartón	30	0	1	Grande	125	127	71,2	92,9
Cartón	30	0	1	Grande	250	253,6	70,3	95,7
Cartón	30	0	1	Grande	500	507,4	71,9	94,7
Cartón	30	0	1	Pequeño	1000	1014,9	63,3	79,5
Cartón	30	0	1	Pequeño	2000	2030,5	68,6	73
Cartón	30	0	1	Pequeño	4000	4061,2	87,5	92,9
Cartón	50	0	1	Grande	125	127	76	92,9
Cartón	50	0	1	Grande	250	253,9	74,3	95,5
Cartón	50	0	1	Grande	500	507,4	76,3	91
Cartón	50	0	1	Pequeño	1000	1014,9	68,7	78,7
Cartón	50	0	1	Pequeño	2000	2030,5	67,5	73,4
Cartón	50	0	1	Pequeño	4000	4061,2	88,4	91,5
Cartón	70	0	1	Grande	125	127	70,1	92,5
Cartón	70	0	1	Grande	250	253,8	73,4	94,6
Cartón	70	0	1	Grande	500	507,4	77,2	85,6
Cartón	70	0	1	Pequeño	1000	1014,9	67,3	79,1
Cartón	70	0	1	Pequeño	2000	2030,5	61,6	73,5
Cartón	70	0	1	Pequeño	4000	4061,2	88,1	92

Delta L	Medida mínima	Medida máxima	&4	&4 teórico	Coef de absorción	Densidad	Margen de error	NRC
19,6	684	15	669	680	0,343	159,39	13,67	0,566
21,9	320	661	341	340	0,275	159,39	12,00	0,566
15,4	475	646	171	170	0,496	159,39	13,33	0,566
9,7	100	184	84	85	0,743	159,39	3,00	0,566
9,6	152	110	42	42,5	0,748	159,39	3,50	0,566
4,9	131	152	21	21,25	0,924	159,39	1,58	0,566
16,9	688	25	663	680	0,438	151,04	13,67	0,678
16,5	334	637	303	340	0,453	151,04	12,00	0,678
11	495	655	160	170	0,686	151,04	13,33	0,678
9	91	158	67	85	0,773	151,04	3,00	0,678
8,4	140	194	54	42,5	0,798	151,04	3,50	0,678
3,8	124	142	18	21,25	0,954	151,04	1,58	0,678
12,8	742	75	667	680	0,607	114,38	13,67	0,700
12,4	355	695	340	340	0,624	114,38	12,00	0,700
10,2	516	377	139	170	0,721	114,38	13,33	0,700
9,9	95	190	95	85	0,734	114,38	3,00	0,700
10,2	142	184	42	42,5	0,721	114,38	3,50	0,700
5,5	80	100	20	21,25	0,906	114,38	1,58	0,700
21,7	694	56	638	680	0,281	131,62	65,00	0,462
25,4	322	655	333	340	0,193	131,62	3,33	0,462
22,8	475	638	163	170	0,252	131,62	3,67	0,462
16,2	85	165	80	85	0,464	131,62	0,67	0,462
4,4	151	192	41	42,5	0,938	131,62	1,17	0,462
5,4	174	194	20	21,25	0,909	131,62	1,92	0,462
16,9	700	113	587	680	0,438	120,32	65,00	0,611
21,2	320	672	352	340	0,295	120,32	3,33	0,611
14,7	462	643	181	170	0,525	120,32	3,67	0,611
10	99	179	80	85	0,730	120,32	0,67	0,611
5,9	152	194	42	42,5	0,893	120,32	1,17	0,611
3,1	130	149	19	21,25	0,969	120,32	1,92	0,611
22,4	685	65	620	680	0,262	102,32	65,00	0,598
21,2	310	655	345	340	0,295	102,32	3,33	0,598
8,4	428	605	177	170	0,798	102,32	3,67	0,598
11,8	100	193	93	85	0,651	102,32	0,67	0,598
11,9	143	184	41	42,5	0,646	102,32	1,17	0,598
3,9	168	187	19	21,25	0,951	102,32	1,92	0,598