BIOFABRICACIÓN:

Cultivo de material biológico a partir de micelio del hongo *Ganoderma Lucidum* y cáñamo.

FACULTAD DE CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Escuela Universitaria Centro de Diseño

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
UDELAR

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

TRABAJO FINAL DE GRADO

Biofabricación:
Cultivo de material biológico a partir de micelio del hongo *Ganoderma lucidum* y cáñamo

Estudiantes | Florencia Abad, Clara Rodríguez
Co - tutores | Guillermo Morera, Sandra Lupo
Tutor | Paula Cruz

Escuela Universitaria Centro de Diseño
Setiembre 2022, Montevideo

Agradecimientos

Queremos agradecer en primer lugar a la Escuela Universitaria Centro de Diseño y a los docentes por las herramientas brindadas. A nuestra tutora Paula Cruz, por su disposición y apoyo, motivándonos en todo momento.

Un especial agradecimiento a Guillermo Morera y Sandra Lupo, micólogos y docentes de la Facultad de Ciencias, Udelar; quienes nos abrieron sus puertas para acercarnos al mundo de la micología y permitiendo el uso del laboratorio de la Facultad de Ingeniería, Udelar; para lograr un biomaterial más controlado y con datos más específicos.

Por último queremos agradecer a nuestras familias y amigos por todo el apoyo a lo largo de este proceso. Y a todas las personas que han dedicado un momento, una opinión o un consejo.

01 INTRODUCCIÓN

1.01 | Motivación p.5
1.02 | Relevancia de la investigación p.6
1.03 | Problema de investigación p.7
1.04 | Objetivos p.8
1.05 | Hipótesis p.8
1.06 | Abordaje Metodológico p.9

02 MARCO TEÓRICO

2.01 | Inroducción p.12
2.02 | El impacto de los materiales tradicionales en el medio ambiente p.13
2.03 | Análisis del ciclo de vida p.14
2.04 | Búsqueda de la sostenibilidad. p.15
2.05 | De una Economía lineal a una circular p.17
2.06 | Biomateriales como alternativa a los materiales tradicionales p.18
2.07 | Antecedentes teóricos p.19
2.08 | Antecedentes proyectuales p.23

03 COMPONENTES DEL MATERIAL

3.01 | Introducción p.28
3.02 | Micelio p.29
3.03 | Rol del sustrato p.31
3.04 | Especies de hongos comúnmente utilizados p.32

04 EXPERIMENTACIÓN

4.01 | Introducción p.33
4.02 | Etapas para el desarrollo del biomaterial p.35
4.03 | Intervenciones realizadas al biomaterial p.58
4.04 | Intervenciones al material realizadas en el laboratorio Labfab p.63
4.05 | Testeos según normas ISO y ASTM p.67

05 CONCLUSIONES FINALES DEL TRABAJO

5.01 | Introducción p.77
5.02 | Conclusiones del material p.78
5.03 | Conclusiones de la investigación p.82
5.04 | Reflexión final p.84

06 GLOSARIO p.86

07 BIBLIOGRAFÍA p.88

08 ANEXO p.91

Figura 01. Fotografía de autoría propia, material biológico explorado.

01

INTRODUCCIÓN

El presente informe se desarrolla en el ámbito del Trabajo Final de Grado, de la Licenciatura en Diseño Industrial, dictada por la Escuela Universitaria Centro de Diseño (EUCD) perteneciente a Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (FADU), Udelar.

El trabajo se centra en la exploración de un material de base biológica, fabricado a partir del micelio del hongo *Ganoderma lucidum* y utilizando como sustrato los residuos de la industria del cannabis en Uruguay. El proyecto se encuentra enmarcado dentro de un abordaje sustentable y atiende a la situación problemática de la contaminación ambiental debido al agotamiento de recursos naturales y el exceso de residuos producidos por el ser humano.

Durante años y aún en la actualidad, se utiliza para la fabricación de productos industriales, materiales tradicionales como los polímeros y el cemento. Estos requieren de grandes gastos energéticos, extracción de recursos naturales limitados, como el agua, y una alta producción de gases contaminantes que surgen a la hora de su producción, dejando en el planeta una huella permanente.

"Los compuestos de micelio se fabrican mediante procesos de baja energía, consumiendo subproductos o desechos agrícolas de bajo costo, favoreciendo el reciclado de residuos y manteniendo una economía circular." (Fuentes.I, Monereo.C. 2020. p.63)

El proyecto pretende aportar conocimiento respecto al desarrollo y cultivo del material biológico. Se busca entender si el mismo tiene la capacidad de sustituir a los materiales convencionales y podría ser una solución sostenible a las necesidades actuales.

Para producir el biomaterial se seleccionó el micelio del hongo *Ganoderma lucidum*, comúnmente conocido como "Reishi", por ser una cepa ya estudiada y aplicada para generar este tipo de biomateriales. Además es una cepa fácil de obtener, ya que se encuentra distribuida en zonas templadas de todo el mundo, permitiendo generar un proyecto abierto y dar la posibilidad de replicarlo.

Por otro lado, con el objetivo de hacer foco en el contexto nacional, se utilizaron residuos de la industria uruguaya de cannabis como sustrato para el cultivo del hongo, favoreciendo la reutilización de residuos orgánicos y aportando valor agregado a estos desechos.

1.01 | Motivación

Tras el tránsito por la Escuela Universitaria Centro de Diseño, hemos desarrollado un especial interés como diseñadores en la búsqueda de soluciones sostenibles a la hora de proyectar productos. A su vez, hemos entendido la importancia de integrar el concepto de sustentabilidad en todas las etapas del desarrollo del diseño.

Como menciona Papanek, diseñador y educador de gran relevancia dentro del área:

"(...) el diseñador tiene que ser consciente de su responsabilidad moral y social. Porque el diseño es el arma más poderosa que ha recibido el hombre para configurar lo que produce, su medio ambiente, y, por extensión, a sí mismo; con ella debe analizar las consecuencias de sus actos, tanto del pasado como del futuro predecible." (Papanek, 2014, p.107)

Nos motiva aportar desde el diseño, investigando nuevas tecnologías con un impacto positivo para el ambiente. Aportando nuestro granito de arena y alentando a buscar alternativas más sustentables.

Para finalizar, nos atrae el desafío de experimentar en Uruguay con un nuevo biomaterial, que actualmente se encuentra en desarrollo en diversos países, dandole mayor visibilidad en nuestro contexto.

1.02 | Relevancia de la investigación

La investigación pretende profundizar en el mundo de los biomateriales y ampliar el conocimiento sobre un material biodegradable, fomentando el cultivo como proceso productivo. Brindando un entendimiento global respecto a las capacidades y limitaciones del mismo, cuyos resultados representan una importante contribución al campo de los materiales biológicos. Permitiendo que otros diseñadores puedan acceder a tal conocimiento y continúen el proceso para una posterior proyección de posibles productos.

Se plantea una propuesta sostenible, que reduce el impacto ambiental causado por la extracción y procesamiento de los materiales convencionales.

Por último, la fusión colaborativa e interdisciplinaria que se produce entre el campo del diseño y la micología en el ámbito académico, aporta conocimiento y enriquece el proceso de exploración del material, permitiendo que las dos áreas se potencien una a otra, con el objetivo de aportar una mejora significativa a la problemática medioambiental en la que nos encontramos inmersos como sociedad.

1.03 | Situación problemática y problema de investigación

La **situación problemática** a abordar es la contaminación ambiental que generan los materiales tradicionales utilizados para la fabricación de productos.

La creciente preocupación por el impacto ambiental y la búsqueda de la sostenibilidad, ha hecho que se investiguen nuevos materiales a partir de bases biológicas, con el fin de generar un impacto positivo en el medio ambiente. De esta forma, surge la oportunidad de tomar como punto de partida investigaciones sobre el micelio de los hongos como material de construcción.

La implementación de un material de base biológica no solo ayuda a la reducción de CO_2 en el aire, sino que también favorece al reciclado de residuos orgánicos y mantiene un proceso de fabricación apoyado en el concepto de economía circular.

A partir de la situación problemática, se busca la aplicación de nuevos materiales más amigables con el medio. Sin embargo, para ello primero se debe conocer estos en profundidad para luego entender qué productos se podrían fabricar. Por este motivo, se plantea el siguiente **problema de investigación**: ¿Qué características y propiedades tiene el biomaterial a base de micelio del hongo Ganoderma lucidum, utilizando como sustrato chips de cáñamo?

Por otro lado, a lo largo del informe se responden las siguientes interrogantes: ¿Qué pasos se deben seguir para cultivar un material a base de micelio?, ¿Se puede cultivar en cualquier ambiente? y ¿Cómo beneficia o aporta a la búsqueda de la sustentabilidad?.

.

1.04 | Objetivos

Durante el desarrollo del trabajo de grado, se plantea como **objetivo general** explorar un material biológico a partir de los residuos de la industria del cannabis, utilizando el micelio del hongo *Ganoderma lucidum* como aglutinante.

A continuación como **objetivos específicos** se plantea:

-Determinar las características físicas propias del material en conjunto con el sustrato elegido.
-Explorar posibles intervenciones al material.

.

1.05 | Hipótesis

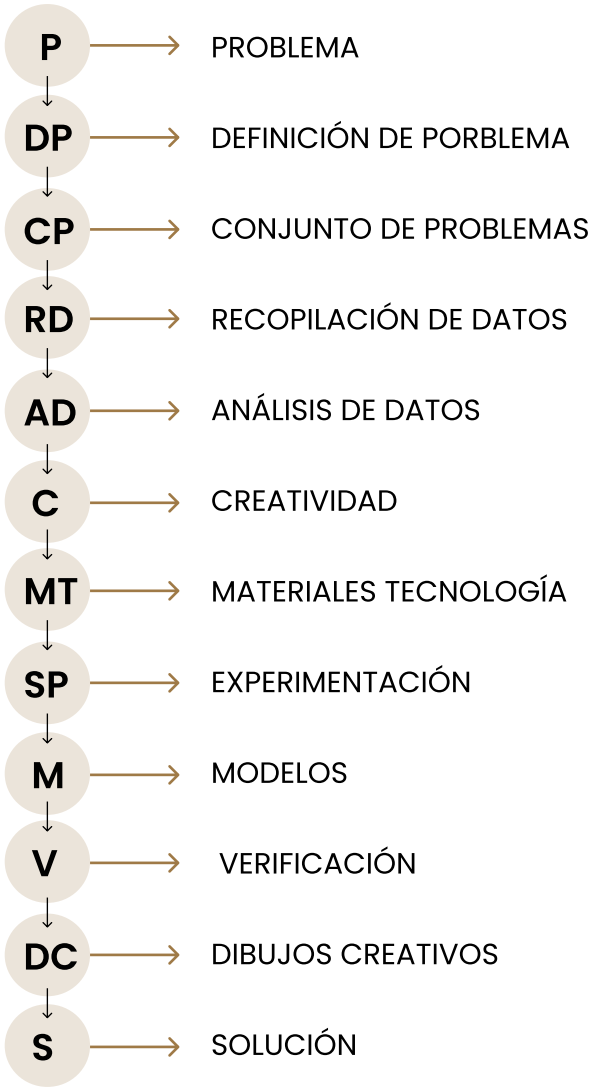
A continuación se plantea la siguiente hipótesis a verificar o refutar:

-Los biomateriales a partir del hongo *Ganoderma lucidum* y cáñamo, contienen características que permitirán proyectar un producto de emplazamiento urbano.

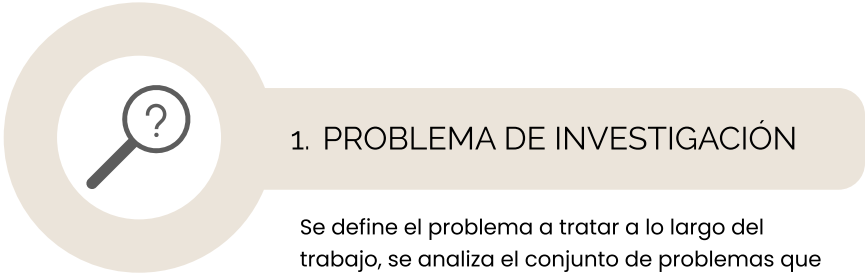
La hipótesis surge de un primer acercamiento al antecedente llamado “Growing Pavillion" (el cual se va a comentar en profundidad más adelante en el informe). Este es un equipamiento urbano realizado a partir de un biomaterial y fue el que nos introdujo al mundo del micelio de los hongos.

1.06 | Abordaje Metodológico

El trabajo se basó en la metodología que Bruno Munari expone en su libro "CÓMO NACEN LOS OBJETOS: Apuntes para una metodología proyectual". En él, el autor plantea el siguiente esquema:



En el esquema se resumen los pasos proyectuales que se deben seguir para llegar a la solución de un problema. A partir del mismo, el trabajo se dividió en las siguientes etapas:



Etapa 1 - Problema de investigación (Capítulo 1)

En la primera etapa se abarca el punto número 1, 2 y 3 del esquema que plantea Munari. Definiendo el problema de investigación y determinando la oportunidad de diseño que surge como posible solución y aporte a la situación problemática.

Etapa 2- Inmersión a la temática. (Capítulo 2 y 3)

Para ello, en esta siguiente etapa se realiza una recopilación y análisis de datos. Se comenzó por un estudio exploratorio de bibliografía y antecedentes existentes sobre el tema. Se buscaron artículos académicos y libros que brindaran conocimiento sobre los conceptos de sustentabilidad, economía circular, biomateriales, el micelio y su utilización como material biológico. Estas fuentes fueron extraídas a través de un estudio profundo en internet, visitando páginas como Google Académico, Timbó Foco, Colibrí y páginas de algunos emprendimientos sobre el tema.

Etapa 3- Exploración del material. (Capítulo 4)

La tercera etapa abarca el material, la tecnología y la experimentación del mismo. Consiste en el estudio del material. Se contactó a docentes encargados del área de micología de la Facultad de Ciencias, Udelar. Quienes guiaron la exploración del biomaterial y acompañaron el

Luego, se comenzó con el cultivo del hongo *Ganoderma lucidum* para generar prototipos del biomaterial y realizar los testeos y pruebas pertinentes. La forma de abordar la fabricación del biomaterial es a través de la experimentación e investigación del mismo en un espacio controlado. Se trabajó en la sede del laboratorio de micología ubicado en la Facultad de Ingeniería, Udelar. Luego de obtener el material, se realizaron diferentes intervenciones (algunas de ellas en el laboratorio LabFab, Udelar) y se testean algunas de sus propiedades según normas ISO y ASTM.

Etapa 4- Conclusiones (Capítulo 5)

En esta última etapa, se visualiza el aporte a la problemática planteada. Se recopilan todas las conclusiones obtenidas del biomaterial que fueron surgiendo de la experimentación. Se plantean los aprendizajes y las posibles mejoras del proceso productivo para el desarrollo del material.

02

Figura 02. Fotografía de autoría propia, muestra del material biológico

MARCO TEÓRICO

2.01 | Introducción

En este capítulo se busca abordar la fundamentación teórica del trabajo. Para ello, es necesario profundizar en la información sobre el impacto de los materiales tradicionales en el medio ambiente y conceptos como: la sustentabilidad, la sostenibilidad, la economía circular y ciclo de vida. Estos términos son de gran importancia para la comprensión del trabajo y fundamentan el camino a seguir.

Por otro lado, se expone la idea de la implementación de materiales de base biológica, que surgen como alternativa a la problemática. Estos dan un nuevo rumbo a la búsqueda de nuevos materiales con el objetivo de generar un menor impacto ambiental.

El presente trabajo continúa con esta línea. Por lo que es importante conocer el concepto de material biológico o también llamado biomaterial.

Finalmente, se presentan y analizan antecedentes de biomateriales y trabajos de carácter científico en los que se utilizó el micelio como agente principal.

2.02 | El impacto de los materiales tradicionales en el medio ambiente.

A lo largo del tiempo, la humanidad ha utilizado diferentes tipos de materiales para la fabricación de productos. Estos han ido evolucionando en busca de mejorar sus propiedades y características, que luego determinarán la composición física de los mismos.

La producción y la manufactura de los materiales tradicionales (metales, pétreos industriales, maderas y polímeros), está asociado a la extracción de recursos no renovables, la deforestación y la contaminación ambiental, acarreando una gran cantidad de residuos con un costo energético de post procesamiento sumamente elevado.

Según datos y cifras retirados de la página web de las Naciones Unidas:

“La extracción y el procesamiento de los materiales, los combustibles y la comida, son responsables de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero mundiales totales y de más del 90 % de la pérdida de biodiversidad y estrés hídrico.”

Además, la utilización de estos materiales para la fabricación de objetos, permite generar productos que perduran más en el tiempo como residuos que lo que dura su vida útil. Su descomposición demora años, por lo que estos productos una vez que se desechan perduran en el ecosistema, acumulándose. Según un informe del Banco Mundial realizado en el 2018, para el 2050 se espera una generación de 3.400 toneladas de basura anuales a nivel mundial.

A medida que el ser humano fue tomando conciencia del impacto de sus acciones sobre el medio ambiente, se hicieron cada vez más presentes las problemáticas ambientales. Se comenzó a analizar más allá de lo que sucedía simplemente en la fabricación de los productos dentro de las empresas, y se abrió el espectro para poder comprender el impacto de nuestras creaciones a lo largo de todo el ciclo de vida de las mismas.

“Los límites ambientales nos muestran claramente que ni una sola actividad de diseño puede ser llevada a cabo sin tener en cuenta el impacto que tendrá el producto sobre la naturaleza. Los requisitos ambientales ahora se consideran necesarios desde la primera etapa del desarrollo del producto en adelante (...)” (Manzini, E. Vezzoli, C. 2008, p.63)

2.03 | Análisis del ciclo de vida

En el Programa Diseño para la Innovación del INTI, dentro del apartado llamado ¿Qué entendemos por sustentabilidad? se detalla una visión integral del concepto del Ciclo de Vida, donde el objetivo principal del mismo es: minimizar la carga sobre el medio ambiente asociada con el producto, a partir de una idea sistémica, minimizando la entrada de materias primas, energía y el impacto de las emisiones y residuos tanto cuantitativa como cualitativamente.

Carlo Vezzoli y Enzio Manzini en su libro "Design for Environmental Sustainability" especifican que: "La vida completa de un producto puede describirse como un conjunto de actividades y procesos, mientras que cada uno de ellos consume una cierta cantidad de recursos y energía, pasa por una serie de transformaciones y desencadena emisiones de diversas clases." (Manzini, E. Vezzoli, C. 2008, p.63)

A su vez, en el mismo libro plantean que para trazar con exactitud la vida de un producto, ésta se subdivide en las fases de: preproducción, producción, distribución, uso y desecho.

Se inicia el análisis del ciclo de vida con la etapa de preproducción. Durante ésta etapa se preparan los recursos necesarios y componentes para la fabricación del material. Se puede subdividir en sub etapas como: la adquisición de materia prima (extracción y procesado), la distribución a las respectivas fábricas y la posterior transformación en materia prima o energía.

Durante la etapa de producción, se pueden distinguir tres fases fundamentales: el procesado de los materiales, el ensamblado de los mismos y el acabado, para dar por finalizado el producto. De manera sintética, las materias primas recibidas son transformadas en componentes que al ensamblarse conformarán un producto. En este punto se pueden aplicar procesos de acabados y terminaciones como: pulidos, barnizados, teñidos, etc. Durante este proceso las consecuencias medioambientales derivan principalmente del gran consumo de energía necesario para llevar a cabo la actividad.

La tercera etapa consiste en la distribución, donde el producto se empaqueta para que llegue en buenas condiciones al usuario, luego se almacena y se distribuye utilizando diversos medios de transporte. Esta etapa implica no sólo el consumo de energía requerido para el transporte, sino también los recursos necesarios para producir estos medios de transporte.

Luego llega la etapa del uso. Los bienes de consumo pueden diferenciarse entre objetos tangibles o servicios. Ambos casos consumen recursos y/o energía dejando a su paso basura y desperdicios.

La etapa final es la de la disposición o desecho del producto. En este punto, se pueden clasificar los objetos en: es posible reparar las funcionalidades del producto o sus partes; es posible de recuperar los materiales o la energía utilizada y por último, el caso de que no se pueda recuperar. La mayor parte de estos materiales o productos cumplen las características del tercer caso, y al finalizar su ciclo terminan en vertederos como residuos donde dependiendo de su composición pueden llegar a durar siglos enteros sin descomponerse.

Al momento de diseñar un producto se deben considerar todas las etapas. En este trabajo se hace foco en la primera (la preproducción), específicamente la adquisición de materia prima, y en la última etapa, buscando generar un material biodegradable que minimice su impacto negativo en el medio ambiente.

2.04 | Búsqueda de la sostenibilidad.

La clara evidencia de las consecuencias de nuestras prácticas desmedidas en el medio ambiente, ha impulsado un cambio de paradigma en el diseño. De forma que el concepto de sustentabilidad, sostenibilidad y economía circular han tomado fuerza en las últimas décadas.

El concepto de desarrollo sustentable, viene de la mano con el desarrollo sostenible. Es común asociar estos términos a una dimensión ecológica o al cuidado del medio ambiente, pero se debe considerar también la dimensión social y económica para poder tomar en consideración el sistema de manera integral.

"(...) el diseño sustentable centra su atención en satisfacer necesidades del consumidor buscando concretar los principios de desarrollo sostenible en el proceso de diseño. En ésta línea, las empresas además de enfocarse en aspectos económicos productivos, contemplan los aspectos ambientales, éticos y sociales de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida." (Ariza, R. Dorado, C. Maugeri, S. Zito, M. 2018, p.4)

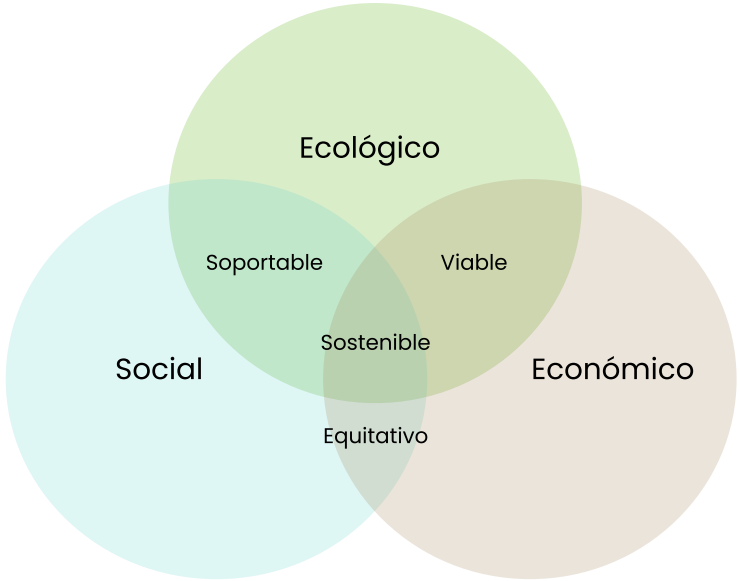


Figura 03. Mapa de las dimensiones que envuelve el concepto de sustentabilidad. Retirado de: Ariza, R. Dorado, C. Maugeri, s. Zito, M. 2018.

La dimensión económica, se encarga de que el desarrollo sea eficaz y positivo económicamente dentro de las generaciones actuales y pensando en un futuro tanto cercano, como a largo plazo. Por otro lado, la dimensión social aspira a la erradicación de la pobreza mundial, de la mano con el concepto de equidad y a generar un equilibrio y balance demográfico reforzando la identidad de las diversas comunidades. Por último, la dimensión ambiental busca un desarrollo sostenible y compatible con la diversidad biológica y el cuidado de los recursos naturales.

Siguiendo la misma línea, la sustentabilidad es un proceso que busca el equilibrio entre los recursos extraídos o utilizados para el consumo y el medio ambiente. Este concepto viene ligado a la responsabilidad social, el cambio cultural, y la economía circular. Un proceso sustentable es aquel que se puede sostener a sí mismo y es redituable a lo largo del tiempo.

La definición adoptada por la World Commission on Environment and Development y formulada en 1987 es: “El desarrollo sustentable hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras.”

Estos conceptos, se tomaron como pilar fundamental del trabajo. Enfocando la investigación a seguir el mismo camino y aportando una base teórica como punto de partida.

2.05 | De una Economía lineal a una circular.

Actualmente, nos encontramos inmersos en una economía lineal, que incentiva la conducta del "usa y tire" a pesar de vivir en un mundo de recursos y energía finitos. Dentro de este modelo "(...), las materias primas utilizadas para fabricar los productos que se consumen, luego de ser utilizados, siguen su cauce "natural" hacia la basura. En este sentido, es la comercialización y venta de los productos la que mantiene esta economía de los materiales en movimiento y al mismo tiempo, es la que agota los recursos naturales y genera incalculables cantidades de desechos". (Ariza, R. Dorado, C. Maugeri, s. Zito, M. 2018, p.7)

En oposición a esto, surge el término de Economía Circular (EC) haciendo referencia a un modelo económico cuyo objetivo es producir bienes y servicios de manera sostenible, con el objetivo principal de minimizar el consumo, tiempo, fuentes de energía y desechos. Esto se realiza a través de un ciclo continuo, conservando y revalorizando el capital natural. Los residuos pasan a ser un elemento externo al proceso, ya que cuando un producto finaliza su vida útil, pasa a ser materia prima de uno nuevo, comenzando un nuevo ciclo de vida.

El concepto de economía circular se basa en tres principios claves:

"-Preservar y mejorar el capital natural gestionando mejor los nutrientes biológicos;
-Minimizar la extracción y el uso de recursos técnicos no renovables y su dispersión incontrolada en el medio ambiente;
-Rediseño sistémico hacia nuevas formas de producción y consumo sin residuos, más conscientes, locales e impulsadas por energías renovables." (Ariza, R. Dorado, C. Maugeri, s. Zito, M. 2018, p.8)

El enfoque abordado en este trabajo se basa en los tres principios claves de la economía circular. Se explora un material biológico que preserva y mejora el capital natural, a través de la reutilización de desechos orgánicos sin tener que extraer nueva materia prima, minimizando la extracción y procesamiento de otros recursos. Por otro lado, brinda una nueva forma de producción más consciente a través del cultivo.

Figura 04. Romero, V. (2019, September 27). ¿Qué es la economía circular? [Ilustración gráfica]. Ruiz Healy Times. https://ruizhealytimes.com/vr/que-es-la-economia-circular/

2.06 | Biomateriales como alternativa a los materiales tradicionales

Estos conceptos impulsan la búsqueda de nuevas alternativas a los materiales tradicionales, algunos diseñadores comenzaron a introducirse en el mundo de los biomateriales o también llamados materiales de base biológica, en función de producir materiales sustentables. Buscando componentes con características orgánicas y biodegradables, realizados con residuos orgánicos y/o gestados por organismos vivos, tales como bacterias, hongos, etc. Estos materiales tienen como objetivo permitir que el producto una vez que finalice su vida útil, pueda biodegradarse o disolverse sin dejar rastros nocivos en el medio ambiente. Así como también, tienen el objetivo de buscar una alternativa a los procesos productivos actuales, minimizando el impacto ambiental que conlleva la utilización de los materiales tradicionales.

Uno de los materiales de base biológica que se encuentra actualmente en gran expansión, es el producido a partir del micelio de los hongos. Estos biomateriales van de la mano con los fundamentos de la economía circular ya que generan bajas emisiones de efecto invernadero durante su producción y son fácilmente reciclables. A su vez, una de sus particularidades que lo distinguen de los materiales constructivos tradicionales es que es una alternativa que se puede cultivar en lugar de extraer de manera desmedida.

2.07 | Antecedentes teóricos

Introducción

Durante la revisión bibliográfica realizada, se destacan dos trabajos académicos que estudian el biomaterial a base del micelio utilizando distintos hongos y sustratos, considerados pilares fundamentales para la realización de este proyecto.

Aportan valor gracias a la naturaleza de sus contenidos, donde contribuyen con perspectivas teóricas que fueron tomadas como punto de partida para el trabajo. Por otro lado, fueron de gran relevancia los ejemplos de testeos realizados con el fin de comprender el comportamiento y propiedades del material, junto con los resultados obtenidos, que tienen relación directa al tema y brindaron claridad a la hora de resolver el problema de la presente investigación.

Figura 05. Fuentes, I. Monereo, C. (2020, June). Bio Fabricación [Ilustración]. Oa.Upm. https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf

"Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustratos lignocelulósicos" realizado por Ignacio Fuentes y Cantillana Monereo, 2020.

En su investigación abarcan como objetivo la producción de materiales vivos a partir de los hongos. Utilizando el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* como material vivo que lo combinan con distintos sustratos orgánicos. Es así, que a lo largo del informe se plantea una estrategia para un óptimo cultivo, y una vez producido el biomaterial evidencian las propiedades del mismo, en relación a la absorción acústica, térmica y mecánica. Además, plantean un acercamiento al reino fungi, donde hablan de la biología del hongo, el modo de vida, el micelio y su crecimiento.

Una de las ventajas del biomaterial a base de micelio, es su fabricación mediante procesos de baja energía y su consumo de desechos orgánicos, favoreciendo al reciclado y a la reducción de los residuos. Igualmente no todos los residuos orgánicos son apropiados para el crecimiento de los hongos. Va a depender de la elección del hongo ya que cada especie crece sobre sustratos o materia completamente diferente. El sustrato seleccionado debe favorecer el crecimiento del hongo y las propiedades del biomaterial.

En el TFG concluyen que "la propiedad más interesante de los hongos es el sistema de crecimiento de sus hifas circunstancia que vincula la arquitectura hifal con la resistencia a la compresión. El tipo y la concentración de polímero de la pared celular también pueden influir en el rendimiento mecánico, ya que la pared celular define la forma y la resistencia celular. Otros componentes del compuesto como el sustrato, la materia prima y los aditivos también influyen considerablemente en las propiedades del material, incluidas las resistencias a la compresión, la flexibilidad y la conductividad eléctrica." (Cantillana, M. Fuentes, I, 2020, p.104)

Durante el desarrollo de la tesis, los autores plantean como el aumento de la población mundial ha llevado a un aumento en la producción agrícola y por consecuencia un incremento en los desechos que está industria genera. El micelio necesita de un sustrato orgánico para crecer y se puede aprovechar totalmente estos sobrantes en desuso. "Estos residuos se generan por necesidades forestales, no energéticas y son materiales que no tienen calidad suficiente para otras aplicaciones, pero sin embargo son óptimos para el crecimiento del micelio (...)".

Por otro lado, este trabajo tuvo gran relevancia y sirvió como punto de partida gracias a las experimentaciones realizadas durante la cocción del material. Nos basamos en los datos establecidos para realizar las primeras experimentaciones de nuestro TFG.

Se plantea que es necesario inactivar (o matar) el hongo antes de que se formen cuerpos fructíferos, y para esto es necesario que las muestras se sequen a una temperatura suficiente para eliminar la humedad (70% - 80% en peso).

Los autores realizan pruebas preliminares con dos tipos de cocción en función de la temperatura / tiempo. La primera (la más larga), se realiza con un horno de convección a 82°C durante 12 horas (ciclo industrial estándar para productores de envases a base de micelio), mientras que la segunda tiene un duración de 1 hora a 90°C con muestras de menor volúmen.

"Caracterización mecánica, física y química de composites a base de micelio con diferentes tipos de sustratos lignocelulósicos", realizado por Elsacker E., Vandelook S, Brancart J. y Peeters E, 2019.

El siguiente antecedente es un artículo científico, donde a lo largo del trabajo los autores exponen como los materiales a base del micelio ofrecen un paradigma de fabricación alternativo. Las fibras de los residuos de la industria agrícola se inoculan con el micelio del hongo *Trametes versicolor*, uniendo la materia prima y generando como resultado un material resistente al mismo tiempo que liviano. Investigan el proceso productivo, las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los compuestos utilizando cinco tipos diferentes de sustratos (cáñamo, lino, desechos de lino, madera blanda y paja) y aplicando diversos tipos de procesamiento a las fibras clasificándolas en: suelta, picada, en polvo, precomprimida y estopa.

Se proponen como objetivo principal investigar los efectos de utilizar diferentes tipos de fibras residuales de la industria agrícola, para testear las propiedades resultantes de la utilización de cada una determinando de esta forma la influencia del sustrato en el rendimiento del material.

Durante el proceso productivo, luego de que el sustrato fue colonizado por completo por el micelio seleccionado, prosiguen a matar el organismo aplicando una temperatura crítica para volver inerte el material y permitir que el agua residual se evapore. El material resultante tiene una alta complejidad debido a la diversa variedad de combinaciones posibles que varían según el tipo de sustrato. *"Cada variación de los parámetros de crecimiento puede resultar en cambios en la constitución del material y las propiedades mecánicas."* (Elsacker E., Vandelook S., Brancart J. y Peeters E, 2019, p.2). Se plantea como principales factores a la hora de determinar las características del material a: la especie del hongo, el sustrato o materia prima y todas las posibles variables durante la fabricación del material (esterilización, inoculación, empaque, tiempo de crecimiento, método utilizado para la inactivación o secado, etc.).

Para preparar las fibras destinadas a ser utilizadas como sustrato, en primer lugar los autores las dejan en remojo durante 24 hs, luego de transcurrido el tiempo, se enjuagan con agua limpia y se tamizan con un colador de 5mm exprimiendolas de forma manual. Una vez que se encuentran apenas húmedas proceden a esterilizarlas en el autoclave durante 20 minutos a 121ºC. Posteriormente las dejan enfriar durante 24 horas.

A la hora de inocular el sustrato, rellenan los moldes con un porcentaje en peso de 20% fibras, 10% micelio y 70% H_2O. Los mismos se fueron completando por capas, las cuales fueron comprimiendo con una cuchara para obtener muestras compactas de alta densidad.

Durante el procedimiento de secado, inactivan las muestras en un horno de convección (no especifican modelo), a 70ºC entre 5 y 10 horas. Todas las muestras son pesadas antes y después del secado y toman las medidas del diámetro y altura de cada una de ellas.

Para la caracterización del material calcularon su densidad, contenido de humedad, compresión mecánica, conductividad térmica y porcentaje de absorción de agua.

Algunas de las conclusiones planteadas son: el rendimiento mecánico de los compuestos a base de micelio depende principalmente de cómo se procesan las fibras de los sustratos a utilizar, junto con el tamaño de la composición química de las mismas. También, según los resultados de las experimentaciones realizadas a lo largo del artículo, plantean que los compuestos a base de micelio tienen el potencial para reemplazar compuestos a base de petróleo al menos dentro del requisito de aislamiento térmico.

Al finalizar, realizan la aclaración que debido al amplio espectro de opciones de sustratos y hongos para conformar el material es muy complejo comparar resultados con la literatura existente dado que hay muchos factores que alteran el comportamiento mecánico de las muestras.

2.08 | Antecedentes proyectuales

Introducción

En esta ocasión se recopilan diversos proyectos o empresas referentes en cuanto a la investigación y/o utilización de biomateriales a partir de micelio. Son considerados fundamentales para exponer el contexto de la temática, tanto a nivel internacional como local, debido a que muchos de ellos son pioneros dentro del rubro y cuentan con una gran trayectoria en el tema.

Evocative

Ecovative Design es de las primeras empresas en trabajar el micelio como material constructivo. La misma crea productos de empaque de alta calidad, 100% reciclables y libres de tóxicos. Bajo el lema de “Cultivando mejores materiales”, explican cómo utilizan el micelio de los hongos para “cultivar” sustitutos a los polímeros tradicionales.

La empresa, entre otros productos, ofrece un kit de su micelio para “cultivar tus propias creaciones en casa”, con un manual de instrucciones y recomendaciones que se detallarán a continuación.

En primer lugar, se aclara que para este proceso no se utilizan esporas o la fructificación del hongo, solo la estructura vegetativa conocida como micelio.

Plantean como esencial, lavarse las manos, usar guantes, nunca oler, respirar, tocar el contenedor donde se encuentre nuestro material en crecimiento, y esterilizar bien todas las herramientas antes de utilizarlas. Ya que la muestra se puede contaminar muy fácilmente y podrían crecer otros hongos no deseados en ella.

Figura 06. Ecovative. (2022). [Fotografía]. Ecovative Web. https://www.ecovative.com/pages/mycocomposite

The growing pavillon

Uno de los antecedentes de gran importancia para la investigación, es el atlas de materiales que creó la compañía New Heroes, junto con la Dutch Design Foundation. En conjunto construyeron un pabellón de base biológica "The growing pavillon", donde se refleja la cantidad de posibilidades que ofrecen los materiales de base biológica a través de la utilización del micelio.

El atlas de materiales se creó con el fin de compartir y hacer públicas las investigaciones realizadas para el proyecto, así como los descubrimientos, para que otros se inspiren y participen de una construcción más amigable con el medio ambiente.

Dentro de los principales aportes del Atlas, se encuentran los cálculos de absorción de CO_2. Para la realización del proyecto, se asesoraron con una consultora de sustentabilidad llamada Primum, la cual realizó los cálculos de cuánto CO_2 se emitió durante la realización del pabellón, luego cuanto fue absorbido gracias al micelio y por último se compararon los números en relación a la construcción de un edificio hipotético, donde se utilizarían materiales constructivos convencionales.

Los cálculos se hicieron a través de un análisis del ciclo de vida del pabellón, desde la extracción de los materiales para su producción, el transporte, el uso y el procesamiento final una vez que este quedara en desuso. Los cálculos dieron que en su ciclo de vida el pabellón emite 15.943,71 Kg de CO_2, mientras que un edificio convencional similar emitirá 40.710,19 Kg de CO_2. Lo cual son 2.5 veces más CO_2.

Aunque un punto importante a tener en cuenta es que, el pabellón no solo tiene menos emisiones de CO_2 sino que también hay que considerar lo que el biomaterial absorbió de la atmósfera durante su crecimiento, que según los cálculos da un total de 26.000 Kg de CO_2 capturados. De esta forma, la construcción obtuvo un balance negativo de más de 10 toneladas de CO_2. Los cálculos realizados por la consultora se encuentran disponibles en el atlas en la página web de "The Growing Pavilion".

Figura 07. About the growing pavilion. (2022). [Fotografía]. The Growing Pavilion. https://thegrowingpavilion.com/about/

Sativas

Emprendimiento uruguayo, dedicado a la revalorización de los tallos del cáñamo industrial, generando insumos para diferentes industrias.

Generan diversidad de productos, desde tejidos generados con fibras de cáñamo, hasta diferentes prototipos de recipientes a partir del micelio de *Pleourotus ostreatus* y cañamiza.

A su vez, participan de varios ciclos de charlas y encuentros informando sobre sus experiencias con las fibras y la cañamiza, con un fuerte énfasis en el uso del cáñamo en la industria textil, los materiales naturales para la construcción y la conciencia ambiental.

Figura 08. Seguimos explorando el universo de aplicaciones para la fibra y la cañamiza | Fieltro agujado 100% fibra de cáñamo nacional y mezcla de lana merino y cáñamo. (2021). [Fotografía]. Sativas. https://www.instagram.com/p/CU57X1TARCM/?igshid=YmMyMTA2M2Y=

Mycomaker

Emprendimiento que ofrece cursos digitales donde enseñan a crear biomateriales con hongos. Se fundó por Nelson Dueñas en el año 2017, con el propósito de estandarizar técnicas de cultivo de hongos fáciles de reproducir. El es un biólogo ecuatoriano y especialista en micomateriales, se encarga de ofrecer cursos para todo tipo de público, inclusive para los que no tienen conocimiento previos sobre el tema. Se encarga de explicar el paso a paso del proceso.

Generó el término “MICOTECTURA” para poder referirse a la tecnología de la biofabricación utilizando el micelio de los hongos.

Además de ofrecer cursos continúan investigando, desarrollando y produciendo objetos de micelio. Inspirados en acelerar el desarrollo y la adopción de esta nueva tecnología. Por este motivo es que buscan democratizar su conocimiento ofreciendo cursos para que más individuos se sumen a la causa y actúen en congruencia con la sostenibilidad ambiental.

Hifa biomateriales

Hifa es un emprendimiento que surge en el 2019 de Felipe Machado, Guadalupe Sonneveld y Gabriela da Rosa estudiantes de la ORT.

Su objetivo es generar biomateriales capaces de reemplazar el plástico, a partir de desechos agroindustriales. Algunos de los desechos que utilizan son cáscara de arroz, el aserrín o el rastrojo.

Para su proyecto final de carrera generaron una serie de paneles de absorción acústica a partir del biomaterial con micelio. Se propusieron como objetivo a corto plazo montar una planta piloto para comercializar el material y en el año 2022 ganaron el premio Uruguay circular.

Figura 09. Biomaterial sustituto del plástico comienza a producirse en Uruguay. (2019). [Fotomontaje]. Universidad ORT Uruguay. https://www.ort.edu.uy/88763/32/biomaterial-sustituto-del-plastico-comienza-a-producirse-en-uruguay.html

03

Figura 10. Fotografía de autoría propia, material biológico explorado.

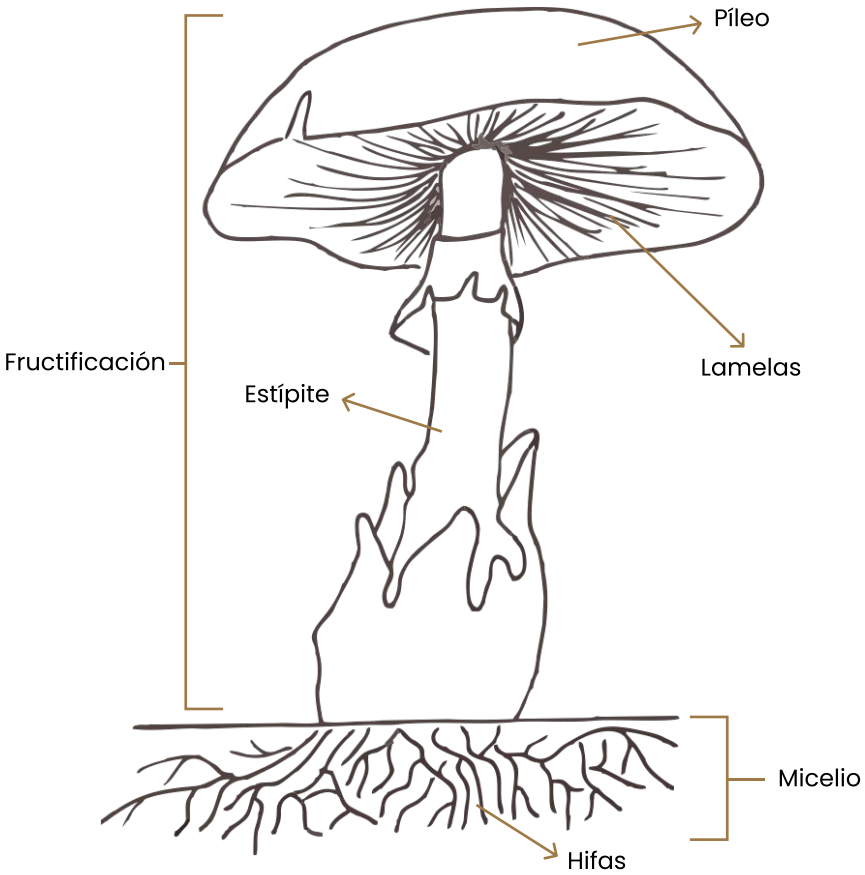
COMPONENTES DEL MATERIAL

3.01 | Introducción

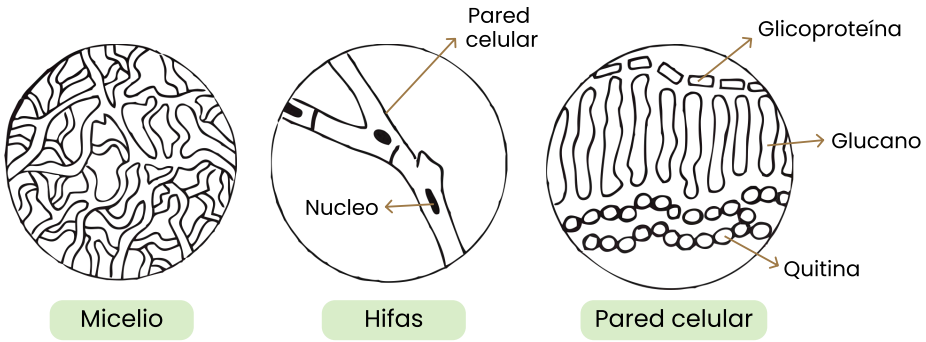
En este apartado se evidencian los términos biológicos necesarios para la comprensión del trabajo. Se definen las características de los elementos que componen el material, brindando a su vez información relevante sobre dichos conceptos.

3.02 | Micelio

El micelio es la red de filamentos que conforman el cuerpo del hongo, donde cada filamento es una célula denominada hifa. El micelio se desarrolla dentro y sobre el sustrato del que se alimenta, constituyendo la parte “vegetativa” del hongo. Comúnmente cuando se hace referencia a “el hongo", se hace alusión a la fructificación o seta, es decir la parte reproductiva del organismo.



El micelio prolifera en los materiales de los cuales se alimenta, formando redes entrelazadas de fibras ramificadas. La pared celular de las hifas de los hongos es una estructura con gran plasticidad, compuesta de quitina, glucanos y glicoproteínas. Confiere resistencia, plasticidad y tiene funciones de interacción, adhesión y protección con el medio externo. Esto es de gran importancia, ya que ésta pared celular protege a las hifas y aporta fuerza mecánica a todo el micelio.



Otro dato destacable, es que, dada la alta proporción de polímeros naturales en el micelio, se lo puede denominar un material fibroso con un alto componente polimérico natural.

Por otro lado, existen diferentes tipos de relaciones ecológicas de los hongos: simbiontes, parásitos y saprófitos (el que nos vamos a centrar en este trabajo). Los saprófitos crecen degradando la materia orgánica generando una matriz que actúa como pegamento aglutinante entre la materia.

Para la realización de un biomaterial a base de micelio, se necesita de un sustrato (materia prima orgánica, preferentemente lignocelulósica), el cual posteriormente se va a inocular con el micelio del hongo que se quiere trabajar. Al colocar una mayor cantidad de inóculo (ej.: semilla miceliada) en el sustrato, aumenta la tasa de crecimiento y al mismo tiempo se reducen las posibilidades de contaminación de la muestra.

A través de una entrevista de carácter informal con Camila Maraboto, fundadora y diseñadora de simbióticas lab, un colectivo de diseño que se encarga de investigar y desarrollar nuevos materiales (dentro de los cuales se encuentran compuestos con micelio), desde su experiencia nos transmitió que la temperatura óptima para el desarrollo del micelio de la mayoría de los hongos es de 25°C a 30°C y con un rango entre el 95% y 100% de humedad.

El micelio, se puede cultivar en un molde para formar diferentes volúmenes y formas que sirven para la producción de diversos artículos. Este, mientras crece se adhiere al sustrato y comienza a tomar la forma del molde.

La incubación del micelio fúngico con desechos vegetales produce materiales porosos biodegradables que se han sugerido como alternativas sostenibles para muchos materiales a base de petróleo.

Una vez que logramos las características formales y estructurales deseadas, se debe detener el crecimiento del hongo. Calentando la muestra se inactiva el crecimiento de forma permanente.

Finalmente, cuando se seca, este organismo proporciona un material natural poroso. Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento rápido del micelio, sus requisitos de riego limitados, su capacidad para consumir y utilizar desechos vegetales y sus propiedades mecánicas y estéticas únicas, lo hacen un excelente sustituto a los materiales constructivos actuales.

Las características del material, así como la calidad del mismo, dependen tanto del sustrato como del hongo que se utilice para su fabricación. El micelio de los hongos funciona como un adhesivo natural “uniendo” el sustrato utilizado y conformado el material. Este biomaterial a diferencia de los materiales convencionales, se cultiva en lugar de fabricarse.

3.03 | Rol del sustrato

Para seleccionar un buen sustrato existen algunas propiedades que es importante tener en cuenta. En primer lugar, es fundamental que tenga un alto contenido de celulosa y lignina. Ya que la base nutricional principal de los hongos es la glucosa. Una diferencia que existe entre los hongos y otros organismos vivos, es que pueden descomponer la celulosa en glucosa. Eso quiere decir que en ambientes con niveles de glucosa altos estos organismos pueden desarrollarse muy rápidamente.

En segundo lugar, es importante que el sustrato esté disponible en nuestra localidad o área cercana. Sería contraproducente producir un material sustentable y que para su fabricación se requiera que el sustrato sea importado cuando existen otras alternativas disponibles localmente.

Otras características a tener en cuenta, son la degradabilidad, el costo y las propiedades texturales y estructurales.

El Cáñamo, cuenta con una capa antiinfecciosa natural que la hace menos susceptible a la aparición de microorganismos y reduce la necesidad de una excesiva esterilización. La fibra del Cáñamo que se cultiva en Uruguay cumple con los criterios mencionados anteriormente.

Tiene un alto contenido de celulosa, se puede conseguir con facilidad en Uruguay y investigaciones anteriores han demostrado que una gran variedad de hongos se adhieren bien a sus fibras.

Un buen crecimiento del micelio en los sustratos genera una mayor resistencia a la compresión. A su vez, un período de inoculación prolongado y el prensado térmico aumentan la resistencia a la tracción y elasticidad.

Una de las teorías manejadas, es que esto podría deberse a que al dejar el micelio crecer cada vez más, los vacíos entre las fibras se llenan y el sustrato se une con más fuerza, al mismo tiempo que aumenta la densidad del material.

Aunque es muy importante tener en cuenta que un período de incubación excesivo lleva a la degradación completa del sustrato (alimento del hongo), obteniendo como resultado un material quebradizo y en consecuencia más débil.

3.04 | Especies de hongos comúnmente utilizados

Las especies de Hongos *Trametes versicolor [Figura 12], Pleurotus ostreatus* [Figura 11] y *Ganoderma lucidum [Figura 13]* muestran mejores resultados en la producción de biomateriales ya que cuentan con un micelio espeso con una alta capacidad de degradación de la celulosa. El material resultante se utiliza principalmente para embalaje y aislamiento térmico. Algunas de sus características son: una excelente estabilidad térmica, propiedades hidrofóbicas y una buena resistencia mecánica.

El hongo *Ganoderma lucidum*, crece generalmente en la base de los árboles, unido a los troncos o entre las raíces. Crece en cualquier época del año y se encuentra distribuído en zonas templadas de todo el mundo. Es conocido mundialmente por sus propiedades beneficiosas para la salud, entre ellas se encuentran propiedades inmunomoduladoras, inmunoterapéuticas y antioxidantes.

La producción de biomateriales con el micelio de este hongo, da como resultado un material de mayor resistencia a la compresión y con mayor rigidez que otros hongos. Esto se debe a su capacidad para colonizar y crecer rápidamente en diversos materiales orgánicos que contienen lignina, celulosa, hemicelulosas y paredes celulares gruesas.

Figura 11. Adaptada de *Pleurotus ostreatus*, por JardineríaOn, retirado de: https://acortar.link/53ROBd

Figura 12. Adaptada de ¿Qué es este *Trametes versicolor*?, por SCRIBID, retirado de: https://acortar.link/Eisz9O

Figura 13. Adaptada de Reishi hongo *Ganoderma lucidum* polisacáridos polisacáridos de polvo de un 30%, por Made-in-China, retirado de: https://acortar.link/voCvia

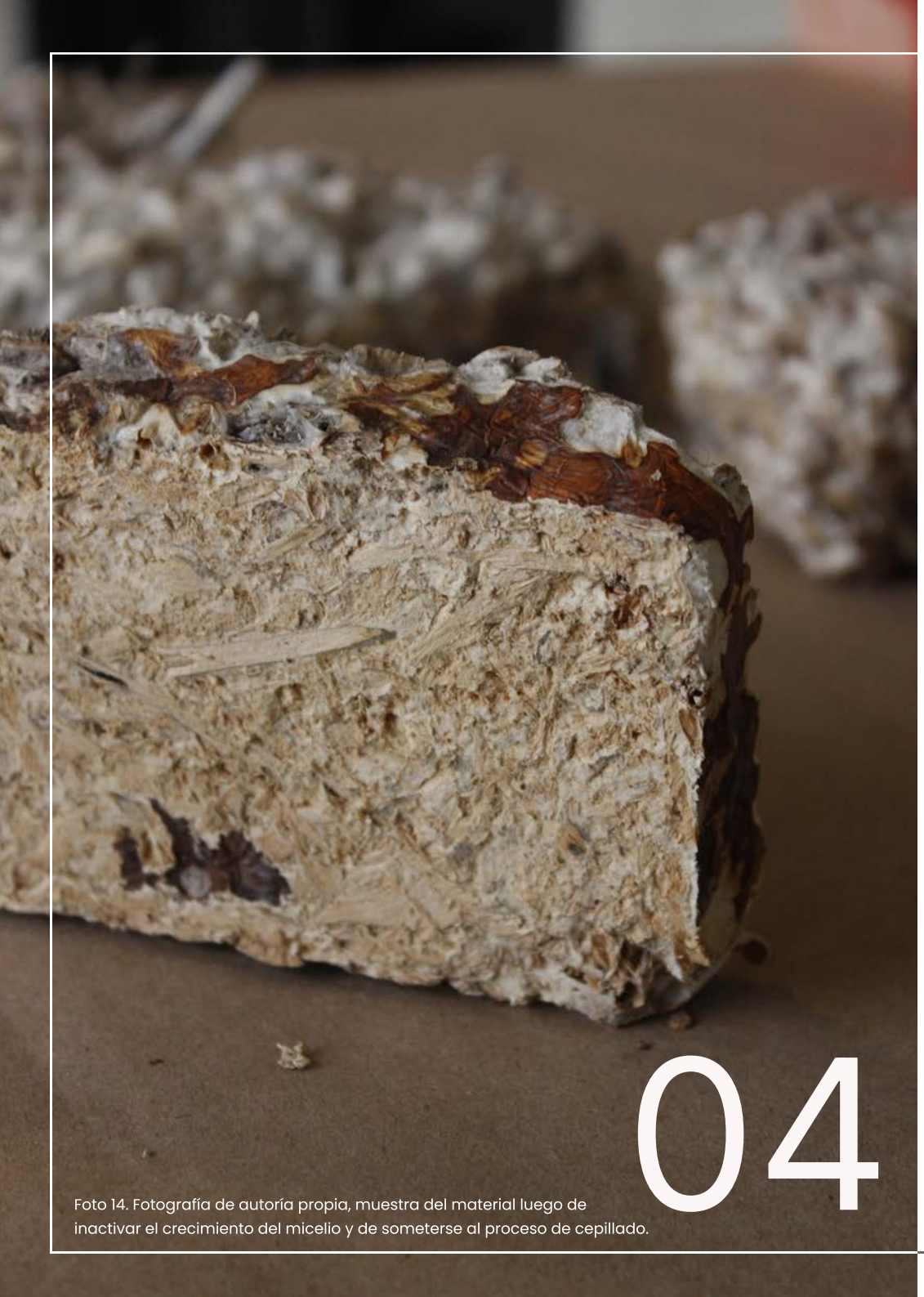


Foto 14. Fotografía de autoría propia, muestra del material luego de inactivar el crecimiento del micelio y de someterse al proceso de cepillado.

04

EXPERIMENTACIÓN

4.01 | Introducción

En la búsqueda de alternativas a los materiales convencionales para la generación de productos, se contextualiza este segmento para exponer el proceso de experimentación con el material biológico seleccionado.

En una primera instancia, con el fin de cumplir con el objetivo de determinar las características físicas propias del material, se desarrolla el proceso de gestación e inactivación del mismo para luego poder aplicar los testeos pertinentes.

Este proceso consta de 5 etapas que tuvieron lugar tanto en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Udelar, como en el hogar de una de las integrantes del equipo.

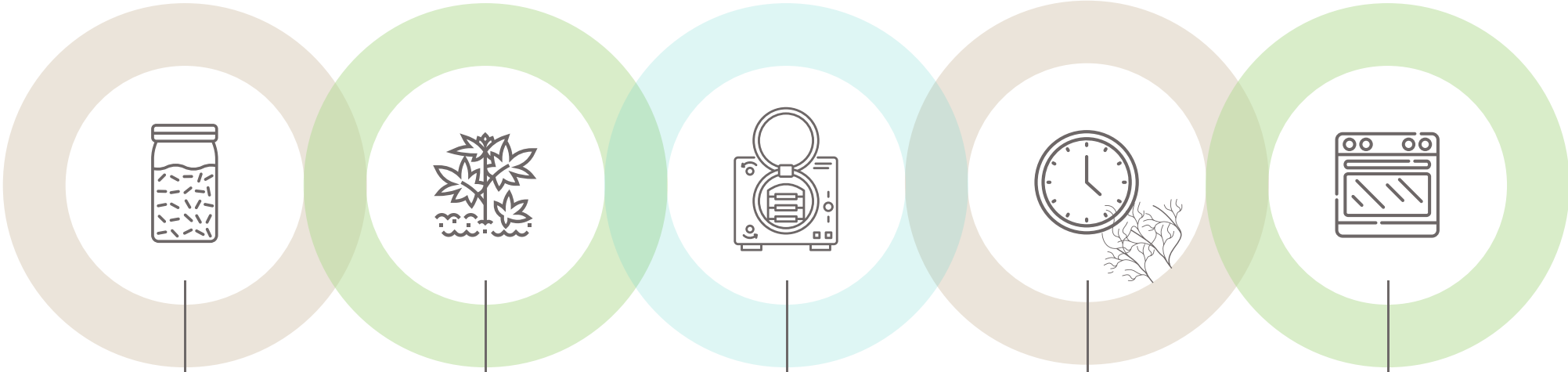
En primer lugar, se encuentra la adquisición de la semilla miceliada y su reproducción, continuando con la recolección y preparación del sustrato. Una vez adquiridos estos dos elementos, se pasa a las etapas de inoculación y desarrollo del micelio para finalizar con la inactivación del mismo.

Para tener conocimiento de las propiedades del biomaterial, se generaron testeos según las normas ASTM y ISO, con el fin de determinar la tasa de absorción de humedad y la densidad del mismo.

Luego, con el propósito de cumplir con el objetivo de explorar posibles intervenciones a realizar con el material, se plantearon diversos testeos. Por un lado, se concurrió al laboratorio Labfab de la FADU, donde se realizaron pruebas de grabado y corte con una máquina de corte láser y con un router CNC. A su vez, se realizaron pruebas de atornillado, perforación con taladro, corte con ingletadora, cepillado y encolado para observar cómo reaccionaba el material al ser expuesto a distintas máquinas.

Para finalizar, luego de cada experimentación o testeo se describen las observaciones recabadas y se relatan las conclusiones pertinentes.

4.02 | Etapas para el desarrollo del biomaterial



1. ADQUISICIÓN Y REPRODUCCIÓN DE LA SEMILLA MICELIADA DEL HONGO *Ganoderma lucidum*
2. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL SUSTRATO
3. INOCULACIÓN DEL SUSTRATO (Chips de cáñamo)
4. CRECIMIENTO DEL MICELIO
5. INACTIVAR EL CRECIMIENTO DEL MICELIO

Etapa 1. Adquisición y reproducción de la semilla miceliada del hongo *Ganoderma lucidum*

Esta primera etapa consistió en la compra de la semilla miceliada del hongo seleccionado para el proyecto (*Ganoderma lucidum*). Fue adquirida de un emprendimiento nacional (Bosqueterra), uno de los pocos en Uruguay. Una vez adquirida, se la reprodujo utilizando el mismo sustrato de origen (avena con cáscara). Este paso, fue imprescindible para generar el volumen de semilla miceliada necesaria, que posteriormente permitirá inocular la cantidad obtenida del sustrato a utilizar en el biomaterial.

Para la reproducción de la semilla miceliada, el primer paso fue pesar la avena con cáscara en una balanza hasta alcanzar 1,2. Kg.

Usualmente los sustratos, al ser materia orgánica están habitados por múltiples microorganismos como bacterias, insectos, u otros hongos que pueden llegar a competir con la vida del hongo que queremos cultivar. Por este motivo, uno de los pasos más importantes es la correcta esterilización del sustrato al inicio del proceso.

Por esta razón, se colocó en una bandeja de plástico y se le vertió agua caliente para humedecerlo y comenzar el proceso de esterilización [Figura 15]. Se dejó reposar hasta que la avena absorbió la mayor parte del líquido. Luego, para retirar el exceso de humedad, se pasó a bandejas con papel [Figura 16]. Se volvió a pesar el sustrato (ahora húmedo), obteniendo como resultado un peso de 2,01 Kg. El mismo contiene un 67% de agua.

Se distribuyó el sustrato húmedo en bollones de vidrio [Figura 17], abarcando aproximadamente ¾ partes de cada bollón. Se tapó con papel aluminio ajustado por una goma elástica [Figura 18} y se llevó al autoclave para continuar el proceso de esterilización [Figura 19].

El autoclave, trabaja con vapor de agua a alta presión y alta temperatura, permitiendo eliminar cualquier microorganismo que se pueda encontrar tanto en el sustrato como en los bollones.

Durante el proceso de esterilización con el autoclave se alcanzan temperaturas de 121°C y una presión de 100kPa, adecuada para asegurarnos de que el sustrato es totalmente inerte. La parte negativa de este proceso es que requiere de una gran cantidad de energía y equipo especial que generalmente encontramos en laboratorios.

Una vez que la autoclave alcanzó los 121° C se dejó aprox. 30 min. Luego se apagó y recién se pudo abrir una vez que esté disminuyó la presión y volvió a marcar 0°C. Se contabilizó en total 1 hora a partir de que este comenzó a disminuir la temperatura y fue seguro abrirlo para retirar los frascos.

Cuando los bollones con el sustrato esterilizado se aclimatan a la temperatura ambiente, se prosigue al paso de la inoculación. Estos se inoculan con la semilla micellada previamente comprada. Durante ésta etapa, es fundamental tener los siguientes cuidados: desinfectar con alcohol la zona de trabajo, lavarse bien las manos y hacer uso de un mechero tanto para generar un campo inerte como para desinfectar los utensilios con calor. Cerca del mechero se traslada la semilla micellada a los nuevos bollones con avena, completando la totalidad del espacio de cada uno.

Para que el micelio se desarrolle de la mejor manera posible, se deja reposar durante 3 a 4 semanas aproximadamente en una estufa del laboratorio de la Facultad de Ingeniería a 25°C.

La muestra de *Ganoderma lucidum* inoculado en el sustrato de avena creció rápidamente ocupando la totalidad de cada bollón a las tres semanas. Los resultados fueron óptimos, ningún bollón se contaminó con hongos externos a la muestra, de forma que quedó pronta para utilizar en una siguiente etapa.

Figura 15. Avena con cáscara en agua hirviendo

Figura 16. Quitando el exceso de humedad

Figura 17. Sustrato ocupando 3/4 partes del bollón

Figura 18. Método utilizado para cerrar los bollones

Figura 19. Colocando los bollones en el autoclave.

Figura 20. Abriendo el autoclave para retirar los bollones esterilizados.

Etapa 2. Recolección y preparación del sustrato

El equipo se contactó con una industria de cáñamo uruguaya llamada Fintesse S.A. Localizada en el paraje Víboras y Vacas del departamento de Colonia. La empresa donó 7 Kg de residuos generados en la última cosecha. De los desechos de la planta se utilizó tanto los tallos como las ramas. Posteriormente, se trituraron generando la materia prima (el sustrato) a utilizar en el biomaterial.

La selección de este sustrato (chips de cáñamo) se debe entre otros factores al auge de la producción de cannabis en nuestro país, que conlleva un aumento de los desechos orgánicos producidos por esta industria.

Figura 21. Tallos y ramas residuales de la industria del Cannabis.

Etapa 3. Inoculación del sustrato (Chips de cáñamo)

Para inocular los chips de cáñamo con la semilla miceliada, previamente el sustrato debe estar esterilizado. Para ello, se repitió el mismo procedimiento que a la avena con cáscara en la etapa 1. En esta oportunidad, se colocó el sustrato en bolsas y moldes de silicona (también cubiertos por bolsas plásticas) para llevarlos al autoclave. Los moldes de silicona se utilizan con el fin de poder inactivar las muestras en un horno y posteriormente desmoldarlas con facilidad.

Una vez que finaliza la etapa de esterilización del sustrato y aseguramos que el mismo está listo para usar, lo inoculamos con la semilla micellada previamente adquirida y reproducida. Generar un campo esterilizado para este paso, es muy importante. Si queremos minimizar las posibilidades de que el material se contamine, hay que ser muy cuidadosos y desinfectar la superficie a trabajar utilizando alcohol, guantes o esterilizar las manos y hacer uso de un mechero. La inoculación del sustrato se realiza pasando la semilla micellada de los bollones a los moldes con cáñamo [Figura 24]. Para finalizar, se cierran las bolsas plásticas con bandas elásticas y se llevan a la estufa del laboratorio para que el micelio crezca y abarque la totalidad del molde o de las bolsas [Figura25].

Esta etapa se realizó dos veces a lo largo del trabajo, en un primera instancia se generaron dos moldes y varias bolsas. Y en la segunda, seis moldes.

Figura 22. Esterilización en el autoclave

Figura 23. Bajando la tempreatura de los moldes y el sustrato

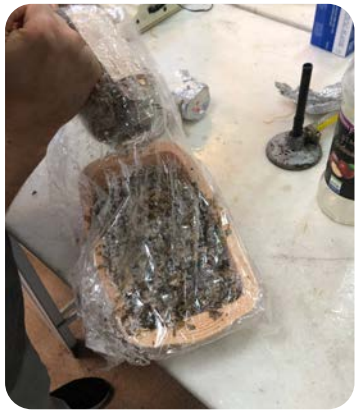


Figura 24. Inoculando el cáñamo con la semilla miceliada

Figura 25. Crecimiento en una estufa del laboratorio a 25°C

Etapa 4. Crecimiento del micelio

La estufa es un espacio controlado que mantiene las muestras a una determinada temperatura a lo largo del crecimiento. Para que el micelio se desarrolle de forma óptima, la misma debe estar entre 21-27°C. A su vez, proporciona oscuridad, otro componente fundamental para el crecimiento.

En este caso, se dejaron las muestras a una temperatura de 25°C, hasta que el micelio cubrió la totalidad del volumen del sustrato.

Figura 26. Estufa del laboratorio de micología en la sede de la Fing, Udelar.

Como mencionamos en la etapa anterior, se realizaron dos tandas de moldes en dos periodos de tiempo diferentes. Los moldes de las muestras nº1 y nº2, se realizaron entre los meses de Diciembre a Febrero y se desarrollaron por un período de 9 semanas. El planteo original era que permanecieran creciendo solamente durante 4 semanas, ya que era el tiempo estimado que obtuvimos de los antecedentes. Sin embargo, no se las pudo retirar con anterioridad ya que durante el mes de enero el laboratorio no estuvo disponible debido a las vacaciones de los funcionarios, por lo que no era posible acceder a las muestras. Es por este motivo, que para la segunda tanda de moldes (realizados en los meses de Junio-Julio), donde se obtuvieron las muestras nº3 a la nº8, se decidió continuar con el planteo original y se las dejó creciendo a lo largo de las 4 semanas.

Figura 27. Fotografía de autoría propia, muestra el crecimiento del micelio sobre el cáñamo en los moldes utilizados para generar las muestras del material.

Dato importante a tener en consideración:

Esta etapa como la anterior, debe hacerse en un espacio controlado como lo es el laboratorio. Ya que la posibilidad de que el material se contamine disminuye.

Además, se recomienda que el crecimiento del micelio sobre el sustrato se realice dentro del molde que se quiere utilizar. Una de las experimentaciones que se realizaron a lo largo del trabajo, fue hacer que el micelio crezca dentro de las bolsas plásticas con el sustrato, para luego pasarlo a los respectivos moldes finales. Sin embargo, con este método las muestras se contaminaron y no se logró continuar con su crecimiento.

Se llegó a esta conclusión gracias a la siguiente experimentación realizada en el hogar: Buscando utilizar el material ya crecido de las bolsas plásticas previamente inoculadas, se esterilizaron y rellenaron cuatro moldes de silicona. Siguiendo los mismos procedimientos que en el laboratorio para generar un campo inerte, se utilizaron herramientas y elementos del hogar. Primero se desinfectó con alcohol la superficie a trabajar y los moldes se lavaron con detergente y se colocaron en agua hirviendo durante unos minutos. Luego, en lugar de utilizar un mechero para generar un campo esterilizado, se utilizaron velas. Cerca de las velas se abrió la bolsa y se pasó su contenido a los moldes. Para finalizar, se cubrieron los moldes con bolsas plásticas previamente higienizadas con alcohol y se cerraron con una banda elástica permitiendo una pequeña entrada de oxígeno.

Las muestras se colocaron en una zona sin luz directa y separadas del nivel del suelo para mantenerlas a temperatura ambiente. Luego de dos semanas, se pudo visualizar que una de las muestras se encontraba contaminada. A las tres semanas, a dos muestras más les ocurrió lo mismo. [Figura 28]

Por este motivo se decidió volver a realizar el proceso pasando el micelio a los moldes en el hogar, pero llevándolos a crecer en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería en un ambiente controlado. Las muestras fueron colocadas en la estufa a 25ºC. Al paso de tres semanas se regresó al laboratorio para observar el crecimiento del micelio. Sin embargo, se pudo visualizar que nuevamente las muestras se encontraban contaminadas.

Es así que se pudo concluir, que al pasar el micelio de las bolsas plásticas a los moldes de silicona en un ambiente poco controlado como es el hogar (a diferencia del laboratorio), se corre el riesgo de que se presente o visualice contaminación superficial en las muestras.

Figura 28. Muestra contaminada durante la etapa de crecimiento del micelio.

Etapa 5. Inactivar el crecimiento del micelio.

Para inactivar el crecimiento del micelio, se utilizó un horno doméstico (Panavox eléctrico) a una temperatura de 90°C.
El horno no debe superar esta temperatura, ya que de lo contrario las muestras se pueden carbonizar.

Para la primera prueba de secado, se utilizó información del antecedente "Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustratos lignocelulósicos" realizado por Ignacio Fuentes y Cantillana Monereo. Quienes comentaron en su trabajo lo siguiente: "(...) se secaron durante 1 hora a 90°C (...)" (Fuentes.I, Monereo.C. 2020. p.96)

Este fue uno de los pocos datos hallados en la búsqueda de bibliografía sobre el tema. Además, es un dato con poca relevancia ya que no contenía información sobre las dimensiones de la muestra que colocaron dentro del horno.

Igualmente se decidió experimentar a partir de este dato y observar los resultados como primer acercamiento. Se colocaron los dos primeros moldes inoculados (muestra nº1 y nº2) en el horno a la temperatura mencionada y se dejó allí hasta que transcurrió la hora. Al retirarlas del horno se cometió el error de almacenarlas en una bolsa de nylon abierta. A las 48hs se visualizó la aparición de otro tipo de hongo [Figura 29], lo que generó una nueva deducción:

Figura 29. Muestras contaminadas luego de ser almacenadas en una bolsa plástica.

La duración de la cocción en el horno no fue suficiente y no se llegó a retirar la humedad necesaria, dando la posibilidad a que crezcan otros organismos. Así mismo, no se debe almacenar estas en una bolsa plástica luego del horneado.

Una vez que se visualizaron los hongos externos, se optó por dejarlos a la intemperie. Estas fueron realizadas en el mes de Febrero-Marzo y el calor del sol rápidamente terminó de secar las muestras (reduciendo el porcentaje de H_2O a un 20-25%) y detuvo el crecimiento de los hongos externos.

Nuevo intento de inactivación del micelio y secado de las muestras

Con el fin de generar nuevas muestras libres de contaminación, el 31 de mayo se comenzó nuevamente desde el principio repitiendo la etapa 3. Se inocularon 6 moldes que crecieron en óptimas condiciones a lo largo de 4 semanas.

El 29 de junio se retiraron los moldes del laboratorio para repetir el procedimiento de inactivación de las muestras con el horno Panavox eléctrico.

Como en el primer intento de secado se dejó las muestras por una hora, en esta ocasión se decidió colocar las seis muestras juntas en el horno [Figura 30], durante 3 horas a una temperatura de 90°C y comenzarlas a retirar de a una cada media hora. Esta decisión se tomó para poder observar cómo afectaba el tiempo de horneado a las muestras y concluir que tiempo sería el adecuado.

Figura 30. Fotografía de autoría propia, colocando las muestras en el horno eléctrico.

Previo a colocar las 6 muestras de cáñamo inoculado con el micelio en el horno, se registró su masa con una balanza y su contenido de humedad con un higrómetro. [Figura 31] De esta forma, se obtuvieron datos específicos para comprender la relación de temperatura y tiempo de cocción que el material necesita para su secado.

Una vez que las muestras se retiran del horno y se aclimatan a la temperatura ambiente, se las volvió a pesar y se midió su porcentaje de H_2O.

Figura 31. Tomando el porcentaje de H_2O previo al horneado en la muestra n°8, utilizando un higrómetro.

	%H_2O Previo al secado	Masa previo al secado (gr)	Tiempo dentro del horno	Masa al retirarlo del horno (gr)	%H_2O al retirarlo del horno
Muestra 3	99,4	425	3hs	400	74,0
Muestra 4	99,5	450	3hs y 30min	400	73.0
Muestra 5	99,3	450	4hs	400	64.0
Muestra 6	99,4	445	4hs y 30 min	375	81.2
Muestra 7	99,0	450	5hs	400	59.3
Muestra 8	99,6	500	5hs y 30 min	415	74.5

Tabla 1. Porcentaje de H_2O y masa de las muestras antes y luego del proceso de secado en el horno.

Se continuó con el proceso de secado, dejando las muestras a la intemperie durante 8 días. Al cuarto y octavo día se midieron nuevamente los porcentajes de H_2O y el peso de las muestras.

Figura 32. Muestra N°3 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

Figura 33. Muestra N°4 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

Figura 34. Muestra N°5 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

Figura 35. Muestra N°6 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

Figura 36. Muestra N°7 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

Figura 37. Muestra N°8 luego del secado en el horno y colocada a la intemperie

	%H_2O al 4to día	Masa al 4to día (gr)	%H_2O al 8vo día	Masa al 8vo día (gr)	%H_2O al 12vo día	Masa al 12vo día (gr)
Muestra 3	62,7	290	52,3	225	51,1	175
Muestra 4	68,5	275	59,5	225	57,7	175
Muestra 5	54,8	295	40,8	230	37,7	200
Muestra 6	72,3	275	58,4	225	48,3	175
Muestra 7	54,2	300	47,5	250	44,5	210
Muestra 8	72,4	325	48,5	275	44,3	225

Tabla 2. Luego del proceso de secado en el horno, se tomó el porcentaje de H_2O y la masa de las muestras al cuarto, octavo y doceavo día.

Al doceavo día las muestras comenzaron a mostrar índices de otros hongos [Figura 38], lo que da a entender que no resiste mucha exposición a la humedad. Dado que los días a la intemperie para completar el proceso de secado del material fueron con un índice alto de humedad (semana húmeda y lluviosa con un porcentaje de humedad ambiental que varió entre el 90% y el 80%) y poca temperatura.

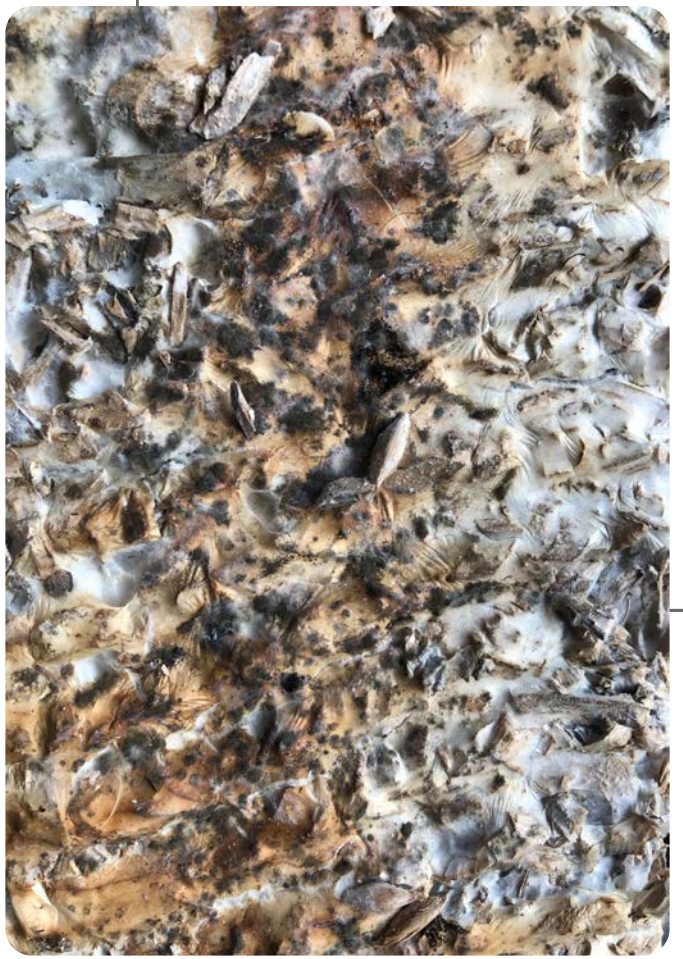


Figura 38. Aparición de otros hongos al pasar 12 días a la intemperie.

Por ese motivo se decidió volver a llevar estas al horno eléctrico con una temperatura de 90 °C por una hora y volver a obtener datos del porcentaje de H_2O y peso una vez que estas se aclimaten a la temperatura ambiente con el fin de acelerar el proceso de evaporación de la humedad restante.

	%H_2O luego del segundo horneado	Masa de las muestras luego del segundo horneado (gr)
Muestra 3	44,6	150
Muestra 4	51,6	150
Muestra 5	31,8	167
Muestra 6	38,4	150
Muestra 7	39,6	190
Muestra 8	42,4	200

Tabla 3. Luego del segundo proceso de secado en el horno, se tomó el porcentaje de H_2O y la masa de las muestras.

Por otro lado, se observó en los días siguientes que los nuevos hongos detuvieron su crecimiento.

Al día 18 se volvió a tomar el porcentaje de humedad. Se obtuvieron resultados elevados con respecto a las muestras nº1 y nº2 (estas tienen entre un 20% y 25% de H_2O). La principal hipótesis es que esto se debe a los días lluviosos que no colaboraron con la reducción de humedad de las muestras, retrasando el proceso de secado. Por este motivo, se colocaron las 6 últimas muestras al calor de una estufa a leña, con el fin de acelerar el proceso [Figura 39].

	%H_2O luego de 18 días	%H_2O luego de exponerse al calor de una estufa
Muestra 3	46,8	42,9
Muestra 4	51,6	47,5
Muestra 5	22,3	24,5
Muestra 6	34,1	30,7
Muestra 7	30,5	26,5
Muestra 8	27,6	26,1

Tabla 4. Se tomó el porcentaje de H_2O de las muestras previo y posterior a la exposición al calor de una estufa a leña.

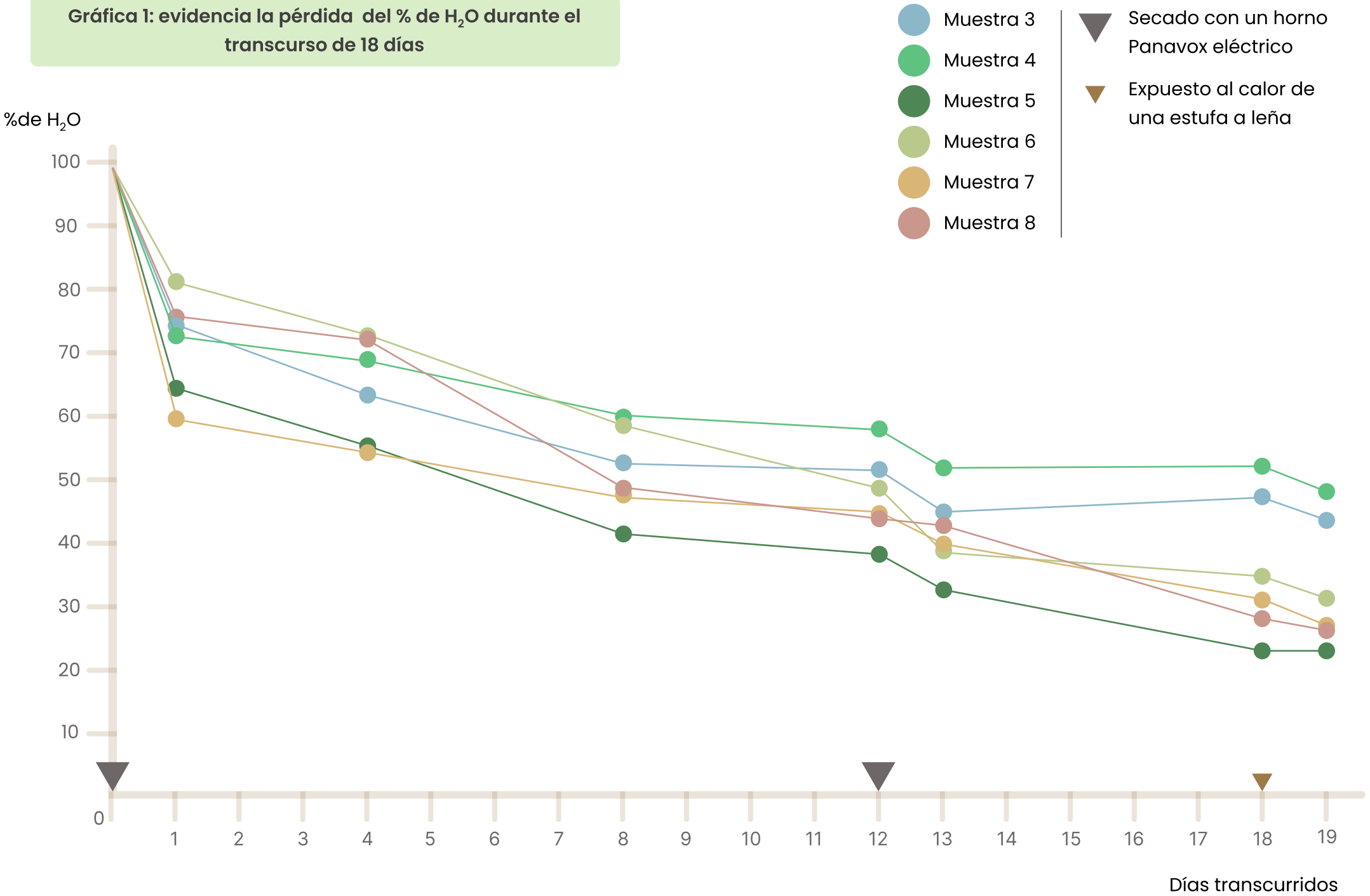
Figura 39. Muestras expuestas al calor de una estufa a leña.

A partir de los datos recabados, se puede observar en la tabla 5 la pérdida de porcentaje de H_2O durante el transcurso de 18 días [Ver gráfica 1] y la pérdida de masa en gr durante 13 días [Ver gráfica 2]. En anexo se detallan gráficas para cada muestra [Ver anexo pág. 92-94].

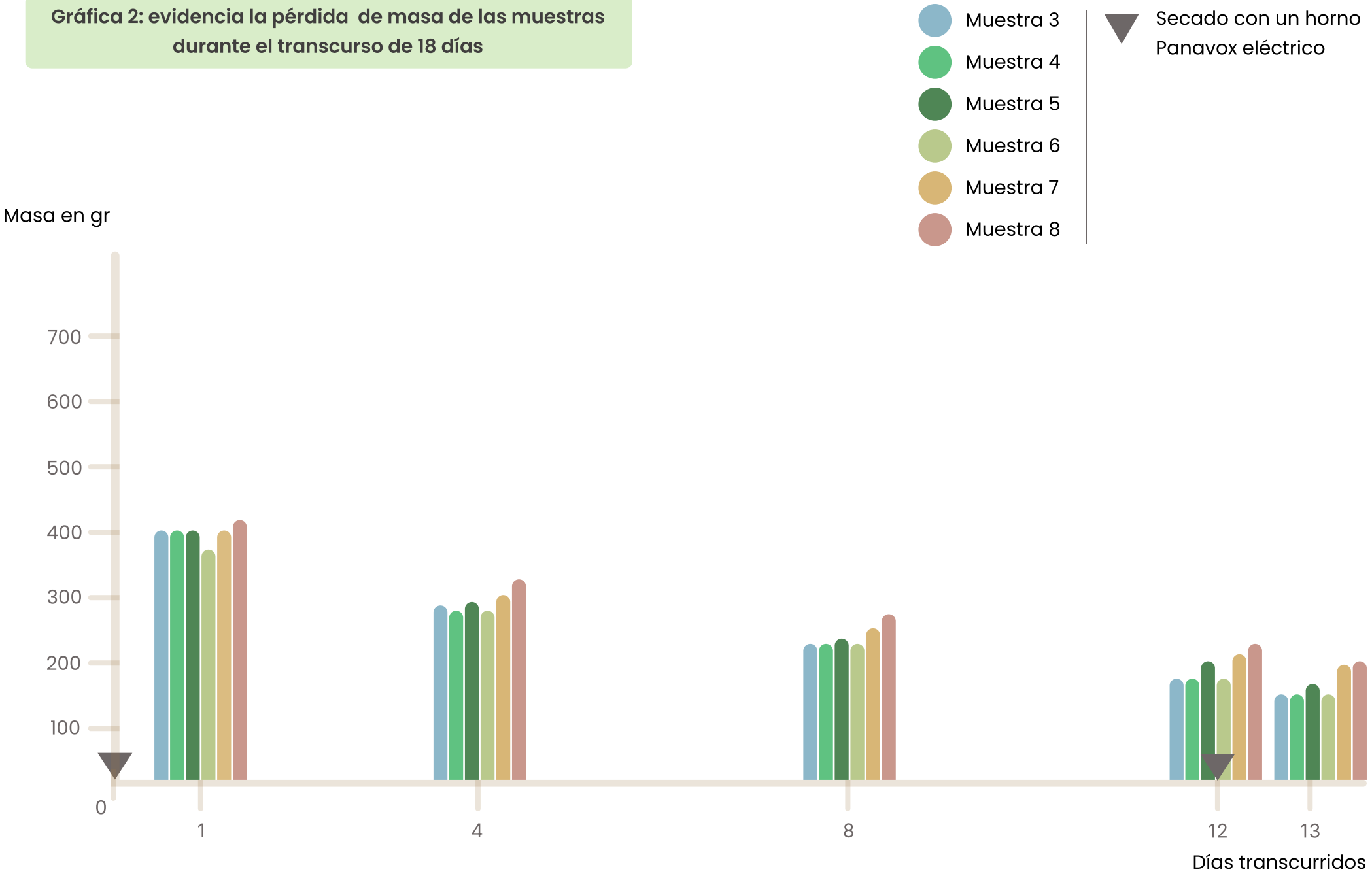
	Reducción del %H_2O durante 18 días	Reducción de la masa en gr durante 13 días
Muestra 3	56,5	400
Muestra 4	52,0	425
Muestra 5	74,8	408
Muestra 6	68,7	420
Muestra 7	72,5	385
Muestra 8	73,5	425

Tabla 5. Resultado de la reducción del %H_2O y masa, a partir del los datos iniciales y finales de cada parámetro.

Gráfica 1: evidencia la pérdida del % de H_2O durante el transcurso de 18 días



Gráfica 2: evidencia la pérdida de masa de las muestras durante el transcurso de 18 días



Cálculo de la contracción del material luego del secado

Otro dato que se logró obtener a partir del secado de las muestras, es el cálculo del coeficiente de contracción volumétrica del material. Este "es la disminución del volumen del material expresado en porcentaje, por cada uno por ciento de humedad" (Maderas. Determinación de la contracción, NTE INEN 1164:2013).

Este se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$W = \frac{V_1 - V_2}{V_2 (H_1 - H_2)} \times 100$$

W=coeficiente de contracción volumétrica
V_1=volumen de la probeta con un contenido de humedad H1
V_2=volumen de la probeta con contenido de humedad H2

La contracción del material se determina por la diferencia del volumen que este experimenta.

Para alcanzar este cálculo se utilizan los valores de la muestra n°8. Su volumen inicial es de 1100 ml (este dato se obtuvo rellenando el molde con agua y pasando esta a una jarra donde marcaba la medida). Su humedad inicial previo al secado era de 99,6% .

Para obtener el dato del volumen final de la muestra, luego del proceso de secado con un porcentaje de humedad final de 14,7% (dato obtenido a partir de un higrómetro el día que se realizó el testeo), se sumergió ésta en un recipiente con agua. El recipiente tenía un volumen inicial de 1500 ml y una vez que se introduce la muestra, el volumen de agua sube obteniendo un volumen final de 2380 ml [Figura 40]. Se obtuvo el volumen final de la muestra restando la medida final e inicial del agua. El dato subsecuente es de 880 ml .

Una vez obtenido todos los datos necesarios, se completa la ecuación determinando que el material contiene el siguiente coeficiente de contracción volumétrica:

W = 0.29446408 %

Concluyendo que cada 1% de humedad, el material se contrae luego del proceso de secado 0,29%. (Ver desglose en anexos pág. 95).

Figura 40. Imágenes del procedimiento utilizado para hayar V_2.

Conclusiones obtenidas de las etapas para el desarrollo del biomaterial

El biomaterial estudiado es susceptible a la contaminación. El proceso de esterilización del sustrato es muy importante para poder minimizar las posibilidades de que eso ocurra. Igualmente, las causas por la que una muestra se pueda contaminar y no permita el crecimiento del micelio, son variadas y dependen de muchos factores. La mejor forma de reducir el riesgo de que esto suceda, es inocular el material en un ambiente controlado como lo es un laboratorio, que permita un riguroso proceso de esterilización y un cuidado controlado durante el crecimiento. Por este motivo **se considera dificultosa su producción "artesanal" o con métodos más "caseros"**.

Además, en el laboratorio se cuenta con equipos valiosos como el autoclave para desinfectar y eliminar cualquier organismo vivo del sustrato, así como una estufa que permite el crecimiento del micelio sin importar la época del año y el país en el que se cultive.

El biomaterial debe **inocularse directamente en el molde** del producto que se desee realizar, no se puede hacer crecer en otro recipiente y luego pasarlo al molde ya que posiblemente se contamine y no continúe su crecimiento.

El biomaterial se adapta al molde en el que se cultive. El micelio tiene la ventaja de que crece abarcando la totalidad del molde. Se genera un **material versátil**, dando la posibilidad de realizar piezas volumétricas. A su vez, se podría generar planchas, placas o tableros del biomaterial y producir piezas planares.

A partir de la segunda prueba de secado se observó que **no hay un patrón claro entre las muestras en cuanto a la pérdida de humedad**. La muestra nº8, la cual pasó mayor tiempo en el horno, no muestra gran cambio respecto a las otras muestras. Es decir, no se puede asegurar que haya sido la más efectiva en la pérdida de humedad. Pudiendo concluir, que **conviene utilizar el tiempo de horneado de la muestra con menos horas de secado** y finalizar el proceso a la intemperie. De esta forma, los gastos energéticos son menores.

Por otro lado, tras la experiencia de colocar las muestras a la intemperie para finalizar el proceso de secado se puede concluir que **la mejor época para realizar esta acción es en los meses más soleados** (Enero-Abril o Agosto-Diciembre). Esto genera que el material se seque en poco tiempo y no afecte su composición.

Por último, en cuanto a la observación de que las muestras con un alto porcentaje de humedad desarrollaron nuevos hongos externos, se pudo concluir que el material **sin ningún acabado, de estar expuesto a la intemperie, permitiría el desarrollo de otras especies de hongos u organismos vivos**. Lo que lleva a refutar la hipótesis planteada al inicio del trabajo, ya que no sería un material adecuado para la fabricación de productos urbanos dado que uno de los requisitos para generar un producto de este emplazamiento es que debe soportar diversas variables climáticas.

A continuación se esquematiza el proceso de elaboración de las muestras, a través de un breve resumen de las distintas etapas.

Proceso de elaboración de las muestras

1 Compra de la semilla miceliada

La semilla se adquirió de un vendedor de confianza que es el proveedor de la mayoría de los emprendimientos con micelio nacionales.

2 Reproducción de la semilla miceliada en laboratorio

Se inoculó avena con cáscara en nuevos bollones y se dividió la semilla miceliada en cada uno con el objetivo de multiplicar el micelio.
Duración: 4 horas en el laboratorio.

3 Recolección del sustrato

Contactar la empresa Fintesse S.A. Completar los formularios para recibir la aprobación del traslado.
Retirar el material de la sede de la empresa en Colonia.
Duración: 1 mes aprox. debido a la lentitud de los trámites.

4 Preparación del sustrato

Triturar los chips de Cáñamo de forma que queden listos para utilizar en el laboratorio.

5 Inoculación del sustrato en el laboratorio

Inocular los chips de Cáñamo con el micelio. Implica la esterilización del material en varias etapas, esperar a que el sustrato se enfríe e inocular.
Duración: Dos instancias en el laboratorio de aprox. 4 horas cada una.

6 Crecimiento del biomaterial

Las muestras inoculadas se almacenan en estufas dentro del laboratorio con la temperatura óptima para el crecimiento de las mismas.
Duración: 1era tanda 9 semanas, 2da tanda 4 semanas.

7 Inactivación

Cocinar las muestras en un horno a 90° C para inactivar el material.
Duración: 6 horas.

8 Preparación de las muestras

Acondicionamiento de las muestras de acuerdo al uso que se les quiera dar.

Figura 41. Fotografía de autoría propia, muestras del biomaterial luego de someterse al secado.

4.03 | Intervenciones realizadas al biomaterial

En este apartado se describen diversas intervenciones para observar el comportamiento del material y determinar las posibilidades productivas del mismo. Las aplicadas fueron: Atornillado, perforación con taladro, corte con ingletadora, cepillado y encolado.

Para todas las intervenciones se utilizaron las muestras del primer lote (muestras nº1 y nº2), las cuales contenían un porcentaje de humedad que oscila entre 20-25%.[1] Sin embargo, tanto para el cepillado, el corte con ingletadora y el encolado también se utilizó la muestra nº3 (la cual contenía en su momento un porcentaje de humedad de un 46.8%).

[1] Esto se debe a que mientras que el segundo lote finaliza las etapas de crecimiento y secado, se comenzó a experimentar con las que se tenían a disposición.

ATORNILLADO [2]

Se atornilla una muestra (nº2, primer lote) del biomaterial con un taladro manual. No presentó problemas en su ejecución y el material no se desgranó. Se logró insertar el tornillo uniendo dos partes de la muestra y luego se retiró sin inconvenientes [Figura 42].

Figura 42. Dos trozos de muestra nº2 atornilladas con un tornillo.

CORTE CON INGLETADORA [2]

Se colocó la muestra (nº2, primer lote) en una ingletadora para madera y se le realizó un corte. Este fue un corte limpio y el material no se desgranó, dando como resultado dos piezas con caras planas [Figura 43].

En una segunda instancia, se realizó el mismo corte pero a una muestra de la segunda tanda. Esta se desgranó y no se obtuvo un corte limpio como en la primera instancia [Figura 44].

Figura 43. Resultado del corte transversal con ingletadora sobre la muestra nº2.

Figura 44. Resultado del corte transversal con ingletadora sobre la muestra de la segunda tanda.

[2] Los códigos QR son enlaces de los videos donde se puede visualizar cada intervención.

PERFORACIÓN CON TALADRO [2]

Se generó una perforación en una de las muestras (nº2, primer lote), utilizando un taladro y una mecha de 8mm. La muestra se perforó rápidamente y sin inconvenientes (no se rompió ni se desgranó)[Figura 45].

Figura 45. Muestra nº2 perforada con un taladro.

CEPILLADO [2]

Se utilizó una cepilladora eléctrica para madera con el fin de generar un acabado plano en una de las caras. Luego de cepillar la muestra nº1 un par de veces se logró una superficie homogénea [Figura 46].

En una segunda instancia, se realizó esta misma intervención, pero en este caso a una muestra de la segunda tanda (muestra nº3). La cual, contenía un porcentaje de humedad más alto que la muestra anterior. Por este motivo no se obtuvieron los mismos resultados, esta se desgrana y no permite generar un acabado superficial homogéneo como la muestra nº1 [Figura 47].

Figura 46. Muestra nº1 cepillada.

Figura 47. Muestra nº3 cepillada.

[2] Los códigos QR son enlaces de los videos donde se puede visualizar cada intervención.

ENCOLADO

A una muestra (de la segunda tanda) se le realizó previamente un corte con ingletadora para obtener dos piezas. A continuación, a cada pieza se le colocó cola vinílica en una de sus caras. Se las junto, y con la ayuda de un hilo se ató ambas piezas para mantenerlas unidas hasta que la cola secara. Al paso de un día se retiró el hilo y se pudo visualizar que ambas piezas se habían unido de forma exitosa.

Figura 48. Dos trozos de una muestra de la segunda tanda unidas con cola.

Conclusiones obtenidas de las intervenciones realizadas

El período de tiempo de crecimiento del micelio sobre el cáñamo es fundamental para conseguir el biomaterial deseado. Esta diferencia en el tiempo de crecimiento entre las dos tandas de muestras, se notó en la composición del material, las muestras nº1 y nº2 resultaron más compactas y el micelio llegó a ocupar la totalidad de los chips de cáñamo [Figura 43]. Sin embargo, en las muestras que estuvieron creciendo durante 4 semanas, el micelio parecía haber abarcado la totalidad del molde, pero no fue así. Luego de realizar la inactivación del material, se pudo apreciar que las muestras tendían a desgranarse en algunas zonas. Generando un material más debilitado [Figura 44].[3]

Para realizar las intervenciones, el biomaterial debe contener aproximadamente un 20% de H_2O. Si la muestra contiene un porcentaje por encima del 30% de H_2O, posiblemente esta se desgrane.

A partir de las intervenciones donde se atornilla un insumo (este caso tornillo) uniendo dos piezas del biomaterial y se realiza la perforación con taladro de forma exitosa. Se pudo llegar a la conclusión que para la realización de productos **se podrían generar uniones con la utilización de insumos** como clavo, tornillos, bulones, etc.

[3] (esto no se supo hasta realizar las intervenciones, de lo contrario la segunda tanda de muestras se hubiera dejado por un periodo de tiempo más largo, por lo menos hasta alcanzar las 9 semanas)

Así como a partir de la intervención del **encolado**, se pudo determinar **otra forma de unión** para la realización de futuros productos.

A continuación se muestra un esquema comparativo donde se observa la diferencia en la composición interna de los dos lotes de muestras realizados. Esto se pudo apreciar una vez que se generaron las intervenciones. [Figura 49]

	Composición	Tiempo de crecimiento	Diferencia de % de humedad	Tiempo de horneado	Mes en el que se realizó el secado	Tiempo a la intemperie
Corte transversal de la muestra nº2 del primer lote	En esta muestra se puede observar como los chips de cáñamo han sido aglomerados perfectamente por el micelio, generando una muestra compacta donde el micelio cubrió toda la superficie.	9 semanas	20	1 hs	Febrero-Marzo	2 a 4 días
Corte transversal de la muestra nº7 del segundo lote	A esta muestra por el contrario, le falto tiempo de crecimiento. El micelio no llegó a cubrir toda la superficie de la muestra. Generando un material que se desgrana con facilidad.	4 semanas	30,5	6 hs	Junio-Julio	18 días

Figura 49. Esquema en donde se sistematizan las diferencias de las dos tandas de muestras

4.04 | Intervenciones aplicadas en el Laboratorio de Fabricación Digital Montevideo (FabLAbMVD)

A continuación se realizaron dos intervenciones más, buscando explorar la generación de nuevas texturas y patrones visuales. Incorporando dos maquinarias actuales para la fabricación de productos. En ellas se utilizan materiales planares y pensando en una posible fabricación industrial de placas a partir del biomaterial, parece oportuno generar los testeos de corte y grabado láser y la intervención con CNC.

[2] CORTE Y GRABADO LÁSER

Durante la primera visita al laboratorio Labfab de la FADU, se intervino una de las muestras con corte y grabado láser. Las dimensiones de la probeta utilizada fueron de: 195mm de largo x 80mm de ancho x 30mm de espesor. La máquina se configuró de la siguiente manera: para el corte láser una potencia de 50% para las líneas rectas y de 45% para las esquinas, con una velocidad de corte de 1.200mm/min. Mientras que para el grabado, se indicó una potencia de 20% para las líneas y de 18% para las esquinas, con una velocidad de 2.000 mm/min. Estos parámetros se colocaron tomando como referencia los valores estándar para el corte con láser de MDF de 3mm, según nos aconsejó Paulo Pereyra, docente encargado del laboratorio.

Luego de configurar el archivo de corte, se colocó la muestra sobre la cama de la máquina y se niveló con la ayuda de un celular con una aplicación de prueba de nivel [Figura 50].

[2] Los códigos QR son enlaces de los videos donde se puede visualizar cada intervención.

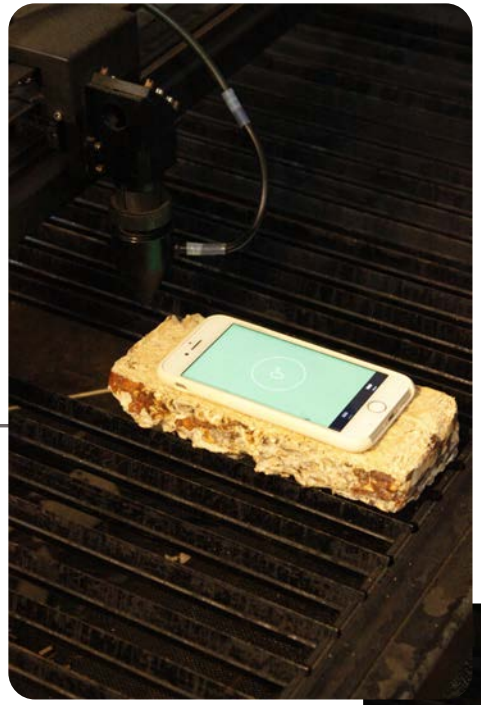


Figura 50. Nivelación de la muestra sobre la cama de corte láser.

Figura 51. Muestra lista para la realización del testeo de corte láser

Este es un paso importante, ya que para el correcto funcionamiento del láser el material a cortar debe estar completamente paralelo a la cama de corte.

Durante el testeo, se pudo observar que el material no es compatible con esta intervención. Una vez que el láser deja de trabajar sobre la muestra, ésta continúa consumiéndose. Y el corte y grabado láser se transforma en una mancha carbonizada, difícil de detener. Para evitar que la superficie de contacto con el láser deje de consumirse y "echar humo" se le debió arrojar agua para humedecer la zona.

Por este motivo, no se siguió con los testeos de corte y grabado láser. Se llegó a la conclusión de que este biomaterial a base del micelio de *Ganoderma lucidum* con chips de cáñamo no es adecuado para ésta intervención.

Figura 52. Muestra de corte y grabado láser

CORTE CNC [2]

Se colocó y sujetó una muestra en la cama de sacrificio de la máquina de corte CNC. Con una fresa de 40 mm de largo y 5 mm de espesor, se comenzó a devastar la muestra para observar cómo ésta reaccionaba a la intervención. Lamentablemente, el material se desgranó y no se pudo continuar con la idea original que era generarle una textura [Figura 54].

Figura 53. Máquina de corte CNC

Figura 54. Muestra luego de la intervención de CNC

[2] Los códigos QR son enlaces de los videos donde se puede visualizar cada intervención.

Intervenciones que surgieron a partir del corte y grabado láser y la intervención con CNC

INTERVENCIÓN CON FUEGO DIRECTO: [2]

Para la realización de ésta intervención, se acercó una de las muestras de la segunda tanta a la llama de un encendedor con el fin de observar su reacción.

Se pudo observar que en tan solo unos pocos segundos en contacto con el fuego, la muestra se carboniza consumiéndose. Se genera el mismo efecto que con el corte láser, ya que la misma solo se apaga luego de ser humedecida con agua.[3]

[3] Esta intervención no se realizó en el FabLab pero surge como consecuencia del testeo con corte láser.

ROUTER MANUAL [2]

Esta intervención surge como consecuencia a la experimentación con la máquina CNC. La intervención con CNC se realizó en una muestra del segundo lote, por lo que se decidió realizar esta intervención en una de la primera tanda y así poder comparar las experiencias.

Para la intervención, se utilizó un router manual sobre la muestra nº1. Se desbastó con éxito permitiendo generar un zurco, sin que esta se desgrane [Figura 55].

Figura 55. Muestra nº1 intervenida con un ruter manual.

[2] Los códigos QR son enlaces de los videos donde se puede visualizar cada intervención.

Conclusiones obtenidas de las intervenciones realizadas en el FabLab MVD

En la literatura consultada para el trabajo, se plantea que el biomaterial a base de micelio tiene propiedades ignífugas, "Dado su bajo índice de conductividad y su alto índice de absorción acústica e ignífugas..." (Fuentes, I. Monereo, C. 2020, p.13). Pero a partir de las intervenciones con corte láser y fuego directo, se obtuvieron resultados que ponen en duda dicha frase. A partir de ambos testeos, se pudo observar que **el material contiene características inflamables**, por lo que no sería oportuno utilizarlo para productos que puedan llegar a encontrarse en un espacio cercano al fuego.

Por otro lado, en el caso del corte con CNC, si se hubiera utilizado una muestra del primer lote posiblemente hubiera funcionado. Ya que en la intervención realizada con el router manual en una de estas muestras, se obtuvo un resultado exitoso permitiendo desbastar el material con una fresa, del mismo modo que lo haría la máquina CNC.

4.05 | Testeos realizados al biomaterial tomando como referencia normas ISO y ASTM

La selección de normas detalladas a continuación para los testeos realizados, se tomaron del antecedente referente del proyecto llamado: "Caracterización mecánica, física y química de composites a base de micelio con diferentes tipos de sustratos lignocelulósicos".

Los testeos a realizar son los siguientes:

-*Tasa de absorción del agua*: Según la norma ASTM C 1585–04

-*Densidad del material*: Según la norma ISO 9427:2003

[4]. En una primera instancia, se evaluó realizar este testeo en el laboratorio Labic de la FADU. Luego de reunirnos con ellos plantearon que no cuentan con una cámara ambiental capaz de mantener una humedad relativa a 80 (± 3)% y sumado a que durante el testeo hay que tomar la masa de las muestras durante una semana y que dentro del laboratorio no contaban con una agenda con mucha disponibilidad, se determinó que lo mejor era realizar la prueba por nuestra cuenta, aclarando que se toma la norma ASTM C1585-20 como guía.

Determinación de la tasa de Absorción de humedad:

Este testeo se llevó a cabo en el hogar de una de las integrantes del equipo. [4] Para su realización, se toma como referencia la norma ASTM C 1585 - Método establecido para medir la tasa de absorción de agua para el hormigón hidráulico. Este método a diferencia de otros, plantea que solo una de las superficies de material debe ser expuesta al contacto con el agua, mientras que las caras restantes son selladas. Esta prueba es sumamente importante, debido a que en nuestro país la humedad relativa media anual oscila entre el 70% y el 75%, donde el mes más húmedo es julio alcanzando el 80% de humedad. La tasa de absorción de agua determinará la durabilidad del material a lo largo del tiempo.

La absorción de agua se determinó a partir de la diferencia de masa de las muestras a lo largo de dos semanas, con respecto a la masa inicial tomada al inicio de la prueba.

La fórmula utilizada para determinar la absorción de agua fue:

$$I = \frac{m_t}{a * d}$$

Donde:
I = La absorción de agua (mm)
M_t = Diferencia de masa de la muestra (g)
a = área de la muestra en contacto con el agua (mm^2)
d = densidad del agua (gr/mm^3)

Los aparatos / elementos utilizados para el testeo fueron:

-Recipiente plástico (tupper).
-Dispositivo de soporte (tapitas plásticas).
-Balanza eléctrica.
-Cronómetro.
-Regla.
-Material de sellado (Cinta “pato” aislante)
-Bolsa plástica
-Goma elástica.

Procedimiento:

Para la realización de la prueba, se prepararon dos muestras del material [Figura 56]. Una vez listas, se pesaron con una balanza de cocina, donde se obtuvo una masa inicial de 17g para la muestra A y 20g para la muestra B [Figura 57]. Luego, se tomaron las medidas de la superficie de las muestras que se iban a encontrar expuestas al agua, la muestra A dió como resultado 100mm x 50mm x 98mm x 50mm, mientras que la muestra B 94mm x 50mm x 96mm x 42mm.

Posteriormente, se sellaron las caras laterales de ambas muestras con cinta pato y se colocó una lámina de plástico agarrada con una banda elástica en la cara opuesta a ser expuesta al agua [Figura 58], con la intención de que no se evapore el líquido por la zona superior de la muestra. Una vez que ambos ejemplares estuvieron listos, se volvió a tomar la masa de cada uno. La masa de muestra A + aislante = 21g, la masa de la muestra B + aislante = 24g.

Figura 56. En la izquierda se encuentra la muestra A obtenida de la muestra n°2 y en la derecha la muestra B obtenide de la muestra n°xx

Figura 57. Muestras A y B en la balanza.

Figura 58. Se muestra como se sello las caras de la muestra para el ensayo.

Para continuar con la prueba, se colocaron dos recipientes plásticos transparentes sobre una mesa, dentro de ellos se agregaron “dispositivos de soporte” (se utilizaron tapas plásticas de botellas), con el fin de elevar las muestras del fondo de los recipientes. Luego se llenaron los recipientes con agua, con el cuidado de que la misma traspasase la altura de las tapas plásticas por 3mm. Inmediatamente, se posicionaron las muestras y se registró la hora y fecha del primer contacto de las mismas con el líquido (27 de julio - 15:50hs).

Se registró la masa de la muestra A y B para los intervalos de tiempo de: 60s, 5min, 10min, 20min, 30min, 40min, 60min. Luego se continuó con el registro de masa cada una hora durante 6 horas [ver tabla 6], para luego continuar una vez al día durante 7 días [ver tabla 7].

Figura 59. Pirimer contacto de las muestras con el líquido

	Masa (g) muestra A	Masa (g) muestra B
60 s	28	24
5 min	34	37
10 min	35	38
20 min	39	43
30 min	45	47
40 min	48	49
50 min	50	50
60 min	54	54
2 hs	63	63
3 hs	64	65
4 hs	67	70
5 hs	69	72
6 hs	71	75

Tabla 6. Registro de masa de la muestra A y B, en un intervalo de tiempo de: 60s, 5min, 10min, 20min, 30min, 40min, 60min, 2hs, 3hs, 4hs, 5hs y 6hs.

	Masa (g) muestra A	Masa (g) muestra B
1 día	75	90
2 días	89	94
3 días	82	97
4 días	83	99
5 días	84	99
6 días	86	101
7 días	86	100

Tabla 7. Registro de masa de la muestra A y B, durante 7 días.

Una vez que se obtuvieron todos los datos, se graficaron [ver tablas 8 y 9]y se realizaron los cálculos correspondientes. Según la norma, la tasa de absorción de humedad del material se puede catalogar en dos tipos: tasa inicial y tasa secundaria. La inicial, se calcula con la pendiente de línea que mejor se ajusta a la gráfica trazada con los puntos entre 1 min y 6 hs. La pendiente se debe calcular utilizando un análisis de regresión lineal de los mínimos cuadrados de la gráfica I sobre la raíz cuadrada del tiempo. Para la realización de este cálculo se utilizó una calculadora online llamada MathCracker [Ver anexo pág. 101 a 108].

La tasa secundaria se calcula exactamente igual a la inicial, solo que se utilizan los datos recabados entre el día 1 y 7 del testeo [Ver anexo pág. 101 a 108].

Cálculos:

$$I = \frac{m_t}{a * d}$$

La absorción (*I*), es el cambio de masa dividio por el producto del área de la muestra en contacto con el líquido y la densidad del agua.

I = a la absorción (mm)
m_t = diferencia de masa según un tiempo dado (g)
a = el área expuesta al líquido de cada muestra (mm^2) [ver cálculos en anexos pág. 90]
a muestra A = 4.947,98 mm^2
a muestra B = 4.364,85 mm^2
d = la densidad del agua dada por la norma 0,0001 g/mm^3

	Tiempo en segundos	Tiempo ($s^{1/2}$)	Masa (g) muestra A	Δ Masa (g) muestra A	Δ Masa/area.densidad del agua = I (mm)
0s	0	0,00	21	00	0,00
60 s	60	7,75	28	7	14,28
5 min	300	17,32	34	13	26,53
10 min	600	24,49	35	14	28,57
20 min	1.200	34,64	39	18	36,73
30 min	1.800	42,43	45	24	48,98
40 min	2.400	48,99	48	27	55,10
50 min	3.000	54,77	50	29	59,18
60 min	3.600	60,00	54	33	67,35
2 hs	7.200	84,85	63	42	85,71
3 hs	10.800	103,92	64	43	87,75
4 hs	14.400	120,00	67	46	93,88
5 hs	18.000	134,16	69	48	97,96
6 hs	21.600	146,97	71	50	102,04
1 día	86.400	293,94	75	54	110,20
2 días	172.800	415,69	80	59	120,41
3 días	259.200	509,12	82	61	124,49
4 días	345.600	587,88	83	62	126,53
5 días	432.000	657,27	84	63	128,57
6 días	518.400	720,00	86	65	132,65
7 días	604.800	777,69	86	65	132,65

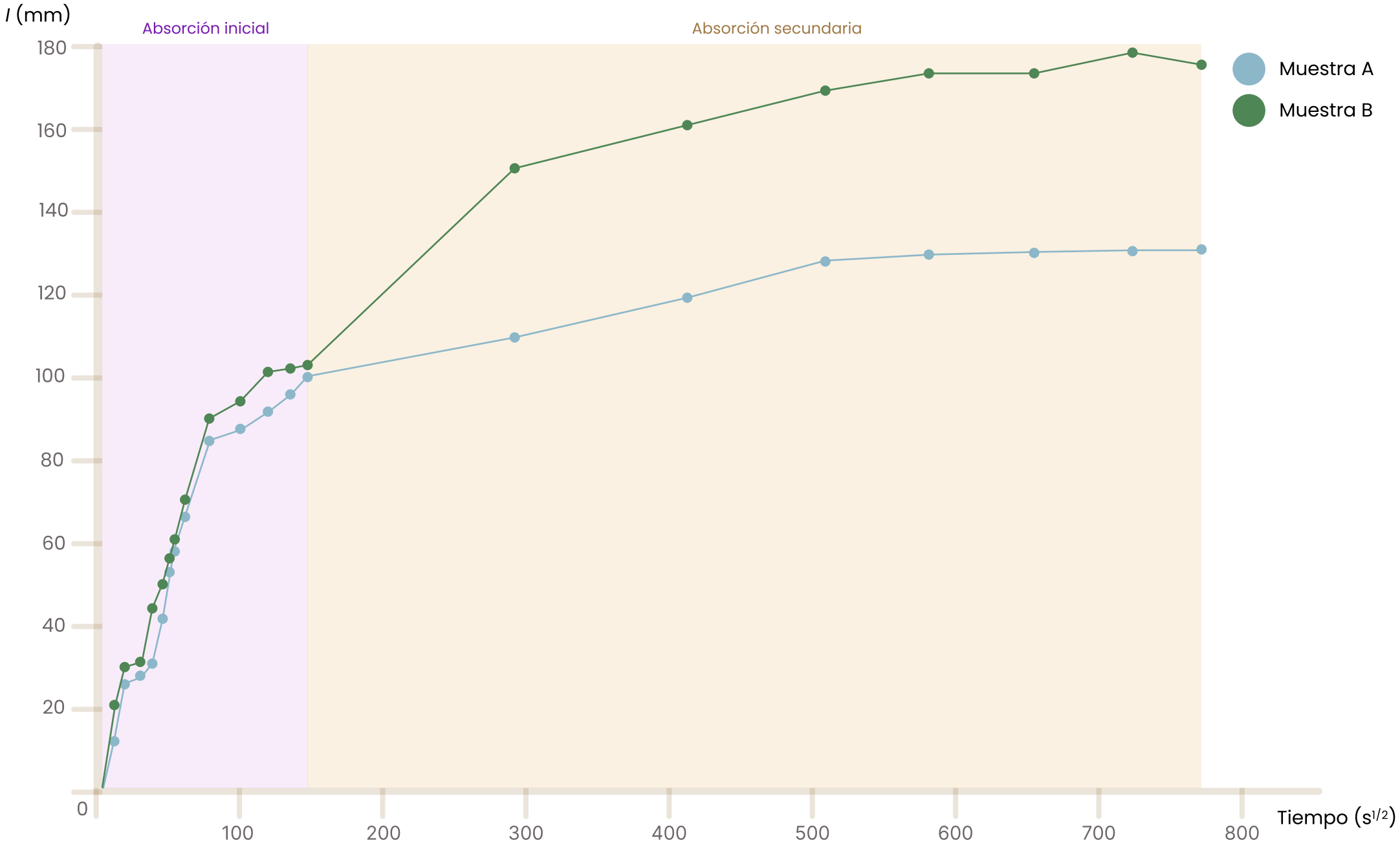
Tabla 8. Cálculos de absorción de humedad para la muestra A. [5]

	Tiempo en segundos	Tiempo ($s^{1/2}$)	Masa (g) muestra B	Δ Masa (g) muestra B	Δ Masa/area.densidad del agua = I (mm)
0s	0	0,00	24	00	0,00
60 s	60	7,75	33	9	20,93
5 min	300	17,32	37	13	30,23
10 min	600	24,49	38	14	32,56
20 min	1.200	34,64	43	19	44,18
30 min	1.800	42,43	47	23	53,48
40 min	2.400	48,99	49	25	58,14
50 min	3.000	54,77	50	26	60,46
60 min	3.600	60,00	54	30	69,77
2 hs	7.200	84,85	63	39	90,70
3 hs	10.800	103,92	65	41	95,35
4 hs	14.400	120,00	70	46	106,97
5 hs	18.000	134,16	72	48	111,63
6 hs	21.600	146,97	75	51	118,60
1 día	86.400	293,94	90	66	153,49
2 días	172.800	415,69	94	70	162,79
3 días	259.200	509,12	97	73	169,77
4 días	345.600	587,88	99	75	174,42
5 días	432.000	657,27	99	75	174,42
6 días	518.400	720,00	101	77	179,07
7 días	604.800	777,69	100	76	176,74

Tabla 9. Cálculos de absorción de humedad para la muestra B. [5]

[5]. Ver desglose de los cálculos de los datos obtenidos para las gráficas en anexo xx.

Gráfica: Tasa de absorción de humedad del material



Cálculos finales:

Cálculos realizados a partir de la ecuación brindada por la norma, donde la absorción de las muestras A y B se calcula realizando un análisis de regresión lineal de los mínimos cuadrados. [6]

La absorción inicial (S_i) de la muestra A es:
$I = S_i \sqrt{t} + b$
$I = 0{,}6293 \sqrt{t} + 19{,}2398$
S_i A= **0,6293 mm/√s**

La absorción inicial (S_i) de la muestra B es:
$I = S_i \sqrt{t} + b$
$I = 0{,}7104 \sqrt{t} + 20{,}5897$
S_i B= **0,7104 mm/√s**

La absorción secundaria (S_s) de la muestra A es:
$I = S_s \sqrt{t} + b$
$I = 0{,}0446 \sqrt{t} + 99{,}8306$
S_s A= **0,0446 mm/√s**

La absorción secundaria (Ss) de la muestra B es:
$I = S_s \sqrt{t} + b$
$I = 0{,}0503 \sqrt{t} + 141.6332$
S_s B= **0,0503 mm/√s**

[6]. Ver desglose de los cálculos de los resultados obtenidos en anexo p.90-101.

Conclusión de la determinación de la tasa de Absorción de humedad:

Se puede observar que **la tasa de absorción de humedad es mayor durante la primer hora transcurrida**, ya que la masa inicial de las muestras aumentó un 257% para el caso de la muestra A y un 225% la muestra B, mientras que en el correr del día luego de la primera hora la masa de las muestras aumentó un 131% (muestra A) y 138% (muestra B) y durante el transcurso de 7 días un 121% (muestra A) y un 133% (muestra B).

Comparando el comportamiento de las dos muestras a lo largo de la prueba, se pudo observar que la muestra A tiñó el agua de un amarillo intenso, mientras que la muestra B apenas modificó el color del líquido [Figura 60]. Una de las hipótesis, es que esto se debe a que la muestra A, luego de ser retirada del horno eléctrico durante el proceso de inactivación del material, presentó manchas oscuras en las caras externas. Estas manchas pudieron haber teñido de color el agua.

Figura 60. Izquierda líquido de la muestra A, derecha líquido de la muestra B

Otra diferencia que se pudo observar entre las dos muestras es que: **la muestra A al ser más compacta no se desgranó ni perdió su consistencia** a pesar de encontrarse en contacto con el agua a lo largo de una semana, mientras que la muestra B que tenía una densidad menor de micelio si presentó pequeñas pérdidas de material que se pueden observar en el agua. [Figura 60]

Como última observación, el 7mo día, luego de tomar el último dato requerido para el testeo se retiró la lámina plástica que cubría las muestras evitando la pérdida de líquido por evaporación. En la cara que se encontraba cubierta por la lámina plástica, **se pudo observar el crecimiento de varios hongos indeseados** [Figura 61 y 62]. Un dato importante, es que la muestra A presentó niveles de contaminación mucho menores que la muestra B. Una de las posibles razones, puede ser que (como ya se mencionó con anterioridad) es más compacta y con un micelio más denso que la segunda muestra.

Figura 61. Cara opuesta al contacto con el líquido y recubierta con la lámina plástica de la muestra B

Figura 62. Cara opuesta al contacto con el líquido y recubierta con la lámina plástica de la muestra A

Determinación de la densidad del material:

Para la realización del presente testeo se toma como referencia la norma UNIT-ISO 9427:2003, para la determinación de la densidad de tableros derivados de la madera. Para cumplir con el objetivo de conocer la densidad del biomaterial, la norma indica que hay que calcular la relación entre la masa y el volumen de la muestra, midiendo ambos parámetros al mismo contenido de humedad.

La muestra se debe acondicionar a masa constante de manera que: "(...)los resultados de dos pesadas sucesivas, realizadas en un intervalo de 24 h no difieren en más de 0,1% de la masa inicial de la probeta." (Instituto uruguayo de normas técnicas, ISO 9427:2003, 2009)

La fórmula estipulada para la determinación de la densidad (p) del material (en kg/m³) se calcula mediante la ecuación:

$$p = \frac{m\ (g)}{b1\ (mm) \times b2\ (mm) \times t\ (mm)} \times 10^6\ (kg/m^3)$$

Donde:
m = es la masa de la probeta en gramos (g)
b1 y b2 = el ancho y la longitud de la probeta, en milímetros (mm)
t = espesor de la probeta, en milímetros (mm)

Los aparatos / elementos utilizados para el testeo fueron:

- Micrómetro o instrumento similar para medir el espesor.
- Calibre u otro instrumento para medir longitud y ancho.
- Balanza.

Cálculos:

$$p = \frac{16\ g}{89\ mm \times 65\ mm \times 29\ mm} \times 10^6\ (kg/m^3)$$

$$p = \frac{16\ g}{167.765\ mm} \times 10^6\ (kg/m^3)$$

$$p = 0{,}000095 \times 10^6\ (kg/m^3)$$

Foto 63. Fotografía de autoría propia, muestra del material luego de inactivar el crecimiento del micelio.

05

CONCLUSIONES FINALES DEL TRABAJO

5.01 | Introducción

A continuación, se relatan las conclusiones del trabajo final de grado en dos grupos. Por un lado, se encuentran las conclusiones propias del material y en una segunda instancia, las conclusiones sobre el trabajo. A modo de cierre se expone una reflexión final.

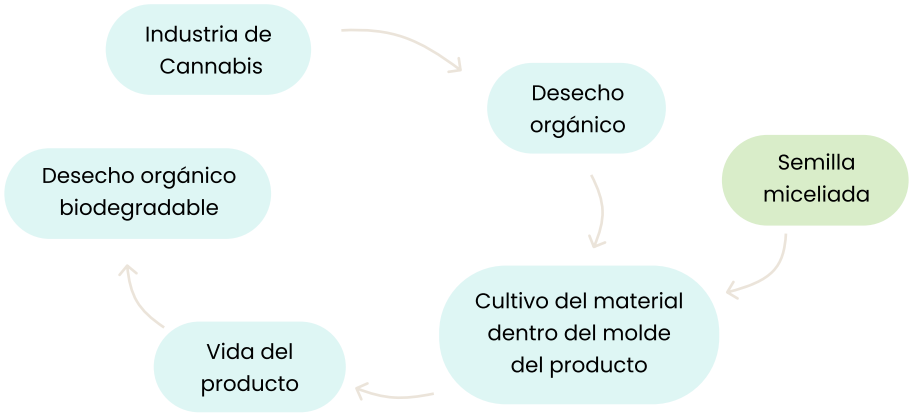
5.02 | Conclusiones del material

En primer lugar, en cuanto a la hipótesis planteada sobre el material al inicio del proyecto, “Los biomateriales a partir del hongo *Ganoderma lucidum* y cáñamo, contienen características que permitirán proyectar un producto de emplazamiento urbano.”, cabe aclarar que los resultados obtenidos a lo largo de la experimentación realizada con el material, reflejan que no es el ideal para la construcción de un producto que permanecerá a la intemperie. Esto se debe a que por ser orgánico y absorber humedad con facilidad, es susceptible a la contaminación ya que se crea un ambiente favorable para el crecimiento de otros hongos.

En segundo lugar, atendiendo a la interrogante planteada al comienzo del trabajo sobre “¿Cómo beneficia o aporta a la búsqueda de la sustentabilidad?.” Podemos concluir, que este material se basa en los principios de economía circular, preservando y potenciando el capital natural y reduciendo la generación de desperdicios, brindando a estos un nuevo uso. Se utilizan los desechos de la industria del Cannabis como materia prima local y orgánica, que colaboran absorbiendo Co_2 de la atmósfera durante su crecimiento. El residuo, compuesto principalmente por tallos y ramas, se tirtura para convertirse en el sustrato de este biomaterial, ganando valor al ingresar en una nueva cadena productiva.

A su vez, una característica clave del material es que es cultivable, por lo que se pierde la práctica masiva de extraer y explotar recursos no renovables. Este material se puede producir cuanta cantidad se quiera sin dañar el medio ambiente.

En tercer lugar, se pudo observar que la composición del biomaterial es similar a los compensados de madera. Sin embargo, en estos se utilizan pegamentos y resinas sintéticas para generar la unión del compensado. Estas siguen procesos de fabricación poco sustentables y no se descomponen con facilidad. Por este motivo se buscó al micelio como actor de cambio para que actúe como aglutinante de los chips de cáñamo. Y generando procesos productivos con energías limpias que aportan al concepto de economía circular.



En cuarto lugar, partiendo de una mirada crítica sobre la realización del material, somos conscientes que a lo largo del proceso productivo se ha utilizado maquinaria con grandes gastos energéticos y utensilios poco amigables con el medio. Sin embargo, queremos resaltar el impacto positivo que tiene la utilización del biomaterial, ya que no solo surge como alternativa a la forma de producción, sino que también busca minimizar los residuos generados una vez que finaliza su vida útil.

Durante el trabajo, no se llevó a cabo un análisis en profundidad para evaluar si todas las herramientas utilizadas durante el proceso de experimentación del material integraban el concepto de sustentabilidad, debido al alcance del trabajo. Este es un primer acercamiento al estudio del biomaterial y para corroborar realmente el impacto ambiental del mismo a lo largo su proceso productivo, es necesario realizar un análisis de ciclo de vida más complejo y abarcativo.

El efecto de la producción humana sobre el ambiente, se basa en el intercambio de sustancias entre el medio natural y el sistema de producción y consumo. Por un lado tenemos lo que se extrae del medio natural y por otro lo que liberamos en el mismo. El análisis debe abarcar todas las etapas del material enfatizando en los flujos de energía, recursos y emisiones. Hay empresas y especialistas que se dedican a realizar mediciones del impacto de la huella de carbono sumamente precisas. Este tipo de análisis excede el alcance del presente trabajo.

Así mismo, si bien se ha utilizado maquinaria como el autoclave, la estufa y el horno eléctrico, que generan un gasto energético significativo, principalmente teniendo en cuenta que para producir el material a nivel industrial deben estar en funcionamiento durante varias horas, al utilizar energía eléctrica de todas formas el sistema productivo no se aleja del todo del concepto de sustentabilidad. Esto se debe a que “entre el 2017 y el 2021 el 94% de la generación eléctrica de Uruguay se originó de fuentes renovables” (Uruguay XXI, enero 2022)

Por otro lado, se podría incidir en los materiales de las herramientas y utensilios utilizados a lo largo del proceso. En nuestro caso, se hace uso de moldes de silicona, bolsas plásticas y bandas elásticas del mismo material. Que a diferencia de la maquinaria comentada con anterioridad, este tipo de objetos plásticos no van de la mano con la sustentabilidad o la economía circular. Durante el proceso de realización de las muestras, se optó por utilizar estos moldes ya que facilitan el desmoldado de las piezas una vez que se retiran del horno. Si bien las características de los moldes van a variar según el producto al cual se quiera llegar, a futuro se podría pensar en la utilización de moldes a partir de materiales más amigables con el medio ambiente como el vidrio (teniendo en consideración el óptimo desmoldado de las piezas). Por otro lado, se utilizan bolsas

plásticas y bandas elásticas para cubrir los moldes y aislar el contenido de los mismos, evitando la contaminación. Una posible solución a esto es implementar materiales aislantes que no sean dañinos con el medio ambiente o incluso ir un paso más allá y diseñar moldes con tapa incluída evitando el uso de un elemento externo.

Para dar cierre, se expone a continuación una tabla con las principales conclusiones que se obtuvieron del proceso de experimentación del biomaterial. [Tabla 10]

¿SE PUEDE CULTIVAR EN CUALQUIER AMBIENTE?	¿EL CULTIVO DEBE HACERSE DIRECTAMENTE EN EL MOLDE DEL FUTURO PRODUCTO?	¿POR CUANTO TIEMPO DEBEN MANTENERSE LAS MUESTRAS EN EL HORNO?	¿EL BIOMATERIAL COMO REACCIONA A LA INTEMPERIE?	¿EL BIOMATERIAL TIENE PROPIEDADES IGNÍFUGAS?
-El biomaterial estudiado es susceptible a la contaminación. Necesita de un ambiente controlado como lo es un laboratorio, para su producción/ cultivo. Este permite un riguroso proceso de esterilización y un cuidado controlado durante el crecimiento. A su vez, cuenta con máquinas como el autoclave y la estufa que benefician al cultivo y permiten que este crezca en cualquier época del año.	-El biomaterial debe inocularse directamente en el molde del producto que se desee realizar, no se puede hacer crecer en otro recipiente y luego pasarlo al molde ya que posiblemente se contamine y no continúe su crecimiento. -El biomaterial se adapta al molde en el que se cultive. El micelio tiene la ventaja de que crece abarcando la totalidad del molde. Se genera un material versátil, dando la posibilidad de realizar tanto piezas volumétricas como planares.	-De la experiencia obtenida tras las pruebas de secado, se puede concluir que no hay un patrón claro entre las muestras en cuanto a la pérdida de humedad. En tal caso, conviene utilizar el tiempo de horneado de la muestra con menos horas de secado y finalizar el proceso a la intemperie. De esta forma, los gastos energéticos son menores. PENDIENTE EXPLORAR ESTE CAMINO: Colocar los moldes con el biomaterial en el horno a 90°C, con la ayuda del higrómetro ir obteniendo los datos sobre el porcentaje de humedad de las muestras. Dejarlas en el horno hasta que lleguen a un porcentaje entre 20-25% de H_2O y recién entonces se las retira del horno. Así se completaría el proceso de secado en una sola etapa y posiblemente no se tenga que depender de la humedad ambiental de la intemperie para terminar de secar las muestras.	-Tras la experiencia de colocar las muestras a la intemperie y que estas desarrollen nuevos hongos externos, se puede concluir que el material sin ningún acabado, de estar expuesto a la intemperie, permitiría el desarrollo de otras especies de hongos u organismos vivos. -A partir del testeo de absorción de agua, los resultados indican que el material es sumamente absorbente. Además, en la cara que se encontraba cubierta por la lámina plástica, se pudo observar el crecimiento de varios hongos indeseados. SE REFUTA LA HIPÓTESIS PLANTEADA: No sería un material adecuado para la fabricación de productos urbanos dado que uno de los requisitos para generar un producto de este emplazamiento es que debe soportar diversas variables climáticas.	-En la literatura consultada para el trabajo, se plantea que el biomaterial a base de micelio tiene propiedades ignífugas, "Dado su bajo índice de conductividad y su alto índice de absorción acústica e ignífugas..." (Fuentes, I. Monereo, C. 2020, p.13). Pero a partir de las intervenciones con corte láser y fuego directo, se obtuvieron resultados que ponen en duda dicha frase. A partir de ambos testeos, se pudo observar que el material contiene características inflamables, por lo que no sería oportuno utilizarlo para productos que puedan llegar a encontrarse en un espacio cercano al fuego.

Tabla 10. Se resumen las conclusiones que se fueron obteniendo a lo largo de la experimentación y que caracterizan al material.

5.03 | Conclusiones de la investigación

Inicialmente, se comenzó el trabajo con la intención de desarrollar equipamiento urbano en Uruguay, a partir de un biomaterial a base de micelio inspirado en el antecedente llamado “The Growing Pavillon”. Al comenzar la búsqueda de información para poder fundamentar el trabajo, nos enfrentamos a la realidad de que actualmente no existen muchas referencias académicas lo suficientemente rigurosas, donde seguir el paso a paso para obtener el material. Del mismo modo, es un material que varía sus propiedades y características según los componentes utilizados, dependiendo del tipo de hongo, el sustrato, el tiempo de crecimiento, etc. De ésta forma, se llegó a la conclusión de que para poder desarrollar un producto, primero había que investigar en profundidad el material.

Es por este motivo, que se reenfocó el trabajo y los objetivos del mismo fueron cambiando. Como objetivo general, se decidió profundizar en el estudio e investigación del biomaterial a partir de micelio y los residuos de la industria de cannabis nacional, mientras que como objetivos específicos se propuso conocer las características y propiedades del mismo, así como explorar las capacidades que este tiene al ser intervenido por diferentes herramientas.

Para cumplir con los objetivos planteados y comprender de manera integral el comportamiento del material, en una primera instancia se consiguió la semilla miceliada, se gestionó la obtención del sustrato y nos contactamos con expertos del área de micología de la facultad de ciencias que nos brindaron sus conocimientos a lo largo del proceso. Poder enfrentarnos de primera mano al cultivo del material, nos aportó información muy valiosa respecto a las dificultades que conlleva el desarrollo del mismo en ambientes poco esterilizados y controlados. Esta información es relevante para poder tener en cuenta las herramientas y maquinaria necesarias para el desarrollo industrial tanto del material, como de un posible producto para el cual se lo utilice.

Luego de que pasaron varios meses en los cuales se hicieron pruebas de cultivo, crecimiento y cocción de las muestras, se comenzó la búsqueda de posibles testeos a aplicar. Si bien no logramos acceder al laboratorio de la Fadu especializado en materiales, nos contactamos con una de las encargadas que nos guió en la búsqueda de posibles normas ISO y ASTM. La dificultad de la búsqueda de normas certificadas radica en que al ser un material relativamente nuevo no existen normas específicas para el mismo y tuvimos que buscar las existentes para materiales afines. En simultáneo, preparamos probetas con la muestras generadas y nos contactamos con el Labfab de la Fadu para realizar las intervenciones al material con maquinaria a la cual no

teníamos fácil acceso, como el router CNC y la cortadora láser.

A su vez, nos contactamos con el área de materiales del LATU con el fin de realizar el ensayo mecánico de compresión a partir de la norma ASTM D3501 y el testeo de conductividad térmica a partir de la norma ASTM D 5334-00. Los funcionarios del LATU incluso nos recomendaron realizar un ensayo de impacto, pero nos enfrentamos al problema de que las muestras del material que teníamos al ser de la segunda tanta se desgranaban y no tenían las propiedades ideales, por lo que los datos obtenidos de los testeos no iban a ser reales. [7]

De todas formas, queremos resaltar que esta instancia de vivir la práctica del diseño, nos permitió involucrar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y generar nuevos. Tuvimos la fortuna de involucrarnos con otras áreas e instituciones y estamos sumamente agradecidas de que el LATU, el LabFab de Udelar y la Facultad de Ciencias, Udelar nos hayan abierto sus puertas permitiendo la utilización de sus respectivos laboratorios y su maquinaria para poder enriquecer y llevar a cabo el trabajo. Nos brindaron su apoyo y conocimiento.

Para finalizar, queremos destacar que este trabajo es un primer acercamiento al desarrollo del biomaterial y entendemos que hay aspectos en los que se debe continuar mejorando y cuestiones que han quedado pendientes a realizar en un proyecto posterior o etapa siguiente.

Puntos que se podrían mejorar o continuar en un proyecto posterior:

Se fabricó el biomaterial utilizando diferentes tamaños de chips de cáñamo. Sin embargo, para generar un material más estandarizado, homogéneo y de mejor calidad, se sugiere que los chips contengan ligeras variaciones de grosor, longitud y anchura, donde la longitud no supere los 20 mm (facilitando el proceso de aglutinación). Para lograr estandarizar las dimensiones del sustrato, se aconseja llevar a cabo un proceso de tamización, donde los chips de mayor tamaño se separan para volver a triturarlos y así reintroducirlos en el proceso productivo.

Por otro lado, se podría indagar el material resultante del micelio del hongo Ganoderma lucidum con otros sustratos orgánicos, desechos de la industria nacional. De ésta forma, se podría comparar el rendimiento del crecimiento del micelio y las propiedades físicas resultantes de la utilización de otros sustratos nacionales, ampliando el espectro de posibilidades productivas y constructivas que se podrían realizar con este tipo de biomaterial.

[7]. Si se hubiera sabido antes la diferencia en la composicion de las muestras del primer y segundo lote, se hubiera administrado mejor el uso de la muestra nº1 y nº2 para las intervenciones y los testeos. Sin embargo, se fueron utilizando estas muestras para las primeras intervenciones mientras se esperaba que las muestras del segundo lote crecieran y secaran.

Así mismo, para el punto de inactivación del micelio y secado de las muestras, se podría probar dejarlas en el horno (a una temperatura de 90ºC) hasta que con la ayuda de un higrómetro, las muestras marquen entre un 20-25%H2O, y así no depender de la humedad en el ambiente para terminar de secarlas (Esto tiene la desventaja de que el material estaría expuesto a muchas horas de horneado).

Por último, quedó pendiente realizar testeos de conductividad térmica, de compresión y el ensayo de impacto en el LATU. Quienes nos recomendaron realizar estos utilizando las muestras de la primera tanda para tener datos más específicos. Como ya no teníamos más muestras de este lote, queda pendiente realizar nuevas muestras (considerando que tengan un crecimiento de 9 semanas) y así poder concretar los ensayos.

5.04 | Reflexión final

Un aspecto que resulta interesante reflexionar sobre el trabajo, es la conjunción de actores que son necesarios para hacer realidad estos proyectos sustentables.

Nosotras, desde el diseño exploramos posibles alternativas que buscan aportar al desarrollo sostenible. Generando un material a partir de bases biológicas, investigando las posibilidades de la naturaleza. Sin embargo, para hacer realidad la utilización de estos nuevos materiales y desarraigar la utilización de los materiales artificiales, es imprescindible que el diseño no actúe aislado, sino que es necesario el aporte de otros actores que busquen la difusión de estos nuevos proyectos con lineamientos sustentables.

Por un lado, la difusión a través de canales de comunicación, permitirá a la sociedad acercarse y conocer estos trabajos, incentivando a que las personas se adapten a la utilización de estos nuevos materiales y también que personas de distintos rubros puedan involucrarse participando y aportando desde su profesión.

El cambio no viene solo desde el diseño, sino que de cada uno de los individuos, es decir, todo cambio comienza desde el compromiso individual a través de las acciones y hábitos cotidianos.

Por otro lado, es crucial que el estado y la legislación nacional se comprometan también con la causa, para fortalecer los proyectos con una perspectiva sustentable en etapas de gestación, a efecto de poder crear industrias a futuro que se alineen con estas nuevas perspectivas tecnológicas.

Por último, queremos mencionar que las tecnologías han hecho grandes aportes a nivel mundial que han permitido avanzar como sociedad y son imprescindibles en la vida de las personas. Sin embargo, no creemos que se debe dejar a un lado las tecnologías descubiertas hasta el momento, sino que debemos adaptarlas para favorecer y buscar recursos que aporten al desarrollo sostenible. Sin sostenibilidad el progreso como sociedad será sencillamente imposible y el cambio es necesario.

En esta búsqueda de alternativas sostenibles es donde se enmarca nuestro trabajo. Volviendo a los orígenes y buscando generar materiales a partir de recursos naturales y renovables.

06

Figura 64. Fotografía de autoría propia, crecimiento del micelio sobre el cáñamo.

GLOSARIO

Biodegradable

Que tiene la capacidad de descomponerse a través de procesos químicos naturales por la acción de agentes biológicos.

Bio Fabricación

Fabricación a partir del crecimiento de organismos vivos, como por ejemplo a través del cultivo. Propone hacer crecer los productos en vez de manufacturarlos.

Esterilizar

Acción de eliminar gérmenes y bacterias obteniendo un producto o superficie libre de microorganismos no deseados.

Fructificación

Parte generativa del organismo fúngico que contiene o lleva las esporas.

Higrómetro

Instrumento que permite medir el porcentaje de humedad de la madera o en este caso del biomaterial.

Inoculación

En biología, es la acción de introducir algo que posteriormente se desarrollará y se reproducirá.

Seta

Nombre genérico que se le brinda a cualquier hongo que se caracterice por tener una estructura visual de un sombrero sostenido por un pie.

Sustrato

Materia en el que se desarrollan organismos vivos.

07

Figura 65. Fotografía de autoría propia, muestra del material luego de inactivar el crecimiento del micelio y de someterse al proceso de cepillado.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemu, D. (2022, 12 marzo). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. Hindawi. https://www.hindawi.com/journals/ijbm/2022/8401528/

- Datos y cifras. (2022, agosto). Naciones Unidas. https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures

- Duarte,S.S. Nuñez,R. (2020). Materiales biológicos. Materiales y sustentabilidad a través del diseño. Sedici. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/110630/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Elsacker,E. Vandelook,S. Brancart,J. Peeters,E. De Laet,L. (2019, 22 julio). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. ANNI. https://eds-p-ebscohost-com.proxy.timbo.org.uy/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=5c3da2da-96c4-473f-98df-234052661ce1%40redis

- Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de Ganoderma lucidum (Ganodermataceae), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos | Ciencia Digital. (2020, 26 julio). cienciadigital. https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/1324/3665#%7E:text=Ganoderma%20lucidum%20es%20un%20hongo,madera%20muerta%20de%20%C3%A1rboles%20latifoliados.

- Francisco J. Arenas Cabello. (s. f.). LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE. https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html

- Fuentes,I. Monereo,C. (2020, junio). Maugeri, S. (2018). DIAGNÓSTICO DE DISEÑO PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS. INTI. https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf

- Investigadora chiapaneca estudia hongos que purifican aire - ANUIES. (2020, 3 julio). ANUIES. Retirado de: http://www.anuies.mx/noticias_ies/investigadora-chiapaneca-estudia-hongos-que-purifican-aire

- Lelivelt, R.J.J. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials. https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/47018924/793800

- MATERIALEN ATLAS - THE GROWING PAVILION (Company New Heroes, Amsterdam ed.). (2019). Retirado de: https://thegrowingpavilion.com/biobased-materials/

- Maugeri, S. Dorado,C. Ariza,R. Zito,M. (2018). DIAGNÓSTICO DE DISEÑO PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS. INTI.

- Munari, B. (1983). Como nacen los objetos. Apuntes para una metodología proyectual. Gustavo Gili, S.A. https://tim1faucom.files.wordpress.com/2021/06/bibliografiacomo_nacen_los_objetos_bruno_munari.pdf

- Norma Ecuatoriana NTE INEN 1164:2013. (2013). Maderas. Determinación de la contracción. Instituto Ecuatoriano de normalización. Quito. Retirado de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1164-1.pdf

- Papanek, V. (2014). DISEÑAR MUNDO REAL. ecologia humana y cambio social. Pol·len edicions (El Tinter, SAL)Traducción cedida por el grupo editorial Ediciones Akal, S.A. https://docplayer.es/7906977-Disenar-mundo-real-ecologia-humana-y-cambio-social-victor-papanek.html

- ¿Qué entendemos por Economía Circular? (2020). Uruguay Circular. https://uruguaycircular.org/ediciones-anteriores/que-entendemos-por-economia-circular/

- R. (2022, 14 febrero). Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos. Responsabilidad Social y Sustentabilidad. https://responsabilidadsocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/?amp

- Redacción National Geographic. (2010, 5 septiembre). La contaminación del aire. National Geographic. Retirado de: https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire

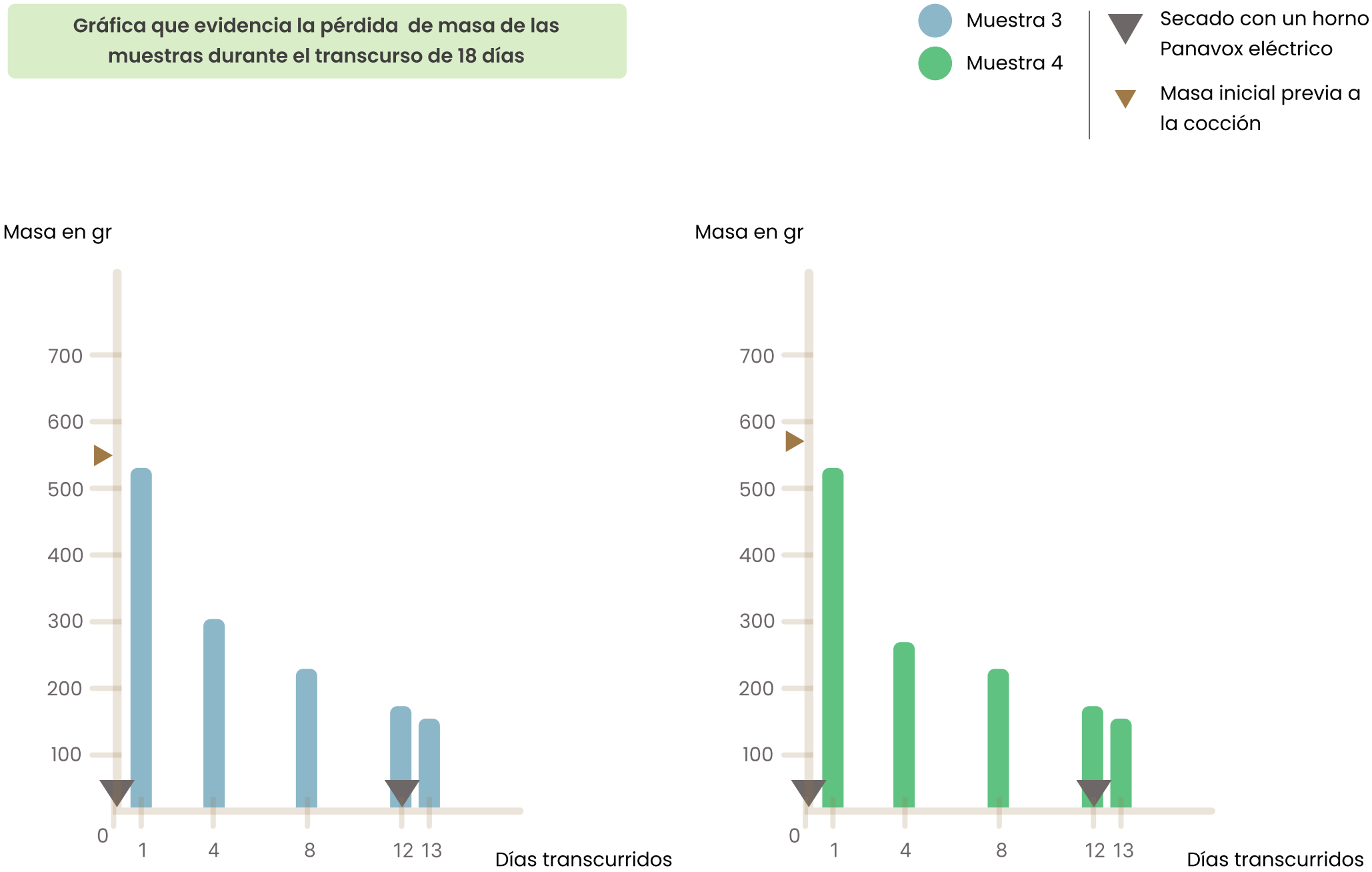
- Uruguay XXI. (2022). Energías renovables en Uruguay. Retirado de: https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacionbc3579a748313b4980f6ff6208110ed0be63a7fd.pdf

ANEXOS

08

Foto 66. Fotografía de autoría propia, partes del material previo al secado.

Gráfica que evidencia la pérdida de masa de las muestras durante el transcurso de 18 días



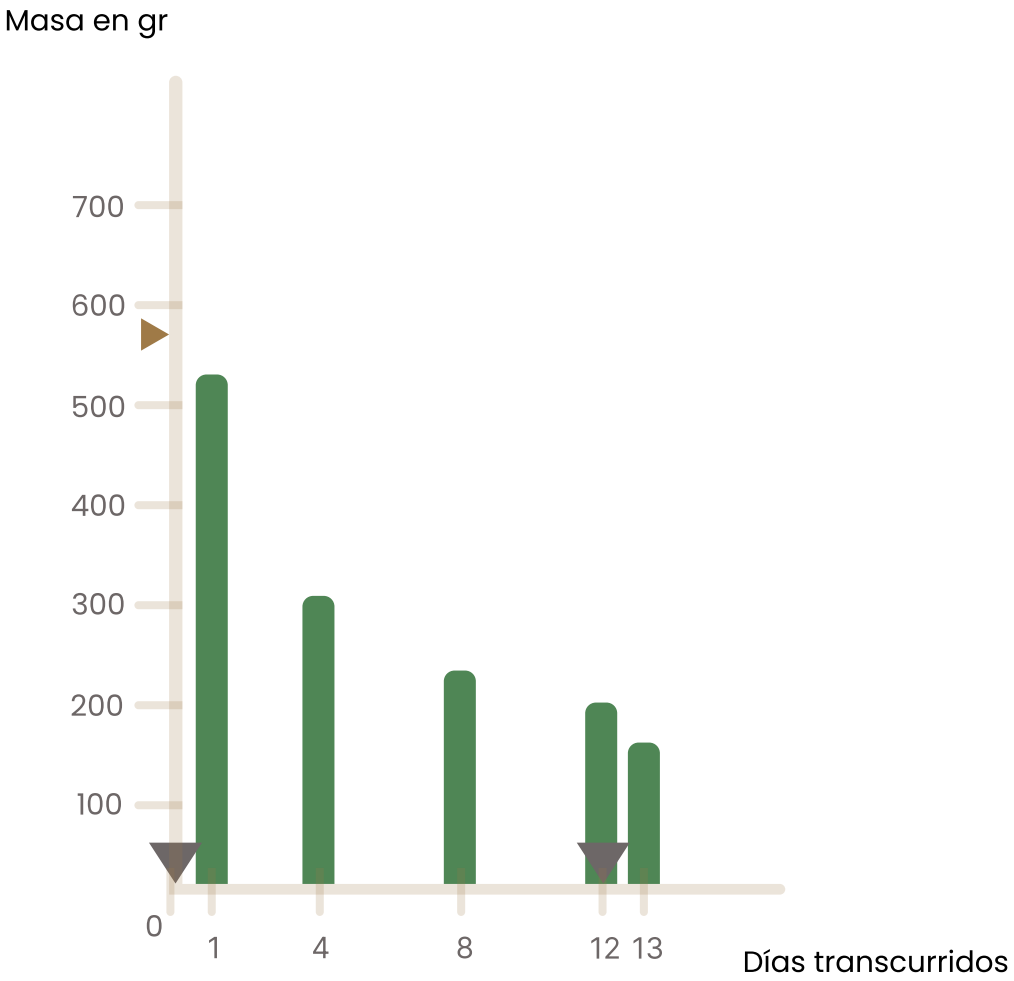
Gráfica que evidencia la pérdida de masa de las muestras durante el transcurso de 18 días

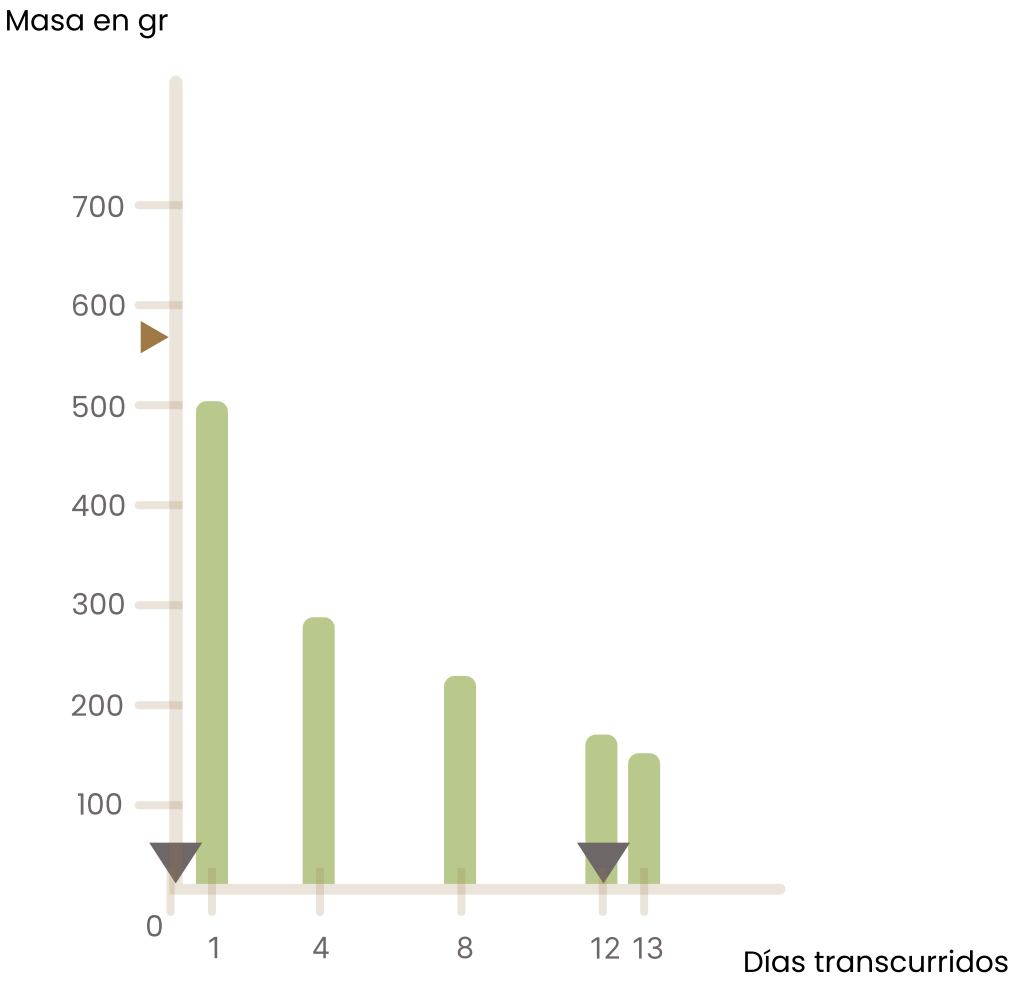
Muestra 5

Muestra 6

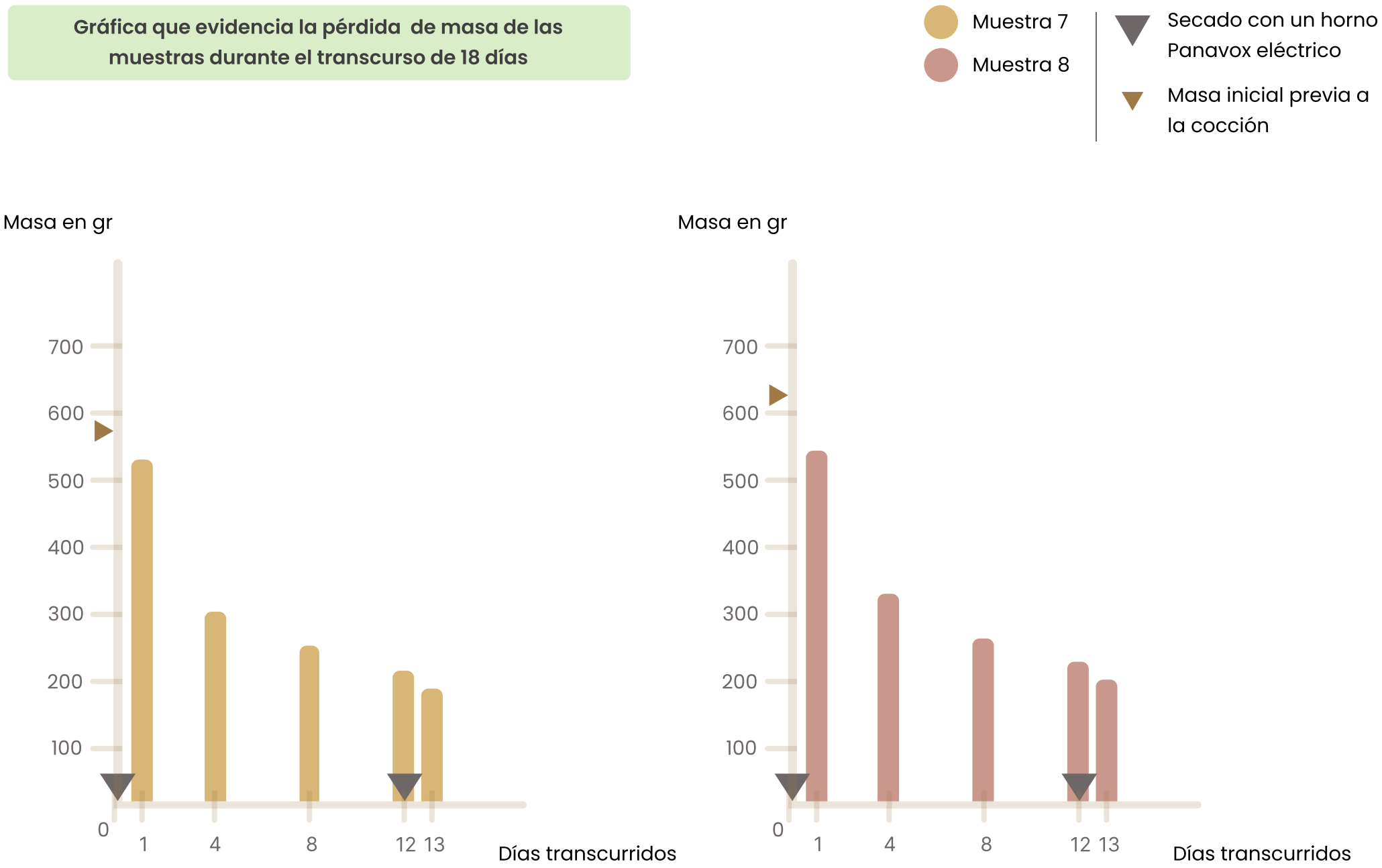
Secado con un horno Panavox eléctrico

Masa inicial previa a la cocción





Gráfica que evidencia la pérdida de masa de las muestras durante el transcurso de 18 días



Cálculos de la contracción del material luego del secado

Ecuación dada por la norma NTE INEN 1164:2013 para la determinación de la contracción para maderas:

$$W = \frac{V_1 - V_2}{V_2 (H_1 - H_2)} \times 100$$

V1= 1.100 ml
V2= 880 ml
H1= 99,6%
H2= 14,7%

$$W = \frac{1.100\ ml - 880\ ml}{880\ ml\ (99,6\% - 14,7\%)} \times 100$$

$$W = \frac{220\ ml}{880\ ml\ (84,9\%)} \times 100$$

$$W = \frac{220}{74.712} \times 100$$

$W = 0,0029446408 \times 100$ $W = 0,29446408\%$

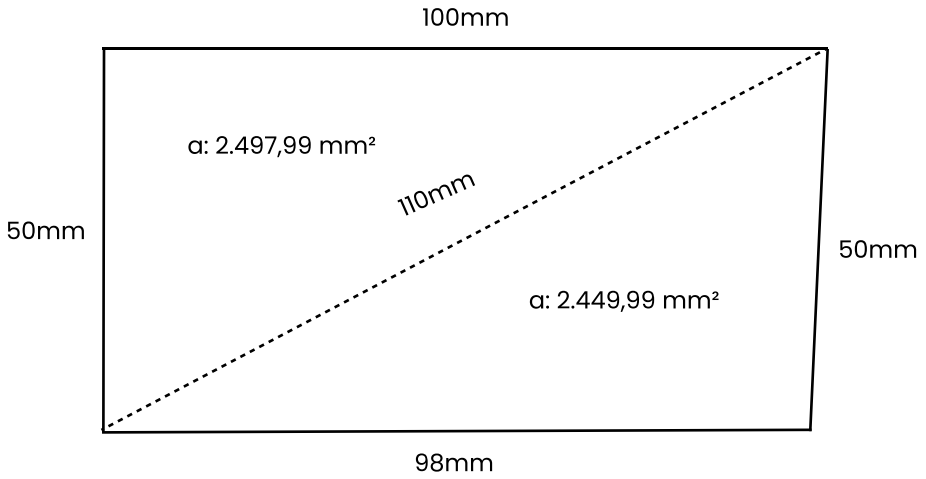
Cálculo del área de las muestras expuestas al líquido durante el testeo de absorción de humedad.

Cómo las medidas de los laterales de las muestras A y B son diferentes unas de otras, por lo que la base de ambas no conforma un rectángulo sino un polígono irregular, para calcular la el área se dividió el polígono en dos triángulos escalenos y la suma del cálculo del área de ambos triángulos conforma el área de la base de las muestras expuestas al líquido [ver figuras xx y xx].

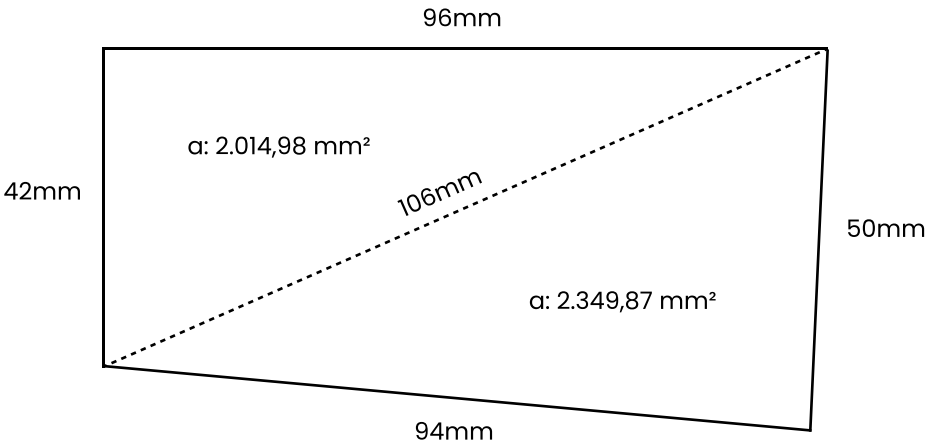
a muestra A = 2.497,99 mm² + 2.449,99 mm²
a muestra A = 4.947,98 mm²

a muestra B = 2.014,98 mm² + 2.349,87 mm²
a muestra B = 4.364,85 mm²

Muestra A



Muestra B



Cálculo / (mm) para cada Δ Masa (g)

Muestra A:

$$l = \frac{\Delta m}{a.d}$$

$$l = \frac{\Delta m}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3}$$

$$l = \frac{00\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 0{,}00\ mm$$

$$l = \frac{7\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 14{,}28\ mm$$

$$l = \frac{13\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 26{,}53\ mm$$

$$l = \frac{14\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 28{,}57\ mm$$

$$l = \frac{18\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 36{,}73\ mm$$

$$l = \frac{24\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 48{,}98\ mm$$

$$l = \frac{27\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 55{,}10\ mm$$

$$l = \frac{33\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 67{,}35\ mm$$

$$l = \frac{42\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 85{,}71\ mm$$

$$l = \frac{43\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 87{,}75\ mm$$

$$l = \frac{46\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 93{,}88\ mm$$

$$l = \frac{48\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 97{,}96\ mm$$

$$l = \frac{50\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 102{,}04\ mm$$

$$l = \frac{54\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 110{,}20\ mm$$

$$l = \frac{59\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 120{,}41\ mm$$

$$l = \frac{61\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 124{,}49\ mm$$

$$l = \frac{62\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 126{,}53\ mm$$

$$l = \frac{63\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 128{,}53\ mm$$

$$l = \frac{65\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 132{,}65\ mm$$

$$l = \frac{65\ g}{4.947{,}98\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 132{,}65\ mm$$

Muestra B:

$$l = \frac{\Delta m}{a.d}$$

$$l = \frac{\Delta m}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3}$$

$$l = \frac{9\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 20{,}93\ mm$$

$$l = \frac{13\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 30{,}23\ mm$$

$$l = \frac{14\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 32{,}56\ mm$$

$$l = \frac{19\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 44{,}18\ mm$$

$$l = \frac{23\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 53{,}48\ mm$$

$$l = \frac{25\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 58{,}14\ mm$$

$$l = \frac{26\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 60{,}46\ mm$$

$$l = \frac{30\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 69{,}77\ mm$$

$$l = \frac{39\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 90{,}70\ mm$$

$$l = \frac{41\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 95{,}35\ mm$$

$$l = \frac{46\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 106{,}97\ mm$$

$$l = \frac{48\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 111{,}63\ mm$$

$$l = \frac{51\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 118{,}60\ mm$$

$$l = \frac{66\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 153{,}49\ mm$$

$$l = \frac{70\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 162{,}79\ mm$$

$$l = \frac{73\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 169{,}77\ mm$$

$$l = \frac{75\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 174{,}42\ mm$$

$$l = \frac{75\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 174{,}42\ mm$$

$$l = \frac{77\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 179{,}07\ mm$$

$$l = \frac{76\ g}{4.364{,}85\ mm2 \cdot 0{,}0001\ g/mm3} = 176{,}74\ mm$$

Cálculos de regresión lineal, con calculadora online Mathcraker

Muestra A:

Tasa inicial de absorción de humedad.

Los siguientes datos para las variables t(s1/2) y I (mm) se proporcionan para construir un modelo de regresión lineal:

t(s1/2)	I (mm)
7.75	14.28
17.32	26.53
24.49	28.57
34.64	36.73
42.43	48.98
48.99	55.10
54.77	59.18
60.00	67.35
84.85	85.71
103.92	87.75
120.00	93.88
134.16	97.96
146.97	102.04

La variable independiente es $t(s1/2)$ y la variable dependiente es $I(mm)$. Para calcular los coeficientes de regresión, es necesario utilizar la siguiente tabla:

	t(s1/2)	I (mm)	$t(s1/2) \cdot I(mm)$	$t(s1/2)^2$	$I(mm)^2$
	7.75	14.28	110.67	60.0625	203.9184
	17.32	26.53	459.4996	299.9824	703.8409
	24.49	28.57	699.6793	599.7601	816.2449
	34.64	36.73	1272.3272	1199.9296	1349.0929
	42.43	48.98	2078.2214	1800.3049	2399.0404
	48.99	55.10	2699.349	2400.0201	3036.01
	54.77	59.18	3241.2886	2999.7529	3502.2724
	60.00	67.35	4041	3600	4536.0225
	84.85	85.71	7272.4935	7199.5225	7346.2041
	103.92	87.75	9118.98	10799.3664	7700.0625
	120.00	93.88	11265.6	14400	8813.4544
	134.16	97.96	13142.3136	17998.9056	9596.1616
	146.97	102.04	14996.8188	21600.1809	10412.1616
Suma =	880.29	804.06	70398.241	84957.7879	60414.4866

Según la tabla anterior, se calcula lo siguiente:

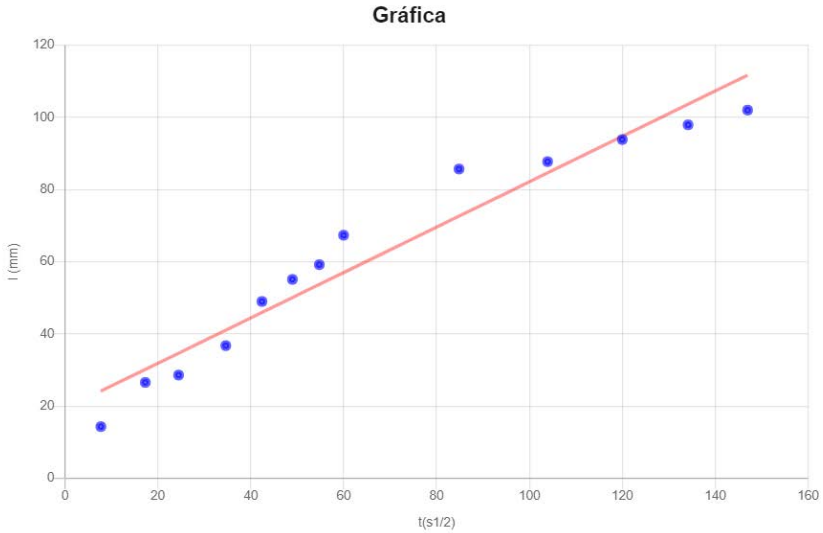
$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{880.29}{13} = 67.714615384615$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i = \frac{804.06}{13} = 61.850769230769$$

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = 84957.7879 - 880.29^2/13 = 25349.289123077$$

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2 = 60414.4866 - 804.06^2/13 = 10682.757092308$$

$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right) = 70398.241 - 880.29 \times 804.06/13 = 15951.627353846$$



Por lo tanto, según los cálculos anteriores, los coeficientes de regresión (la pendiente m y la intersección con el eje y n) se obtienen de la siguiente manera:

$$m = \frac{SS_{XY}}{SS_{XX}} = \frac{15951.627353846}{25349.289123077} = 0.6293$$

$$n = \bar{Y} - \bar{X} \cdot m = 61.850769230769 - 67.714615384615 \times 0.6293 = 19.2398$$

Por lo tanto, encontramos que la ecuación de regresión es:

$$I(mm) = 19.2398 + 0.6293t(s1/2)$$

Por lo tanto, en base a la información proporcionada anteriormente, se obtienen el siguiente gráfico de dispersión y gráfico de regresión:

Muestra A:

Tasa secundaria de absorción de humedad.

Los siguientes datos para las variables t(s1/2) y I (mm) se proporcionan para construir un modelo de regresión lineal:

t(s1/2)	I (mm)
293.94	110.20
415.69	120.41
509.12	124.49
587.88	126.53
657.27	128.57
720.00	132.65
777.69	132.65

La variable independiente es $t(s1/2)$ y la variable dependiente es $I(mm)$. Para calcular los coeficientes de regresión, es necesario utilizar la siguiente tabla:

	t(s1/2)	I (mm)	$t(s1/2) \cdot I(mm)$	$t(s1/2)^2$	$I(mm)^2$
	293.94	110.20	32392.188	86400.7236	12144.04
	415.69	120.41	50053.2329	172798.1761	14498.5681
	509.12	124.49	63380.3488	259203.1744	15497.7601
	587.88	126.53	74384.4564	345602.8944	16009.8409
	657.27	128.57	84505.2039	432003.8529	16530.2449
	720.00	132.65	95508	518400	17596.0225
	777.69	132.65	103160.5785	604801.7361	17596.0225
Suma =	3961.59	875.5	503384.0085	2419210.5575	109872.499

Según la tabla anterior, se calcula lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{3961.59}{7} = 565.94142857143$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i = \frac{875.5}{7} = 125.07142857143$$

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = 2419210.5575 - 3961.59^2/7 = 177182.65348571$$

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2 = 109872.499 - 875.5^2/7 = 372.4632857143$$

$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right) = 503384.0085 - 3961.59 \times 875.5/7 = 7902.2877857143$$

Por lo tanto, según los cálculos anteriores, los coeficientes de regresión (la pendiente m y la intersección con el eje y n) se obtienen de la siguiente manera:

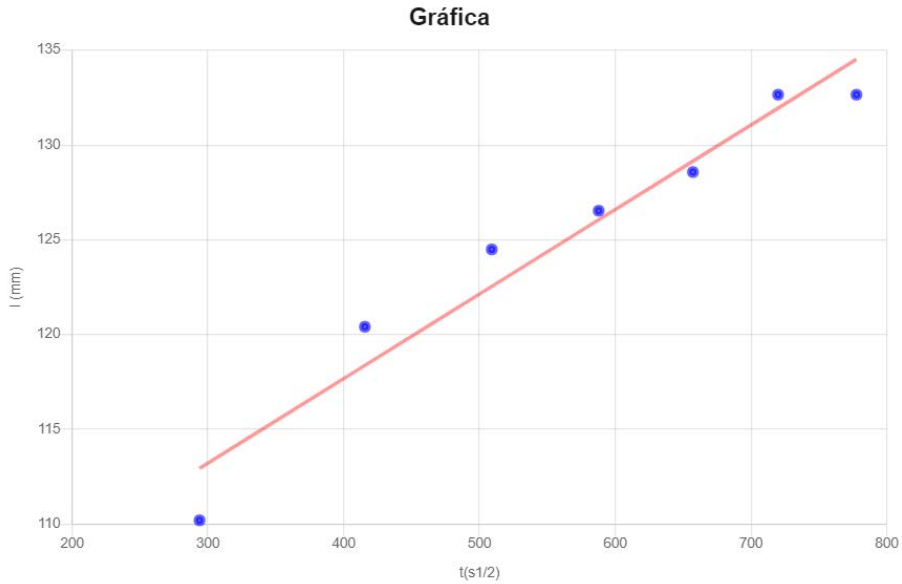
$$m = \frac{SS_{XY}}{SS_{XX}} = \frac{7902.2877857143}{177182.65348571} = 0.0446$$

$$n = \bar{Y} - \bar{X} \cdot m = 125.07142857143 - 565.94142857143 \times 0.0446 = 99.8306$$

Por lo tanto, encontramos que la ecuación de regresión es:

$$I(mm) = 99.8306 + 0.0446t(s1/2)$$

Por lo tanto, en base a la información proporcionada anteriormente, se obtienen el siguiente gráfico de dispersión y gráfico de regresión:



Muestra B:

Tasa inicial de absorción de humedad.

Los siguientes datos para las variables t(s1/2) y I (mm) se proporcionan para construir un modelo de regresión lineal:

t(s1/2)	I (mm)
7.75	20.93
17.32	30.23
24.49	32.56
34.64	44.18
42.43	53.48
48.99	58.14
54.77	60.46
60.00	69.77
84.85	90.70
103.92	95.35
120.00	106.97
134.16	111.63
146.97	118.60

La variable independiente es $t(s1/2)$ y la variable dependiente es $I(mm)$. Para calcular los coeficientes de regresión, es necesario utilizar la siguiente tabla:

	t(s1/2)	I (mm)	$t(s1/2) \cdot I(mm)$	$t(s1/2)^2$	$I(mm)^2$
	7.75	20.93	162.2075	60.0625	438.0649
	17.32	30.23	523.5836	299.9824	913.8529
	24.49	32.56	797.3944	599.7601	1060.1536
	34.64	44.18	1530.3952	1199.9296	1951.8724
	42.43	53.48	2269.1564	1800.3049	2860.1104
	48.99	58.14	2848.2786	2400.0201	3380.2596
	54.77	60.46	3311.3942	2999.7529	3655.4116
	60.00	69.77	4186.2	3600	4867.8529
	84.85	90.70	7695.895	7199.5225	8226.49
	103.92	95.35	9908.772	10799.3664	9091.6225
	120.00	106.97	12836.4	14400	11442.5809
	134.16	111.63	14976.2808	17998.9056	12461.2569
	146.97	118.60	17430.642	21600.1809	14065.96
Suma =	880.29	893	78476.5997	84957.7879	74415.4886

Según la tabla anterior, se calcula lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{880.29}{13} = 67.714615384615$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i = \frac{893}{13} = 68.692307692308$$

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = 84957.7879 - 880.29^2/13 = 25349.289123077$$

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2 = 74415.4886 - 893^2/13 = 13073.257830769$$

$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right) = 78476.5997 - 880.29 \times 893/13 = 18007.448161538$$

Por lo tanto, según los cálculos anteriores, los coeficientes de regresión (la pendiente m y la intersección con el eje y n) se obtienen de la siguiente manera:

$$m = \frac{SS_{XY}}{SS_{XX}} = \frac{18007.448161538}{25349.289123077} = 0.7104$$

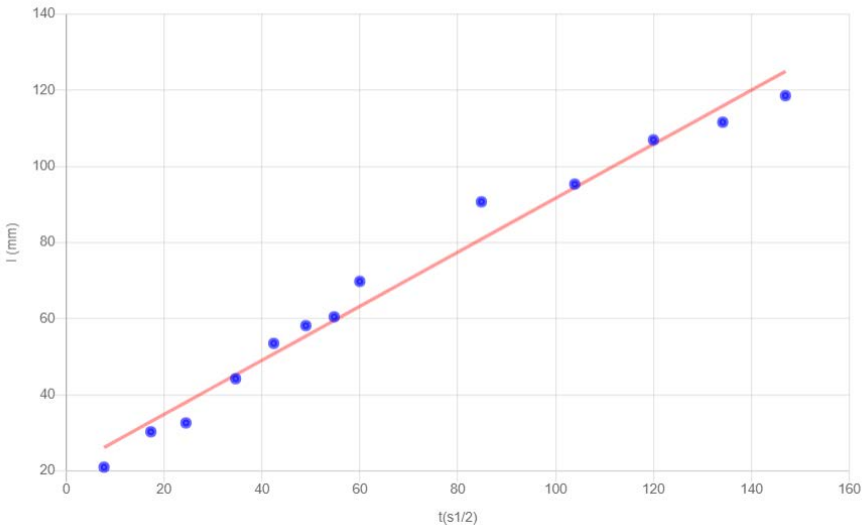
$$n = \bar{Y} - \bar{X} \cdot m = 68.692307692308 - 67.714615384615 \times 0.7104 = 20.5897$$

Por lo tanto, encontramos que la ecuación de regresión es:

$$I(mm) = 20.5897 + 0.7104t(s1/2)$$

Por lo tanto, en base a la información proporcionada anteriormente, se obtienen el siguiente gráfico de dispersión y gráfico de regresión:

Gráfica



Muestra B:

Tasa secundaria de absorción de humedad.

Los siguientes datos para las variables t(s1/2) y I (mm) se proporcionan para construir un modelo de regresión lineal:

t(s1/2)	I (mm)
293.94	153.49
415.69	162.79
509.12	169.77
587.88	174.42
657.27	174.42
720.00	179.07
777.69	176.74

La variable independiente es $t(s1/2)$ y la variable dependiente es $I(mm)$. Para calcular los coeficientes de regresión, es necesario utilizar la siguiente tabla:

	t(s1/2)	I (mm)	$t(s1/2) \cdot I(mm)$	$t(s1/2)^2$	$I(mm)^2$
	293.94	153.49	45116.8506	86400.7236	23559.1801
	415.69	162.79	67670.1751	172798.1761	26500.5841
	509.12	169.77	86433.3024	259203.1744	28821.8529
	587.88	174.42	102538.0296	345602.8944	30422.3364
	657.27	174.42	114641.0334	432003.8529	30422.3364
	720.00	179.07	128930.4	518400	32066.0649
	777.69	176.74	137448.9306	604801.7361	31237.0276
Suma =	3961.59	1190.7	682778.7217	2419210.5575	203029.3824

Según la tabla anterior, se calcula lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{3961.59}{7} = 565.94142857143$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i = \frac{1190.7}{7} = 170.1$$

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 = 2419210.5575 - 3961.59^2/7 = 177182.65348571$$

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2 = 203029.3824 - 1190.7^2/7 = 491.31240000008$$

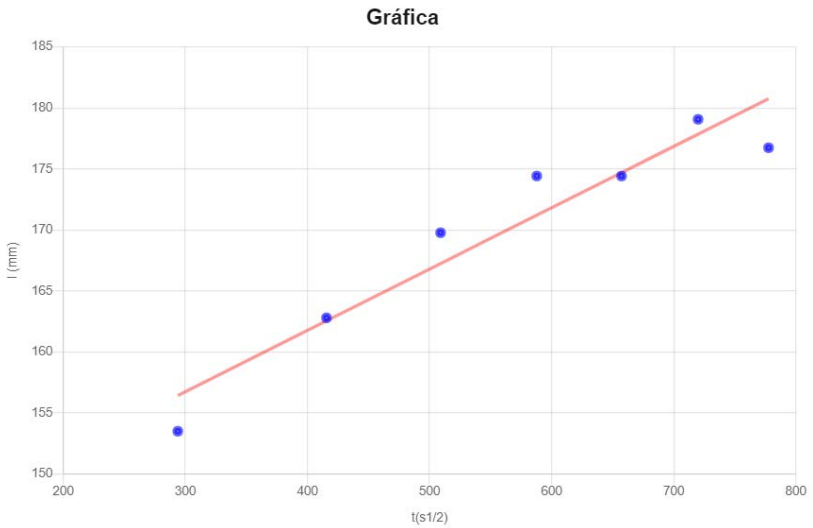
$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right) = 682778.7217 - 3961.59 \times 1190.7/7 = 8912.2627000002$$

Por lo tanto, según los cálculos anteriores, los coeficientes de regresión (la pendiente m y la intersección con el eje y n) se obtienen de la siguiente manera:

$$m = \frac{SS_{XY}}{SS_{XX}} = \frac{8912.2627000002}{177182.65348571} = 0.0503$$

$$n = \bar{Y} - \bar{X} \cdot m = 170.1 - 565.94142857143 \times 0.0503 = 141.6332$$

Por lo tanto, encontramos que la ecuación de regresión es:

$$I(mm) = 141.6332 + 0.0503t(s1/2)$$

Por lo tanto, en base a la información proporcionada anteriormente, se obtienen el siguiente gráfico de dispersión y gráfico de regresión: