



Trabajo Fin de Grado

Diseño y caracterización de nuevos materiales
medioambientalmente respetuosos

Design and characterization of environmentally friendly
materials

Autora

Rosa Aurensanz Mallada

Directores

Ignacio López Forniés
María Antonieta Madre Sediles

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2021

MEMORIA

**Diseño y caracterización de nuevos
materiales medioambientalmente
respetuosos**

Rosa Aurensanz Mallada

Trabajo de Fin de Grado

**Ingeniería en Diseño Industrial y
Desarrollo de Producto**

2021

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Aroa Ejarque-Ortiz, de los laboratorios CESAR de la Universidad de Zaragoza, su ayuda en el desarrollo de este proyecto. Muchas gracias por dedicarme tanto tiempo.

A los directores del trabajo, Ignacio López Forniés y María Antonieta Madre Sediles, por guiarme y ayudarme en todo momento.

Resumen

En la actualidad, uno de los principales obstáculos hacia la sostenibilidad es el uso indiscriminado de plásticos de un solo uso. Para darle solución cada vez surgen nuevos materiales respetuosos con el medioambiente. Algunos de ellos son los materiales compuestos hechos a base de micelio, el cuerpo vegetativo de un hongo. En este estudio se expone el proceso de crecimiento del material en el laboratorio, según la experimentación previa en los laboratorios CESAR de la Universidad de Zaragoza en el centro de arte y tecnología Etopia. Durante este proceso se realizan seis materiales compuestos conformados con el hongo y con un material de carga que en todos ellos es un sustrato orgánico.

El objetivo es someter a cada uno de los materiales compuestos a tres ensayos físicos (resistencia a la compresión, dureza y absorción de agua) para conocer cuales son sus propiedades mecánicas y realizar comparaciones entre ellos. Al conocer sus propiedades se pueden explorar posibles aplicaciones para el material y de esta manera poder sustituir a los materiales no respetuosos con el medio ambiente que se utilizan en la actualidad.

Los materiales compuestos hechos a base de micelio contribuyen a los principios de la economía circular ya que apenas se utilizan nuevas materias primas, el proceso productivo necesita un bajo aporte de energía y son biodegradables.

Abstract

Nowadays, one of the main obstacles to sustainability is the excessive use of single-use plastics. To solve this problem, new environmentally friendly materials are emerging every time. Some of them are biocomposite made from mycelium, the vegetative body of fungi. This study exposes the material's growing process in the laboratory, according to previous experimentation in the CESAR laboratories of the University of Zaragoza located in the Etopia art and technology center. During this process six different materials are made, developed with fungi and a filler material that in all of them is an organic substrate.

The purpose is to submit each of this composite materials to three physical tests (compressive strength, hardness and water absorption) to find out what their mechanical properties are and to make comparisons between them. By knowing their properties, possible applications for this material can be explored and, in this way, to be able to replace the non-environmentally friendly materials that are used nowadays.

Mycelium-based materials promote the circular economy principles because hardly any new materials are used, the productive process need a low energy input and they are biodregadable.

Índice

1 Objetivos	4
2 Planificación	6
3 Introducción	8
3.1 Problemática	9
3.2 Poliestireno expandido	10
3.3 Bioplásticos	11
3.4 Micelio	12
3.5 Productores	15
3.6 Estudio de mercado	17
4 Metodología	18
4.1 Introducción	19
4.2 Crecimiento en el laboratorio	21
4.3 Metodología de los ensayos	25
Absorción de agua	25
Resistencia a la compresión	26
Dureza	27
5 Resultados	28
5.1 Densidad	29
5.2 Absorción de agua	30
5.3 Resistencia a la compresión	32
Desarrollo del ensayo	32
Resultados	34
5.4 Dureza	38
5.5 Conclusiones	40
6 Propuestas de diseño.....	42
7 Conclusiones finales.....	45
8 Referencias	47
8.1 Bibliografía y Webgrafía	48
8.2 Figuras	50

1 Objetivos

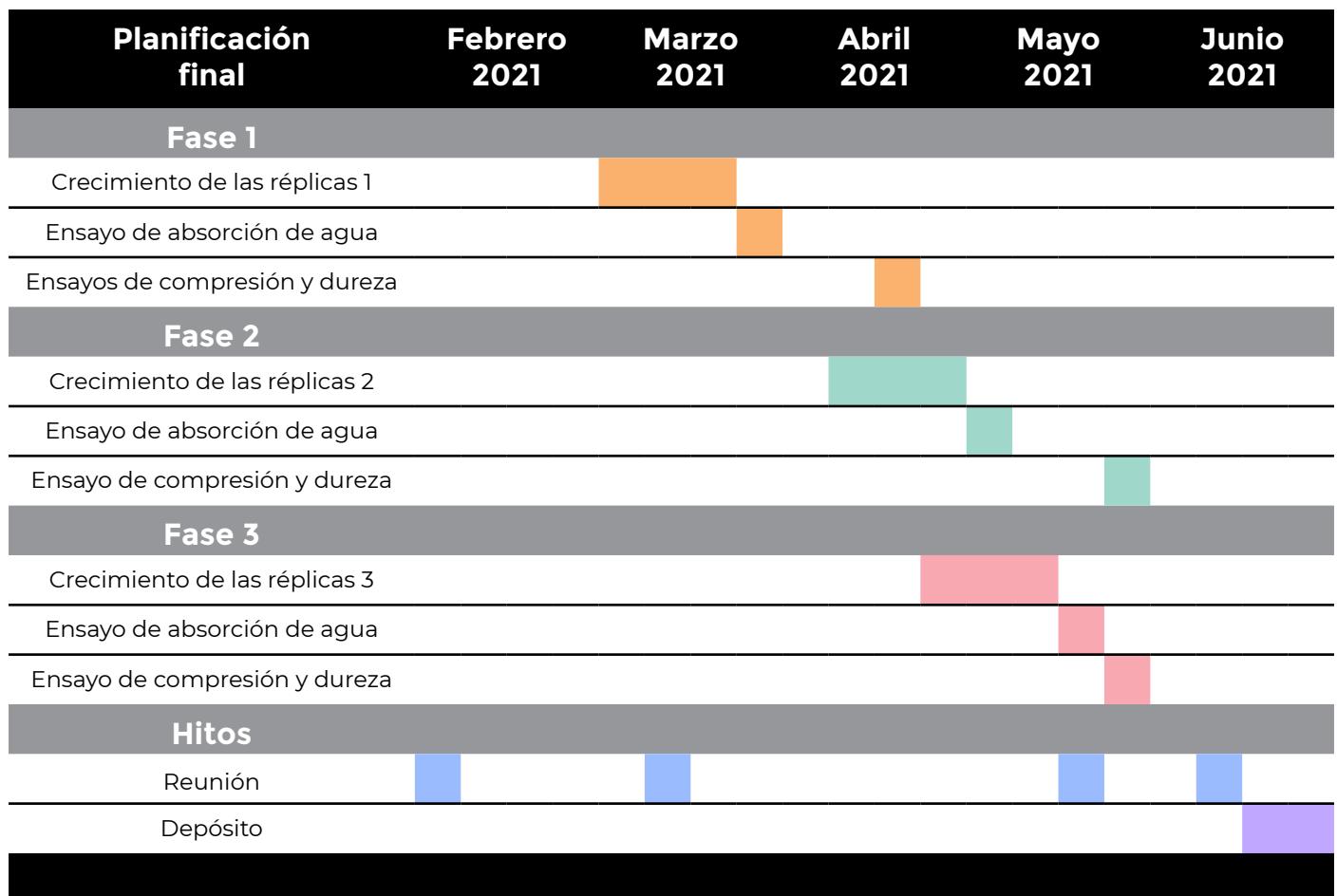
1 Objetivos

El objetivo del proyecto es diseñar un nuevo material que pueda sustituir en algunas aplicaciones a materiales plásticos con fuerte impacto medioambiental. Para conseguir este objetivo es necesario realizar su caracterización por medio de ensayos mecánicos, además de otros ensayos relacionados con características aislantes o filtrantes. El resultado esperado es un nuevo material, y la definición de sus características y potenciales aplicaciones en diseño de productos respetuosos con el medio ambiente. El material se diseñará a partir de restos orgánicos como reaprovechamiento de residuos que ya no tengan valor. Se tiene suficiente información de partida y será supervisado en la parte científica por los directores.

2 Planificación

2 Planificación

A continuación se muestra un cronograma con el desarrollo del proyecto. En él aparece el proceso de crecimiento del material y los ensayos realizados a cada una de las muestras. También se muestran las reuniones conjuntas con los directores del trabajo.



3 Introducción

3.1 Problemática

Un elevado porcentaje de la bolsa de basura son plásticos, y, en su mayoría, provienen de envases de un solo uso y de todo tipo de envoltorios y embalajes. Algunos de ellos son botellas de PVC (policloruro de vinilo) o PET (tereftalato de polietileno), bolsas de polietileno o bandejas y cajas protectoras de EPS (poliestireno expandido). Se ha estimado que alrededor del 50% de los plásticos que se producen se destinan a aplicaciones de un solo uso.

Estos residuos generan un grave problema medioambiental, ya que algunos de ellos pueden tardar más de 100 años en descomponerse, además la mayoría de ellos se obtienen a partir del petróleo. Se calcula que 4% del petróleo y gas extraídos se usa como materia prima para la producción de plásticos, y entre 3 y 4% para generar la energía requerida en su fabricación. [1]

La Unión Europea dictó que a partir de julio de 2021 se prohibirá el uso de los artículos de plástico de un solo uso como cubiertos, platos, pajitas o productos de cosmética que incorporan microplásticos. Dentro de esta ley también se incluye la prohibición de recipientes y vasos para alimentos y bebidas hechos de poliestireno expandido, incluidos sus tapas y tapones, aunque quedan fuera de esta otros productos hechos a base de este material y que tienen un sólo uso. [2][3][4]



Plásticos de un solo uso [Figura 1]

Otra alternativa a la prohibición del uso de este tipo de plásticos es el reciclaje, aunque esto tiene diversas desventajas. Según Ecoembes, uno de cada cuatro de los residuos en el contenedor amarillo no estaba correctamente situado, por lo tanto, también hay grandes problemas en la educación del reciclaje en España. Además, el plástico no se puede reciclar un número infinito de veces, ya que las cadenas moleculares se degradan. Por ese motivo, algunos tipos de plásticos causan un grave problema medioambiental que debe solucionarse a través de la exploración de otras alternativas.

3.2 Poliestireno expandido

Uno de los plásticos mayoritarios en las bolsas de basura es el poliestireno expandido (EPS). Son multitud las buenas cualidades de este material, entre las que se encuentran: la versatilidad y facilidad de conformado, la amortiguación de impactos o la ligereza. El EPS presenta sobre todo muy buena resistencia mecánica, como la resistencia a la compresión, lo cual está estrechamente relacionado con su densidad.

El EPS tiene muy buenas propiedades aislantes frente al frío y al calor, es por esto que alguna de sus aplicaciones principales es el aislamiento de los cerramientos de edificios o el envase de alimentos frescos como el pescado. Esto se debe a que aproximadamente el 98% del volumen de este material es aire. [5]



Embalaje de vino [Figura 2]



Protector de EPS [Figura 3]



Bandejas de EPS
[Figura 4]

A pesar de estas buenas propiedades, el EPS presenta otras desventajas. Es un material plástico altamente contaminante ya que por lo general tiene una vida de un solo uso y puede tardar nada menos que unos 1000 años en deteriorarse. Además, supone un gran peligro para los animales que confunden los restos de envases de poliestireno con comida. Al acabar en el agua de ríos, mares y océanos, actúa como una espuma que absorbe los contaminantes, pasando a los peces que los ingieren y con ello posteriormente a los humanos y otros animales en la cadena alimentaria. [6]

Es por eso que existe la necesidad de encontrar otros materiales que puedan sustituir al poliestireno y que no presenten este tipo de inconvenientes medioambientales.

3.3 Bioplásticos

El incremento de la demanda de materiales verdes ha dado lugar a una gran cantidad de estudios sobre biocompuestos. Los biocompuestos se definen como materiales compuestos donde los biopolímeros están reforzados por fibras naturales. Un factor muy importante de los biocompuestos es la posibilidad de aprovechar restos o residuos biológicos tales como cáscaras, fibras o tallos residuales. De esta manera los restos o residuos se valorizan en lugar de descartarse, de acuerdo con los principios de la economía circular. [7]

Se define como economía circular a un proceso de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta manera el ciclo de vida de los productos se extiende. En la práctica implica reducir los residuos al mínimo y por ese motivo el impulso de este tipo de materiales favorece a este proceso. [8]



Esquema de la economía circular [Figura 5]

Uno de los materiales que contribuyen a la economía circular son los compuestos hechos a base de micelio. Esto se debe a que se utilizan materias orgánicas para su conformado y se biodegrada después, a diferencia de los plásticos como el poliestireno expandido. Para poder comprender su alto potencial antes hay que especificar que es la materia principal que lo conforma, el micelio.

3.4 Micelio

Los cuerpos de fructificación de un hongo tienen la función de producir esporas que el viento se encargará de esparcir para que crezcan en otras partes. Sin embargo, esta es solo una porción del hongo, la mayor parte está bajo la tierra, una maraña de filamentos diminutos que se extiende cientos de metros a lo largo del suelo. Estos filamentos componen el micelio y son vitales para el crecimiento de muchas plantas. Durante miles de millones de años, el micelio ha crecido bajo nuestros pies y ha servido como tejido conectivo ecológico. Una red entrelazada, en expansión, infinitamente renovable, que atraviesa el suelo, los cuerpos de las plantas y a lo largo de los lechos de los ríos para descomponer la materia orgánica y proporcionar nutrientes a las plantas y los árboles. [9]

Los hongos son organismos capaces de dar cohesión a materiales que no se pueden adherir debido a esta masa de filamentos microscópicos que forman el micelio. Según los estudios disponibles, los biocompuestos a base de micelio se emparejan casi exclusivamente con otros materiales derivados de procesos biológicos. Los sustratos con los que se conforma el material son atravesados por las hifas, las cuales se desarrollan en el interior como una red apretada. Con el tiempo, el sustrato es reemplazado parcialmente por la biomasa fúngica y el micelio resultante es capaz de cementar fuertemente el propio sustrato. [7]

El componente principal del material compuesto de este estudio es el hongo *Ganoderma lucidum*. Es un hongo cultivado desde hace 2000 años debido al aprovechamiento del extracto obtenido a partir de la seta en la medicina tradicional asiática. [10]



El micelio en las capas del terreno
[Figura 6]



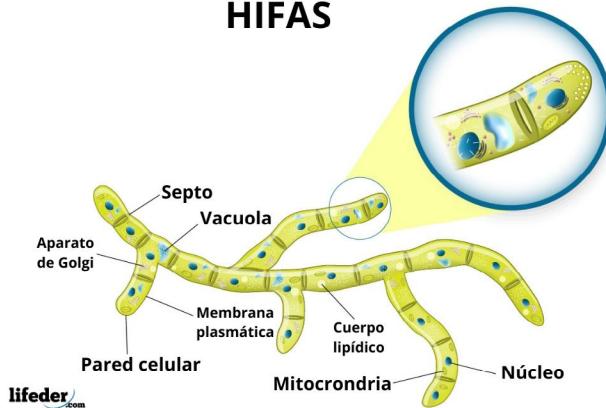
Ganoderma lucidum [Figura 7]

A continuación se muestra una imagen del ciclo de vida de un hongo [Figura 10]. Tal y como indica, en una de las etapas del proceso de reproducción, cuando las condiciones ambientales son favorables, se forma una seta. Esta estructura fructificante se llama basidiocarpo y en su interior los núcleos de los diferentes tipos sexuales se fusionan (fertilización) por parejas, experimentan meiosis y se transforman en esporas sexuales. Éstas se forman en unas células alargadas localizadas en las laminillas o poros de la parte inferior de las setas. [11]

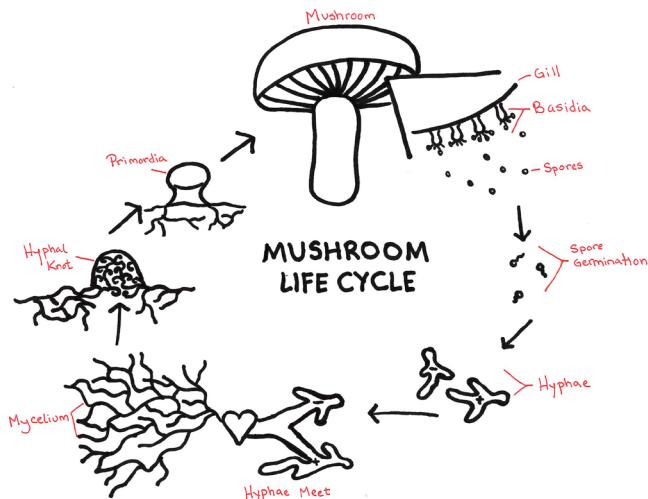


Micelio en una placa de Petri [Figura 8]

HIFAS



Partes de las hifas [Figura 9]



Ciclo de vida de los hongos [Figura 10]

Una vez que las esporas han madurado son expulsadas desde las laminillas o poros al espacio existente entre ellas de donde caerán al suelo para germinar posteriormente y dar lugar a nuevas hifas. Estas esporas serán la materia prima para que en el laboratorio se pueda iniciar el cultivo del hongo *Ganoderma lucidum*.

Al unir el hongo con otros materiales lignocelulósicos, el micelio crece a través de ellos, dando lugar a un material compuesto. El micelio hace de nexo de unión aportando rigidez. Además, puede adaptarse a cualquier forma. Las sorprendentes prestaciones de los biocompuestos a base de micelio se han explorado especialmente para producir

nuevos materiales para embalaje, aislamiento térmico y acústico y una amplia variedad de objetos de diseño y mobiliario. La producción de biocompuestos implica poca energía, los materiales resultantes son biodegradables y tienen una potencial rentabilidad. En definitiva, los materiales a base de micelio han demostrado su potencial para sustituir el uso de materiales menos respetuosos con el medio ambiente como los plásticos. Además, una característica única de estos materiales es la amplia diversidad de propiedades técnicas y estéticas que se pueden lograr mediante variaciones mínimas en el proceso de fabricación, la especie del hongo o el sustrato seleccionado. Sin embargo, solo unas pocas empresas en el mundo han adquirido un conocimiento verdaderamente competitivo y la facultad económica y técnica para rentabilizar sus productos hechos a base de micelio.



Materiales compuestos hechos a base de micelio [Figura 11]

3.5 Productores

Algunos estudios sobre el uso de los hongos como biomateriales comenzaron durante los años 90 por el científico japonés Shigeru Yamanaka, el cual investigó el micelio para la producción de papel y materiales de construcción. Desde entonces, los compuestos hechos a base de micelio han sido estudiados para comercializarse. La investigación en Europa comenzó de la mano de Maurizio Montalti, en colaboración con la universidad de Utrecht (Países Bajos). Montalti creó The Growing Lab, un proyecto experimental que ensaya con las propiedades de los hongos como material para producción industrial y arquitectura. [7]

Maurizio Montalti es también cofundador de Mogu, una empresa encargada de explorar el potencial de productos hechos a base de micelio. La empresa desarrolla paneles acústicos, caracterizados por un acabado aterciopelado y una forma en 3D. [12]



Modelo Wave de Mogu [Figura 12]



Modelo Kite de Mogu [Figura 13]

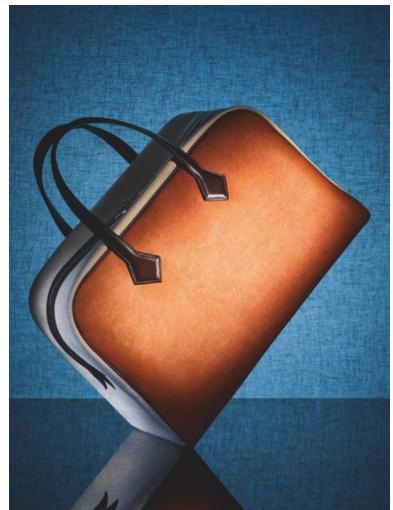
Una de las empresas productoras de este material más potentes es Ecovative. Se trata de una empresa americana que ha logrado patentar tres tipos de materiales diferentes. El primero es MycoFlex, una espuma de micelio puro. También cuentan con MycoComposite, el cual lanzaron en 2009 y en el que utilizan residuos de agricultura como hojas de maíz, cáscaras de arroz o tallos de plantas troceados, los cuales compran a granjeros locales. Por último, han desarrollado Atlas, totalmente diferente a los dos anteriores ya que es un sustitutivo del bacon hecho a base de micelio. [13] [14]



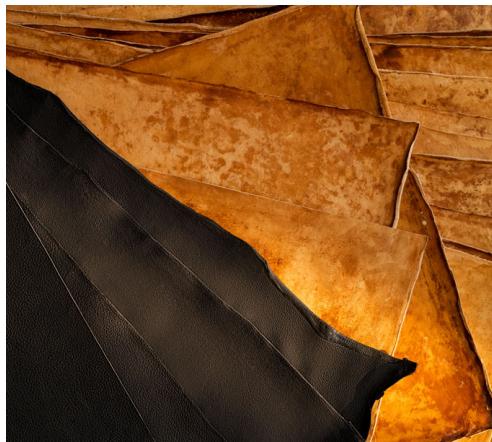
Producción de MycoComposite [Figura 14]

Dentro de la producción de este material también cabe destacar la labor de MycoWorks, una empresa californiana que desarrolla también productos con micelio. En marzo de 2021 Mycoworks anunciaba una colaboración con la firma francesa Hèrmes. Esta

colaboración da lugar a un bolso al que han denominado Sylvania y el cual está hecho de Reishi Fine Mycelium. Así es como la empresa ha denominado a su nuevo material que imita el cuero y del cual dicen que es un gran avance en la ciencia de los materiales y la biotecnología y una nueva plataforma para nuevas posibilidades de diseño. Después de tres años de trabajo colaborativo entre las dos empresas el resultado ha sido este bolso que combina la tradición de los curtidores de Hèrmes y la tecnología de este nuevo material. MycoWorks destaca que no quieren que se denomine al material con el que está hecho como cuero de hongos sino como una estructura patentada que asegura la resistencia, durabilidad y tacto agradable del producto. [15]



Bolso Sylvania [Figura 15]



Reishi Fine Mycelium [Figura 16]

Pero MycoWorks no ha sido la única empresa en colaborar con una firma de lujo, también en marzo de 2021 la firma Stella McCartney anunciaba su unión a Bolt Threads. Esta es una empresa encargada de desarrollar un nuevo sustituto del cuero llamado Mylo. El proceso de conformado del material está diseñado para tener un impacto ambiental mínimo y lleva días, no años como criar ganado, lo que ayuda a ahorrar agua, emisiones de gases de efecto invernadero y protege ecosistemas vitales como el Amazonas de la deforestación. La firma asegura que su comunidad nunca debería tener que comprometer el lujo y el diseño por la sostenibilidad, y Mylo lo hace realidad. [16]



Mylo [Figura 17]

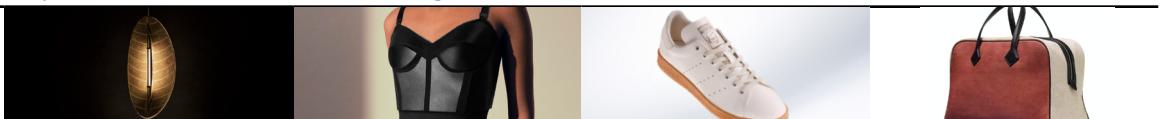
3.6 Estudio de mercado



Producto	Desodorante Openly Human [17]	Mogu Wave [18]	Lámpara [19]	Loop Coffin [20]
Sector	Envase	Aislante acústico	Decoración / Luminaria	Ataúd
Materiales	MycoComposite ®		MycoComposite ®	Loop Living Cocoon ®
Productor	Ecovative / Paradise Packaging Co.	Mogu	Danielle Trofe	Bob Hendrikx / Loop
País	EE.UU.	Italia	EE.UU.	Países Bajos
Web	https://www.paradisepackaging.co/store/p/inquiry-quote	https://mogu.bio/acoustic/mogu-wave/	https://danielletrofe.com/shop/mushlumecup-light-pendant	https://www.loop-of-life.com/product



Producto	Casco Grow Your Own [21]	Living Skin [22]	Vela Amen [23]	Mesa [24]
Sector	Deportivo	Téxtil	Envase	Decoración
Materiales	Fungicel ®	MycoTEX ®	MycoComposite ®	MycoComposite ®
Productor	Nos / Polybion	NEFFA / Karin Vlug	Grown.bio /Amen	Grown.bio
País	México	Países Bajos	Francia	Países Bajos
Web	http://nos.mx/es/proyecto/casco_gyi_esp/	http://www.karinvlug.com/project/mycotex-x-karin-vlug/	https://amencandles.fr/es	https://www.grown.bio/product/stack-table/



Producto	Lámpara Folium [25]	Mylo Bustier & Trousers [26]	Stan Smith Mylo [27]	Bolso Victoria [28]
Sector	Decoración	Textil	Textil	Textil
Materiales	MycoComposite ®	Mylo ®	Mylo ®	Reishi ®
Productor	Grown.bio / Morgan Ruben	Bolt Threads / Stella McCartney	Bolt Threads / Adidas	MycoWorks / Hèrmes
País	Países Bajos	EE.UU.	EE.UU.	EE.UU. / Francia
Web	https://www.morganruben.com/folium	https://www.mylo-unleather.com/	https://www.mylo-unleather.com/	https://www.mycoworks.com/introducing-sylvania-by-hermes

4 Metodología

4.1 Introducción

El proceso de diseño y caracterización de este material se va a dividir en dos partes. En primer lugar el desarrollo en el laboratorio del material, proceso que se va a realizar en WetLab, el laboratorio de biología perteneciente a los laboratorios CESAR de la Universidad de Zaragoza, que está situado en el centro de arte y tecnología Etopia. La segunda parte serán los ensayos físicos del material, los cuales se llevarán a cabo en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

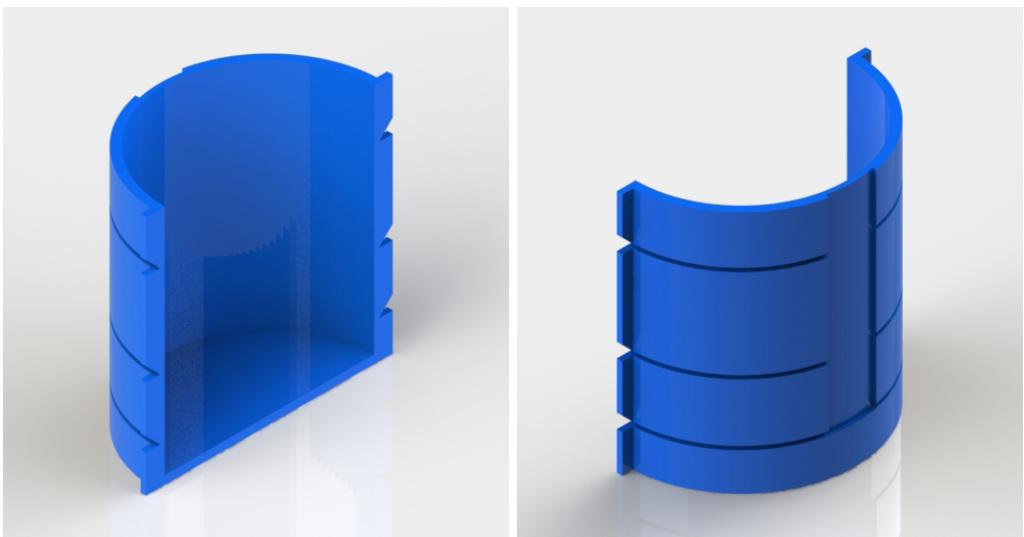


WetLab de Etopia [Figura 19]

Antes de comenzar con el proceso de crecimiento del material se deben conocer los ensayos a los que se le someterá. Debido a las propiedades físicas que se conocen de este compuesto, solo se pueden realizar algunos ensayos que se suelen hacer a las espumas poliméricas como el poliestireno expandido y a los que se ha sometido este material en estudios previos [7]. Estos ensayos serán resistencia a la compresión, dureza y absorción de agua. Para ello, se deben crear unas mismas probetas del material que se utilizarán para los tres ensayos, por lo tanto, la forma a crear en el laboratorio se verá condicionada por las posibilidades de los ensayos.

Ya que no existe una normativa específica para este tipo de materiales, se consulta la norma “Materiales plásticos celulares rígidos. Determinación de las características de compresión” (UNE-EN ISO 844). Esta norma dice que las probetas deben tener un espesor de (50 ± 1) mm y que la base debe ser o bien cuadrada o circular, con área mínima de 25 mm² y máxima de 230 mm². Además está la limitación de que el plato de máquina de compresión de la que dispone el laboratorio de la Universidad es de 45 mm de diámetro. Por lo tanto, las probetas que se realizarán serán un cilindro con base de 45 mm de diámetro y 50 mm de altura.

Antes del inicio del proyecto en el taller de fabricación de los laboratorios CESAR se realizan unas primeras muestras del molde en el que se realizarán las probetas del material. Estas primeras muestras se someten a los ensayos de resistencia a la compresión y dureza para comprobar si las dimensiones seleccionadas son correctas. Los resultados se pueden comprobar en los Anexos (página 9). Una vez que se ha comprobado que las probetas tienen las dimensiones correctas para los ensayos seleccionados se realiza una segunda versión del molde en el que crecerá el material. Este molde está fabricado mediante impresión 3D y consta de dos piezas para favorecer el desmoldeo.



Archivo 3D del molde de las muestras del material [Figura 20]

Una vez el molde está listo, se puede comenzar con el proceso de crecimiento del material. Durante esta fase se realizarán 6 muestras diferentes, hechas con 6 sustratos diferentes, con los que ya se ha trabajado con anterioridad en el WetLab. Estos materiales son virutas de madera + serrín, paja, pellet, algodón proveniente de camisetas, cáscara de cacahuete y cartón. Se realizarán 3 réplicas de cada sustrato para así obtener unos resultados más certeros en los ensayos físicos, por lo tanto la organización del crecimiento del material se dividirá en 3 tandas diferentes. Debido a que el proceso en el laboratorio tarda aproximadamente 3 semanas, se deben organizar estos tiempos a lo largo de los meses de duración del proyecto.

Cuando las muestras terminen de crecer, se podrán realizar los ensayos seleccionados. El primero de ellos será el ensayo de absorción de agua ya que este no es destructivo, a diferencia de los ensayos de resistencia a la compresión y dureza. Tras su realización se debe esperar un tiempo hasta que las muestras estén secas de nuevo y su peso se ha estabilizado. El cálculo de la densidad de cada muestra se realizará al mismo tiempo que los dos últimos ensayos para asegurar que así las dimensiones de la muestra no se van a alterar más debido a la estabilización del peso.

4.2 Crecimiento en el laboratorio

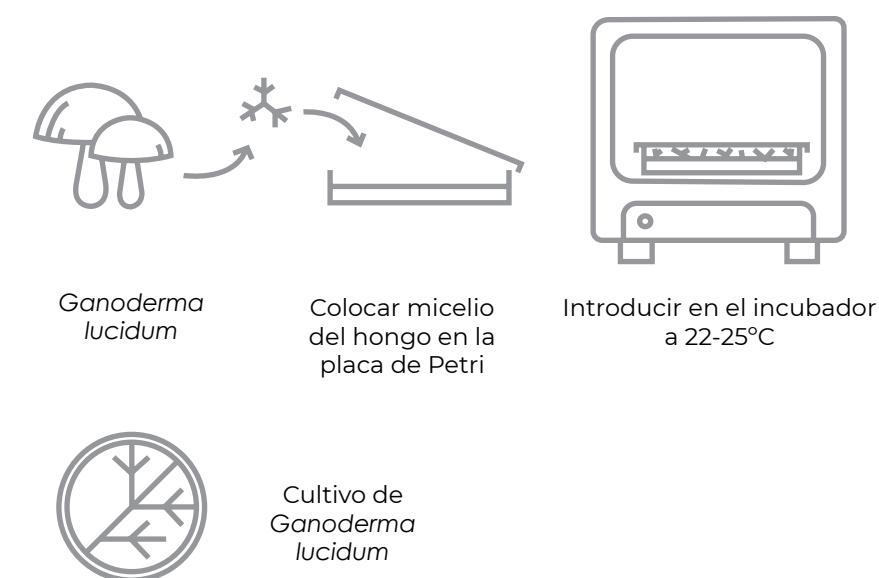
Según la experimentación previa al proyecto en el WetLab de Etopia, para el crecimiento del material en el laboratorio se deben seguir los siguientes pasos.

1 Preparación placas con Agar Fungi



Mezcla para Agar Fungi [Figura 21]

2 Reproducción del hongo en Agar Fungi



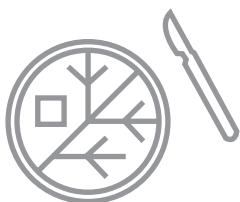
Cultivo de Ganoderma lucidum [Figura 22]

3 Preparación del grano de trigo



Granos de trigo [Figura 23]

4 Colonización del grano de trigo con micelio



Cortar cuadrados de 1 cm² del cultivo de *Ganoderma lucidum*



Introducir 3 o 4 cuadrados en el recipiente de grano y agitar



Incubar durante 4 a 6 días a 22°C para que el micelio colonice el grano



Cortes en la Placa de Petri [Figura 24]



Grano colonizado con micelio [Figura 25]

5 Preparación de los sustratos



Paja



Cáscara de cacahuete



Caja de cartón



Camiseta de algodón



Pellet



Virutas



Triturar los sustratos en una batidora de vaso



Sustrato paja triturado [Figura 26]



Mezclar los sustratos triturados con agua



Introducir en un recipiente la mezcla



Esterilizar en el autoclave a 121°C 25'



Mezcla del sustrato virutas con agua [Figura 27]

6 Mezcla del sustrato con hongo



Introducir en los botes con el sustrato una cucharada del grano colonizado (5%)



Incubar de 10 a 14 días (según el sustrato) a 22°C



Recipientes con el sustrato colonizado

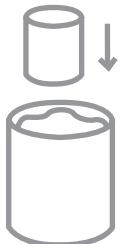


Sustrato cacahuate colonizado con micelio [Figura 28]

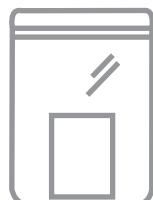
7 Dar forma al material



Desmenuzar el sustrato colonizado en una bandeja



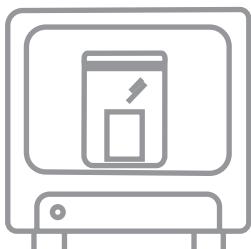
Introducir el sustrato colonizado en el molde presionándolo con una pieza de madera



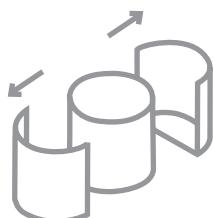
Meter el molde en una bolsa de plástico con cierre zip ligeramente abierta en un extremo



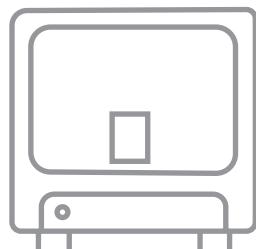
Sustrato cacahuate en el molde [Figura 29]



Incubar de 6 a 8 días (según el sustrato) a 22°C



Desmoldar

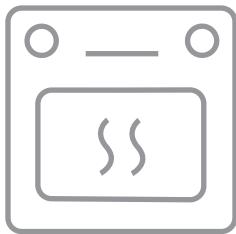


Incubar fuera del molde durante aproximadamente 5 días

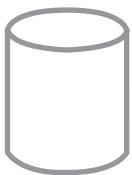


Sustrato colonizado en el molde [Figura 30]

8 Hornear y secar



Hornear durante 1h a 80/90°C (observar para que no se queme)



Acabar de secar en el exterior durante 7 días más



Muestra dónde se ha completado el crecimiento [Figura 31]

A continuación se muestra una tabla con las proporciones de materia para cada sustrato. Para que este material crezca es necesario que tenga un 80% de azúcares y un 20% de proteínas. Para aportar humedad a la muestra que permite que el hongo crezca, se debe añadir una cantidad de agua suficiente como para que el sustrato quede húmedo y que varía en función del sustrato que se utilice [Figura 32]. Cabe destacar que en varios sustratos actúa como fuente de proteínas harina de trigo integral (a la que denominaremos BRF, brown rice flour).

Proporción de sustratos con agua		
Fuente de azúcares (80%)	Fuente de proteínas (20%)	Aqua
10 g de Viruta y 10g de Serrín	2,5 g de Salvado y 2,5 g de BRF	50 g
10 g de Paja y 10 g de Serrín	2,5 g de Salvado y 2,5 g de BRF	50 g
20 g de Algodón	2,5 g de Salvado y 2,5 g de BRF	50 g
20 g de Cartón	5 g de Café	60 g
40 g de Pellet	10 g de Café	150 g
25 g de Cáscara de cacahuete		25 g

Proporción de materia de cada sustrato [Figura 32]

4.3 Metodología de los ensayos

Absorción de agua

Para realizar este ensayo se ha seguido la norma “Comportamiento higrotérmico de los materiales” (UNE-EN ISO 15148 2003).

Tal y como dice la norma, en un recipiente de plástico colocamos una rejilla metálica y realizamos unas marcas con rotulador para que la rejilla siempre esté paralela a la base y a la misma distancia del fondo. Medimos 5 mm desde el punto más alto de las varillas de la rejilla y lo marcamos en el recipiente para que este sea el nivel al que debe estar el agua. Llenamos de agua el recipiente hasta el límite indicado y colocamos las 6 muestras sobre la rejilla. Las que tienen una menor densidad flotan y se mojan sus caras, para evitarlo colocamos una tabla de madera sobre las muestras.



Muestras en el ensayo de absorción [Figura 33]

Se toman 8 medidas a lo largo de 24 horas. Estas medidas serán tras 5, 20 minutos, 1, 2, 5, 8 horas y 1 día desde el momento en el que se colocan las muestras sobre la rejilla.

Los parámetros a calcular según la norma son :

- **Aw (kg/m²√s)**: El coeficiente de absorción de agua del material donde el tiempo se mide en segundos.
- **Ww (kg/m²·h)**: El coeficiente de absorción de agua del material donde el tiempo se mide en horas.

El ensayo da lugar a unas gráficas donde se observa que la cantidad de agua que absorbe el material según avanza el ensayo y esto se lleva a cabo enfrentando los siguientes parámetros:

- **ΔM_t (kg/m²)**: Diferencia entre la masa en cada pesada.
- **\sqrt{t} (s)**: Raíz cuadrada de los tiempos en que se realiza cada pesada.

Resistencia a la compresión

Para el ensayo de compresión utilizamos la máquina Instron 5565 con los siguientes platos compresores. Estos ya fueron utilizados en los ensayos previos con este material (Anexos página 9). Para realizar este ensayo se ha seguido la norma “Materiales plásticos celulares rígidos. Determinación de las características de compresión” (UNE-EN ISO 844).



Máquina Instron 5565
[Figura 34]



Platos compresores [Figura 35]

Según la experiencia de los ensayos previos al inicio del proyecto (Anexos página 9), esta vez se programa la máquina para que interrumpa el ensayo al llegar a 4000N de carga. Aunque el ensayo anterior se realizó sólo con muestras de Viruta, se pudo observar que alrededor de este valor las muestras dejaban de reducir su altura.

Según la norma, el material se puede comportar de dos maneras. Modo A: la probeta alcanza una fuerza máxima y rompe. Modo B: No hay un punto máximo y la probeta se comprime sin romper. Algunas probetas tienen un comportamiento A y otras B. La norma establece unos parámetros a calcular según se de un comportamiento u otro. Para poder comparar los resultados del ensayo para cada material y seguir un criterio único, se establece que se calcularán los parámetros correspondientes al Modo B.

Según el Modo B, los parámetros a calcular según la norma son :

- **Esfuerzo de compresión al 10% de su deformación relativa σ (Resistencia a la compresión) (MPa):** Fuerza de compresión correspondiente a la deformación relativa del 10% dividido por la sección transversal inicial de la probeta.
- **Módulo de elasticidad o Módulo de Young E (MPa):** Esfuerzo de compresión dividido por la deformación relativa correspondiente por debajo del límite proporcional, es decir, cuando la relación es lineal.

El ensayo da lugar a dos gráficas dónde se enfrentan los siguientes parámetros para comprobar como es el comportamiento del material ante el ensayo de compresión:

- **Carga (N):** Fuerza aplicada durante el ensayo sobre las probetas.
- **Desplazamiento (mm):** Disminución del espesor de la probeta correspondiente a una fuerza aplicada.
- **Tensión σ (MPa):** Carga aplicada durante el ensayo entre la sección transversal inicial de la probeta.
- **Deformación ε (Adimensional):** Desplazamiento correspondiente a la carga aplicada entre el espesor inicial de la probeta.

Dureza

Para realizar el ensayo de dureza utilizamos un durómetro analógico de escala Shore A, ya que esta es la que se utiliza para materiales polímeros blandos. Para llevarlo a cabo realizamos de 6 a 9 mediciones según el material de la muestra. Las medidas se toman en las caras planas y según el sustrato con el que se han hecho tienen una superficie más o menos uniforme, por eso conviene realizar muchas mediciones si esta es irregular. El resultado final de la dureza es la media de las medidas obtenidas.



Durómetro analógico Shore A
[Figura 36]

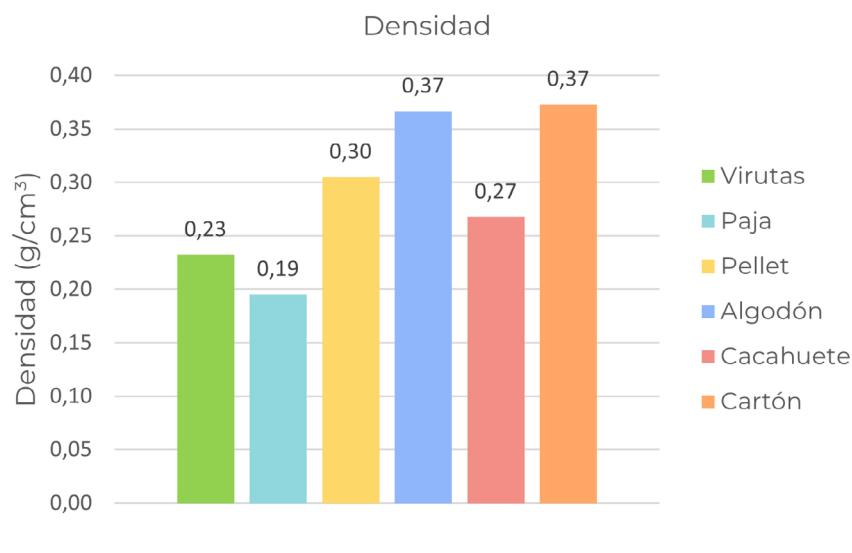
Se vuelve a realizar el ensayo de dureza tras el ensayo de compresión para comprobar cómo cambia la dureza cuando se somete a una carga, en este caso 4000N a compresión. De esta manera se pueden ver posibles propiedades y aplicaciones si se le somete a procesos de compresión.

El valor de dureza de cada muestra es la media de una serie de valores tomados en una misma cara de esta. La unidad de medida es dureza Shore A.

5 Resultados

5.1 Densidad

En primer lugar se muestran los valores medios de la densidad de las muestras de las 3 tandas del material.



Valores medios de la densidad [Figura 37]

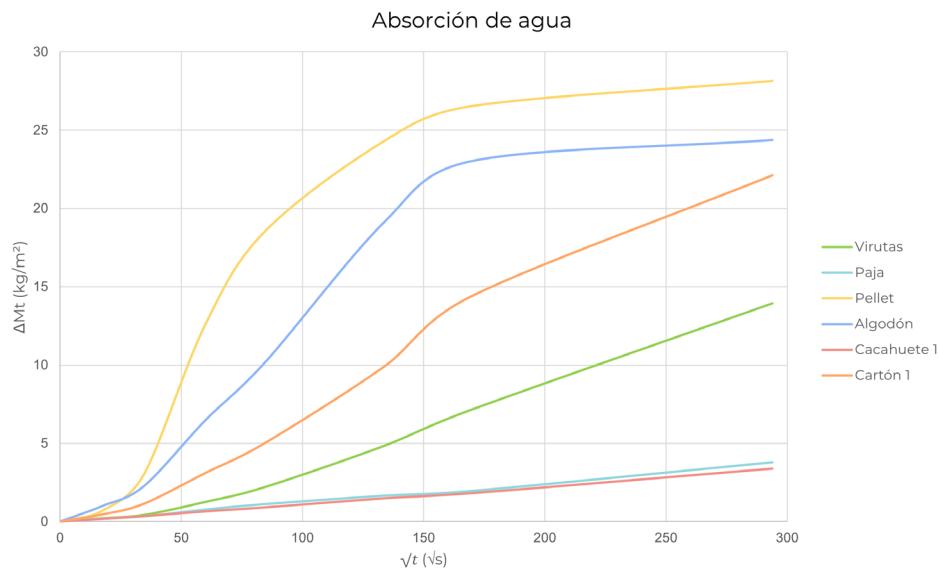
La baja densidad de este material es uno de sus aspectos más atractivos. Esta característica no se puede controlar en el proceso de crecimiento del material, pero varía significativamente en la fase en la que se introduce en el molde. Cuanta mayor presión se haga al introducir el material en el molde, mayor será la densidad de esa muestra. Al tratarse de un proceso manual varía entre unas probetas u otras.

Esta característica es muy favorable para hacer productos de embalaje, los cuales deben ser lo menos densos posible. Teniendo en cuenta que a menor densidad menor es la resistencia a la compresión [Figura 57], para la fabricación de estos productos se debe asegurar que ambas propiedades tengan valores altos. Los embalajes deben ser ligeros pero resistentes a los golpes.

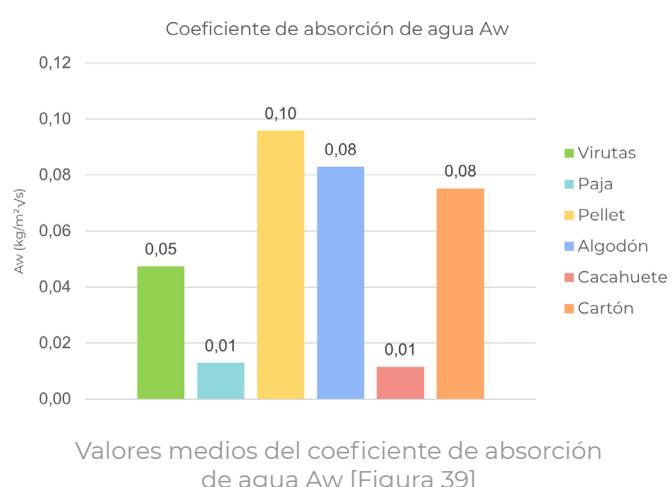
Los seis sustratos presentan valores de densidad menores que el poliestireno expandido. Este plástico puede tener valores de entre 0,60 a 0,65 g/cm³, lo cual sitúa a este compuesto por debajo pudiendo sustituir al EPS en aplicaciones donde se requiera una baja densidad.

5.2 Absorción de agua

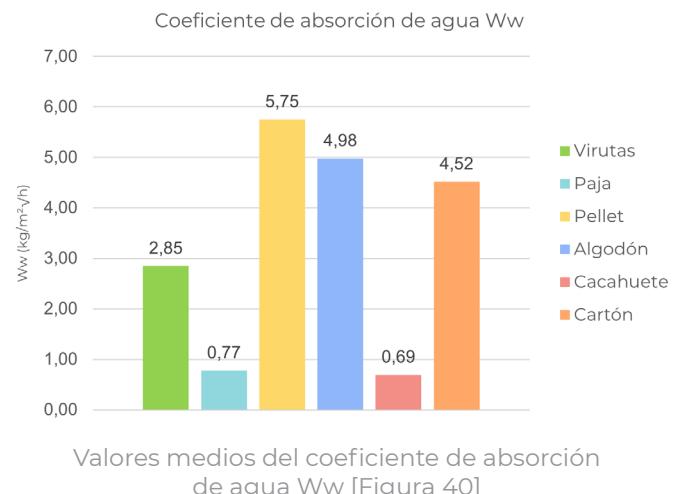
A continuación se muestran los resultados del ensayo de absorción de agua.



Absorción de agua a lo largo de 1 día [Figura 38]



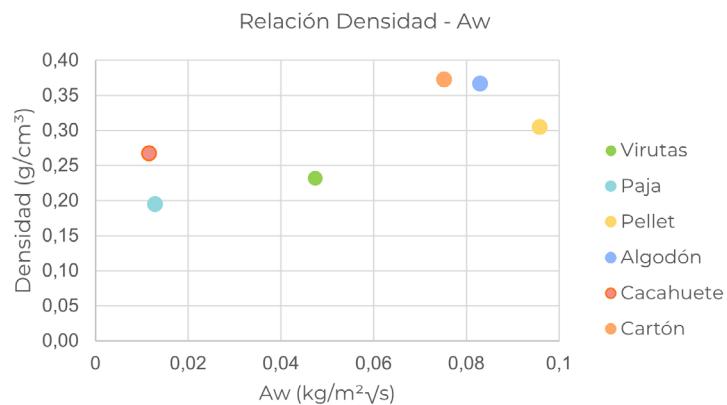
Valores medios del coeficiente de absorción de agua Aw [Figura 39]



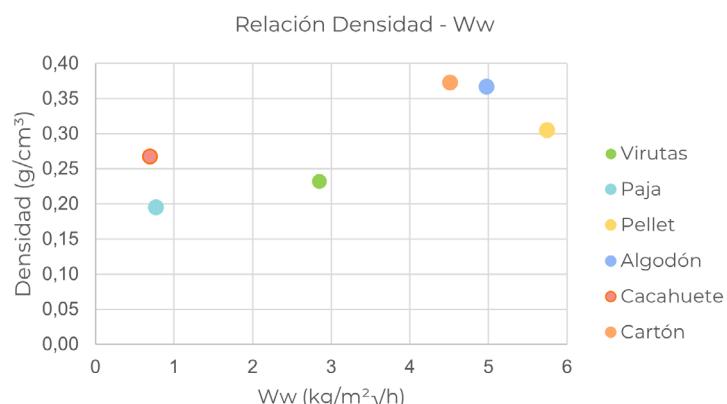
Valores medios del coeficiente de absorción de agua Ww [Figura 40]

Los resultados muestran que todos los sustratos se comportan diferente al estar en contacto con el agua durante 1 día. Por un lado pellet, algodón y cartón presentan los valores más altos en ambos coeficientes de absorción de agua. El sustrato virutas tiene un valor medio respecto a los coeficientes de absorción de agua del resto de sustratos. Por último, las muestras de paja y cacahuete presentan los valores más bajos y su peso apenas varía en el tiempo en el que están en contacto con el agua.

Se comparan ambos coeficientes de absorción con la densidad de las muestras para comprobar si existe una relación entre ambas características. Se puede afirmar que los sustratos más densos tienden a absorber más agua. Esto se puede deber a la capacidad de absorber agua de cada sustrato con el que está conformado el material.



Relación entre la densidad y el coeficiente de absorción de agua Aw [Figura 41]



Relación entre la densidad y el coeficiente de absorción de agua Ww [Figura 42]

5.3 Resistencia a la compresión

Desarrollo del ensayo

VIRUTAS

La muestra de virutas soporta los 4000 N de carga. El resultado final es muy similar que en la de la paja ya que las fibras del sustrato son muy parecidas.



Viruta antes de la compresión [Figura 43]

PAJA



Paja antes de la compresión [Figura 44]



Paja después de la compresión [Figura 45]

Al igual que la muestra anterior, soporta el ensayo sin dificultades. El resultado final es la muestra comprimida pero sin presentar ninguna rotura interna. Solamente las caras externas se resquebrajan ligeramente.

PELLET

El ensayo con la muestra de pellet se interrumpe antes de que se alcancaran los 4000 N de carga ya que esta se rompe y se disgrega.



Pellet antes de la compresión [Figura 46]



Pellet después de la compresión [Figura 47]

ALGODÓN



Algodón antes de la compresión [Figura 48]



Algodón después de la compresión [Figura 49]

Esta muestra tiene un muy buen comportamiento ante el ensayo. Disminuye su altura pero sin sufrir roturas, ni internas ni en las caras externas, a diferencia de las de virutas y paja.

CACAHUETE

Esta muestra presenta un buen comportamiento a la compresión en los primeros momentos del ensayo pero finalmente al igual que la muestra de pellet, se disgrega.



Cacahuete antes de la compresión [Figura 50]



Cacahuete después de la compresión [Figura 51]

CARTÓN



Cartón antes de la compresión [Figura 52]

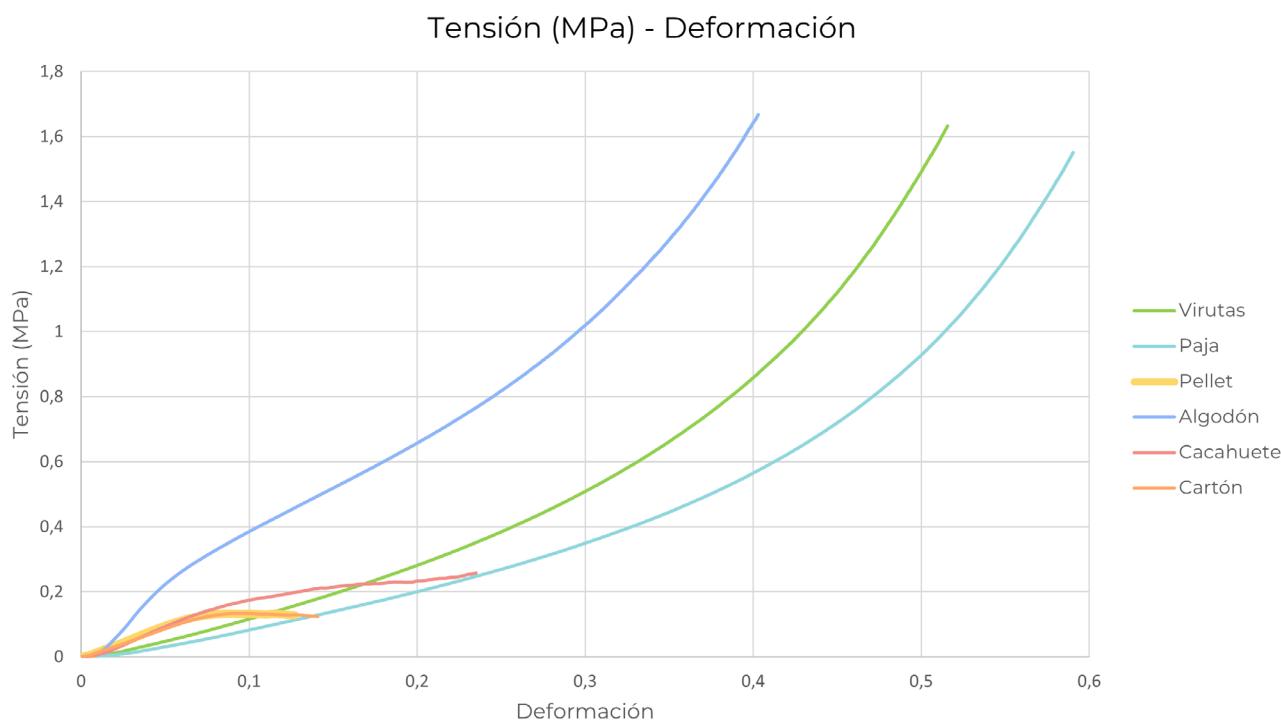
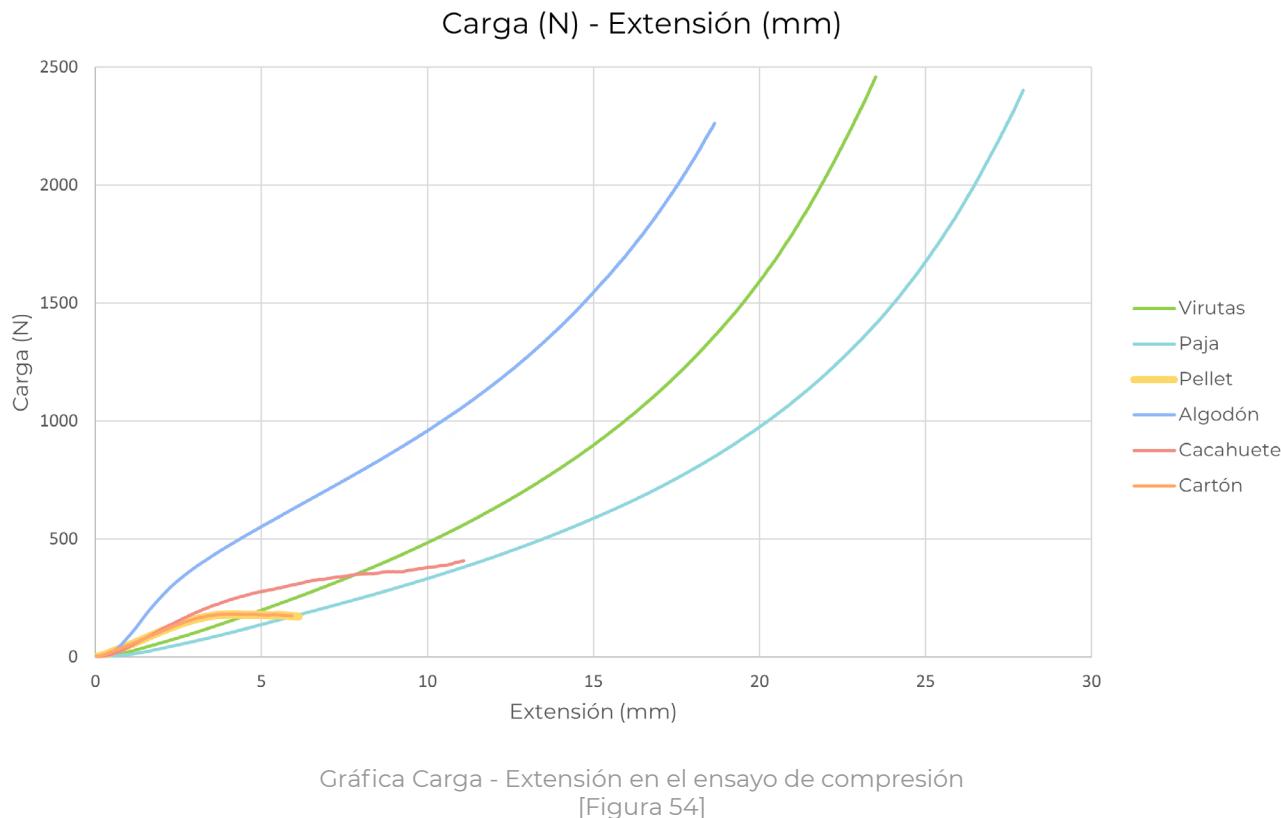


Cartón después de la compresión [Figura 53]

Para esta muestra también hay que interrumpir el ensayo antes de que acabe ya que se rompe en su interior. A pesar de ello la muestra resultante es dura y maciza y no presenta roturas en las caras externas.

Resultados

A continuación se muestran los resultados gráficos y numéricos del ensayo de resistencia a la compresión. Los resultados mostrados se corresponden con la media de las tres tandas de los sustratos.



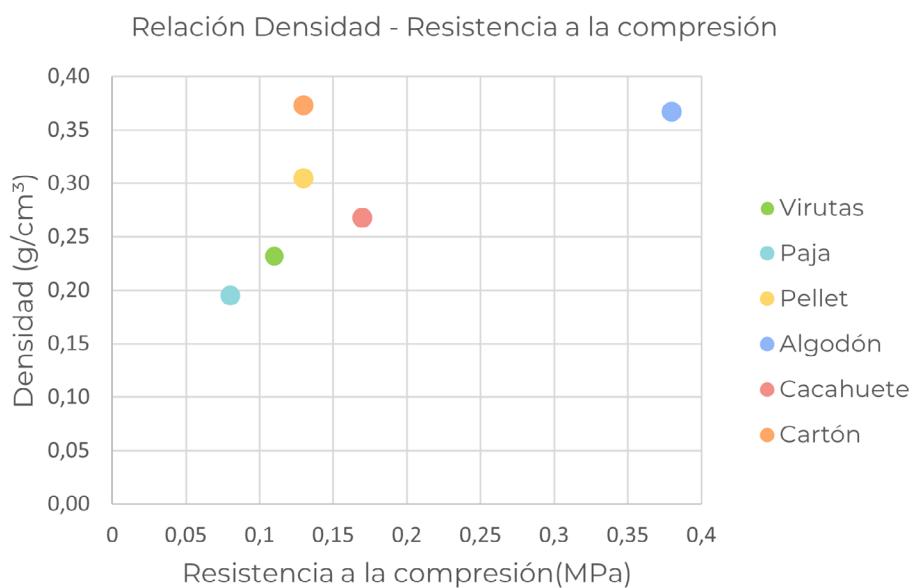
Gráfica Tensión - Deformación en el ensayo de compresión
[Figura 55]

	Virutas	Paja	Pellet	Algodón	Cacahuete	Cartón
Resistencia a la compresión (MPa)	0,11	0,08	0,13	0,38	0,17	0,13
Módulo de elasticidad (MPa)	1,76	1,16	2,09	2,71	2,17	1,81

Valores resultantes del ensayo de compresión [Figura 56]

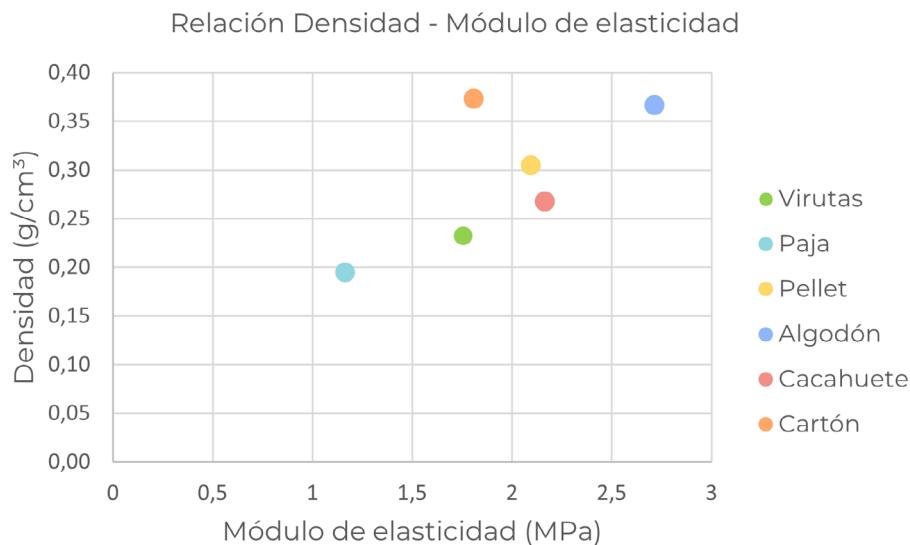
A partir del gráfico Tensión (MPa) - Deformación [Figura 55] se pueden extraer las siguientes conclusiones. Las muestras presentan dos comportamientos diferentes, tal y como expone la norma. Por un lado algunas se disgregan, caso en el que hay que interrumpir el ensayo (Modo A). Por otro lado, otras muestras se comprimen sin llegar a romper y la gráfica no alcanza un máximo (Modo B). El sustrato algodón es el que presenta un esfuerzo de compresión al 10% más alto (0,38 MPa) y sigue el Modo B. Los sustratos virutas y paja también siguen el Modo B y no rompen. Tanto pellet como cacahuete siguen el Modo A ante el ensayo y se disgregan. En un punto intermedio se encuentra el sustrato cartón, el cual se comprime sin disgregarse pero se agrieta en el interior.

Al enfrentar en una gráfica la densidad de los sustratos y la resistencia a compresión para ver si hay alguna relación entre estas, podemos afirmar que sí la hay. Los sustratos siguen una ligera tendencia, a menor densidad menor es el esfuerzo de compresión y viceversa.



Relación entre la densidad y resistencia a la compresión [Figura 57]

En cuanto a la relación entre la densidad y el módulo de elasticidad, a excepción del sustrato cartón, el resto presentan un comportamiento similar. A menor densidad, menor es el módulo de elasticidad y viceversa.



Gráfica de la relación entre la densidad y el Módulo de elasticidad
[Figura 58]

Se puede concluir que el sustrato algodón tiene el mejor comportamiento ante este ensayo. Esto se debe a que las fibras que lo componen son pequeños trozos de un tejido que, a pesar de mezclarse con agua, no se rompe y al unirse al micelio crea un red resistente. Por otro lado, virutas y paja también se comprimen sin romperse convirtiéndose en un material más compacto. Esto es debido a que las fibras de estos sustratos son pequeñas pero alargadas. En la fase de preparación del material, en la que se mezclan con agua, no se deshacen y se mantienen con esas dimensiones para junto al micelio crear un material que cuando sufre esfuerzos de compresión sólo disminuye su altura. Por otro lado, las muestras de cartón tienen unas fibras de mayor tamaño que el resto, pero al humedecerlas se deshacen, lo cuál puede influir a su resistencia a la compresión. Y por último, cacahuete y pellet en el ensayo se rompen y se disgregan. Las fibras de estos últimos son pequeñas y con una forma más redondeada, lo cual hace que su unión al micelio sea menos fuerte y duradera.



Fibras del sustrato algodón [Figura 59]



Fibras del sustrato paja [Figura 60]

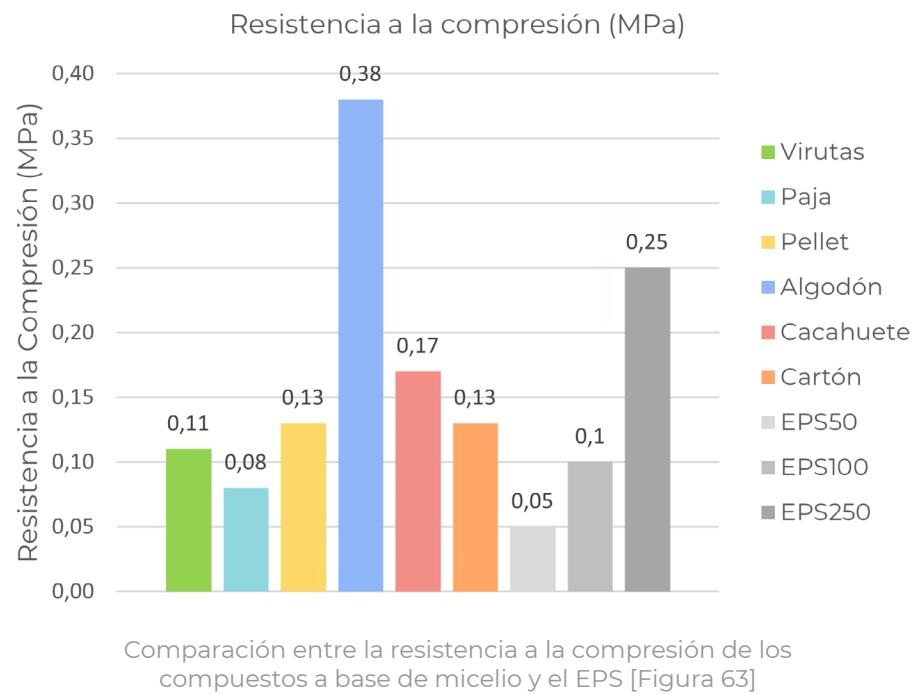


Fibras del sustrato cartón [Figura 61]



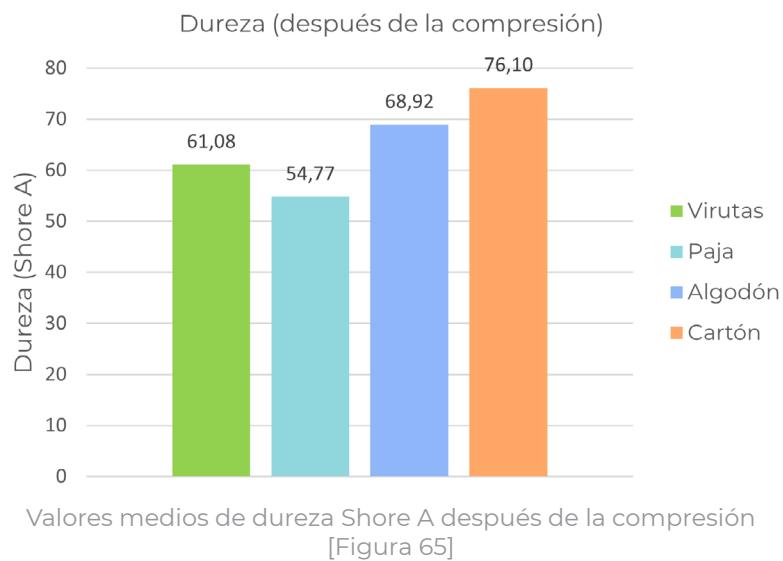
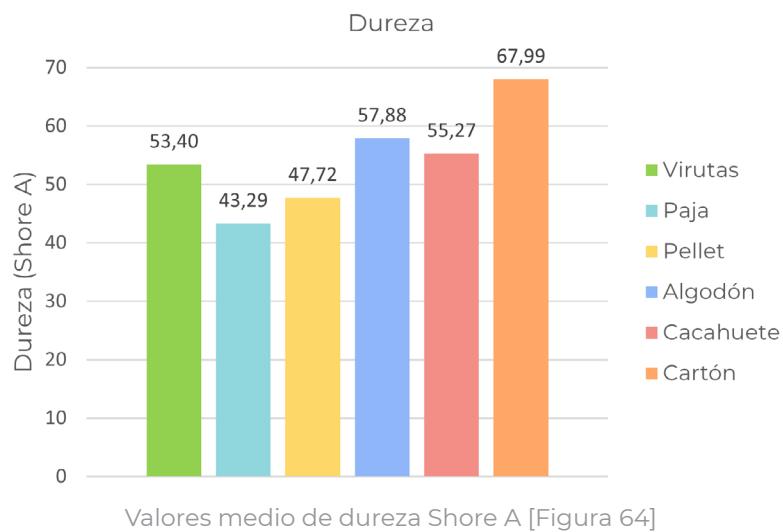
Fibras del sustrato cacahuete [Figura 62]

Al comparar la resistencia a compresión de estos materiales compuestos con la de tres tipos de poliestireno expandido diferentes, estos últimos se comportan de manera similar. El sustrato algodón presenta una resistencia a la compresión mayor que los tres tipos de poliestireno expandido. Los compuestos hechos a base de micelio podrían sustituir el uso de espumas poliméricas con propiedades similares como en este caso. Estos podrían utilizarse en productos que en su uso vayan a estar sometidos a esfuerzos de compresión.



5.4 Dureza

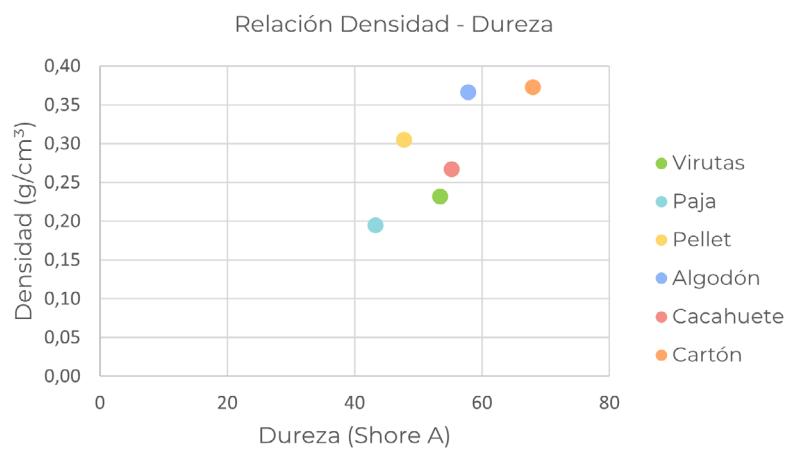
El ensayo de dureza se ha realizado a las probetas tanto antes como después de someterlas a un ensayo de compresión. Esto permite comprobar como varía esta característica. A continuación se muestran los resultados obtenidos.



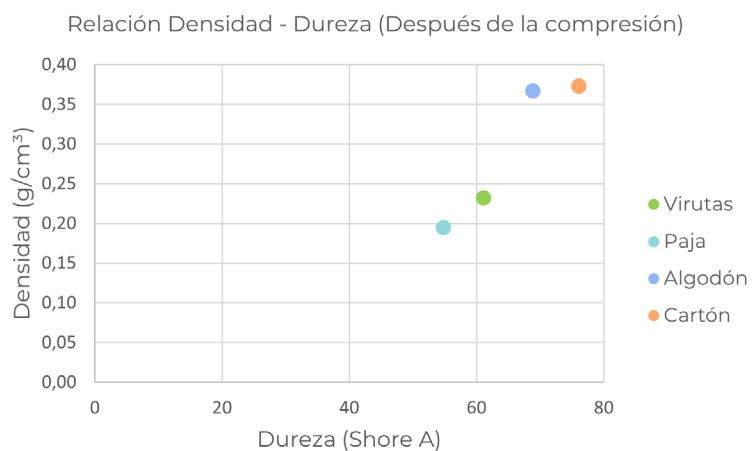
De manera significativa la muestra de cartón presenta el valor más alto de dureza. Por el contrario, la muestra de paja cuenta con los valores más bajos de dureza Shore A. Después del ensayo de compresión sólo se puede realizar el ensayo de dureza en 4 de las muestras, ya que pellet y cacahuete se disgregan en este. Tras este ensayo de compresión aumentan los valores de dureza en todas ellas debido a la compactación de las mismas.

Para comprobar si existe una relación entre la dureza de las muestras y su densidad, se comparan ambos valores. Se aprecia una tendencia que indica que a mayor densidad, mayor dureza presentan las muestras. Esto se puede deber a que las muestras menos

densas son más porosas y el aire acumulado en el interior opone menos resistencia al durómetro. El efecto contrario ocurre cuando se mide la dureza después de la compresión ya que en este ensayo el material se compacta.



Relación entre la densidad y la dureza [Figura 66]



Relación entre la densidad y la dureza después de la compresión [Figura 67]

5.5 Conclusiones

	Virutas	Paja	Pellet	Algodón	Cacahuete	Cartón
Densidad (g/cm ³)	0,23	0,19	0,3	0,37	0,27	0,3
Modulo de Elasticidad (MPa)	1,76	1,16	2,09	2,71	2,17	1,81
Resistencia a la compresión (MPa)	0,11	0,08	0,13	0,38	0,17	0,13
Dureza (Shore A)	53,4	43,29	47,72	57,88	55,27	67,99
Dureza (Shore A) Después de la compresión	61,08	54,77		68,92		76,1
Coeficiente de absorción de agua Aw (kg/m ² √s)	0,05	0,01	0,1	0,08	0,01	0,08
Coeficiente de absorción de agua Ww (kg/m ² √h)	2,85	0,77	5,75	4,98	0,69	4,52

Propiedades de los seis materiales compuestos [Figura 68]

El comportamiento ante los ensayos está condicionado por el tipo de fibras de cada sustrato. En el caso de la resistencia a compresión, el sustrato algodón tiene el mejor comportamiento ya que tiene unas fibras hechas a base de un material ya tejido previamente, lo cual lo hace muy resistente. Aquellos que tienen las fibras más pequeñas se disgregan. A pesar de que el algodón tiene también el módulo de elasticidad más elevado, pellet y cacahuete también lo hacen, y por lo tanto, es necesario aplicar una tensión mayor que en el resto para que sufra una misma deformación.

La densidad de las muestras influye en su dureza. Aquellas que son más densas tienen unos valores de dureza mayores, y viceversa. Esto se debe a que la porosidad hace que el durómetro se encuentre con menos resistencia en el ensayo. Se puede comprobar como al comprimir el material y reducir el aire en su interior, la dureza de las muestras aumenta.

La densidad de las muestras no se relaciona significativamente con los coeficientes de absorción de agua. Parece que tenga más relación con la capacidad de absorción de agua del propio sustrato. El material que menos agua absorbe es el que se ha elaborado con paja y el que más agua absorbe es el elaborado con pellet.

Según el tipo de aplicación al que se destine el material deberá cumplir unas condiciones u otras. Para la fabricación de embalajes, en sustitución a materiales polímeros, las propiedades ideales son resistencia a la compresión alta y baja densidad. La densidad influye ligeramente en la resistencia a compresión y a mayor densidad, mayor es esta propiedad.

También influye el tipo de fibras de cada sustrato. La mejor opción es un tejido como el algodón, ya que las fibras entrelazadas de éste le proporcionan una gran resistencia. En cambio, se trata de la muestra más densa. Esta propiedad se puede controlar durante la fase de crecimiento del material en la que se da forma. Al reducir la presión cuando se introduce el material en el molde se puede reducir la densidad. Sería necesario comprobar si esta variación en la fabricación del material no cambia su resistencia a compresión.

Por otro lado, aunque virutas y paja tengan valores inferiores de resistencia a compresión, su baja densidad hace que el equilibrio entre estas dos propiedades sea idóneo para la fabricación de algunos productos. Esto demuestra que fibras alargadas y poco densas proporcionan buenas propiedades a este compuesto.

En contraposición a lo expuesto anteriormente, para que las muestras tengan valores de dureza más elevados, la densidad debe aumentar. Para asegurar que los productos hechos de este material no sufran deformación plástica en su superficie, se debe encontrar el equilibrio entre densidad, resistencia a la compresión y dureza.

Por otro lado, se busca que el material tenga coeficientes de absorción de agua bajos para que sea estable en condiciones de trabajo de humedad elevada. Tal y como se ha expuesto anteriormente los materiales hechos con paja y cacahuete presentan muy buena resistencia a la humedad.

6 Propuestas de diseño

6 Propuestas de diseño

Tras realizar los ensayos físicos se han extraído una serie de conclusiones sobre el comportamiento del material según los sustratos que actuaban como fibras en él. De estos ensayos se puede destacar que:

- Las 6 versiones del material tienen una muy baja densidad, incluso menor que las espumas poliméricas.
- Presenta buenas propiedades ante la resistencia a la compresión, situándose algunos sustratos con valores similares al poliestireno expandido.

A estas propiedades se puede añadir una serie de características a tener en cuenta para el diseño de productos.

- Es un material biodegradable, cuando no se le aplica ningún revestimiento.
- Puede adoptar una amplia variedad de formas, ya que esto depende del molde utilizado y éste puede desarrollarse mediante diversas técnicas de fabricación tradicional (moldes industriales) o rápida (impresión 3d, mecanizado de CNC, termo conformado, etc.)
- Segundo el sustrato utilizado tiene un aspecto u otro. Gracias a la experimentación se puede observar como cambia el tono o rugosidad de la superficie en las diferentes versiones del material. A pesar de las diferencias, todas ellas tienen un aspecto natural y orgánico, lo que puede influir favorablemente en la percepción del usuario cuando se utilice en productos que buscan contribuir a la sostenibilidad.



Muestra de paja
[Figura 69]



Muestra de virutas
[Figura 70]



Muestra de pellet
[Figura 71]



Muestra de algodón
[Figura 72]



Muestra de cacahuate
[Figura 73]



Muestra de cartón
[Figura 74]

A partir de estas conclusiones, se puede realizar algunas propuestas de diseño a las que destinar el uso de materiales compuestos hechos a base de micelio.

En primer lugar, se encuentran una serie de productos que deben tener una muy baja densidad y una buena resistencia a los golpes. Se trata de productos de embalaje que deben proteger a otros productos. De esta manera se podría sustituir el uso de algunos polímeros como el poliestireno expandido o el film alveolar (plástico de burbujas). Estos son algunos de ellos.

- Protector de botellas de vidrio
- Protector de objetos de decoración (jarrones, vajillas, vasijas, etc.)
- Protector de electrónica
- Envases de perfumes.
- Envases de cosméticos
- Perfiles para proteger esquinas
- Fundas temporales para gafas
- Soporte para flores artificiales
- Maceteros



Productos hechos con polímeros [Figura 75]

Debido a que se trata de un material inerte, también puede sustituir a otros materiales en envases para alimentos, los cuales se fabrican en la actualidad con polímeros.



Envases de alimentos [Figura 76]

También puede sustituir el uso de productos hechos con celulosa moldeada. Los productos hechos a base de micelio pueden tener un espesor mayor que los de cartón y por lo tanto dar mayor protección.

- Soportes para vasos de comida rápida
- Hueveras



Soportes para vasos [Figura 77]

7 Conclusiones finales

7 Conclusiones finales

El objetivo del estudio era obtener en laboratorio seis materiales compuestos, observar el crecimiento de cada material en función del sustratos seleccionados y realizar a cada uno de ellos una serie de ensayos para conocer mejor sus propiedades, compararlas y sacar conclusiones respecto a que sustratos dan lugar a materiales con mejores propiedades físicas. De esta manera se pueden establecer posibles usos de estos materiales según sus propiedades mecánicas.

Se ha realizado la experimentación con seis sustratos diferentes, pero la investigación puede ser mucho más amplia. En el futuro, se puede explorar el uso de otros sustratos provenientes de desechos de cultivos (tallos de plantas, serrín, cáscaras de frutos secos, peladuras, etc) para conformar otros materiales compuestos hechos a base de micelio. De igual forma, el uso de tejidos provenientes de restos de fabricación o prendas de segunda mano puede ser una muy buena opción como sustratos, ya que ya se ha comprobado que las fibras de algodón de una camiseta dotan de unas muy buenas propiedades mecánicas al material. Se trata de materiales de bajo coste que se reaprovechan y por lo tanto se revalorizan.

No solo influye el sustrato utilizado como fibras del material compuesto, también influye la especie del hongo utilizada. En este caso sólo se han estudiado las características de muestras con la especie *Ganoderma lucidum*, pero otras especies podrían dotar de diferentes características al material. La consistencia del micelio se ve afectada por la composición y estructura del sustrato, por lo tanto, puede haber tantas variantes del material como combinaciones entre hongos y sustratos se desarrollen.

En ambos casos se siguen los principios de la economía circular:

- Materia proveniente de desechos vuelve al proceso productivo en lugar de ser descartada.
- Los materiales compuestos hechos a base de micelio son totalmente biodegradables en los casos en que no se hayan añadido pegamentos, barnices o revestimientos.
- El consumo de energía durante el proceso de fabricación es inferior en comparación con productos menos sostenibles.

Debido a que se trata aún de un campo poco explorado, la estandarización del proceso productivo sigue en desarrollo y sólo unas pocas compañías la han perfeccionado. En este caso, se trata de un proceso manual, por lo tanto, los resultados obtenidos podrían mejorar considerablemente si se tratara de un proceso más automatizado. Esto hará que sea un material más rentable económicamente y de esta manera reemplazar los materiales no respetuosos con el medio ambiente.

En definitiva, los materiales compuestos hechos a base de micelio tienen un gran potencial. El reto en la actualidad es automatizar el proceso productivo para hacerlo más rentable económicamente.

8 Referencias

8.1 Bibliografía y Webgrafía

[1] Apuntes de la asignatura Ampliación de Materiales y Procesos de Fabricación 2019/2020

[2] Organización de consumidores y usuarios (OCU). Adiós a pajitas, bastoncillos y artículos de un solo uso (2019). Disponible en: <https://www.ocu.org/consumo-familia/derechos-consumidor/noticias/directiva-contra-plastico-un-solo-uso>

[3] Oliveras, E. (2021). Cuenta atrás para el plástico de un solo uso. El Periódico, 2(3). Disponible en: <https://www.elperiodico.com/es/opinion/20210203/plastico-contaminacion-directiva-europea-reciclaje-11495195>

[4] Timón, M. (2021). Ley de Residuos: los plásticos de un solo uso tienen los días contados. Eroski Consumer, 3(6). Disponible en: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/ley-residuos-fin-plasticos-solo-uso.html>

[5] Asociación nacional de poliestireno espandido. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

[6] Ecologistas en acción. Parar el vertido de cajas de poliespan y otros residuos (2019). Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/124144/parar-el-vertido-de-cajas-de-poliespan-y-otros-residuos/>

[7] Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., ... Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability*, 1(8), 2-22. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/281/htm>

[8] Economía circular: definición, importancia y beneficios. (2021). Noticias Parlamento Europeo, Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201ST005603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

[9] Mylo Unleather (2021). Disponible en: <https://www.mylo-unleather.com/>

[10] Ganoderma lucidum. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ganoderma_lucidum

[11] Ingraham, J. L., Ingraham, C. A. (1998). Introducción a la microbiología (1^a Edición).

[12] Peñalver, A. (2015). Diseñando con hongos: The Growing Lab de Maurizio Montalti. *Experimenta*, 2(16). Disponible en: <https://www.experimenta.es/noticias/industrial/disenando-con-hongos-growing-lab-de-maurizio-montalti-4912/>

[13] Ecovative Design (2,7,2013). Ecovative's Mushroom Tiny House [archivo de vídeo]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=BUXael8qV78>

[14] Our foundry. Ecovative Design (2021). Disponible en: <https://ecovativedesign.com/ourfoundry>

[15] Janney, A. (2021). Coverage of Our Exclusive Hermès Collaboration. Mycoworks. Disponible en: <https://www.mycoworks.com/a-historic-partnership-had-made-waves>

[16] The world's first Mylo™ garments created from vegan mushroom leather. Stella McCartney (2021). Disponible en: <https://www.stellamccartney.com/>

gb/en/stellas-world/the-worlds-first-mylo-garments-created-from-vegan-mushroom-leather.html

[17] Openly Human. Disponible en: <https://www.openlyhuman.com/>

[18] Mogu Acoustic. Disponible en: <https://mogu.bio/acoustic/>

[19] Danielle Trofe Shop. Disponible en: <https://danielletrofe.com/shop>

[20] Ebert, G (2020). A Compostable Coffin Designed by Bob Hendrikx Grows from Mushroom Mycelium. *Colossal*, 9(21). Disponible en: <https://www.thisiscoLOSSAL.com/2020/09/bob-hendrikx-living-coffin/>

[21] Neira, J. (2021). Made from mycelium, the grow your own helmet by NOS never stops growing. *Designboom*, 1(21). Disponible en: <https://www.designboom.com/design/nos-grow-your-own-mycelium-helmet-01-21-2021/>

[22] Future of Living Materials | Prototype development. Neffa (2020). Disponible en: <https://neffa.nl/portfolio/future-of-living-materials-living-skin/>

[23] Hahn, J. (2020). Amen grows carbon-negative mycelium packaging to ship its candles. *Dezeen*, 10(5). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2020/10/05/amen-candles-mycelium-packaging-mushroom-conversations/>

[24] Mesa auxiliar. Grown Bio. Disponible en: <https://www.grown.bio/producto/mesa-auxiliar/?lang=es>

[25] Carlson, C. (2020). Morgan Ruben's pair of lamps are grown from mycelium or light up like glow-worms. *Dezeen*, 5(10). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2020/11/17/morgan-ruben-lights-folium-mycelium-luminosa-glow-worms/>

[26] Hahn, J. (2021). Stella McCartney creates clothes from mycelium leather to foster a "kinder fashion industry". *Dezeen*, 3(24). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2021/03/24/mylo-stella-mccartney-mycelium-leather-fashion/>

[27] Hahn, J. (2021). Adidas unveils Stan Smith Mylo trainers made from mycelium leather. *Dezeen*, 4(19). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2021/04/19/stan-smith-mylo-trainers-adidas-mycelium-leather/>

[28] Hahn, J. (2021). Hermès creates mycelium version of its classic leather Victoria bag. *Dezeen*, 3(18). Disponible en: <https://www.dezeen.com/2021/03/18/hermes-mycelium-leather-victoria-bag-mycoworks/>

8.2 Figuras

[Figura 1] Amazon deja de vender productos de plástico de un solo uso [fotografía]. (2020). <https://www.distribucionactualidad.com/amazon-deja-de-vender-productos-de-plastico-de-un-solo-uso/>

[Figura 2] <https://www.plaesa.es/page/embalaje-botellas>

[Figura 3] <https://www.aislamientotermico.com.ar/materiales-aislantes/poliestireno-expandido>

[Figura 4] <https://embasur.es/producto/bandejas-polispam/>

[Figura 5] Economía circular: un cambio necesario [fotografía]. <https://inplasba.com/economia-circular-cambio-necesario/>

[Figura 6] Mylo [fotografía]. <https://www.mylo-unleather.com/>

[Figura 7] Ganoderma lucidum: características, hábitat y beneficios [fotografía]. <https://www.lifeder.com/ganoderma-lucidum/>

[Figura 8] Grow mushroom cultures from spore [fotografía]. <https://funguys.co.za/mushroom-cultivation-tips/growing-mushrooms/grow-mushroom-cultures-from-spore/>

[Figura 9] Hifas: características, funciones y tipos [fotografía]. <https://www.lifeder.com/hifas/>

[Figura 10] Mushroom Life Cycle [fotografía]. <http://www.yellowelanor.com/mushroom-life-cycle/>

[Figura 11] Building on Mycelium [fotografía]. <https://www.coebbe.nl/>

<projecten/building-on-mycelium/>

[Figura 12] Mogu Acoustic [fotografía]. <https://mogu.bio/acoustic/>

[Figura 13] Mogu Acoustic [fotografía]. <https://mogu.bio/acoustic/>

[Figura 14] [fotografía]. <https://twitter.com/evocative/status/1220019497953898496?lang=es>

[Figura 15] Coverage of Our Exclusive Hermès Collaboration [fotografía]. <https://www.mycoworks.com/a-historic-partnership-had-made-waves>

[Figura 16] Reishi is Fine Mycelium [fotografía]. <https://www.madewithreishi.com/products>

[Figura 17] Mylo [fotografía]. <https://www.mylo-unleather.com/>

[Figura 34] [Instron 5565] https://www.artisantg.com/info/Instron_5542_Datasheet_2015121815013.pdf

[Figura 36] [Durómetro Shore A] <https://baxlo.com/es/durometro-shore-a>

[Figura 75] Botella de poliestireno [fotografía]. <https://www.amazon.es/botella-poliestireno-Env%C3%ADo-refrigeradores-cajas/dp/B01LXUSTUN>

Embalaje protector [fotografía]. <http://www.embalatgesgirona.com/embalatge-protector?lang=es>

Relleno de embalaje de poliestireno [fotografía]. <https://www.directindustry.es/prod/storopack/product-34409-1056853.html>

Perfiles de espuma de poliuretano [fotografía]. <https://www.colvipack.com/producto/perfiles-de-espuma-de-poliuretano/>

[Figura 76] Poliestireno [fotografía]. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/poliestireno/>

Qué es, tipos, y dónde tirar poliestireno [fotografía]. <https://ecoembesdudasreciclaje.es/que-es-tipos-y-donde-tirar-poliestireno/>

[Figura 77] Portavasos de Cartón [fotografía] https://www.monouso.es/portavasos-de-carton-para-4-huecos-300-uds-5756.html?utm_source=googleads&utm_medium=shopping&utm_medium=cpc&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=1690053119&utm_term=Gshopping-340364039657&gclid=CjwKCAjw2ZaGBhBoEiwA8pfP

Nota: El resto de figuras son de elaboración propia.

