



POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y DISEÑO INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

TRABAJO FIN DE GRADO

El micelio como material de fabricación y su papel en la reutilización de los residuos agrícolas

Autor: Adrián Brito y Guerrero de Escalante

Tutora: Cristina Alía García

Departamento: Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial

Madrid, septiembre 2021

Índice

1.	Introducción.....	1-12
2.	Objetivo	12
3.	Proceso de Cultivo	
3.1	Obtención del micelio	13
3.1.1	Método por inoculación directa desde tallo (Stem Butt Method)	13
3.1.2	Método por inoculación mediante imprimación de esporas (Spore Prints).....	14
3.2	Medios de Cultivo	15
3.2.1	Placas Petri	15-16
3.2.2	Cultivo Líquido	17-18
3.2.3	Granos	19-20
3.2.4	Sustratos de segunda generación	20-22
3.3	Contaminantes y medidas de limpieza	23
3.3.1	El usuario.....	23
3.3.2	El aire	23-24
3.3.3	El medio de cultivo	24
3.3.4	Las herramientas	24
3.3.5	El hongo a traspasar	25
3.3.6	Unidades móviles de contaminación MCU's (Mobile Contamination Units).....	25-26
4.	Proceso de Fabricación de un producto empleando micelio	26-29
5.	Propiedades del material	29-30
5.1	Baja conductividad térmica	31
5.2	Aislamiento acústico	31
5.3	Baja densidad	32
5.4	Resistencia mecánica	32-33
5.5	Resistencia a la abrasión y resistencia frente a la degradación térmica	33-34
5.6	Absorción de agua	34
5.7	Tratamientos de mejora de las propiedades de un composite de micelio	34-35
6.	El camino hacia la industrialización	35-36
6.1	Corte por hilo caliente y por fresadora mediante CNC	36
6.2	Impresión 3D	37-39
6.3	La capacidad del micelio para generar nuevos enlaces	39-41
7.	Los composites de micelio al finalizar su vida útil	41
7.1	Compost	41
7.2	Alimento para animales	42
7.3	Sustrato para un nuevo cultivo	42
7.4	Generación de energía	42-43
8.	Fase experimental	44-69
9.	Ensayo a compresión	70-72
9.1	Resultados obtenidos	72
9.1.1	Procedimiento para la obtención de las gráficas	72-74
9.1.2	Resultados de la especie <i>Trametes Versicolor</i>	74-88
9.1.3	Resultados de la especie <i>Ganoderma Lucidum</i>	88-99
9.1.4	Resultados de la especie <i>Pleurotus Ostreatus</i>	99-109
9.2	Conclusiones del ensayo	109-115
10.	Conclusión	116-117
11.	Líneas o trabajos futuros	117
12.	Bibliografía	118-120
13.	Anexos	120-163

1. Introducción

Los hongos son organismos formados por células eucariotas pertenecientes al reino *Fungi*, pueden estar formados por una única célula eucariota, como es el caso de las levaduras, o pueden ser organismos pluricelulares como es el caso de los mohos y las setas. Las setas, popularmente conocidas como parte de una dieta equilibrada, son los cuerpos fructíferos de algunos hongos, la parte encargada de la reproducción del organismo mediante esporas. Sin embargo, las setas no son más que la punta del iceberg, ya que las células de los hongos se agrupan formando finos filamentos llamados hifas, que se propagan bajo tierra mediante ramificaciones y cuyo conjunto forma estructuras complejas llamadas micelio (ver Figura 1a y 1b) [1].

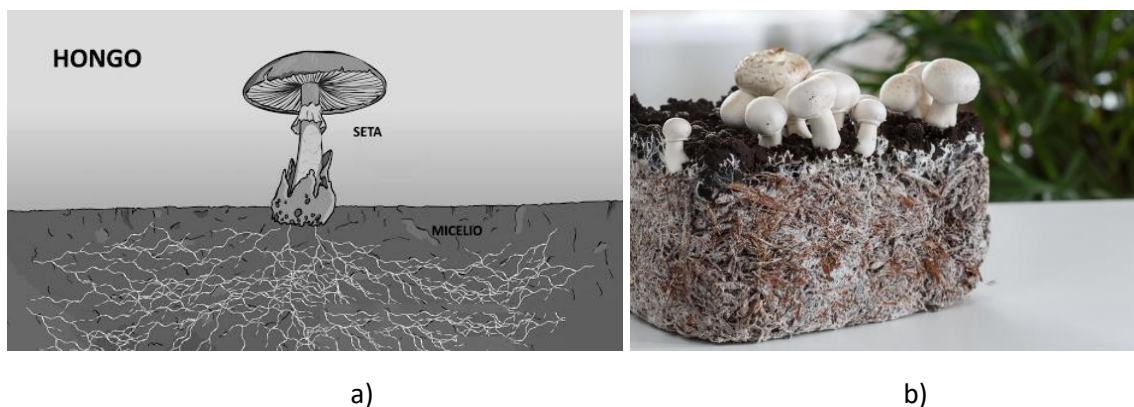


Figura 1: a) Partes de un hongo b) Micelio

1a) Fugiturismo.com - qué diferencia hay entre un hongo y una seta 1b) ArchDaily. ¿Edificios de hongos? Las posibilidades del micelio en la Arquitectura

El micelio se trata de la parte vegetativa de los hongos que, a diferencia de las plantas y de los animales, se alimenta de materia orgánica muerta, restos de plantas y animales, sustancias de desecho, productos sintéticos y cualquier elemento soluble que difunda el medio. Además, capta agua y minerales, libera CO_2 y absorbe oxígeno en el proceso, al igual que los animales y los humanos.

Los hongos junto con las bacterias juegan un papel importante en el desarrollo del suelo y en la reutilización de materia orgánica. Rompen las estructuras complejas de proteínas, carbohidratos y grasas de organismos muertos y los transforman en elementos básicos que otros seres vivos son capaces de digerir [2]. De este modo, los hongos dotan al suelo de las características propicias que permiten el desarrollo de otros muchos microorganismos. Es más, los hongos fueron uno de los primeros organismos que colonizaron la superficie terrestre, hace 1,3 billones de años (ver Figura 2). Esto fue posible gracias a que el micelio tiene la capacidad de erosionar las rocas en busca de minerales mediante la segregación de ácidos oxálicos y enzimas que desprenden el Calcio de las rocas y reaccionan con él formando Oxalatos de Calcio, compuesto constituido por dos moléculas de CO_2 (ver Figura 3a y 3b). Este proceso de degradación de las rocas significó el primer paso en la generación de un suelo rico en nutrientes

que permitió el desarrollo de muchos otros organismos complejos. Las plantas colonizaron la superficie 100 millones de años después [3].

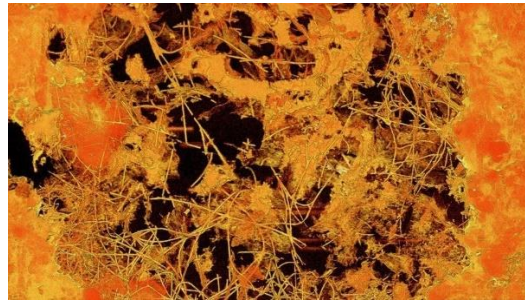


Figura 2: Hongo en estado fósil encontrado en basalto. Origen hace 2.400 millones de años
Ciencia Plus. Fósiles como hongos

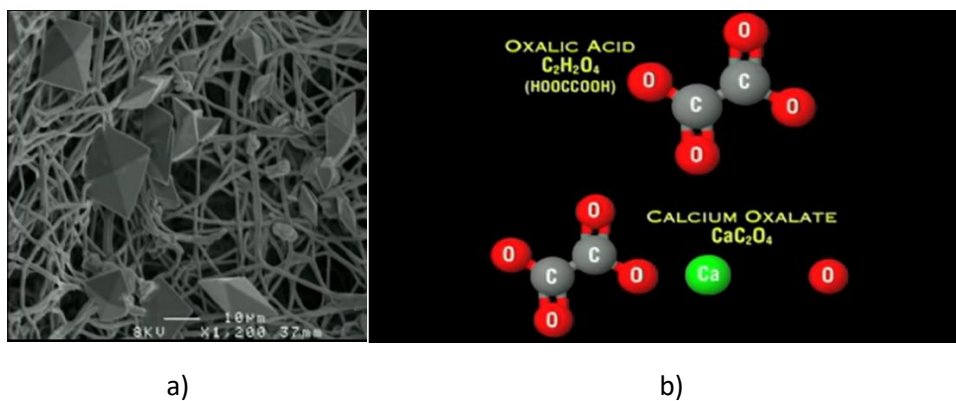


Figura 3: a) Micelio tomando minerales de las rocas b) Reacción química en la producción de Oxalato de Calcio

Paul Stament. Mycelium Running. How Mushrooms Can Help Save the World

Los hongos no son solo el agente encargado de la reutilización de desechos depositados en el suelo, también juegan un papel muy importante en la interacción con las plantas de su entorno. El micelio se aferra a las raíces de las plantas creciendo a su alrededor y en su interior, con el objetivo de realizar una relación de simbiosis conocida como Micorriza, en el que ambas partes se ven beneficiadas. La planta proporciona al micelio hidratos de carbono, vitaminas y azúcar sobrante que las plantas son capaces de realizar en el proceso de fotosíntesis. Los hongos no realizan la fotosíntesis, por lo tanto, necesitan a las plantas para obtener estos nutrientes. A cambio los hongos abastecen las raíces de la planta de agua y minerales, que la planta por sí misma no podrían obtener, como amonio (NH_4), zinc (Zn) o fosfato (PO_4) entre otros. Se estima que entre el 90 y el 95 % de las familias de plantas terrestres (80 % de las especies) presentan micorrizas de forma habitual (ver Figura 4a y 4b) [4].



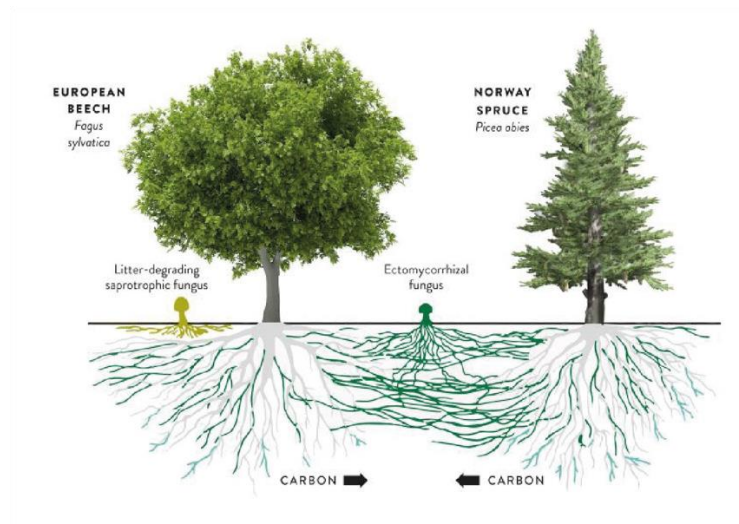
Figura 4: a) Relación de simbiosis entre hongos y plantas, conocida como Micorriza b) Intercambio de nutrientes entre hongo y planta

National Geographic. How Trees Secretly Talk to Each Other in the Forest

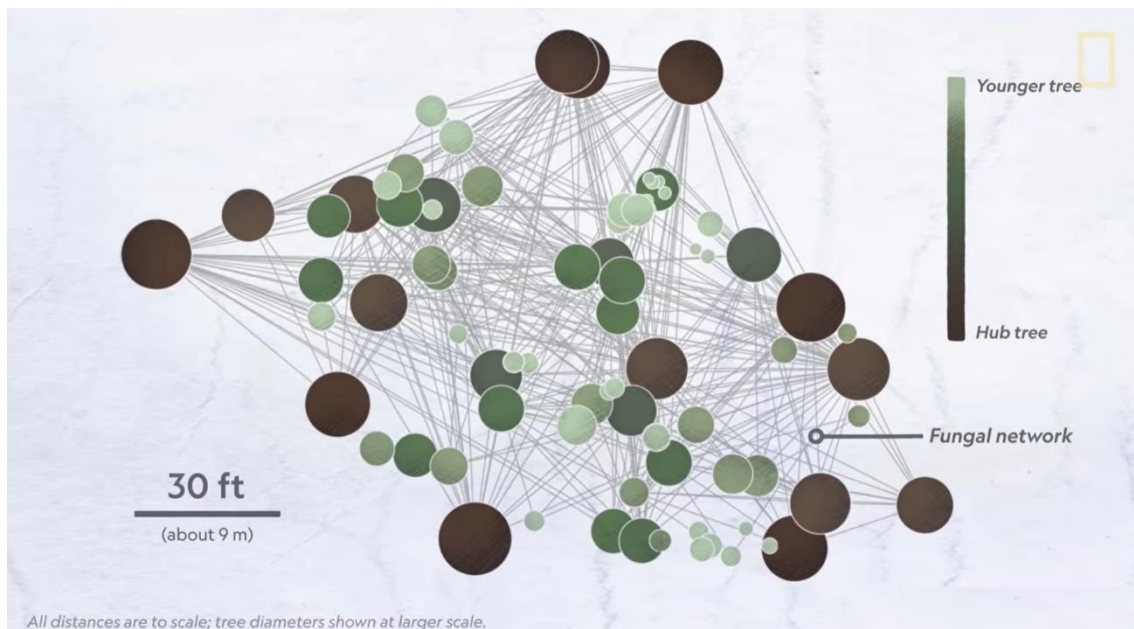
Las plantas que presentan Micorriza obtienen además otros beneficios tales como una mayor resistencia por parte de las raíces frente a patógenos, enfermedades, plagas y metales tóxicos y una mayor resistencia frente a metales tóxicos y experimentan una mayor resistencia frente a las sequías.

El micelio es capaz de expandirse rápidamente llegando a alcanzar longitudes de varios kilómetros, de este modo, un mismo hongo puede estar asociado a las raíces de varias plantas al mismo tiempo, incluso de distintas especies, creándose una compleja red de micelio bajo tierra que conecta a las plantas entre sí. Esta red de micelio es conocida como “Wood Wide Web” o “Common Mycorrhizal Network”, ya que el micelio no es el único que se beneficia al poder obtener nutrientes de muchas plantas al mismo tiempo, si no que las plantas aprovechan estos lazos de conexión entre ellas para intercambiar nutrientes, agua, azúcar y otros compuestos químicos, de manera similar a como ocurre con el Internet [5].

Las plantas utilizan esta red para colaborar en el crecimiento global de la población. Por ejemplo, en un bosque, el proceso comienza con los Árboles Madre, aquellos con más edad. Los Árboles Madre suelen ser los más altos y, por lo tanto, son capaces de captar mejor la luz solar y realizar una mejor fotosíntesis. Los Árboles Madre tendrán entonces una mayor cantidad de reservas de azúcar y nutrientes que pueden enviar a los árboles más jóvenes del bosque, aquellos que, al estar a la sombra de otros árboles más altos, encuentran mayores dificultades para crecer y sobrevivir. De este modo, gracias a la ayuda de los Árboles Madre, a través de las redes de micelio los árboles más jóvenes son capaces de crecer sanos y fuertes (ver Figura 5a y 5b) [6].



a)



b)

Figura 5: a) Conexión entre dos árboles de distinta especie a través de las redes de micelio b) Ilustración de la red de micelio en un bosque canadiense en British Columbia, los puntos marrones grandes representan los árboles madre y las líneas de unión el micelio

5a) New Zealand Geographic. *The Wood Wide Web* 5b) National Geographic. *How Trees Secretly Talk to Each Other in the Forest*

Los Árboles Madre son nudos dentro de la red que se encuentran conectados con otros muchos árboles al mismo tiempo y por los que pasan gran cantidad de recursos e información. Del mismo modo que ocurre con Google o las grandes plataformas de Internet. La red de micelio también es comparada con las conexiones neuronales del cerebro humano, las venas del cuerpo o la expansión del universo (ver Figura 6).

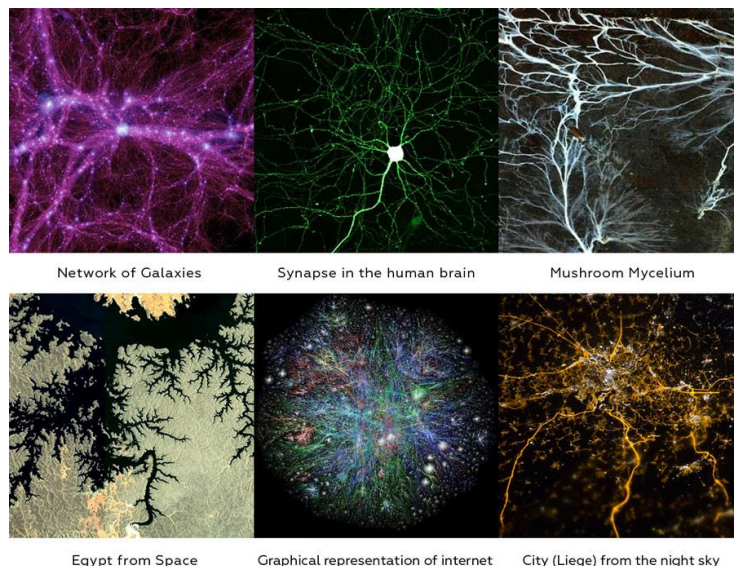


Figura 6: Comparación de otras redes que presentan una estructura similar a las redes de micelio

Medium.com - Bitcoin is a decentralized Organism (Mycelium)

Las plantas utilizan las redes de micelio para otras muchas funciones que incrementan sus probabilidades de supervivencia y calidad de vida. Por ejemplo, en épocas de sequía las raíces de los árboles pueden tener problemas para alcanzar fuentes de agua que se encuentran a mucha profundidad. Sin embargo, la red de micelio es capaz de alcanzar estas profundidades y de distribuir el agua por toda la red, abasteciendo de agua a las plantas que se encuentran conectadas y asegurando su supervivencia [7]. Otro ejemplo es el envío de señales de peligro mediante impulsos eléctricos a través de la red de micelio. Si un árbol es atacado por una plaga de insectos, este para defenderse comienza a segregar sustancias químicas que repelen a los insectos, pero también envía esta información al resto de plantas para que comiencen a segregar estas sustancias antes de que sean atacadas también. Por último, cuando un árbol va a morir, este envía todos sus recursos al resto de árboles a través de la red de micelio para que los demás puedan aprovecharlos.

Cabe mencionar que no todas las plantas colaboran por el bien común, algunas especies como las orquídeas necesitan las redes de micelio para poder realizar la fotosíntesis y roban recursos que otras plantas comparten entre ellas, otras como el Nogal negro americano envía sustancias tóxicas a través de la red para eliminar a otras especies competidoras. Sin embargo, la gran mayoría de plantas comparten recursos y se benefician las unas a las otras [8].

Como resultado, a partir de esta relación de simbiosis, se puede afirmar que se crean verdaderas comunidades biomecánicas bajo tierra, que dan lugar a suelos ricos en nutrientes y a constantes ciclos de renovado de materia.

Aprovechando estas características peculiares de las redes de micelio el micólogo Paul Stamets ha desarrollado algunas aplicaciones innovadoras que merece la pena mencionar:

- Mycorremediation. Paul Stamets realizó un experimento junto con algunos científicos de los laboratorios Battelle reuniéndose en Bellingham, Washington,

donde sometieron cuatro pilas saturadas de residuos de Diesel y otros derivadas de petróleo, a la acción de diferentes organismos pluricelulares, con el objetivo de descontaminar y degradar los residuos. Una de las pilas permaneció intacta, otra fue tratada con bacterias, otra con enzimas y la última con micelio. En la pila tratada con hongos, el micelio comenzó a alimentarse del petróleo produciendo enzimas que rompían los enlaces de carbono-hidrógeno (ver Figura 7). Seis semanas más tarde, todos los desechos de esta pila habían sido eliminados y en su lugar había una pila repleta de setas. Las setas comenzaron a desprender esporas para reproducirse, estas atrajeron a insectos que pusieron huevos, los huevos pasaron a ser larvas, que a su vez atrajeron a pájaros que portaban semillas. Al cabo de algunas semanas más la pila tratada con micelio se había convertido en una montaña de vida en donde convivían plantas, hongos y muchos otros organismos, mientras que el resto de pilas de residuos se encontraban oscuras, contaminadas y sin vida (ver Figura 8a, 8b, 8c y 8d) [9].

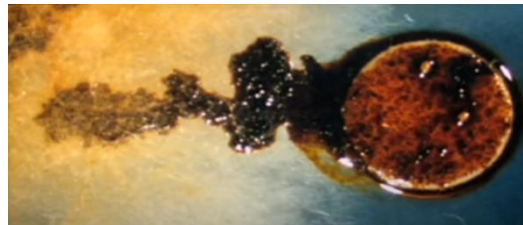


Figura 7: Micelio absorbiendo petróleo

Paul Stament. Mycelium Running. How Mushrooms Can Help Save the World

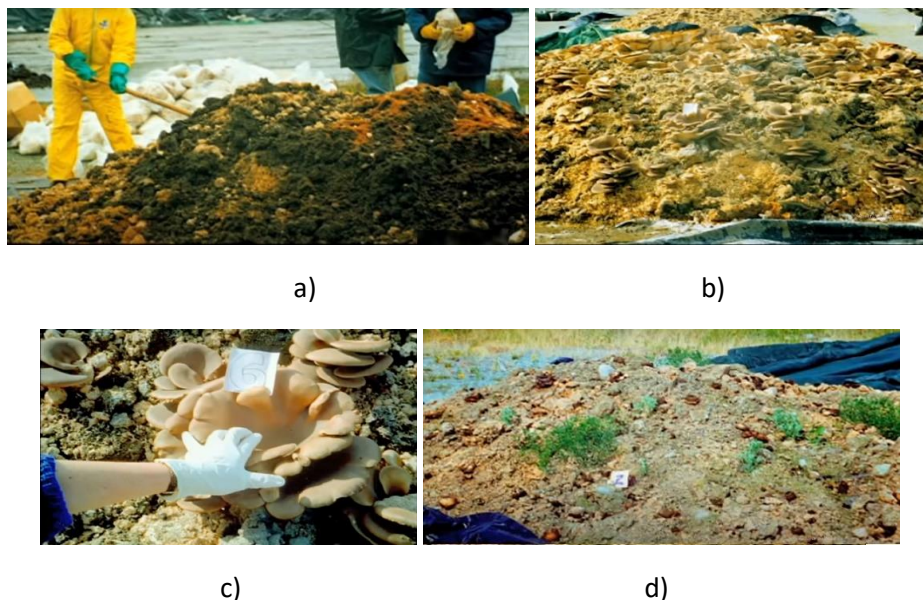


Figura 8: a) Pila de residuos de Diesel y derivados b) Pila 6 semanas después. c) Seta ostra. d) Pila 2 meses después

Paul Stament. Ted Talk. 6 ways mushrooms can save the world

- Tras realizar este experimento Paul Stamets desarrolló un método con el que descontaminar suelos próximos a fábricas o a granjas que pueden contener residuos y contaminantes químicos potencialmente capaces de dificultar el desarrollo de la biodiversidad del entorno. El método consiste en introducir bajo tierra sacos cargados de micelio. (ver Figura 9). Se realizó un experimento en Mason County, Whashington, donde al cabo de pocos días los niveles de contaminación del hábitat habían disminuido significativamente [4].

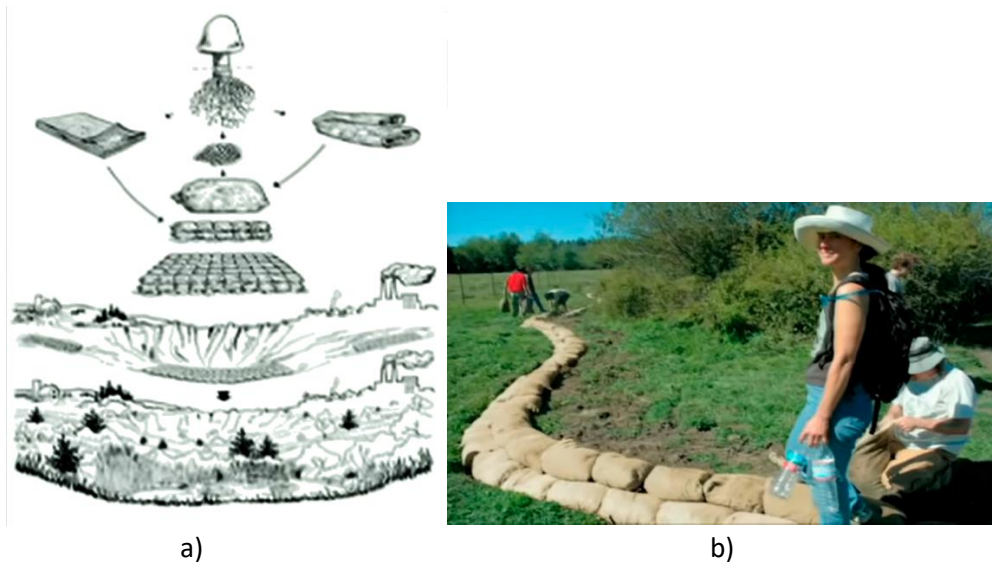


Figura 9: a) Esquema del procedimiento a seguir b) Sacos cargados de micelio en Mason County, Washington

Paul Stamets. Mycelium Running. How Mushrooms Can Help Save the World

Esta solución, como método aplicable en la restauración de hábitats naturales, puede acelerar el proceso de reforestación. Ya se ha aplicado en bosques de Carolina del Norte con resultados hasta el momento positivos [10].

- Life Box. Se trata de un sistema de embalaje que contiene esporas de hongo. Al añadir agua, tierra y algunas semillas al embalaje, el usuario puede llegar a obtener de manera sencilla un pequeño bosque en casa. Con esta idea Paul Stament pretende reinventar el sistema de envíos actual y la utilización de cartón para que al final de su vida útil puedan tener un fin ecológico (ver Figura 10a y 10b) [11].





a)



b)

Figura 10: a) Proceso de reciclaje Life Box b) Resultado final al reciclar Life Box

Paul Stament. Ted Talk. 6 ways mushrooms can save the world

A parte de las ideas desarrolladas por Paul Stament, se han encontrado otras muchas aplicaciones del micelio en el desarrollo de productos y en otros sectores como la construcción. A continuación, se mencionarán algunos ejemplos.

Ecovative Design, es una de las empresas pioneras en la utilización del micelio para el desarrollo de productos, especialmente de envases (ver Figura 11) [12].





Figura 11: Algunos proyectos desarrollados por la empresa *Ecovative*

Ecovatedesign.com

Esta empresa también ha apoyado a otras en el desarrollo de proyectos con micelio, un ejemplo es la empresa *Terreform*, con su estructura *Mycoform* (ver Figura 12).



Figura 12: Proyecto *Micoform*

terreform.org/mycoform

Otros diseñadores como Grant Goldner o Eric Klarenbeek también confían en la tecnología del micelio para desarrollar sus productos (ver Figura 13 y Figura 14) [13, 14].



Figura 13: Silla y Mesa fabricada en micelio, diseñada por Grant Golder

grantgolder.com - Mycelium chair



Figura 14: Silla y Taburete fabricados por impresión 3D con micelio, diseñados por Eric Klarenbeek

ericklarenbeek.com

En cuanto al sector de la construcción, el micelio ha sido propuesto como material estructural debido a sus buenas propiedades de resistencia a impactos y su ligereza (ver Figura 15a, 15b, 15c y 15d) [15].



a)

b)



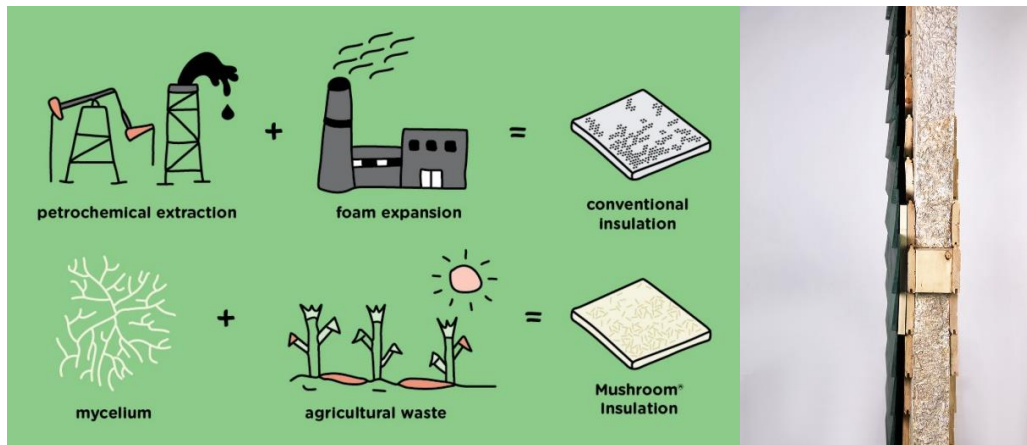
c)

d)

Figura 15: a) Ladrillos de micelio b) Proyecto Hi-Fi realizado con ladrillos fabricados a partir de residuos de tallo de maíz y micelio c) Jardín Circular diseñado por Carlo Ratti Associati en colaboración con la empresa energética Eni para la Semana del Diseño en Milán d) The Growing Pavilion, diseñado por Pascal Leboucq, en Eindhoven, Holanda

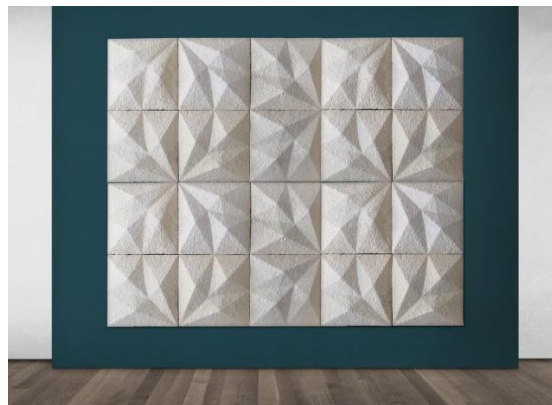
ArchDaily. ¿Edificios de hongos? Las posibilidades del micelio en la arquitectura

El micelio también presenta buenas propiedades para ser utilizado como aislante térmico y acústico, por eso, de nuevo la empresa Ecovative, propone el micelio como una iniciativa ecológica que sustituye a los paneles aislantes estructurales que se utilizan actualmente (ver Figura 16a, 16b y 16c) [15].



a)

b)



c)

Figura 16: a) Paneles de micelio como sustituto de los paneles aislantes actuales b) Ejemplo de Aislamiento acústico desarrollado por Ecovative c) Paneles de aislamiento acústico hechos con micelio por la empresa italiana Mogu

16a), 16b) *ArchDaily. ¿Edificios de hongos? Las posibilidades del micelio en la arquitectura* 16c) *mogu.bio*

Por último, el micelio ha comenzado a plantearse en la industria textil. Empresas como *Mycoworks* ya han desarrollado varias prendas de ropa y diferentes tejidos [16] (ver Figura 17).



Figura 17: Trabajos textiles realizados a partir de micelio por la empresa *Mycoworks*

Mycoworks.com

Resulta reseñable que, aunque las propiedades que presenta el micelio llaman la atención, igual que sus aplicaciones como material de fabricación, la mayoría de los estudios científicos concluyen de la misma manera; aún es necesario investigar y realizar experimentos con el material para que tenga la suficiente eficiencia, competitividad y control de calidad para poder realizar un uso a gran escala. Sin embargo, también están de acuerdo en que tiene un enorme potencial en diversos sectores y representa un importante cambio de paradigma en la forma que abordamos la obtención, utilización y eliminación de los materiales.

2. Objetivo

La contaminación medioambiental que suponen los plásticos y la agricultura industrial son algunos de los mayores problemas a los que se enfrenta la humanidad actualmente. La producción global de plásticos sigue aumentando y alcanzó los 380 millones de toneladas en el año 2015. Los mares y océanos son receptores de hasta 12 millones de toneladas de residuos [17]. En cuanto al sector agrícola, este supone el 24% de las emisiones mundiales de efecto invernadero y el 80% de la deforestación mundial es resultado de su expansión [18]. El micelio se presenta en este proyecto como una alternativa a los plásticos que supone un impacto ambiental mucho menor a lo largo de todo su ciclo de vida. Capaz de aprovechar los residuos agrícolas para la fabricación de nuevos productos y que, además, tiene el potencial de mejorar la calidad del suelo y de los bosques.

De este modo, el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es estudiar el comportamiento que presenta este material y sus propiedades, así como los procesos de fabricación que se utilizan hoy en día. Además, se ponen en práctica algunas de las diversas técnicas de cultivo existentes, obteniéndose diferentes tipos de composites de micelio. Finalmente, se realiza un ensayo a compresión, con la finalidad de conocer la resistencia de los composites producidos y averiguar cuál de ellos presenta mejores propiedades mecánicas.

3. Procesos de cultivo

3.1 Obtención del micelio.

Muchas de las especies de hongos actualmente conocidas se reproducen mediante setas. Las setas distribuyen esporas por el medio y una vez que llegan a un medio adecuado, bajo las condiciones adecuadas de humedad y temperatura, germinan produciendo hifas que dan lugar a nuevas redes de micelio. De este modo, a partir de una seta, se pueden cultivar micelio de manera sencilla. A continuación, se explicarán los métodos que existen para cultivar micelio en un laboratorio o en casa.

Los dos métodos más comúnmente empleados son: Inoculación Directa desde Tallo (Stem Butt Method) e Inoculación mediante la Imprimación de Esporas (Spore Prints).

3.1.1 Método por Inoculación Directa desde Tallo (Stem Butt Method)

La parte de una seta que más vida alberga es la base del tallo, pueden pasar días desde que se separó la seta de su medio y esta sigue creciendo en un último esfuerzo por reproducirse [3]. Al situar esta parte en un medio adecuado, podría comenzar el desarrollo del micelio.

Para tener un mayor éxito, se suele cortar la seta por la mitad y se extrae una pequeña porción del interior del tallo con ayuda de unas tijeras o un cúter previamente esterilizados (ver Figura 18). El interior del tallo se encuentra menos expuesto a la contaminación exterior y por ello, es menos probable que, junto con el cultivo de micelio, se desarrollen otros microorganismos no deseados; como bacterias, protozoos u otras especies de hongos. Una vez se ha extraído la muestra del interior del tallo se puede realizar la inoculación, que consiste en la introducción del organismo en un medio donde este crecerá y se reproducirá [19].



Figura 18: Cortando Seta Ostra (Pleurotus Ostreatus) a la mitad para realizar la Inoculación Directa desde Tallo

Mosyy Creek Mushrooms. Liquid Mushroom Culture from Gourmet Oyster Mushrooms

3.1.2 Método por Inoculación mediante imprimación de esporas (Spore prints)

El método más sencillo y empleado para el cultivo a partir de esporas consiste en la Imprimación [3]. Cuando se sitúa la cabeza de una seta sobre una superficie y se deja varias horas en reposo, se observa que, al retirarla, esta ha dejado un resto de polvo. Este polvo son miles de esporas, cuyo tamaño puede variar entre los 3 y 100 μm , dependiendo de la especie, aunque lo más frecuente es que el tamaño de una espora sea menor que 20 μm [20]. La cantidad de esporas que es capaz de desprender un hongo también dependerá de la especie. Por ejemplo, se estima que, la Seta Ostra (*Pleurotus Ostreatus*), es capaz de, a largo de su vida, desprender el 50% de su peso en esporas, lo que equivale a 22.5 gramos de esporas, que son aproximadamente 25 billones de esporas. Otras especies como Artist Conk (*Ganoderma applanatum*), se estima que pueden producir 5 trillones de esporas anualmente [3].

La metodología consiste en: cortar la cabeza de la seta desprendiéndola de su tallo y dejarla sobre una superficie lisa, normalmente papel, aluminio o vidrio. Es común tapar la cabeza de la seta con un vaso y depositar una gota de agua en su interior, sobre todo en setas de pequeño tamaño, para evitar que estas se sequen y se dificulte la liberación de esporas. Sin embargo, no es un paso realmente necesario. Se deja reposar la cabeza de la seta sobre la superficie durante 12 horas en un lugar cerrado. Pasado este tiempo, al retirar la seta se puede visualizar el patrón de esporas que ha dejado (ver Figura 19). Una misma seta puede utilizarse para varias imprimaciones, hasta 6. A continuación, raspando la superficie con un cúter, se deposita una pequeña cantidad de las esporas liberadas sobre el medio cultivo (ver Figura 20). No es necesario utilizar todas, ya que, en cada mota de polvo visible, puede haber cientos de esporas capaces de germinar [3].



Figura 19: Imprimación de esporas a partir de Setas Portobello

How to Make Mushroom Spore Prints. How we montessori

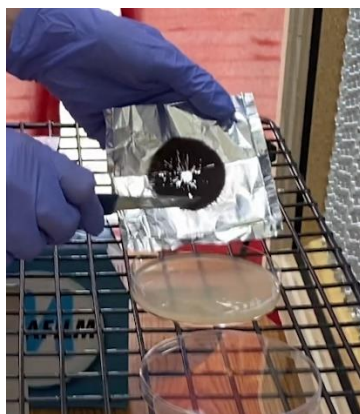


Figura 20: Inoculación en medio agar con placas petri desde una imprimación de esporas

How to inoculate Agar with a Spore Print. Boomer Shroomer

3.2 Medios de cultivo.

Un Medio de cultivo es el conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes, que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de un microorganismo. Cualquier medio de cultivo siempre debe disponer de nutrientes, agua y ventilación para que el micelio respire. Normalmente en cualquier medio, se suele utilizar un filtro hecho de algodón, que permita el intercambio de aire y que al mismo tiempo dificulte la entrada de partículas contaminantes. A continuación, se describen los medios de cultivo y técnicas más comunes.

3.2.1 Placas Petri.

Las placas Petri son pequeños recipientes cilíndricos de paredes estrechas con tapa. Son utilizados comúnmente en microbiología, para estudiar el crecimiento de bacterias y otros microorganismos. Pueden estar fabricados de vidrio o de plástico (normalmente poliestireno o policarbonato), son transparentes y su tapa no queda totalmente fijada al recipiente, permitiendo así el flujo de aire [21]. En un ambiente estéril, el interior de las placas Petri se cubre de un medio de cultivo normalmente producido en base al alga Agar-Agar. El medio de cultivo solidifica en cuestión de pocos minutos y es entonces cuando las placas Petri se pueden inocular con bacterias, protozoos o en este caso, hongos. Existe una gran variedad de recetas para preparar el medio de cultivo. En el libro *Radical Mycology* de Peter McCoy aparecen algunos ejemplos (ver Tabla 1) [22].

Extracto de Malta Agar (ME)	• Extracto de Malta de Cebada - 10g
Extracto de Malta y Levadura (MYA)	• Malta - 10ml • Levadura - 1ml
Extracto de Malta y Carbon activado (MEAC)	• Malta- 10g • Carbon activado - 1g

Extracto de Malta con Peptona (MEP)	• Malta -10g • Peptona - 1g
Extracto de Malta con Levadura y Peptona (MYAP)	• Malta - 10g • Levadura - 1g • Peptona - 1g
Extracto de Malta con Levadura, Peptona y Carbon activado (MEPYAC)	• Malta - 10g • Peptona - 1g • Levadura - 1g • Carbon activado - 1g
Dextrosa de Patata Agar (PDA)	• Patatas hervidas - 150g • Almidón de patata - 10g • Dextrosa - 7g
Dextrosa de Patata Agar (PDA)	• Dextrosa o Miel - 7g o 10 ml • Patatas hervidas - 150 g
Dextrosa de Patata, Levadura, Agar (PDYA)	• Dextrosa o Miel - 7g o 10 ml • Patatas hervidas - 150g • Levadura – 1g
Germinación de esporas Agar #1	• Harina de maíz - 10g • Dextrosa - 1g • Levadura - 0.5g
Germinación de esporas Agar #2	• Harina de maíz - 10g • Dextrosa - 3.5g • Azúcar - 5g • Levadura - 0.5g • KH₂PO₄ - 0.5g
Germinación de esporas Agar #3	• Harina de maíz - 10g • Malta 0.8g
Germinación de esporas Agar #4	• Harina de maíz - 10g • Glucosa - 1g • Azúcar - 1.5g • Levadura - 0.5g

Tabla 1: Recetas Medio de Cultivo en base Agar. Todas las recetas comienzan con 1000 ml de agua y 10g de Agar-Agar en polvo.

Radical Mycology: A Treatise on Seeing and Working with Fungi

Es recomendable sellar las placas Petri con film transpirable, que asegura que el recipiente se encuentra bien cerrado, permite al organismo respirar y evita la entrada de partículas contaminantes. La marca más comercializada es conocida como *Parafilm*.

Después de una o dos semanas, una vez que el micelio se ha propagado por todo el medio, se puede trasladar el cultivo a otro medio, por ejemplo, sustratos como tierra, paja o granos. Se corta el cultivo en agar en pequeñas porciones utilizando un cúter, para después depositar las muestras en el nuevo medio (ver Figura 21).

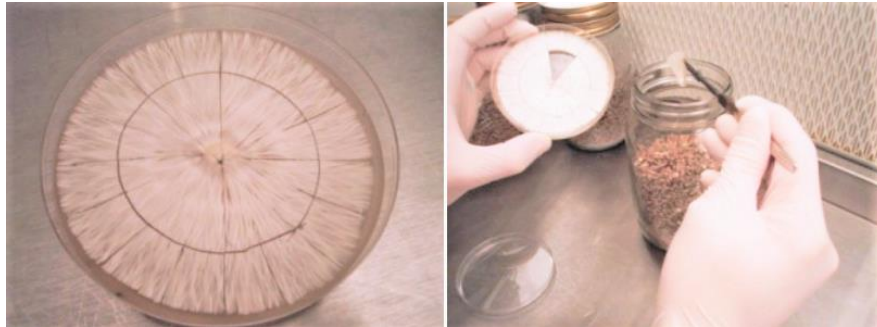


Figura 21: Traspaso de cultivo desde placa Petri a bote con grano

Inoculation of grain spawn with mycelium on agar médium. gluckspilze.com

3.2.2 Cultivo líquido

Este método se asemeja al de las placas Petri, se diferencia en que el medio de cultivo utilizado en placas Petri solidifica al tener como componente principal el alga Agar-Agar. Sin embargo, en el cultivo líquido, como su propio nombre indica, el medio de cultivo se mantiene en estado líquido. Este método está destinado para la posterior inoculación del cultivo líquido en otro medio utilizando una jeringuilla esterilizada. La ventaja que presenta es que el recipiente suele tener un tapón de silicona de alta temperatura capaz de cerrarse solo al introducir la jeringuilla dentro. De este modo, se puede tomar la muestra de cultivo sin la necesidad de abrir el recipiente, con la seguridad de que ningún tipo de contaminación entra durante el traspaso al nuevo medio. El medio de cultivo líquido se compone normalmente de agua y azúcar [23]. Al igual que en los medios de cultivo en base Agar, también existen numerosas recetas para el cultivo líquido. A continuación, se muestran algunos ejemplos (ver Tabla 2) [22].

Completo LC	• Malta - 10g • Peptona - 1g • Yeast - 0.3g • Aceite vegetal - 5 cucharadas • Grano molido 1g
Miel LC	• Miel - 2 cucharadas o 10g
Extracto de Malta y Dextrosa LC	• Dextrosa – 2 cucharadas • Extracto de Malta - 2 cucharadas

Sirope de Arce LC	• Sirope de arce - 10g
Lisogenia LC	• Dextrosa - 100g • Peptona - 5g • Levadura - 2.5g

Tabla 2: Recetas para producir medio de cultivo líquido.

Radical Mycology: A Treatise on Seeing and Working with Fungi.

El recipiente que se utiliza para el cultivo líquido se puede fabricar de manera casera. Se compone de un tarro de vidrio y una tapa metálica en la que se han realizado dos agujeros. Uno de ellos es cubierto con algodón, este será el orificio por donde el micelio respira, y el otro es cubierto con silicona de alta temperatura, este orificio hace la función de puerto de inyección a la hora de utilizar la jeringuilla para inocular (ver Figura 22 a), 22b), 22c)). Estos recipientes también se comercializan, con tapones y puertos de inyección específicamente diseñados para la inoculación.

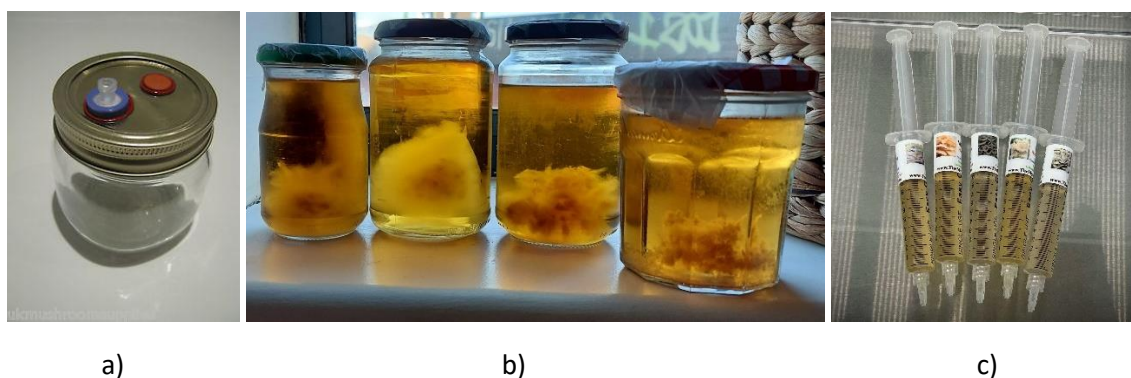


Figura 22: a) Jarrón para cultivo líquido. A la derecha puerto de inyección de silicona de alta temperatura, a la izquierda filtro para permitir el flujo de aire b) Micelio creciendo en cultivo líquido. c) Jeringuillas para cultivo líquido de diferentes especies de hongos

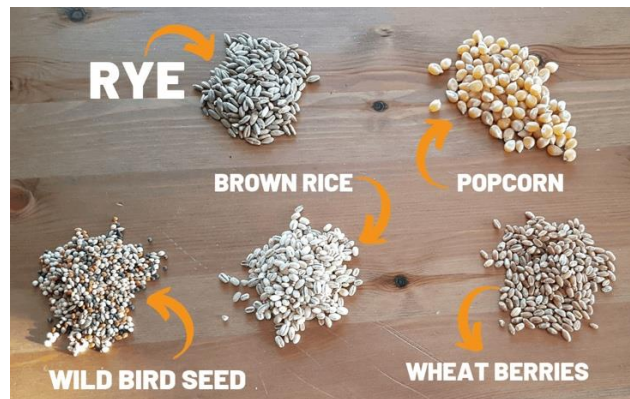
a) Tarro para cultivo líquido. ebay b) Liquid Culture for Mushroom Cultivation How and Why. ezmushroom.com c) Mushroom Liquid Culture. Etsy

El cultivo líquido es el más común a la hora de comercializar hongos, se suelen vender las jeringuillas con el cultivo líquido y el micelio en su interior, esterilizadas y listas para inocular.

La desventaja que presenta este medio de cultivo frente a las placas Petri es que existe una mayor dificultad para distinguir si el cultivo está contaminado o no. En las placas Petri se puede ver con facilidad si moho u otras bacterias están proliferando en el medio.

3.2.3 Granos

Se trata del método más común a la hora de cultivar hongos. Se pueden utilizar diferentes tipos de grano: arroz integral, trigo, centeno, cebada, todos funcionan muy bien para el cultivo de hongos, al ser ricos en nutrientes y capaces de mantener una humedad adecuada para el crecimiento del micelio. A continuación, se muestran imágenes de algunos tipos de grano comúnmente utilizados (ver Figura 23a), 23b), 23c)). Para inocular los granos con micelio se puede utilizar cualquiera de los métodos explicados en los apartados anteriores; por esporas, directamente desde de tallo, desde cultivo con placas Petri o desde cultivo líquido. Es mejor realizar la inoculación desde placas Petri o desde cultivo líquido, ya que el micelio ya ha comenzado a desarrollarse en estos medios [23].



a)



b)



c)

Figura 23: a) Ejemplos de granos; granos de centeno, maíz, trigo, arroz integral, pienso para pájaros b) Grano colonizado por micelio c) Cultivo en granos de trigo

Different types of grain spawn. Fresh Cap, growing blog

De todos los tipos de grano, los que mayor éxito suelen tener con la mayoría de especies de hongos son los granos de centeno, debido su excelente capacidad para absorber agua y mantener la humedad. También es común y funcionan muy bien, los granos de arroz integral y los de trigo. Cualquier tipo grano debe de humedecerse previamente en agua durante 24 horas y cocinarse parcialmente en una olla durante 10 minutos antes de ser utilizado. De esta manera, los granos absorben el agua que abastece al micelio y proporciona las condiciones óptimas de humedad (ver Figura 24).

Los medios de cultivo con grano se pueden depositar en cualquier tipo de recipiente que este esterilizado y que disponga de un filtro que permita el flujo de aire. Los recipientes más utilizados son los jarros de vidrio y las bolsas de polipropileno. Ambos recipientes tienen la capacidad de soportar altas temperaturas, una propiedad necesaria en el proceso de esterilización. El filtro, al igual que en el método del cultivo líquido, se puede realizar con un orificio cubierto de algodón [23].

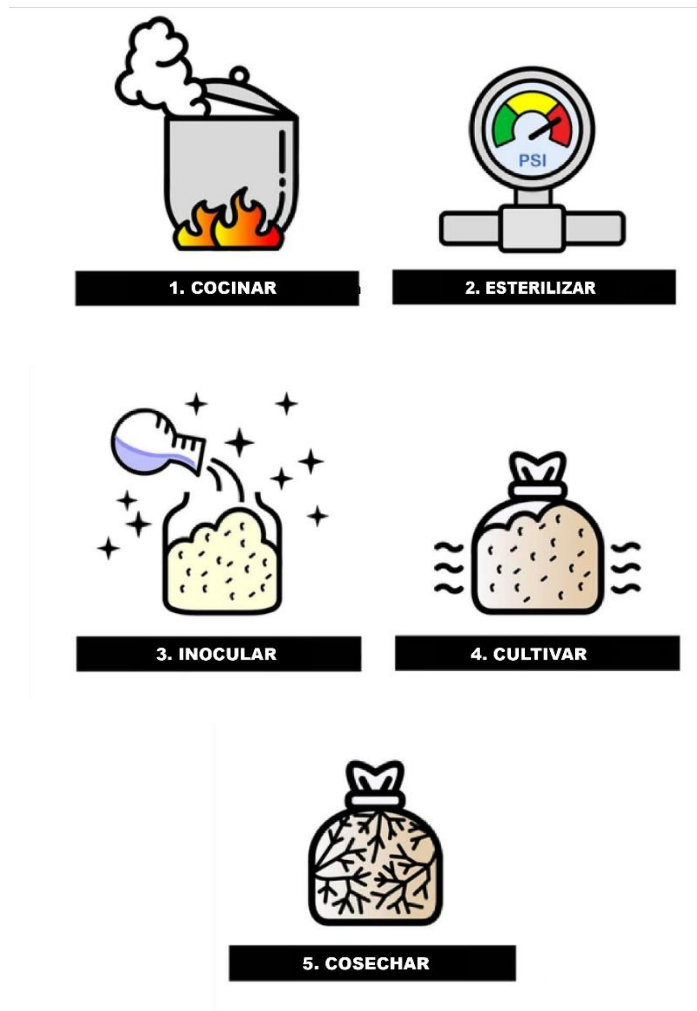


Figura 24: Pasos para realizar un cultivo con granos

How we grow Mushroom Mycelium. Fungi.com

3.2.4 Sustratos de segunda generación.

Los cultivos de segunda generación son aquellos que carecen de tantos nutrientes como los cultivos en grano, pero que se aproximan más a aquellos medios donde el micelio se propaga normalmente en la naturaleza. Se llaman cultivos de segunda generación porque se mezclan con los cultivos de primera generación, los granos, donde el micelio ya ha comenzado a propagarse. El cultivo de segunda generación más común es la madera triturada. Este medio se suele mezclar junto con salvado de trigo o harina de trigo y agua, con el objetivo de dotar de más nutrientes al

medio [24]. Se pueden utilizar maderas de distintos tipos, procedente tanto de árboles de madera dura como árboles de madera blanda. La madera dura es aquella que proviene de árboles que se reproducen mediante angiosperma, aquellos cuyas semillas se encuentran encerradas en frutos o en vainas. La mayoría de los árboles de madera dura son de hoja caduca y su crecimiento es más lento. Los árboles de madera blanda son aquellos árboles de hoja perenne, tienen un crecimiento mucho más rápido y sus semillas no tienen revestimiento, son árboles de reproducción por gimnospermas (ver Tabla 3). La propagación del micelio en el serrín dependerá mucho de la especie de hongo que se esté cultivando, algunas especies prefieren las maderas duras y otras las blandas [24, 25].

Árboles de Madera Dura	Árboles de madera blanda
Caoba	Pino
Roble	Cedro
Nogal	Abeto
Olmo	Ciprés
Abedul	Madroño

Tabla 3: Algunos ejemplos de árboles de madera dura y árboles de madera blanda

La paja es el material sobrante de muchas granjas al terminar la cosecha y es un sustrato excelente para el cultivo de hongos, especialmente aquellas pajas que provienen de plantas de arroz, cebada, trigo o centeno. La seta ostra (*Pleurotus Ostreatus*), por ejemplo, o *The Garden Giant*, crecen muy bien en sustratos de paja. Al igual que el serrín, se utiliza como medio de cultivo de segunda generación, y es recomendable que sea mezclado con agua y con más nutrientes. La ventaja que presenta la paja es que es un sustrato barato y fácil de conseguir al ser un residuo agrícola [3]. Del mismo modo, funciona el heno, destinado para el consumo animal y formado, en muchas ocasiones, también por tallos secos de cebada, trigo o centeno y por plantas como el ballicio italiano, tréboles y otras plantas silvestres [26].

Otros materiales que también pueden utilizarse como sustratos de segunda generación se muestran en la siguiente tabla (ver Tabla 4) (ver Figura 25).

Materiales Alternativos para el crecimiento de micelio y de setas		
Bamboo	Granos de café	Aceite vegetal
Bagazo de cerveza	Algodón	Petróleo
Cacao	Pelo	Habas de soja
Cactus	Hojas	Cáñamo
Cáscara de Coco	Estiércol	Tabaco

Tabla 4: Ejemplos de otros materiales que se pueden utilizar como sustrato

Mycelium Running. How Mushrooms Can Help Save the World. Paul Stamets

Por último, merece la pena mencionar el cartón como sustrato. El cartón es uno de los materiales más utilizados en envase y embalaje, por lo que resulta fácil de encontrar y es barato. La cola que aglutina las diferentes capas del cartón corrugado ha demostrado incrementar el crecimiento del micelio, además, retiene la humedad muy

bien y los diferentes valles que tiene permite un intercambio de aire adecuado [3]. Otra ventaja que presenta es que no hace falta que sea previamente esterilizado antes de la inoculación, con mojarlo durante media hora en agua caliente a 80°C es suficiente, ya que es un medio menos común para el desarrollo de bacterias y otros microorganismos (ver Figura 25) [27].



Figura 25: Seta Ostra (*Pleurotus Ostreatus*) creciendo en sustrato a base de cartón y granos de café

HOW TO: Grow your own mushrooms from recycled cardboard and coffee grounds.
Inhabitat.com

Los sustratos mencionados con anterioridad son los más comunes que se pueden utilizar y en los que una gran variedad de hongos va a poder desarrollarse. Algunas especies como la Seta Ostra (*Pleurotus Ostreatus*) o los *Shitake*, son capaces de crecer casi en cualquiera de los sustratos mencionados. Sin embargo, otras como la especie *Chantarelle*, los *Boletus* o las *Trufas* son más difíciles de cultivar y necesitan sustratos con unas características más complejas de obtener de manera artificial y unas condiciones de humedad y temperatura concretas [28, 29]. En general, las propiedades que debe de tener un sustrato para cualquier cultivo son las siguientes:

1. Un 1% - 2% de nitrógeno (*N*). Algunos sustratos como la paja o el serrín necesitan ser complementados con otros nutrientes como la harina de trigo para alcanzar estos porcentajes.
2. Magnesio (*Mg*), potasio (*K*), calcio (*Ca*), azufre (*S*), fósforo (*P*), en pequeñas cantidades.
3. PH ligeramente ácido entre 5 y 6.5. Algunas especies como la Seta Ostra (*Pleurotus Ostreatus*) pueden soportar PH de hasta nivel 8.
4. El sustrato debe de tener una estructura que permita el intercambio de aire.
5. Humedad entre un 50% y 70%
6. Ausencia de organismos que compitan con el crecimiento de micelio, como bacterias, virus u otros hongos [27].

3.3 Contaminantes y medidas de limpieza.

Los organismos contaminantes son llamados de este modo porque no son deseados a la hora de cultivar micelio. Los contaminantes son principalmente los mohos, las bacterias y los virus, y las fuentes de contaminación son conocidas como vectores de contaminación. Se pueden destacar seis fuentes clásicas de contaminación:

1. El usuario
2. El aire
3. El medio de cultivo
4. Las herramientas
5. El hongo que se quiere traspasar
6. Unidades móviles de contaminación. MCU's (Mobile Contamination Units)

Si se presta especial atención a estos seis vectores de contaminación, tratando de reducir la propagación de contaminantes que suponen, se puede cultivar micelio de manera exitosa, ahorrando material, dinero y tiempo.

3.3.1 El usuario

El cuerpo humano está cargado de microorganismos. Una gran cantidad de bacterias, mohos y virus viven adheridos a la ropa, en la piel o en la boca. De este modo, es importante que el propio usuario mantenga una buena limpieza personal antes de trabajar sobre el cultivo. Las medidas recomendadas son estar duchado, llevar ropa lavada, mantener las manos limpias con gel hidroalcohólico y llevar mascarilla. Muchos usuarios optan por llevar trajes previamente desinfectados o guantes, pero estas son medidas secundarias.

3.3.2 El aire

El aire puede ser descrito como un mar de contaminantes invisibles al ojo humano. Muchas partículas permanecen en suspensión y cuando el usuario se mueve provoca la agitación de estas partículas, que pueden acabar accidentalmente sobre el medio de cultivo. De este modo, es importante que el usuario evite realizar movimientos bruscos cuando está operando. También es recomendable mantener las puertas y ventanas cerradas del laboratorio, para así evitar esta agitación de partículas en suspensión. En laboratorios profesionales se utilizan filtros HEPA, capaces de mantener el aire limpio y esterilizado durante todo el proceso. También se suelen utilizar luces ultravioletas, que interfieren en la propagación de los contaminantes alterando su ADN. Cuando no se dispone de estos medios, se puede recurrir a otras alternativas, no tan efectivas, pero que también pueden funcionar. Una opción consiste en rociar la habitación entera con aerosol desinfectante y dejar la habitación con puertas y ventanas cerradas durante 2 o 3 minutos. Durante este tiempo, las partículas contaminantes son atrapadas por las partículas desinfectantes y caen al suelo por su propio peso. Sin embargo, es necesario tener especial cuidado con este método pues puede dañar la salud del usuario, en especial los pulmones y las vías respiratorias. Otra opción, es fabricar una caja de aire esterilizada (ver Figura 26). Esta alternativa suele ser popular entre los cultivadores principiantes que no disponen de medios más profesionales.



Figura 26: Caja de aire esterilizado

How to Build a Simple DIY Still Air Box/Glove Box. Tetragrowth.solutions

Consiste en realizar dos agujeros para introducir las manos sobre la superficie de una caja transparente y esterilizar, con aerosol o limpiando con un trapo, todo el interior de la caja.

3.3.3 El medio de cultivo

En ocasiones el medio de cultivo se convierte en la principal fuente de contaminación. Cualquier medio de cultivo debe de ser previamente esterilizado antes de ser inoculado con micelio. Para esterilizar el medio de cultivo se recurre a las ollas a presión. Es necesario haber desinfectado previamente el recipiente donde se encuentre el medio de cultivo para así minimizar riesgos. Este suele tener un orificio que permite el flujo de aire, para así evitar el colapso del recipiente debido a un excesivo aumento de presión en su interior. Se introduce el recipiente con el medio de cultivo dentro de la olla a presión. Es importante colocar algún objeto en la base de la olla, para así evitar el contacto directo entre el recipiente y la base, que se encuentra a muy alta temperatura. Se añade la cantidad de agua suficiente como para cubrir ligeramente la parte inferior de los recipientes y que esta no se evapore completamente durante el tiempo de esterilización. Una vez realizados estos pasos, se cierra la olla a presión y se calienta a una presión de 15 psi o 250°C, durante 40 minutos, para el caso de la preparación de un medio en base Agar-Agar y para cultivo líquido, o 90 minutos, si se esteriliza otro medio como granos, paja o serrín. Este proceso se conoce como Pasteurización.

3.3.4 Las herramientas

En esta categoría, se incluyen todas las herramientas que se utilizan a lo largo de todo el proceso de inoculación, desde la olla a presión, hasta las tijeras, pinzas o guantes. Todas las herramientas que se emplean deben de estar esterilizadas de manera apropiada ya que algunas de ellas van a estar en contacto directo con el medio de cultivo o con el micelio. El método más extendido para esterilizar los utensilios de trabajo es pasándolos por encima de una llama de una lámpara de alcohol o un mechero. Esto eliminará los contaminantes que se encuentren sobre las herramientas de manera eficaz y se puede realizar fácilmente.

3.3.5 El hongo a traspasar

Tratándose de esporas, un pedazo del tallo de una seta, cultivo líquido o una porción de micelio cultivado en agar, las bacterias y los mohos pueden contaminar el hongo en cualquier transición que se vaya a realizar. De este modo, siempre que se vaya a traspasar el micelio de un medio de cultivo a otro, el usuario debe de actuar lo más rápido posible para minimizar el riesgo de contaminación y asegurarse que el hongo no carga contaminantes.

3.3.6 Unidades móviles de contaminación. MCU's (Mobile Contamination Units)

Se tratan de organismo que portan y dispersan partículas por todo el medio con su movimiento. Actúan como vehículos transportadores de contaminantes que, además, son muy difíciles de aislar en el caso de insectos, por ejemplo. Los ácaros son aquellos más complicados de controlar por su diminuto tamaño. La única solución ante este vector de contaminación es la limpieza del laboratorio o sala donde se realicen las operaciones, varias veces por semana, asegurando que es un entorno libre de insectos y de polvo.

Todos estos vectores de contaminación se encuentran afectados del mismo modo por la variable tiempo, cuanto más tiempo estén expuestas las herramientas o medios de cultivo a la contaminación, menores serán las probabilidades de lograr un cultivo exitoso [30].

Algunos ejemplos de especies de hongos y bacterias contaminantes se mencionan en la siguiente imagen (ver Figura 27):

Contaminants encompassed by this key:				
<i>Alternaria</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Monilia</i>	<i>Papulospora</i>	<i>Sepedonium</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Coprinus</i>	<i>Mucor</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Dactylium</i>	<i>Mycelia Sterilia</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Trichothecium</i>
<i>Botrytis</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Mycogone</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Verticillium</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Neurospora</i>	<i>Scopulariopsis</i>	<i>Yeasts</i>
<i>Chrysosporium</i>	<i>Geotrichum</i>			

Figura 27: Contaminantes más comunes que pueden surgir a la hora de cultivar micelio

Paul Stamets & J.S.Chilton. Mushroom Cultivator a Practical Guide to Growing Mushrooms at Home. Agarikon Press

A continuación, se muestra un esquema que resume lo explicado en el punto 3 y en el punto 4 (ver Figura 28).

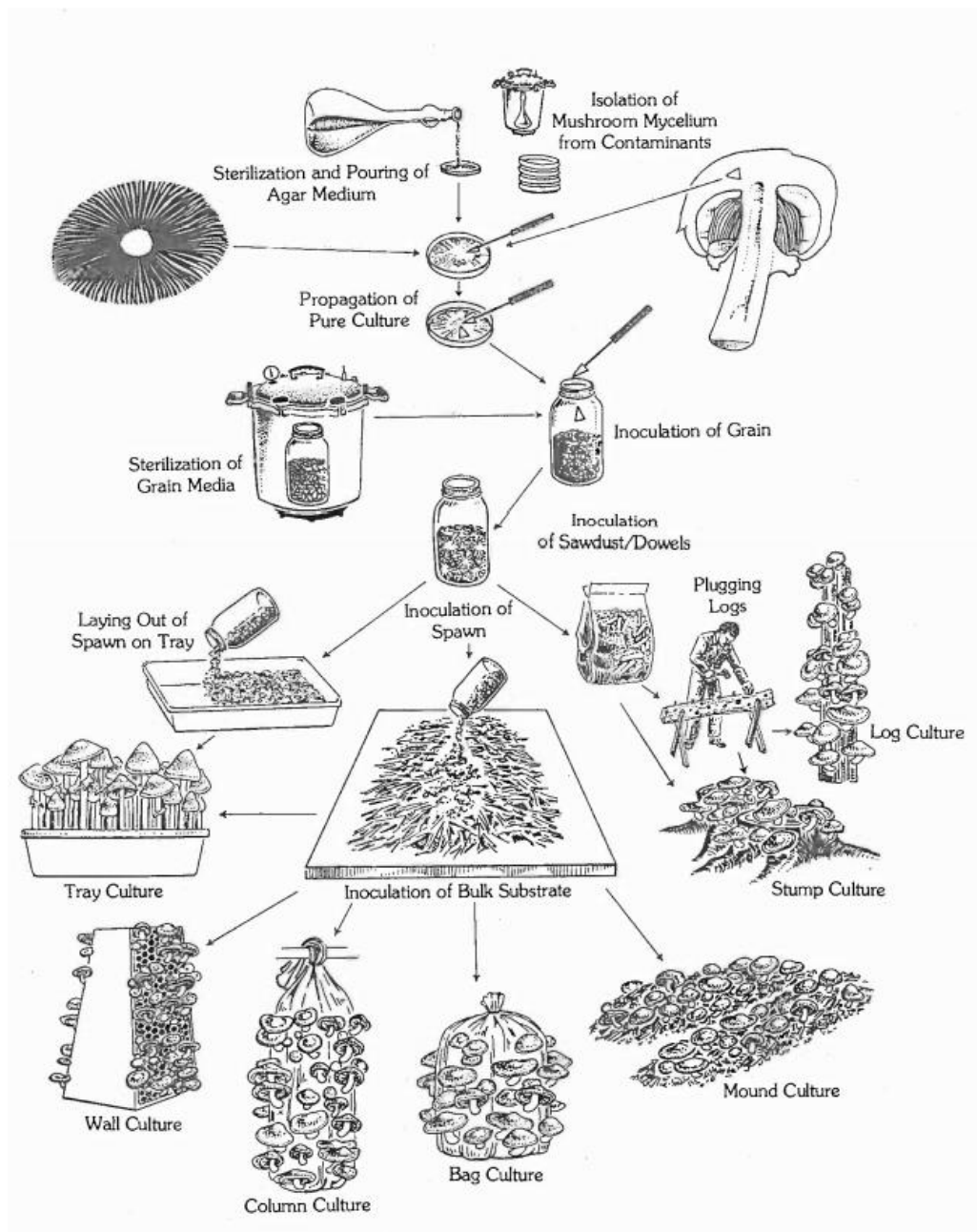


Figura 28: Etapas y técnicas para el cultivo de hongos

Paul Stamet. Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms. Ten Speed Press

4. Proceso de fabricación de un producto a partir de micelio

Ya se han explicado las primeras fases que conlleva el cultivo de micelio y las diferentes formas existentes para su obtención. Ahora, en este punto, se hace hincapié en las fases que vienen a continuación, una vez se tiene un sustrato ya colonizado y que se pretende utilizar para la creación de un producto nuevo.

No todos los tipos de cultivo descritos con anterioridad son necesarios para la fabricación de un producto. Por ejemplo, no es imprescindible partir desde un cultivo en placas Petri o desde un cultivo líquido. Se pueden inocular directamente las esporas o la porción tallo directamente sobre un sustrato de granos, rico en nutrientes, como por ejemplo de arroz integral. Sin embargo, para describir el proceso de elaboración de un producto, se partirá desde estos primeros medios de cultivo que permiten visualizar fácilmente agentes contaminantes desde el principio, y que dotan al micelio de la fuerza suficiente para, a posteriori, poder desarrollarse con comodidad en cualquier otro tipo de sustrato. De este modo, las etapas de todo el proceso son las siguientes:

1. Cultivo en medio agar
2. Cultivo en grano
3. Cultivo en molde
4. Horneado.

En primer lugar, se prepara un medio de cultivo en base agar. Para ello, se selecciona una de las recetas mencionadas en el apartado 3.2.1 (ver apartado 3.2.1 Placas Petri) y se llevan a cabo las medidas de esterilización del medio con ayuda de una olla a presión. Mientras se esteriliza el medio de cultivo, se limpia y desinfecta el entorno de trabajo (laboratorio o caja de aire estéril), se esterilizan todas las herramientas y se preparan todos los medios necesarios. Una vez pasado el tiempo de esterilización, se debe esperar unos minutos para que el medio se enfríe a temperatura ambiente, pero sin que llegue a solidificar, hasta que alcance una temperatura que permita la manipulación del recipiente. A continuación, en el laboratorio o en la caja de aire estéril, se deposita el medio agar en estado líquido en el interior de las placas Petri, y se espera unos minutos a que el líquido solidifique. Cuando esto ha ocurrido, se destapan las placas Petri y con ayuda de unas pinzas o tijeras, se inocula el medio agar con esporas o con una porción del tallo de una seta.

En el plazo de 1 o 2 semanas, dependiendo de la velocidad de propagación de la especie y la calidad del medio del cultivo, se puede apreciar cómo el micelio se ha propagado por todo el medio (ver Figura 29).



Figura 29: Micelio creciendo en medio agar en el interior de una placa Petri

What is the Stamets P Value® System? Fungi Perfect

Tras esta primera etapa, se debe traspasar el cultivo a un nuevo medio. Normalmente para esta primera transición se emplea un cultivo con granos. Se pueden utilizar, por ejemplo, los mencionados en el apartado 3.2.3 (ver Apartado 3.2.3. Granos). Al igual que con el medio de cultivo en base agar, el primer paso consiste en esterilizar el medio. Cuando tanto el medio de cultivo, como el laboratorio y las herramientas están preparadas, se procede a realizar la nueva

inoculación. Dentro del medio estéril se abre la placa Petri y se realizan varios cortes con un cúter sobre el manto de micelio, para luego introducir las porciones cortadas en el interior del recipiente donde se encuentran los granos (ver Figura 21). La propagación total del micelio en este medio puede durar entre 2 o 3 semanas [31].

Una vez obtenido el cultivo en grano, se prepara un sustrato de segunda generación. Este va a ser en medio de cultivo que va a dotar al material de sus propiedades características. Se pueden utilizar los sustratos mencionados en el apartado 3.2.4 (ver Apartado 3.2.4. Sustratos de segunda generación). Estos tipos de sustratos, al igual que los granos, se deben tratar previamente antes de ser inoculados. En primer lugar, se deja el sustrato en remojo durante un periodo de 24 horas. A continuación, conviene triturar el sustrato para minimizar el tamaño de las partículas junto con agua y, a posteriori, se deja secar durante 2 horas para que el agua se evapore. Por último, se somete el sustrato al proceso de pasteurización, en el que se eliminan los microorganismos contaminantes sin alterar la composición y cualidades del sustrato. Tras este tratamiento previo a la inoculación, se procede al cultivo e inoculación en molde [31, 32].

El molde dará forma al producto final y puede estar fabricado de prácticamente cualquier material, mientras sea rígido y no se degrade durante su empleo. Son válidos materiales cerámicos, plásticos o metálicos. Cabe mencionar que es preferible que el molde sea transparente para así poder observar si la propagación del micelio se está produciendo de la manera apropiada. Además, este debe de tener orificios que permitan el intercambio de aire, o bien una zona en contacto con el exterior, protegida con papel film con pequeños orificios, Parafilm o tela de algodón, ya que se debe evitar que entren partículas contaminantes en el interior del molde. Cuando el molde está preparado y limpio, se introduce el sustrato de segunda generación en su interior. Esta parte del proceso se debe realizar al mismo tiempo que se inocula el sustrato con los granos de micelio. Se debe de introducir un volumen de granos igual a aproximadamente un 10% del volumen total del molde, y es mejor realizar este proceso por capas. Es decir, primero se deposita una capa de sustrato de segunda generación. A continuación, unos pocos granos y después otra capa de sustrato, seguido de más granos. Así, hasta casi completar el volumen total del molde. Por último, se vierte agua previamente hervida y enfriada, hasta completar la capacidad total.

Tras un periodo de 1 o 2 semanas, se retira el cultivo del molde y se deja el producto en el interior de una caja estéril durante una semana más (ver Figura 30). Con este paso se consigue que el micelio se propague también por aquellas zonas que, en la etapa anterior, no tenían acceso a tanto oxígeno; estas zonas podrían ser las paredes del molde o la base. Una vez que se observa una propagación óptima del micelio por todo el sustrato, comienza la última etapa, el horneado.



Figura 30: Ladrillo de micelio en el interior de una caja esterilizada

How to make a myco-brick. MycoWorks Media. Youtube video

Para que el micelio no continúe con su desarrollo y comience a producir setas, es necesario meter el producto final en el horno a una temperatura de 70°C durante un periodo de entre 5 y 10 horas. De este modo, se elimina toda la humedad que pueda haber en el interior del composite. Este proceso puede ser mucho más eficaz y puede mejorar las propiedades del composite si, al mismo tiempo que se calienta el material, se somete a esfuerzos de compresión, método conocido como Autoclave (ver Figura 31) [32].



Figura 31: Panel de micelio en la etapa de cocción y compresión (Autoclave)

Ecovative Design: Manufactured wood made without trees. Youtube video

En el siguiente esquema se resumen las etapas que conlleva la fabricación de un producto utilizando micelio (ver Figura 32).

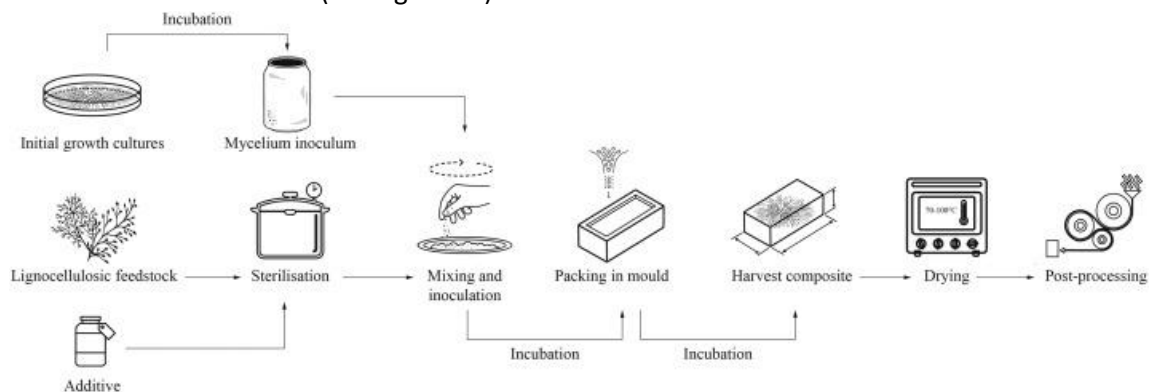


Figura 32: Proceso de fabricación de un producto con material composite en base micelio [31]

5. Propiedades del material

El material resultante que se obtiene tras el cultivo en molde es un composite formado por el sustrato y las redes de micelio. El micelio actúa como aglutinante natural, unifica las partículas del sustrato y las compacta, otorgando estabilidad dimensional y consistencia al producto final. Las principales ventajas que caracterizan a este material son su bajo coste, al existir la posibilidad de emplear residuos agrícolas para su fabricación y su biodegradabilidad, que fomenta el desarrollo de una economía circular. La obtención del composite supone también un bajo impacto ambiental, ya que el micelio durante su desarrollo libera pequeñas cantidades de CO_2 y, además, en las distintas fases de la producción, apenas se necesita

electricidad, calefacción o agua, a excepción de la última etapa de secado que supone el mayor gasto de energía de todo el proceso [33].

Las propiedades finales del composite dependen de la especie de hongo que se utilice, su naturaleza, su potencial de propagación y su capacidad para degradar el sustrato. También influye, sobre todo en las propiedades mecánicas, el tipo de sustrato que se emplee y la forma en la que se encuentren sus partículas. Por último, también tienen relevancia la temperatura a la que se realiza el cultivo, el % de humedad final del composite, el procedimiento de secado empleado y la densidad final [31].

Las especies que se estudian y se utilizan actualmente son aquellas pertenecientes al grupo de los *hongos xilófagos*. Este grupo pertenece a la familia de los descomponedores primarios, que se caracterizan por su capacidad para crecer en una gran variedad de biomasa lignocelulósica (materia seca vegetal) y de desarrollar una infinita cantidad de hifas, tan solo limitada por el espacio disponible. Los *hongos xilófagos* presentan una muy buena tasa de colonización del sustrato y, por ello, son los más utilizados. Hay registradas actualmente en las patentes de composites de micelio, 36 especies pertenecientes a este grupo. Entre ellas se destacan: *Trametes Versicolor*, *Ganoderma Lucidum*, *Pleurotus Ostreatus*, *Fomes fomentarius*, *Schizophyllum commune* y *Pleurotus djamor* (ver Figura 33) [31].

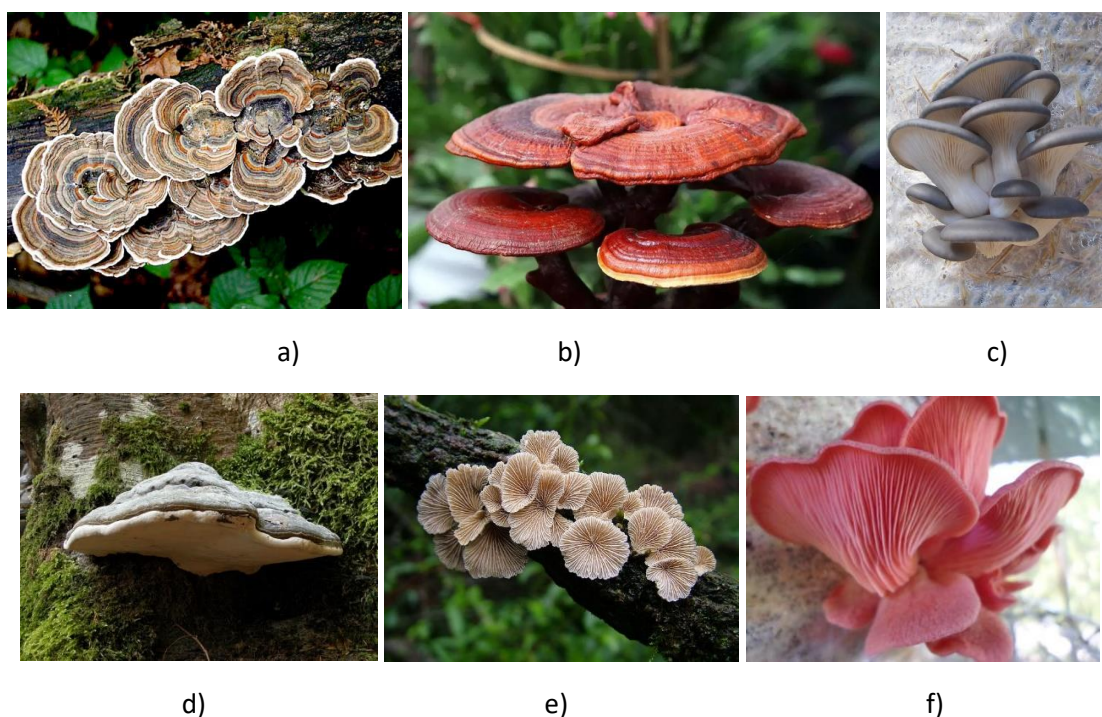


Figura 33: a) *Trametes Versicolor* b) *Ganoderma Lucidum* c) *Pleurotus Ostreatus* d) *Fomes fomentarius* e) *Schizophyllum commune* f) *Pleurotus djamor*

a) Tomada y editada por: Jerzy Opióła b) Changsha Botaniex Inc. c) mushbank. Etsy.com d) elmundoyesusplantas.blogspot.com e) Tomada y editada por: Robertson. NSW. AU f) mushbank. Esty.com

Las principales propiedades que puede tener el composite final se explican en los siguientes apartados.

5.1 Baja conductividad térmica

La baja conductividad térmica presente en los composites de micelio convierte a este material en una buena alternativa al poliestireno extruido y al poliuretano en aplicaciones de aislamiento térmico. La densidad del composite influye en la capacidad de aislamiento térmico, cuanto menor sea la densidad del material, menor conductividad térmica presentará y, por lo tanto, mejor aislamiento. Por ejemplo, un aumento del 67% en la densidad del material, resultará en un aumento del 54% en la conductividad térmica en una muestra con sustrato de cáñamo. La relación existente entre la conductividad térmica y la densidad del material es el resultado de la presencia de aire seco encapsulado en el interior del composite, que se caracteriza por tener una muy baja conductividad térmica.

El porcentaje de humedad que tenga el composite también influye en la conductividad térmica, a menor porcentaje de humedad, mejor aislamiento térmico, aunque este factor influye en menor medida. Por ejemplo, un aumento del porcentaje de humedad en un 90%, tan solo aumentará la conductividad térmica del composite en un 15-20%, en una muestra con sustrato de cáñamo.

Los sustratos de cáñamo y paja debido a su baja densidad y porosidad son los sustratos que otorgan al composite un mejor aislamiento térmico. Sin embargo, aunque se emplee otros tipos de sustratos con peores propiedades de aislamiento, la baja conductividad térmica va a ser siempre una característica presente en todos los composites de micelio, lo que los convierte en una alternativa más barata y menos contaminante que los paneles actuales de aislamiento térmico utilizados en el sector de la construcción [34].

5.2 Aislamiento acústico

Los composites de micelio con una baja densidad utilizados como aislamiento térmico también presentan un buen aislamiento acústico, superando en algunas ocasiones a los paneles de corcho y a las espumas de poliuretano. El composite cuando mayor absorción de ruido presenta es cuando se encuentra en forma de espuma, donde tiene una mayor porosidad (ver Figura 34). Al tener una mayor porosidad, la energía de la onda sonora percibida por el composite se ve transformada en calor, lo que resulta en una absorción de ruido y en una reducción del sonido reflejado. La mayoría de los composites de micelio presentan un muy buen aislamiento acústico, sin embargo, los sustratos que incrementan aún más estas propiedades son la paja de arroz, el cáñamo y los desechos de paja. Absorciones acústicas de hasta el 70-75% a 1000Hz se han experimentado hasta en los peores sustratos [33, 34]. Paneles de aislamiento acústico con un coeficiente de reducción de ruido (NRC) de entre 0.4 y 0.53 están siendo vendidos por la empresa MOGU, como alternativa a los paneles comerciales de insonorización que se colocan en los techos, que tienen un NRC medio de 0.644 [31].



Figura 34: Composite de micelio en forma de espuma

Mycoflex. Ecovativdesign.com

5.3 Baja densidad

En general, todos los composites de micelio presentan una baja densidad, entre 60-130 kg/m^3 en el caso de aquellos formados por sustratos vegetales como tallos de trigo, paja, heno, cáñamo, etc. y entre 87-300 kg/m^3 en el caso de serrín de maderas duras o blandas. La densidad es un parámetro del composite que se debe controlar, ya que influirá en las características del producto final. Densidades más bajas supondrán mejores propiedades de aislamiento acústico y térmico. Densidades más elevadas mejorarán las propiedades mecánicas del material [31].

5.4 Resistencia mecánica

Es muy importante tener en cuenta la especie de hongo que se utiliza a la hora de obtener buenas propiedades mecánicas. La naturaleza del hongo y la manera que tiene de propagarse por el sustrato afectará a la densidad del material y, por lo tanto, a sus propiedades mecánicas. Cuanto mejor sean aglutinadas las partículas de sustrato por el micelio y cuanto más homogénea sea su propagación mejores propiedades mecánicas se obtendrán. Para lograr este objetivo, el micelio debe presentar afinidad por el sustrato elegido, de lo contrario la propagación será más lenta y no llegará a una correcta homogeneización. De este modo, las especies de *hongos xilófagos* suelen ser las seleccionadas.

A pesar de que son escasos los estudios que comparan el comportamiento mecánico de composites de diferentes especies, se ha experimentado mayores resistencias frente a esfuerzos de compresión por parte de aquellos constituidos por la especie *Trametes Versicolor* (ver Figura 35), en comparación con otros composites formados por *Pleurotus Ostreatus* o por la especie *Ganoderma Lucidum*. Sin embargo, en estas dos últimas, se han observado los mejores comportamientos frente a esfuerzos de tracción. Por último, los valores más altos de tensión de rotura han sido experimentados por composites constituidos por la especie *Schizophyllum commune*. Por otro lado, en cuanto al tipo de sustrato empleado, los composites compuestos por sustratos de serrín de maderas duras o blandas presentan una mayor resistencia a compresión y mayores valores de tensión de rotura que aquellos sustratos de paja, heno o cáñamo. También influye el tamaño de las partículas del sustrato, cuanto más pequeñas sean, mayor densidad se podrá obtener y, por lo tanto, mejores propiedades mecánicas. No obstante, las propiedades mecánicas del composite demuestran estar mucho más influenciadas por una

propagación homogénea y densificada de las redes de micelio que por la tipología del sustrato o el tamaño de las partículas. De este modo, conviene seleccionar el sustrato prestando una mayor atención a la cantidad de nutrientes que presenta y a su afinidad con la especie de hongo elegida [31, 34].



Figura 35: ladrillo de micelio constituido por la especie *Trametes Versicolor* en un ensayo a compresión [35]

5.5 Resistencia a la abrasión y resistencia frente a la degradación térmica

El tipo de sustrato que se seleccione, la forma y el tamaño de las partículas del sustrato, sí parece tener una mayor influencia en la capacidad del composite para resistir la abrasión. Las redes de micelio, por sí mismas no presentan esta propiedad, sin embargo, los composites de micelio formados por sustratos ricos en polímeros fenólicos naturales como la *lignina*, son capaces de producir dióxido de silicio (SiO_2), que proporciona una excelente resistencia a la abrasión y a la degradación térmica. Por ejemplo, el sustrato de cáscaras de arroz que puede contener entre un 25-30% de *lignina* y un 15-20% de SiO_2 , presenta una menor tasa de calor emitido (Heat release rate) durante la combustión que las espumas sintéticas como el poliestireno extruido y el aglomerado de madera. Elevadas tasas de calor emitido por parte de los materiales suponen un mayor riesgo de incendios, ya que el calor emitido incrementa la propagación de la llama, la generación de humos y la liberación de CO . Las bajas tasas de calor emitido en los sustratos de cáscaras de granos de arroz son debidas a la formación de una película carbonizada aislante en la superficie del composite que retarda la propagación de la llama, reduce la generación de humos y previene la oxidación (ver Figura 36a), 36b)) [34].



a)



b)

Figura 36: a) Experimento de resistencia a la abrasión situando un cono de helado sobre un ladrillo de micelio b) Película carbonizada aislante sobre la superficie de un ladrillo de micelio [36]

a) *Mycelium bricks. Youtube.com*

5.6 Absorción de agua

Uno de los mayores inconveniente presente en los composites de micelio es su tendencia para absorber grandes cantidades de agua rápidamente. Son capaces de aumentar su peso en un 40-580% al estar en contacto con agua durante 48-192 horas. La mayor absorción de agua es experimentada por aquellos composites compuestos por sustratos de fibra de algodón y de cáñola. Aquellos formados por pequeñas partículas como el serrín de haya, que otorgan al composite de una mayor densidad, son menos susceptibles a absorber agua. Sin embargo, siguen experimentando un aumento de peso considerable durante las primeras horas de contacto, lo que limita las aplicaciones de este material a aquellas destinadas a espacios interiores [34].

5.7 Tratamientos de mejora de las propiedades de un composite de micelio

Con el objetivo de mejorar las propiedades de los composites de micelio se pueden aplicar una serie de tratamientos y postratamientos que conviene conocer a la hora de considerar las posibles aplicaciones. Para disminuir la absorción de agua y mejorar la resistencia a la interperie del material, se puede aplicar sobre la superficie una capa de revestimiento de aceite de linaza o laca de uñas. Este revestimiento disminuye considerablemente la porosidad y por lo tanto, la filtración de agua. Ambas opciones fueron aplicadas por David Benjamin en su proyecto Hi-Fi Tower (ver Figura 15b)). Otras alternativa estudiada consisten en el recubrimiento del composite con films comestibles, fabricados de *chitosan*, *carragenano* y *xantano*, la

impregnación del composite en partículas de *nanocelulosa* y la adición de resina de alcohol, conocida como PFA. En la industria textil, están desarrollando una barrera frente a la humedad fabricada de proteínas insolubles, como zein de maíz, gluten de trigo y proteínas miofibrilares de los pescados, para poder fabricar prendas de ropa, gorras, sombreros y zapatos [31].

Aparte de los tratamientos frente a la humedad y la absorción de agua, la adición de fibras de vidrio es la opción más utilizada para mejorar la resistencia a la abrasión de los composites de micelio, debido a que aumenta significativamente el contenido de SiO_2 del material. A la hora de mejorar las propiedades mecánicas, el tratamiento térmico de cocción y compresión es el más efectivo (Autoclave). Sin embargo, cabe mencionar que este tratamiento no debe aplicarse si se desea utilizar el composite para aplicaciones relacionadas con el aislamiento acústico, ya que reduce su capacidad de absorción del sonido. Otro tratamiento para mejorar las propiedades mecánicas, consiste en la adición de infusiones en base a resina de soja, que apoya las uniones establecidas por las redes de micelio fortaleciéndolas aún más. Los composites tratados con resina de soja experimentan un considerable aumento en su resistencia a flexión llegando a poder competir con polímeros como el ABS y el polietileno de baja densidad (LDPE). Además, presentan una menor densidad y han sido propuestos como alternativa a estos polímeros en aplicaciones deportivas y como paneles en el interior de automóviles. También se plantea la hibridación de los composites de micelio con pequeñas cantidades de goma sintética como el caucho de estireno-butadieno (SBR). La adición de esta goma sintética disminuye ligeramente la velocidad de propagación del micelio por el sustrato, pero duplica los valores de resistencia a compresión, resistencia a flexión y el módulo elástico. El inconveniente que presenta es que supone costes adicionales en el procesado y una mayor dificultad para la biodegradación del material.

Con la finalidad de mejorar la resistencia a los agentes externos y al mismo tiempo las propiedades mecánicas, se plantean las estructuras sandwich. En la que dos placas de metal, madera o plástico recubren al composite, otorgándole una mayor resistencia y evitando la absorción de agua. No obstante, el aumento de las propiedades mecánicas, en este caso, no es tan significativo como en las opciones mencionadas con anterioridad y, por ello, dependiendo de la aplicación, puede ser una solución que no resulte rentable [34].

6. El camino hacia la industrialización

Las empresas que emplean los composites de micelio para fabricar productos son todavía empresas poco conocidas. Entre ellas, la que destaca por tener un mayor nivel de producción, es *Ecovative*. *Ecovative*, fundada en 2007, fue pionera en el desarrollo de productos combinando los desechos agrícolas y el micelio [37]. En 2009, la empresa se instaló en un almacén de $10.000m^2$ en Green Island, Nueva York, contando con una plantilla formada por biólogos, ingenieros, químicos y artistas (ver Figura 37). Actualmente, siguen trabajando en aumentar la producción y en encontrar nuevos clientes, tratando siempre de innovar y descubrir nuevas posibilidades para el micelio.



Figura 37: Nave industrial de la empresa *Ecovative*

Ecovatedesign.com

La producción a niveles industriales de los composites de micelio se ve actualmente limitada por parte de algunos factores como son: el tiempo de espera hasta que el micelio se propague por toda la pieza, la precaución que se debe tener para evitar la contaminación del cultivo y la necesidad de una gran cantidad de moldes.

En busca de acelerar la industrialización de estos productos, surgen investigaciones que tratan de aplicar otros métodos industriales de producción para fabricar este material.

6.1 Corte por hilo caliente y por fresadora mediante CNC

Del mismo modo que se aplica esta tecnología de fabricación con otros materiales, en el caso del micelio, se fabrica primero un bloque preforma. La utilización de un bloque preforma facilita el empleo de moldes sencillos que pueden servir para la fabricación de una amplia variedad de piezas de distintas formas geométricas. La máquina opera siguiendo las órdenes establecidas por un programa de control numérico (CNC) realizando cortes sobre la preforma. La idea consiste en trabajar sobre el bloque preforma con el micelio aún vivo, es decir, antes de someter el producto a la fase de cocción. De este modo, se consigue que la superficie recién cortada, sea totalmente cubierta por el micelio al cabo de pocos días, ya que experimentalmente se observa que el micelio presenta mayores dificultades para desarrollarse en las capas internas al bloque, encontrándose las capas exteriores mucho más pobladas al haber tenido más contacto con el oxígeno (ver Figura 38) [38].

Estas técnicas presentan como inconveniente que, al no haber sometido el bloque a la fase final de cocción, este puede no presentar la suficiente resistencia como para resistir el corte de la máquina, pudiendo producirse una deformación indeseada de la pieza con acabado irregulares. Por otro lado, la geometría realizada por la máquina de corte también se puede ver alterada si la pieza se somete a posteriori a la fase de cocción, ya que en esta etapa del proceso se produce una disminución de volumen que puede afectar a las dimensiones del producto final. De este modo, para realizar este tipo de operaciones se deberá seleccionar cuidadosamente tanto el tipo de sustrato como la especie de hongo, como se explicó en el apartado de propiedades, y se deberá tener en cuenta la reducción del volumen que se produce durante la etapa de cocción.



a)

b)

Figura 38: a) Bloque preforma antes de ser cortado por hilo caliente b) Bloque después de la operación de corte por hilo caliente [38]

6.2 Impresión 3D

El trabajo más conocido que emplea esta tecnología en la fabricación de composites de micelio es la silla *Mycelium chair*, diseñada por el Diseñador Eric Klarenbeek y presentada en el año 2013 en la *Dutch Design Week* (ver Figura 14). La impresión en 3D con micelio se basa en la impresión de una estructura utilizando como filamento un material que el micelio puede tomar como sustrato para obtener agua y nutrientes [14]. En el caso de la *Mycelium chair*, Eric Klarenbeek utilizó paja triturada mezclada con agua, pero también existen otras opciones como el cartón triturado mezclado con agua utilizado por *Blast Studio* (ver Figura 39 y Figura 40) [39].





Figura 39: Proceso de impresión 3D con micelio de Blast Studio

Blast-studio.com



Figura 40: Impresión 3D con filamentos de cartón reciclado

Lovely Trash - Mycelium 3d printing from waste. Youtube.com

La inoculación del micelio se puede realizar de dos formas, capa a capa o por zonas. El método capa a capa consiste en introducir granos de micelio mientras la máquina va construyendo la estructura por capas. Si se realiza por zonas, el diseño del producto ha sido realizado pensando en unas determinadas zonas de la estructura destinadas a la inoculación. Este último método es utilizado por *Blast Studio* a la hora de fabricar columnas de micelio que

son específicamente diseñadas para conservar la humedad durante más tiempo en algunas regiones y facilitar así la propagación del organismo (ver Figura 41).



Figura 41: Columnas de micelio impresas en 3D

Blast-studio.com

Este tipo de impresión 3D presenta mayores limitaciones que la impresión 3D con polímeros. Al igual que la impresión 3D con materiales cerámicos, los productos de micelio impresos en 3D requerirán postratamientos tales como el proceso de cocción u operaciones de pulido, limpieza y acabados finales [40].

6.3 La capacidad del micelio para generar nuevos enlaces

La capacidad que tiene el micelio para generar nuevos enlaces y formar redes se puede aprovechar en cualquiera de las tecnologías de fabricación explicadas, para unir piezas. En la impresión 3D por ejemplo, se pueden fabricar distintas partes de una misma columna por separado y luego juntarlas buscando la creación de nuevos enlaces entre ambas piezas (ver Figura 42). Este método se debe realizar antes de la fase de cocción y todas las piezas deben haber sido colonizadas con la misma especie de hongo.





Figura 43: Ensamblaje de piezas impresas en 3D para formar una columna de micelio

Lovely Trash - Mycelium 3d printing from waste. Youtube.com

La ventaja que presenta es que no se necesita una gran máquina de impresión 3D o grandes moldes para fabricar piezas de gran tamaño. Las distintas piezas se unen por la propia naturaleza del micelio al propagarse por el sustrato. A continuación, se muestra otro ejemplo para la fabricación del bloque que se ve en la Figura 38 (ver Figura 44a), 44b) y 44c)) [38].

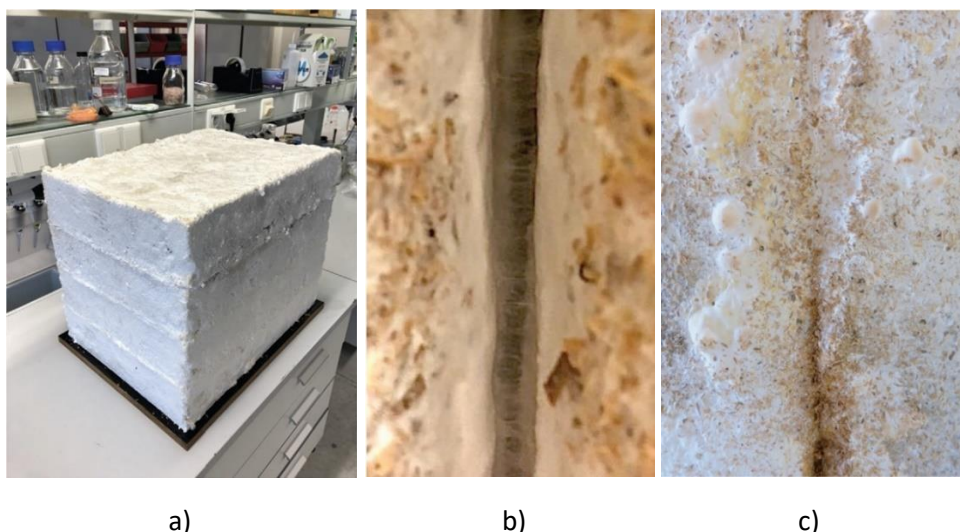


Figura 44: a) Unión de 4 bloques de micelio b) Unión de las hifas en una separación de 5mm c) Hifas de la imagen b) 7 días después [38]

Esta capacidad del micelio no solo puede servir para unir piezas y formar mayores estructuras, también es de gran utilidad a la hora de autorreparar un producto. Si aparecen grietas, el micelio al propagarse es capaz de volver a sellar esas zonas donde se produjo el agrietamiento. Por eso, el micelio comienza a llamar la atención en campos como la arquitectura, ante la posibilidad de crear estructuras autorreparables y duraderas. El inconveniente que presenta esta idea es que es necesario mantener al micelio vivo, lo que significa prescindir de la etapa final de cocción. Al prescindir de esta etapa, se obtienen peores propiedades en el producto final, sobre todo, se experimentan propiedades mecánicas inferiores. Por otro lado, si el micelio sigue vivo, puede continuar su desarrollo y acabar produciendo setas, que suponen un problema principalmente, por las esporas que generan. Si

el organismo comienza a reproducirse mediante esporas puede llegar a colonizar todo el entorno que se encuentra a su alrededor, lo cual no será deseable en el interior de una casa por ejemplo. Aún así, se está investigando esta posibilidad de mantener el organismo vivo en el producto final, por el interés que supone que continúe generando nuevos enlaces. Para ello, se están utilizando inhibidores de producción de setas como el compuesto químico CHIR99021 y los tratamientos con cloruro de litio ($LiCl$), capaces de permitir el desarrollo del micelio sin que se lleguen a generar setas [38].

En busca de remediar la menor propagación del micelio que se produce en el centro de las piezas (ver Figura 38 b)), surge como posible solución mezclar el sustrato junto con algas productoras de oxígeno, situándolas especialmente en el centro y propiciando así, la propagación del micelio de manera homogénea por toda la pieza [38].

Todavía es pronto para hablar de una producción a gran escala de los composites de micelio. Estudios como el realizado por Daniel Grimm y Han A.B. Wösten, “*Mushroom cultivation in the circular economy*”, proponen que los productos de micelio formen parte de la industria de producción de setas, ya que se trata de un sector muy desarrollado, con altos volúmenes de producción y con un conocimiento avanzado sobre el reino *Fungi*. Aproximaciones de este tipo pueden ser claves para lograr producciones a niveles industriales. Además, cada año aumentan el número de patentes relacionadas con los composites de micelio, de modo que el futuro de esta nueva industria es esperanzador [38, 41].

7. Los composites de micelio al finalizar su vida útil

Una de las principales ventajas que presenta este material es su biodegradabilidad. Por este motivo, resulta sencillo para las empresas incorporar en su producción una economía circular que siga las bases de la filosofía “De la cuna a la cuna” (“Cradle to Cradle”), ya que tan solo con tirar el producto fabricado en micelio a la tierra, ya está suponiendo un aporte de nutrientes y minerales que enriquece la calidad del suelo, teniendo una nueva utilidad al final de su vida útil. Sin embargo, existen otras alternativas donde los composites de micelio como desecho pueden ser aún más interesantes [42].

7.1 Compost

La agricultura moderna tiene una gran dependencia del uso de fertilizantes minerales. Su desarrollo supone el 50% de toda la energía que emplea la industria de la agricultura, lo que significa un aumento en las emisiones de óxido nitroso N_2O a la atmósfera, uno de los principales gases de efecto invernadero. Además, el uso de este tipo de fertilizantes, a largo plazo, supone una pérdida de nutrientes en el suelo y una disminución de su capacidad para retener agua, necesitando cada vez más cantidad de fertilizantes para poder cultivar.

Los sustratos empleados en los composites de micelio son propuestos como sustitutos de los fertilizantes minerales. A pesar de que poseen menores cantidades de minerales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio, presentan la ventaja de tener una liberación de nutrientes más lenta durante su degradación, lo que permite que las plantas se puedan alimentar del sustrato de manera más eficiente. Además, mejoran la estructura del suelo disminuyendo su excesiva

compactación, aumentan la cantidad de materia orgánica disponible, mejoran la capacidad de absorción de agua, regulan la temperatura y aumentan la actividad de los microorganismos presentes [41].

7.2 Alimento para animales

La Unión Europea depende de las importaciones de comida animal en base de soja en un 70%. La soja tiene un enorme impacto ambiental ya que su producción está asociada con la deforestación. La mayoría de la soja que llega al continente europeo proviene de Brasil, donde en la selva amazónica los árboles son talados para realizar nuevos cultivos de soja. La Unión Europea trata de disminuir esta dependencia y busca nuevas alternativas para alimentar a los animales en la industria ganadera [43, 41]. Al finalizar la vida útil de los composites de micelio, estos se plantean como parte de la dieta de algunos animales como peces, vacas, cerdos e insectos, significando una nueva alternativa que puede aprovechar la Unión Europea para disminuir su dependencia de la soja [41].

7.3 Sustrato para un nuevo cultivo

El cultivo de una nueva especie de hongo se puede realizar sobre sustratos que ya han sido colonizados por otra especie. Para poder realizar esta técnica, el micelio anterior no puede encontrarse vivo, como es el caso de los composites de micelio. Se produce que, la nueva especie de hongo introducida se alimenta de los nutrientes sobrantes que ha dejado la antigua e incluso del propio micelio anterior. El micólogo Paul Stamets ha sido capaz de cultivar hasta 4 especies de hongos consecutivos reutilizando un mismo sustrato [30].

7.4 Generación de energía

El etanol (C_2H_5OH) es un compuesto químico que, además de utilizarse en la fabricación de bebidas alcohólicas, en la fabricación de disolventes o como compuesto de partida para la síntesis de otros productos, se puede utilizar como combustible [44]. Los desechos que supone el cultivo de hongos pueden ser aprovechados para la generación de bioetanol, ya que algunas especies como *Lenzites betulinus* o *Trichoderma Reesei*, producen etanol al fermentar azúcares simples como la glucosa, la manosa o la celobiosa cuando degradan el sustrato del que se alimentan. De este modo, los composites de micelio se proponen como una fuente para la generación de biocombustibles. Esto se debe a que la producción convencional del etanol supone un importante impacto ambiental al requerir grandes cultivos de maíz o de caña de azúcar que, al igual que los cultivos de soja, dan pie a la deforestación, el uso de fertilizantes minerales y el uso de pesticidas [45, 46].

Estas alternativas mencionadas se han estudiado principalmente para los sustratos que ya han sido cultivados con hongos en las grandes granjas de cultivo que exportan setas para alimentación o para la fabricación de medicamentos. Por el momento, no hay ninguna normativa establecida sobre cómo las empresas deben lidiar con los composites de micelio al finalizar su vida útil, ya que todavía se trata de una industria emergente. Sin embargo, se plantea la posibilidad de que, si estas opciones son aplicables para los sustratos sobrantes de las granjas

de cultivo de hongos, quizás también se pueden aplicar para los composites de micelio. Por la sencilla razón de que, la única diferencia entre ambos desechos se encuentra en que los composites de micelio se someten a un proceso de cocción al final de su producción. Aun así, al ser productos biodegradables, hasta ahora la alternativa más extendida es la de enviarlos de nuevo a la tierra, sirviendo así como fuente de nutrientes para otros seres vivos [41].

A continuación, se muestra un diagrama que ilustra cómo sería una economía circular en la industria de cultivo de hongos (ver Figura 45).

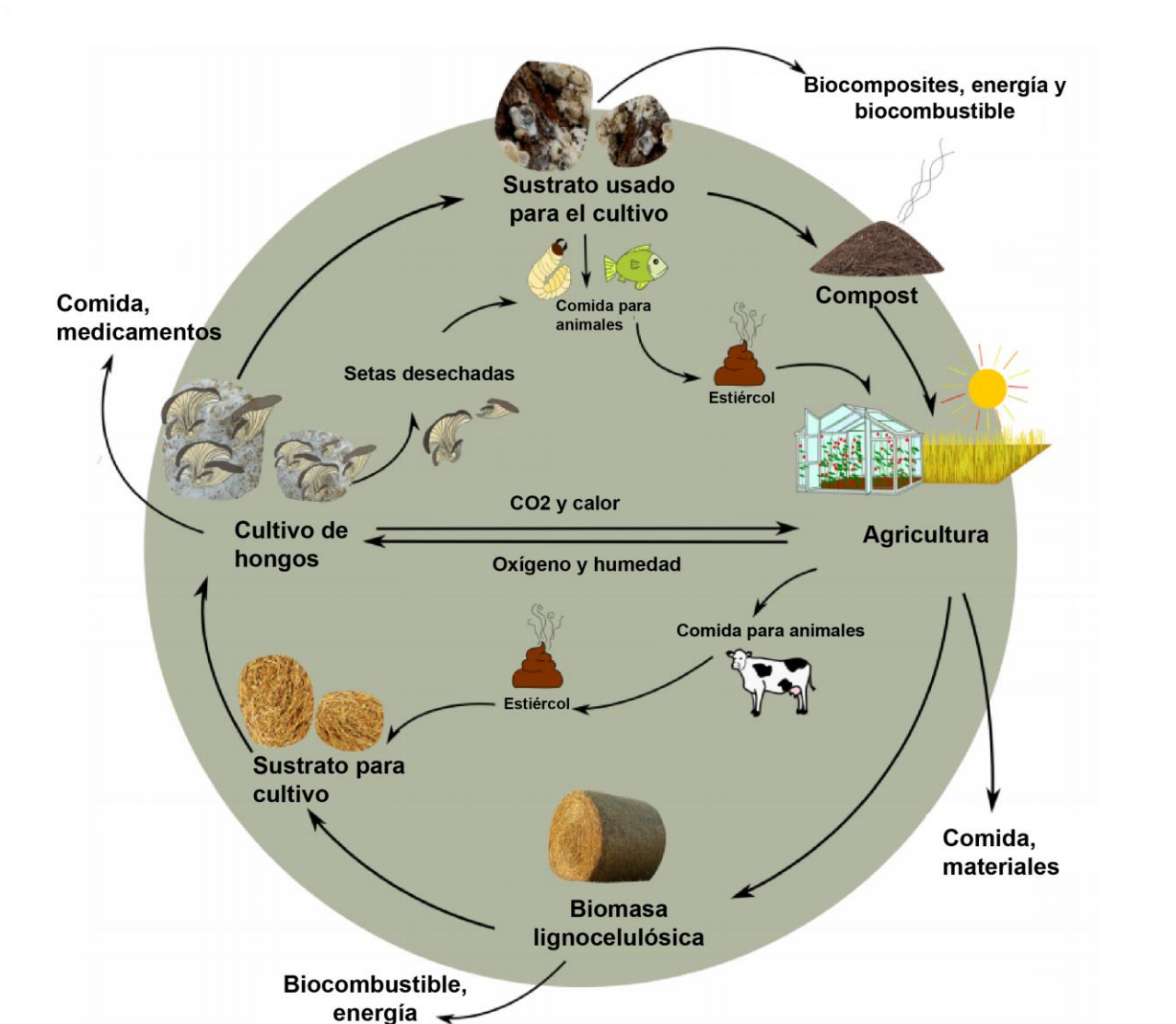


Figura 45: Economía circular aprovechando el sustrato tras el cultivo de hongos [41]

8. Fase experimental

Con el objetivo de poner en práctica los conocimientos adquiridos y experimentar el ciclo de vida del micelio, se realizaron varios cultivos que derivaron en 45 composites de tres especies distintas de hongo, *Pleurotus Ostreatus*, *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum*. Posteriormente, se sometieron los composites obtenidos a un ensayo a compresión, cuyo objetivo era la caracterización mecánica del material.

El primer cultivo se realizó a modo de experimentación con el fin de practicar las diferentes técnicas y habilidades que requieren el desarrollo de un cultivo. Es decir, la rapidez y fluidez a la hora de inocular un nuevo medio de cultivo, la limpieza, la preparación del sustrato, su debida esterilización etc. De este modo, se optó por una especie de hongo fácil de obtener y por herramientas y utensilios caseros.

La especie de hongo seleccionada para este primer cultivo fue la especie *Pleurotus Ostreatus*, popularmente conocida como la Seta Ostra (ver Figura 46). Esta especie se puede encontrar en cualquier supermercado, al ser un hongo comestible y tener una alta demanda entre los consumidores [47].



Figura 46: *Seta Ostra* y su envase de venta en supermercado

Supermercado.eroski.es

El método empleado para realizar el cultivo fue la Inoculación Directa desde Tallo (ver Apartado 3.1.1 Método de Inoculación Directa desde Tallo (Stem Butt Method)) y los utensilios y herramientas utilizados fueron:

- Olla grande de cocina
- Caja de aire esterilizado (Still Air Box) (ver Figura 47).
- Lámpara de alcohol
- Cúter
- Tarro de vidrio
- Pinzas

- Alcohol etílico de 96°

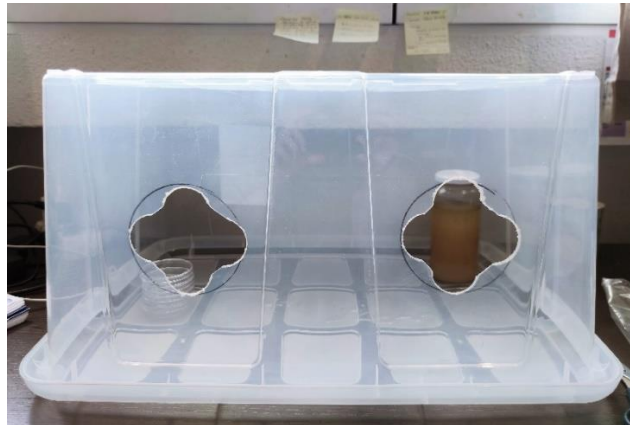


Figura 47: Caja de aire esterilizado (Still Air Box) fabricada de manera casera al practicar 2 orificios para introducir las manos sobre la superficie de una caja de plástico

El medio de cultivo elegido fue arroz integral, por su gran capacidad para retener humedad y por su facilidad de obtención (ver Apartado 3.2.3. Granos).

El desarrollo del primer cultivo supuso las siguientes etapas:

1. En primer lugar, se dejó el arroz integral en remojo durante un periodo de 24 horas.
2. Tras haber pasado este periodo de tiempo, se cocinó parcialmente el arroz a fuego medio durante 10 minutos y posteriormente, se dejó secar durante 1 hora.
3. Se introdujo el arroz integral en el interior del recipiente de vidrio. La tapa fue previamente agujerada y cubierta con algodón a modo de filtro.
4. El siguiente paso consistió en la esterilización del medio de cultivo. Se introdujo el tarro de vidrio, con el arroz en su interior, en una olla. Para realizar esta técnica, conocida como Pasteurización, se llenó la olla de agua hasta cubrir el culo del tarro y se hirvió el agua, con la tapa de la olla cerrada, durante 3 horas, a un nivel 4 de temperatura. De este modo, con la elevada presión y temperatura alcanzada en el interior del recipiente, durante un tiempo prolongado, desapareció el resto de microorganismos capaces de competir con el desarrollo del micelio.
5. Por último, se dejó enfriar el tarro a temperatura ambiente y se dio paso a la Inoculación Directa desde Tallo en el interior de la caja de aire esterilizado.

Este primer cultivo se dejó crecer durante 3 meses, su evolución se ve reflejada en las siguientes imágenes (Ver Figura 48 a), b), c), d), e), f) y g)).



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

Figura 48: Cultivo experimental de la especie *P. Ostreatus* en arroz integral a) 23 de febrero 2021, 3 días después de la inoculación b) 27 de febrero, 7 días después de la inoculación c) 4 de marzo, 2 semanas después de la inoculación d) 23 de marzo, 1 mes después de la inoculación e) 9 de abril, 1 mes y 19 días después de la inoculación f) 28 de abril, 2 meses y 1 semana después de la inoculación g) 10 de mayo, 2 meses y 3 semanas después de la inoculación

Se observa cómo el crecimiento del micelio sigue un desarrollo exponencial. Con una propagación cada vez más rápida hasta llegar a la degradación del medio de cultivo, momento en el que el crecimiento se ralentiza. Se aprecia esta degradación en el líquido marrón que va quedando en el fondo del tarro en las imágenes 48 f) y 48 g). A partir de ese momento, el cultivo debe ser traspasado a un nuevo medio.

Mientras se observaba el crecimiento exitoso de este primer cultivo, se compraron dos nuevas especies, con el objetivo de realizar una comparativa de las distintas velocidades de crecimiento según la especie (ver Figura 49). Las especies seleccionadas fueron aquellas más comunes a la hora de realizar estudios y de fabricar composites de micelio. Estas fueron las especies *xilófagas*: *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum* (ver Figura 33 a) y 33 b), Apartado 5. Propiedades del material).



Figura 49: *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum*, compradas a través de la plataforma online *Etsy.com* al proveedor *KinokoCultures*

Antes de realizar nuevos cultivos en arroz integral, se traspasaron las nuevas especies compradas a cultivos en placas Petri en medio Agar. La finalidad de esta transición era poner práctica una nueva técnica de cultivo y obtener varias muestras de las nuevas especies. De este modo, en caso de contaminación, no hubiera sido necesario volver a adquirir las especies. Como ya se disponía del tarro experimental de *Pleurotus Ostreatus*, esta especie quedó descartada de los cultivos en placas Petri.

La receta elegida para preparar el medio de cultivo fue la siguiente:

Dextrosa de Patata Agar (PDA)	• Miel - 10 ml • Patatas hervidas - 150 g -> Dextrosa de Patata • Alga Agar-Agar en polvo - 10g
-------------------------------	--

Tabla 5: Receta medio de cultivo en base Agar

Radical Mycology: A Treatise on Seeing and Working with Fungi

El medio de cultivo, una vez preparado, fue esterilizado durante 90 minutos en una olla de cocina, del mismo modo que se realizó con el arroz integral, pero durante un tiempo menor (ver Figura 50 a) y 50 b)).

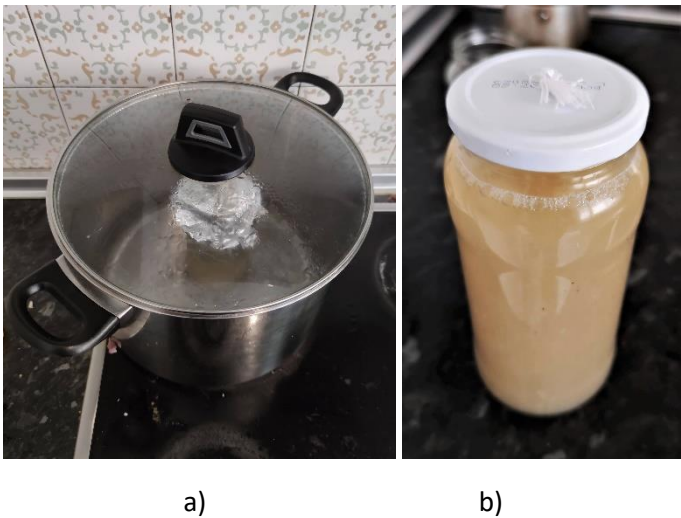


Figura 50: a) Esterilización del medio de cultivo en base Agar b) Medio de cultivo en base Agar (PDA) tras la esterilización

Tras el proceso de esterilización, se procedió a la inoculación desde placa Petri a placa Petri. De cada especie comprada, se obtuvieron otros 3 nuevos cultivos en placa Petri, recortando con un cúter pequeñas porciones del cultivo original e introduciéndolas en los nuevos medios de cultivo (ver Figura 21 y Figura 51).

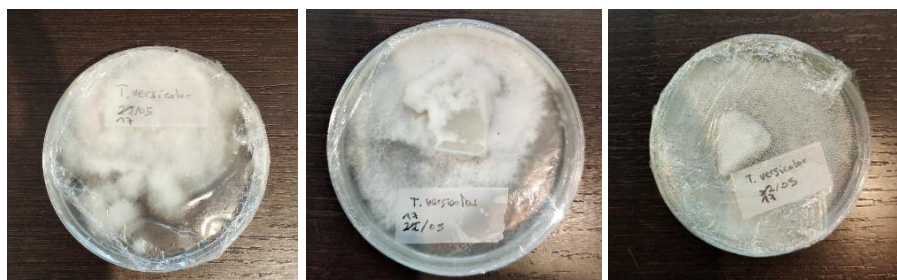


Figura 51: Transición desde placa Petri a placa Petri de las especies *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum*

La evolución de estos nuevos cultivos en placa Petri se pueden apreciar a continuación (ver Figura 52 a), b), c) y d) y Figura 53 a), b), c) y d)).



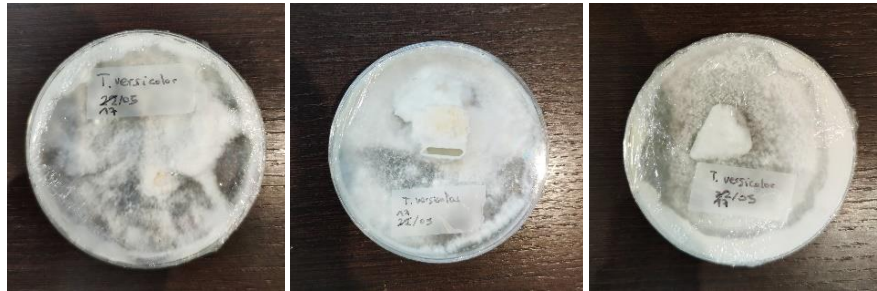
a)



b)

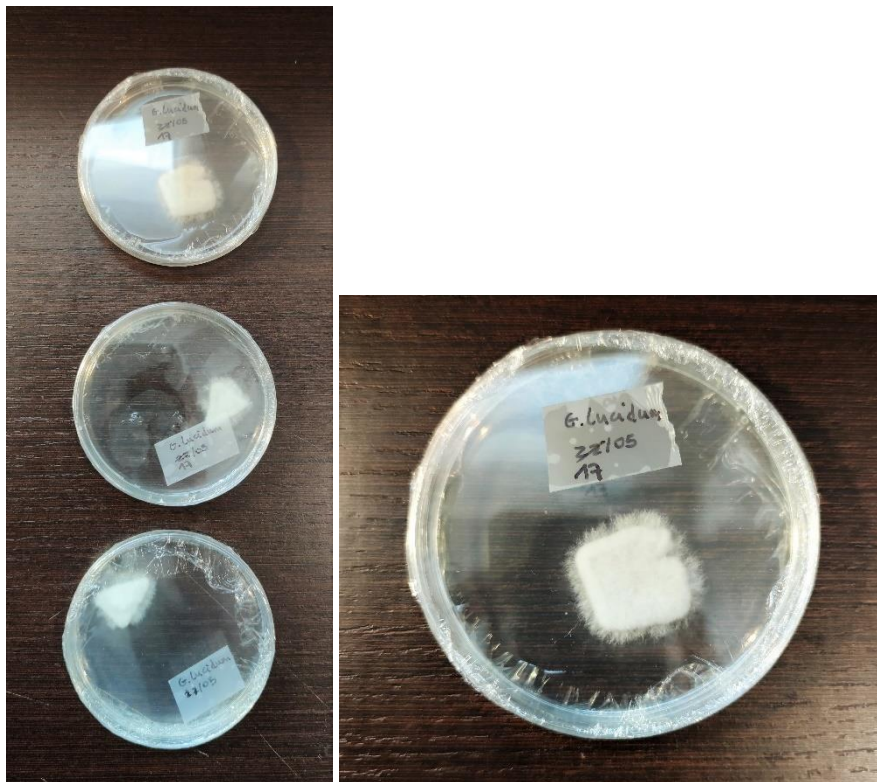


c)

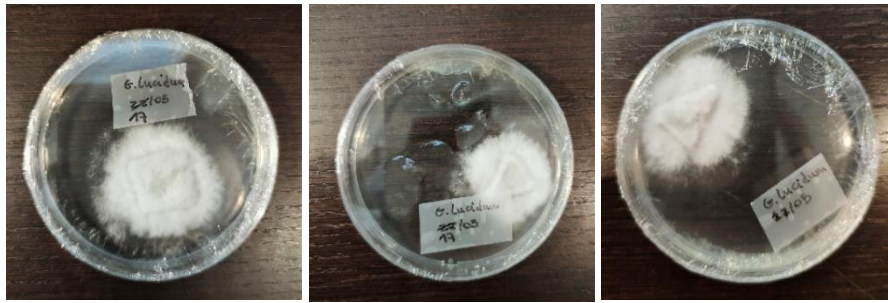


d)

Figura 52: a) 21 de abril, *T. Versicolor* 4 días después de la inoculación b) 23 de abril, *T. Versicolor* 6 días después de la inoculación c) 28 de abril, *T. Versicolor* 11 días después de la inoculación d) 10 de mayo, *T. Versicolor* 23 días después de la inoculación



a)



b)



c)



d)

Figura 53: a) 21 de abril, *G. Lucidum* 4 días después de la inoculación b) 23 de abril, *G. Lucidum* 6 días después de la inoculación c) 28 de abril, *G. Lucidum* 11 días después de la inoculación d) 10 de mayo, *G. Lucidum* 23 días después de la inoculación

Los cultivos en tarro se realizaron al día siguiente de la inoculación en placas Petri, tomando muestras de las placas Petri originales (ver Figura 49) e introduciéndolas en el interior del tarro con arroz integral. Esto fue así en el caso de las especies *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum*. En el caso de la especie *Pleurotus Ostreatus*, se tomaron muestras del primer cultivo que se realizó en tarro en arroz integral (ver Figura 48). A continuación, se muestra una comparativa del crecimiento de cada una de las especies que se desarrolló paralelamente al cultivo en placas Petri (ver Figura 54 a), b) y c)). También se realizaron dos cultivos en bolsa para las especies *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum* (ver Figura 55 a), b) y c)).



a)



b)



c)

Figura 54: a) 23 de abril, 5 días después de la inoculación. *P.Ostreatus* a la izquierda, *G.Lucidum* al centro y *T.Versicolor* a la derecha b) 28 de abril, 10 días después de la inoculación. *G.Lucidum* a la izquierda, *T.Versicolor* al centro y *P.Ostreatus* a la derecha c) 10 de mayo, 22 días después de la inoculación. *G.Lucidum* a la izquierda, *T.Versicolor* al centro y *P.Ostreatus* a la derecha

En las imágenes anteriores se observa claramente cómo la especie *Trametes Versicolor* tiene una mayor velocidad de propagación en arroz integral que las especies *Ganoderma Lucidum* y *Pleurotus Ostreatus*.

Cultivos en bolsa de las especies *Trametes Versicolor* y *Ganoderma Lucidum*:



a)



b)



c)

Figura 55: a) 23 de abril, 5 días después de la inoculación. *T.Versicolor* a la izquierda, *G.Lucidum* a la derecha b) 28 de abril, 10 días después de la inoculación. *T.Versicolor* a la izquierda, *G.Lucidum* a la derecha c) 10 de mayo, 22 días después de la inoculación. *T.Versicolor* a la izquierda, *G.Lucidum* a la derecha

Las bolsas de cultivo fueron realizadas de manera casera a partir de bolsas de polipropileno para guardar el pan. En ellas se practicaron orificios cubiertos por algodón a modo de filtro y fueron selladas tras la inoculación mediante el calor ejercido por una plancha para planchar la ropa.

A pesar de encontrarse fuera del estudio, merece la pena mostrar el segundo cultivo experimental realizado con la especie *Pleurotus Ostreatus*, en un medio de granos de café y cartón, que se desarrolló paralelamente a los cultivos mencionados anteriormente (ver Figura 56). Con este experimento se pretendía demostrar la capacidad que tiene el micelio para crecer en medios no tan cercanos a su entorno natural y visualizar la atracción que experimenta por la cola que aglutina las capas de cartón corrugado.



Figura 56: *Pleurotus Ostreatus* cultivado en granos de café y cartón

Tras haber obtenido suficiente grano (grain spawn) de cada especie de hongo, el siguiente objetivo consistía en el desarrollo de composites de micelio a partir de sustratos de segunda generación (ver Apartado 3.2.4 Sustratos de Segunda Generación). Los sustratos seleccionados fueron serrín de madera de haya (madera dura), cáñamo y heno, por ser comunes a la hora de fabricar composites de micelio y por ser considerados desechos por parte de la agricultura industrial. Fueron comprados a través de la página web de la tienda de mascotas *Zoomalia.es* [48].

El estudio consistía en el análisis del crecimiento de cada una de las especies en cada tipo de sustrato y, como existían riesgos de contaminación, se desarrollaron 5 probetas de cada tipo, 45 probetas en total. La forma seleccionada para las probetas fue de ladrillo, pensando en posteriores ensayos a compresión. Esta forma fue conseguida gracias al uso *tuppers* para guardar comida como moldes.

En el siguiente esquema se visualiza el número de probetas de cada tipo (ver Figura 57).

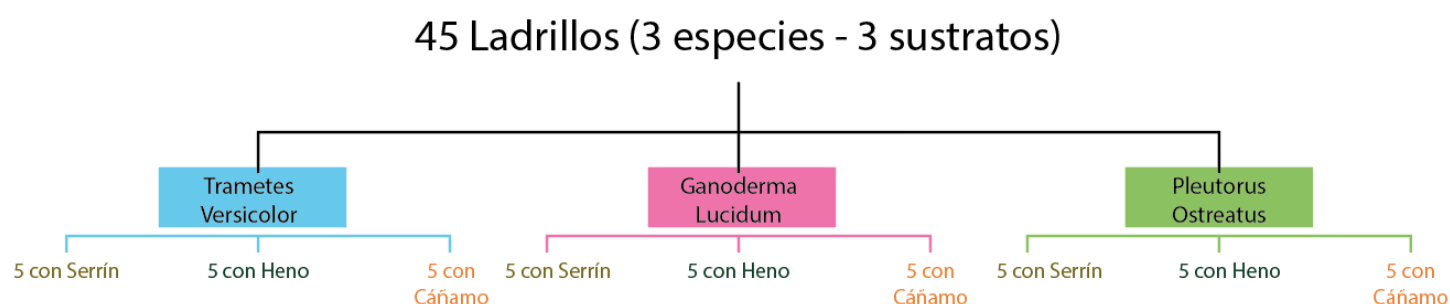


Figura 57: Esquema representativo del número de probetas de cada tipo

La manera en la que se realizó la transición desde los cultivos de primera generación (granos) en tarro y bolsa, a los cultivos de segunda generación (serrín, cáñamo y heno) en *tupper*, se muestra en las siguientes imágenes (ver Figura 58 a) y b), Figura 59, Figura 60 y Figura 61 a) y b)). Previamente, al igual que en los otros medios de cultivo, el serrín, el cáñamo y el heno fueron esterilizados en una olla de cocina con agua hirviendo durante 3 horas. Al ser sustratos de segunda generación, se les añadió un 20% de agua junto con harina de trigo y se homogeneizó la mezcla de manera que todo el sustrato estuviese ligeramente húmedo. En el caso del cáñamo y del heno, fue necesario triturar aún más el sustrato con la ayuda de tijeras y una batidora.



a)



b)

Figura 58: a) Bolsas de polipropileno con serrín, cáñamo y heno, previamente esterilizados por pasteurización y moldes para las probetas (tuppers) b) Bolsas de serrín, cáñamo y heno, junto con los cultivos en grano de *T.Versicolor*, *G.Lucidum* y *P.Ostreatus*



Figura 59: 1º Paso. Llenado de los moldes con el nuevo medio de cultivo



Figura 60: 2º Paso. Inoculación en el nuevo medio de cultivo



a)



b)

Figura 61: 10 de mayo a) Imágenes después de la inoculación b) Cultivos almacenados en un entorno con poca luz

Los moldes (*tuppers*) fueron perforados, tanto en su base como en la tapa, con un clavo, con la finalidad de permitir el intercambio de aire, evitando así la acumulación de CO_2 (ver Figura 62).

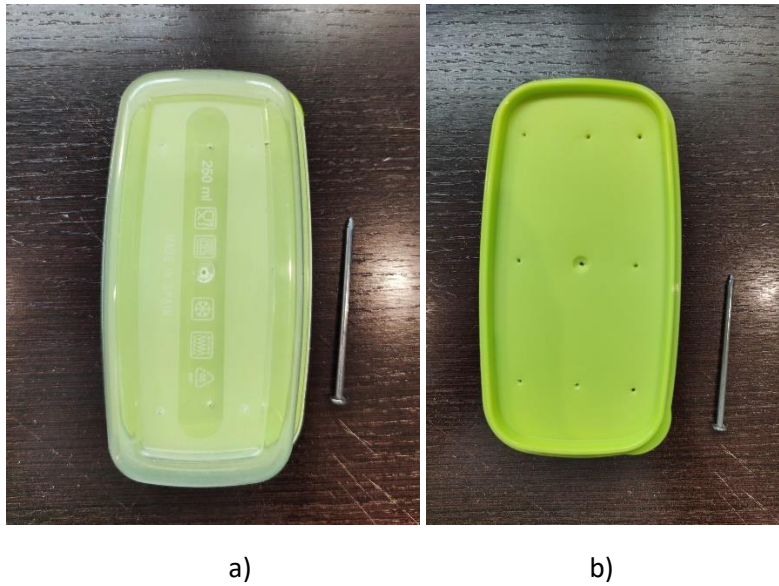


Figura 62: Orificios sobre la superficie de uno de los moldes

La evolución de los cultivos en *tuppers*, 9 días después de la inoculación, se muestra en las siguientes imágenes (ver Figura 63 a), b), c) y d), Figura 64 a), b), c) y d) y Figura 65 a), b), c) y d)):





b)



c)



d)

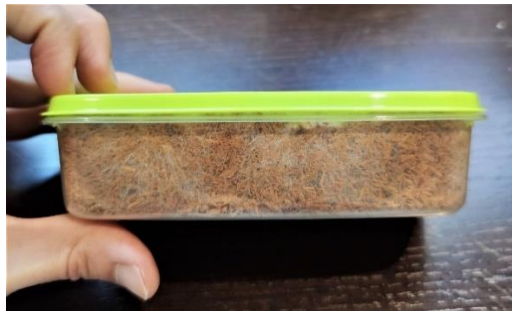
Figura 63: 19 de mayo a) *G. Lucidum* en Heno b) *G. Lucidum* en cáñamo c) *G. Lucidum* en serrín
d) Cultivos de *G. Lucidum*



a)



b)



c)



d)

Figura 64: 19 de mayo a) *P.Ostreatus* en Heno b) *P.Ostreatus* en cáñamo c) *P.Ostreatus* en serrín d) Cultivos de *P.Ostreatus*



a)



b)



c)



d)

Figura 65: 19 de mayo a) *T.Versicolor* en Heno b) *T.Versicolor* en cáñamo c) *T.Versicolor* en serrín d) Cultivos de *T.Versicolor*

Se observa cómo la especie *Trametes Versicolor* presenta un crecimiento más rápido que las especies *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum* en cualquiera de los tres sustratos, habiendo colonizado prácticamente casi todo el medio en 9 días.

A continuación, se muestran los resultados 21 días después de la inoculación (ver Figura 66 a) y b), Figura 67, Figura 68 a) y b)).



a)



b)

Figura 66: 31 de mayo a) Cultivos de *G.Lucidum* b) *G.Lucidum* en Cáñamo



Figura 67: 31 de mayo . Cultivos de *P.Ostreatus*



a)



b)

Figura 68: 31 de mayo a) Cultivos de *T.Versicolor* b) *T.Versicolor* en heno

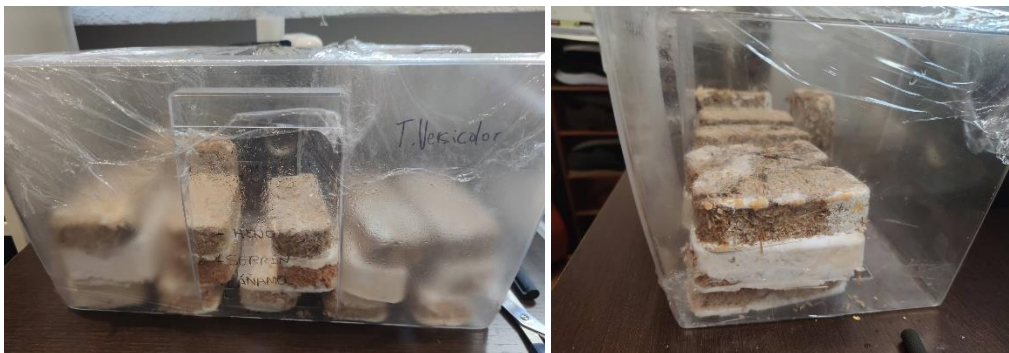
A partir de este momento, se consideró que los cultivos estaban lo suficientemente colonizados como para sacarlos de sus moldes. Se observa cómo en algunos de ellos, algunas capas no se encontraban igual de cubiertas por las redes de micelio que el resto, debido probablemente a una falta de oxígeno en esas zonas. Para conseguir una propagación homogénea, se dejaron los cultivos fuera de sus moldes durante una semana. De esta forma, todas las capas permanecerían en contacto con el oxígeno durante ese periodo de tiempo (ver Figura 69).



a)



b)



c)

Figura 69: 31 de mayo. Probetas fuera de sus moldes en un recipiente donde todas las capas están en contacto con el oxígeno a) Probetas de *G.Lucidum* b) Probetas de *P.Ostreatus* c) Probetas de *T.Versicolor*

Estado de las probetas pasados los 7 días:



a)



b)



c)

Figura 70: 6 de junio a) Probetas de *G.Lucidum* b) Probetas de *P.Ostreatus* c) Probetas de *T.Versicolor*

La última fase para la obtención de los composites de micelio consistió en el horneado de las probetas. De esta manera se eliminó toda la humedad restante y se impidió que el organismo continuara con su propagación (ver Figura 71 y Figura 72).



Figura 71: Horneado de las probetas a 80°C durante 3 horas



Figura 72: las probetas fueron guardadas en una caja hasta el día del ensayo a compresión en el laboratorio

A continuación, se muestra un esquema de elaboración propia que resume las distintas etapas de la fase experimental del proyecto (ver Figura 73).

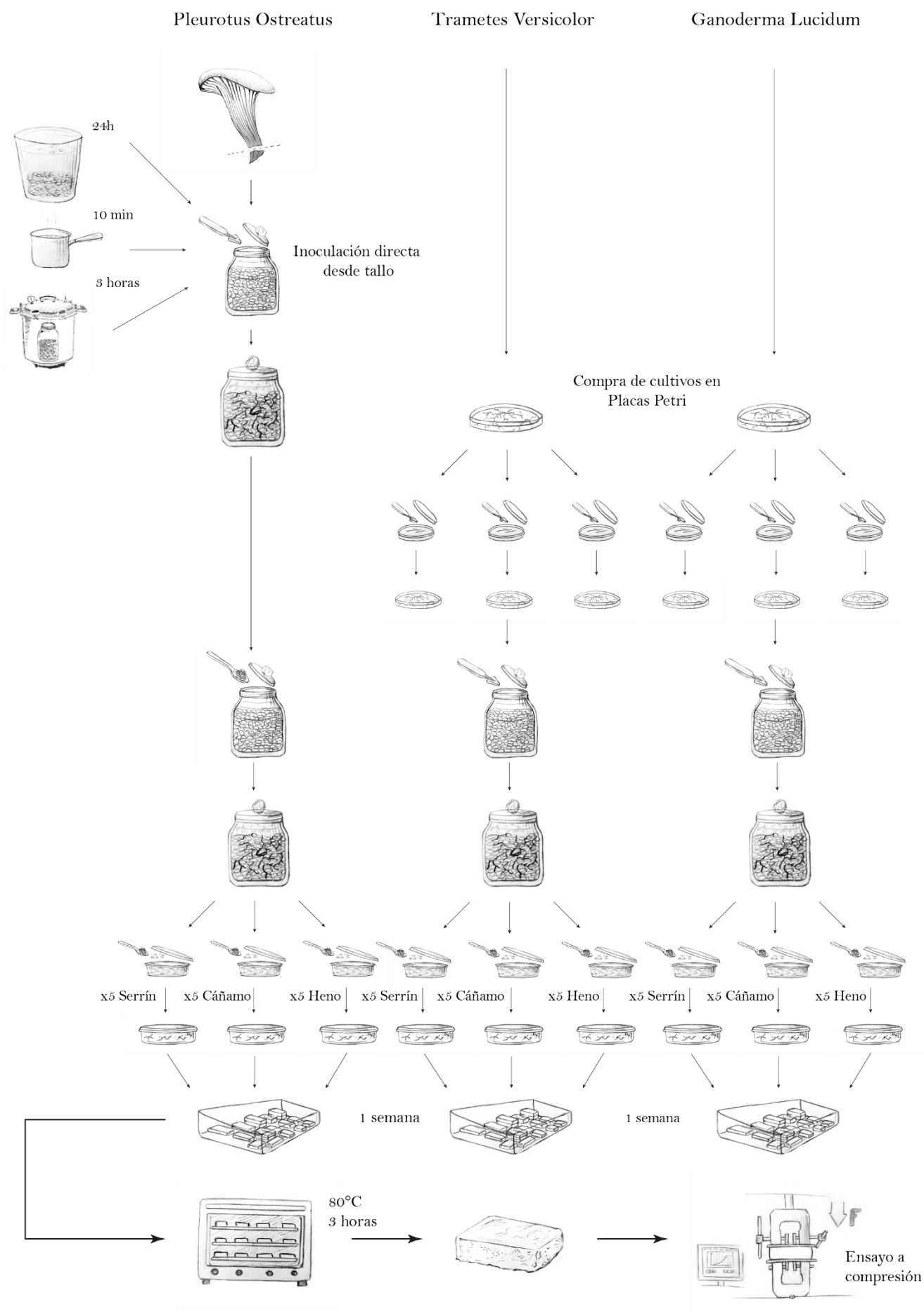


Figura 73: esquema del procedimiento seguido para fabricar los composites de micelio

9. Ensayo a compresión

Con el objetivo de determinar la resistencia de los composites de micelio fabricados, se sometieron las diferentes probetas a un ensayo a compresión en el laboratorio de materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIN, UPM) el día 10 de junio de 2021.

La máquina empleada para el estudio fue la máquina para ensayos a compresión de la marca IBERTEST y modelo: IBTH-3630 (Z10) (ver Figura 74).

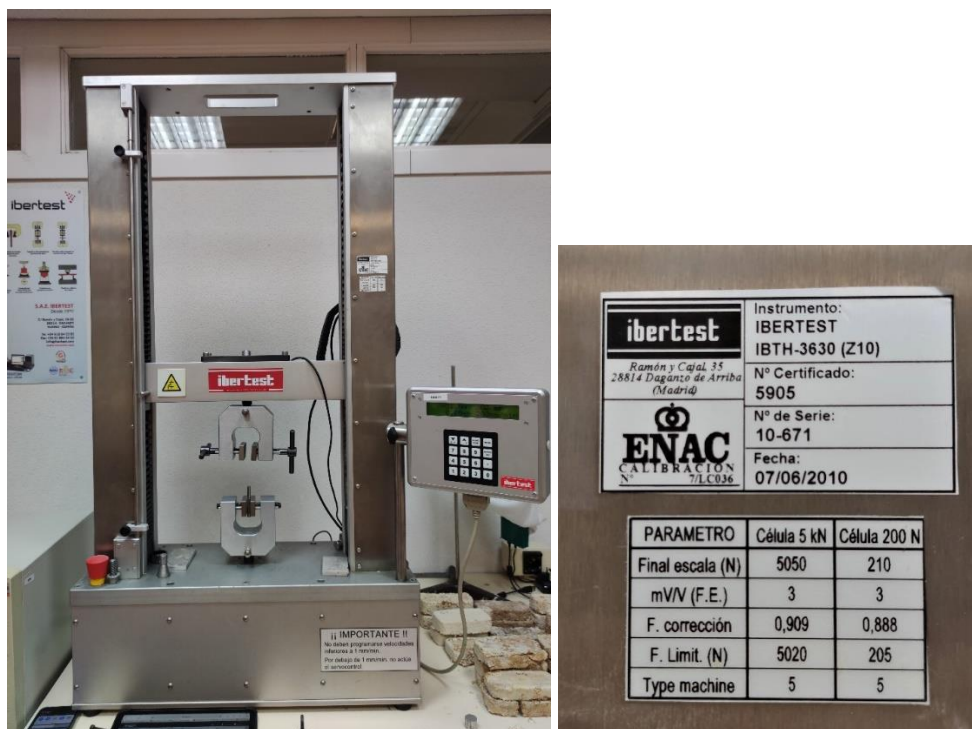


Figura 74: Máquina empleada para el ensayo a compresión

Características de la máquina para una célula de 500 kg (ver Tabla 6):

Célula 500 kg
Clave: 09122
Célula: 5050 N
3 Mv
Calibración: 0,909
Fuerza límite: 5020 N
$V_R = 500 \text{ mm}/\text{min}$
Tipo de máquina: 5

Tabla 6: Datos extraídos de la ficha técnica de la máquina

La máquina consta de una pantalla móvil en la que van apareciendo los datos a medida que se va realizando el ensayo. Los datos van quedando registrados en un software de ordenador en el que se va mostrando una gráfica en función de la fuerza ejercida sobre la

probeta y el desplazamiento vertical de la célula. También muestra un contador de tiempo en segundos (ver Figura 75 a) y b)).



a)

b)

Figura 75: Visualización de los datos a) Pantalla móvil de la máquina b) Registro de datos en el Software de ordenador

Las probetas a ensayar se muestran a continuación (ver Figura 76):



Figura 76: Probetas a ensayar. Composites de micelio formados por las especies *T.Versicolor*, *G.Lucidum*, *P.Ostreatus* y sustratos de heno, cáñamo y serrín

Se establecieron los siguientes códigos de identificación para cada probeta:

XX X n n

- Donde XX: es la especie de hongo.

TV: *Trametes Versicolor*

GL: *Ganoderma Lucidum*

PO: *Pleurotus Ostreatus*

- Donde X: es el tipo de sustrato.

C: Cáñamo

S: Serrín

H: Heno

- Donde n_n: la primera cifra indica la especie de hongo según el orden en el que fue ensayada. La segunda cifra indica el número de probeta.

1: *T.Versicolor*, primera especie sometida al ensayo

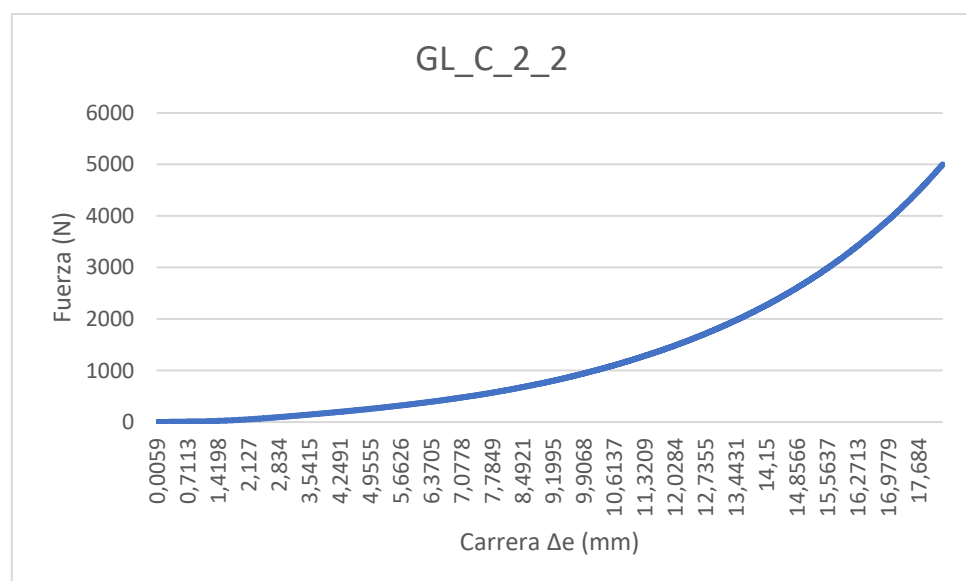
2: *G.Lucidum*, segunda especie sometida al ensayo

3: *P.Ostreatus*, tercera especie sometida al ensayo

9.1 Resultados obtenidos

9.1.1 Procedimiento para la obtención de gráficas

El Software de ordenador empleado en el ensayo a compresión proporcionó datos sobre la Fuerza aplicada y la Carrera (Desplazamiento) para cada instante de tiempo, en cada una de las probetas ensayadas. Con estos datos, para cada probeta, se pudo obtener una gráfica Fuerza-Carrera como la que se muestra a continuación a modo de ejemplo (ver Gráfica 1):



Gráfica 1: Fuerza (N) – Carrera Δe (mm) para la probeta GL_C_2_2

Antes de realizar el ensayo, para cada probeta, se apuntaron sus dimensiones de espesor, longitud y anchura y se determinó su superficie y volumen. Se muestra un ejemplo en la siguiente Tabla (ver Tabla 7):

Dimensiones probeta		
espesor1	26,9	mm
espesor2	23,8	mm
espesor3	24,2	mm
e.medio	24,97	mm
Longitud	126,9	mm
Ancho	58,4	mm
Superficie	7410,96	mm ²
Volumen	185026,97	mm ³

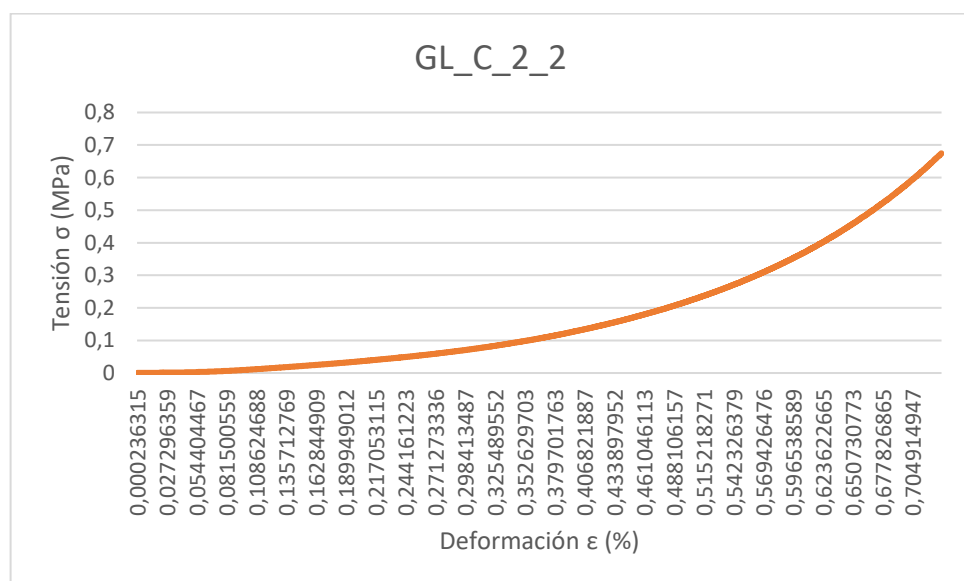
Tabla 7: Dimensiones de la probeta GL_C_2_2

Tomando el valor de la Superficie y el espesor medio, y a partir de la Fuerza y de la Carrera Δe , se pudo obtener la gráfica de Tensión-Deformación.

Fórmulas empleadas:

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}} \quad \text{y} \quad \varepsilon = \frac{\Delta e}{e_{\text{medio inicial}}}$$

Ejemplo de la gráfica Tensión-Deformación de la probeta GL_C_2_2 (ver Gráfica 2):



Gráfica 2: Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta GL_C_2_2

La tensión en MPa se obtuvo dividiendo la Fuerza en *Newtons* entre la Superficie en mm^2 .

Por último, a partir de la Gráfica Tensión-Deformación, se obtuvo un valor máximo, medio y una desviación típica de la Tensión (MPa).

9.1.2 Resultados de la especie *Trametes Versicolor*

Serrín (TV_S)

Se realizó una media total de los valores de tensión máxima, media y de la desviación típica obtenidos en cada una de las probetas, con el objetivo de obtener unos valores representativos que mostraran el comportamiento general del composite TV_S (*T.Versicolor* + serrín).

Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 8 y la media global de cada uno de estos tres parámetros en la Tabla 9 (ver Tabla 8 y Tabla 9):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
TV_S_1_2	Máximo	0,78
	Medio	0,78
	Desviación	0,18
TV_S_1_3	Máximo	0,73
	Medio	0,22
	Desviación	0,21
TV_S_1_4	Máximo	0,70
	Medio	0,20
	Desviación	0,20
TV_S_1_5	Máximo	0,78
	Medio	0,21
	Desviación	0,21

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,75
Medio	0,35
Desviación	0,20

Tabla 9: valores medios para TV_S

Tabla 8: valores de tensión máxima, media
y desviación

La probeta TV_S_1_1 se descartó en el cálculo de los valores medios para TV_S por tener dimensiones distintas al resto de probetas.

Del mismo modo, se tomaron los valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y se halló el valor medio total para TV_S (ver Tabla 10).

Probeta	$\epsilon_{\max}$
TV_S_1_2	0,64
TV_S_1_3	0,49
TV_S_1_4	0,51
TV_S_1_5	0,56
Media	0,55

Tabla 10: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para TV_S

Como probeta representativa del estudio, se tomó aquella cuyos valores de tensión máxima, media y desviación típica, se acercaban más a los valores medios totales de tensión de TV_S. Para saber cuál era esta probeta, se calculó el Error Absoluto Promedio de cada una, formado por el error con respecto a la media total, para los valores de Tensión máxima, media y desviación típica. Aquella que minimizaba el error con respecto al valor medio de cada parámetro, se tomó como probeta representativa (ver Tabla 11).

$$\text{error} = \text{valor probeta} - \text{valor medio total}$$

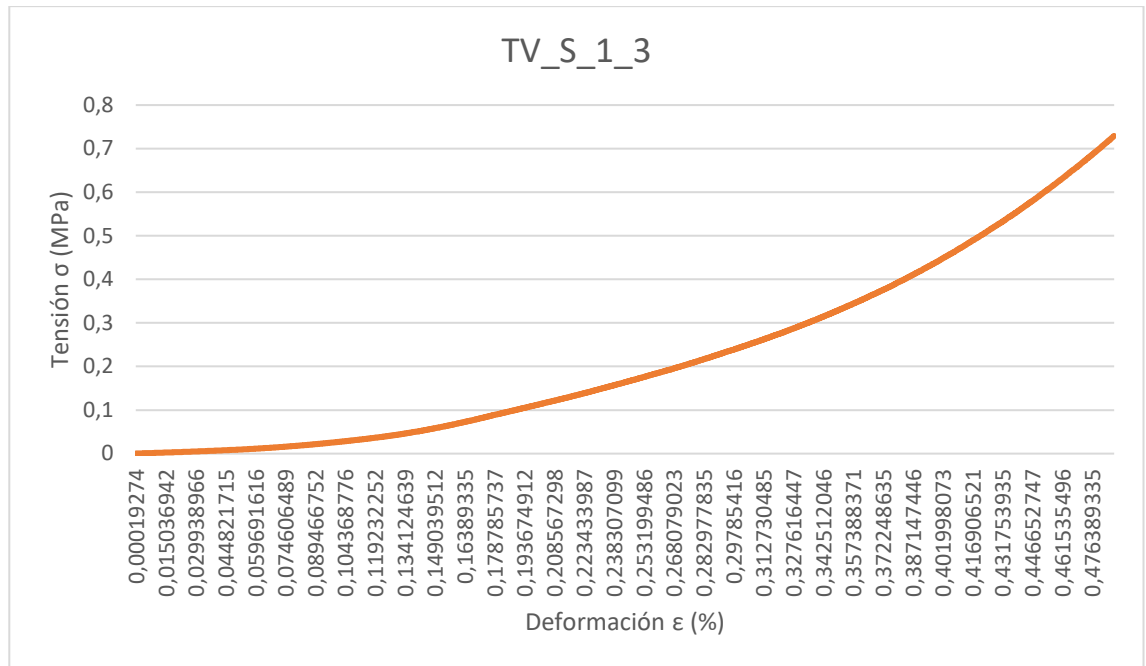
$$EAP = \text{Error Absoluto Promedio}$$

$$EAP = \frac{|e_{\max}| + |e_{\text{med}}| + |e_{\text{desv}}|}{3}$$

	TV_S_1_2	TV_S_1_3	TV_S_1_4	TV_S_1_5
error $\sigma_{\max}$	0,036	-0,019	-0,047	0,030
error σ_{med}	0,43	-0,13	-0,15	-0,14
error σ_{desv}	-0,016	0,005	-0,003	0,014
EAP	0,16	0,052	0,068	0,063

Tabla 11: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de TV_S

La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de TV_S es la TV_S_1_3. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Trametes Versicolor* con serrín (ver Gráfica 3).

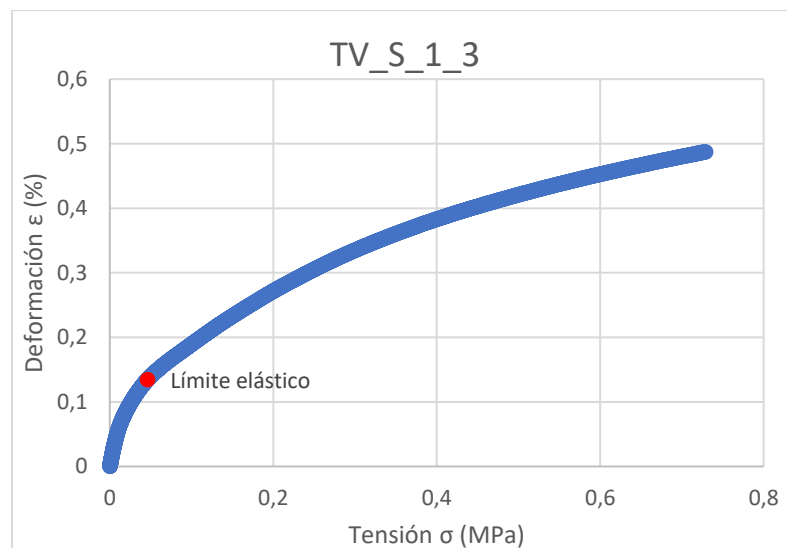


Gráfica 3: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_S_1_3

Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,22 MPa es igual a $\epsilon = 0,29 \%$

Con el objetivo de determinar la rigidez de cada composite, se determina el Módulo de Young o Módulo de Elasticidad (E), a partir de la gráfica Tensión–Deformación de la probeta representativa. El Módulo de Young (E) se trata de un parámetro que indica la relación existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados y los incrementos de deformación longitudinal producida. Equivale a la tangente en cada punto de la zona elástica de la gráfica Tensión–Deformación [49].

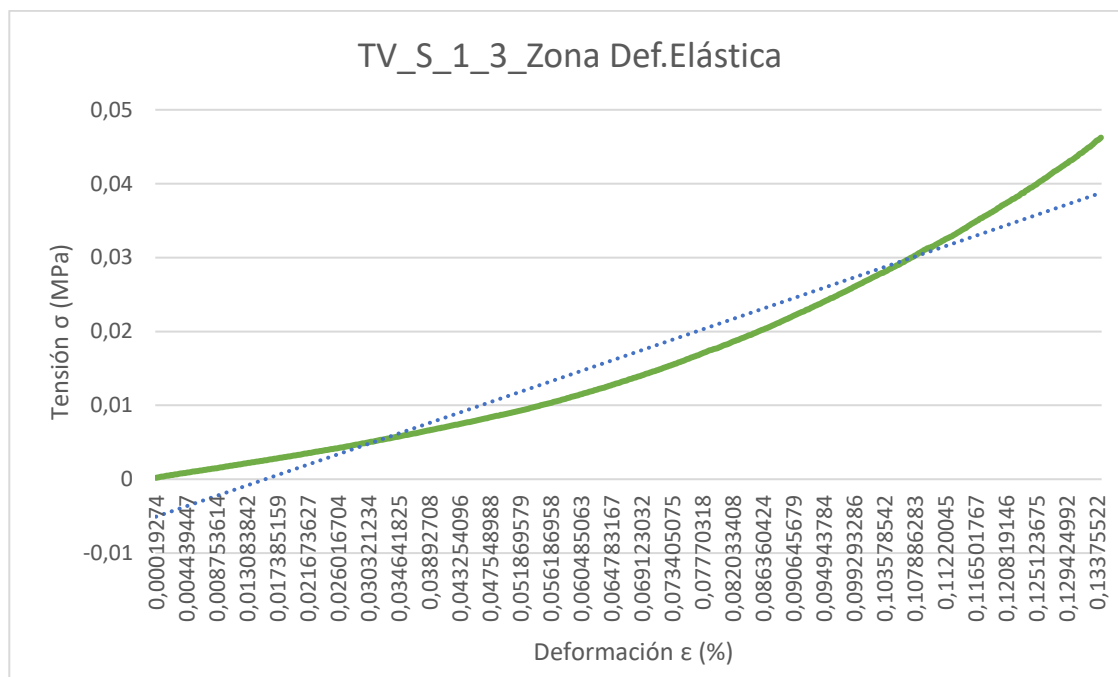
La zona de deformación elástica viene marcada por el Límite elástico (σ_{Lim}) del material, que es la tensión máxima que un material es capaz de soportar sin deformarse de manera permanente. El límite elástico se puede determinar de manera visual a partir de la gráfica tensión-deformación, ya que marca el instante en el que la función deja de aproximarse a una distribución lineal y cambia de régimen, empezando a curvarse. A partir de ese instante, comienza la zona de deformación plástica o permanente [50]. Se puede apreciar mejor en la gráfica tensión-deformación de la probeta representativa, representada a continuación, esta vez con los ejes cambiados (ver Gráfica 4). El límite elástico se encuentra marcado con un punto rojo.



Gráfica 4: Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta TV_S_1_3

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,046 \text{ MPa}$, correspondiente con una deformación de $\varepsilon_{Lim} = 0,13\%$.

Una vez conocida la zona deformación elástica, se representa gráficamente (ver Gráfica 5):



Gráfica 5: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta TV_S_1_3. Aproximación a una recta por *Ajuste por Mínimos Cuadrados*

Uno de los métodos para calcular el módulo de Young, consiste en la aproximación de la zona elástica de la gráfica Tensión-Deformación a una recta, por Ajuste por Mínimos Cuadrados. La pendiente de dicha recta corresponde con el Módulo de Young del material [51]. La aproximación por Mínimos Cuadrados se realiza mediante el siguiente sistema de ecuaciones [52]:

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

Donde x_i corresponde con los valores de deformación (ε_i) de la curva y y_i , corresponde con los valores de tensión (σ_i) de la curva. La recta resultante que mejor aproxima la curva es de la forma:

$$y = a + bx$$

Donde el parámetro b es la pendiente de la recta y cuyo valor corresponde con el valor del Módulo Elástico del material.

Para aproximar la curva de deformación elástica a una recta, se decide tomar 10 puntos representativos de la función, cuyos valores se muestran en la siguiente tabla (ver Tabla 12):

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$	n	10
1	0,009	0,00008	0,0015	0,00001		
2	0,026	0,0007	0,004	0,0001	$\sum x_i$	0,757
3	0,004	0,00002	0,007	0,00003		
4	0,059	0,003	0,011	0,0006	$\sum x_i^2$	0,079
5	0,076	0,006	0,017	0,001		
6	0,092	0,008	0,023	0,002	$\sum y_i$	0,22
7	0,11	0,012	0,032	0,0036		
8	0,12	0,014	0,037	0,004	$\sum x_i y_i$	0,024
9	0,13	0,016	0,041	0,0052		
10	0,13	0,018	0,046	0,0062		

Tabla 12: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

Resolviendo el sistema de ecuaciones que permite el Ajuste por Mínimos Cuadrados, se determinan los valores de a y b , de la ecuación de la recta que mejor aproxima la curva:

$$a = -3,63 \cdot 10^{-3} ; b = 0,34$$

De este modo, para la probeta representativa TV_S_1_3:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,046	0,13
Mod. Young E	0,34	

Tabla 13: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de TV_S_1_3

Cáñamo (TV_C)

Se opera de la misma manera que con el composite formado por serrín. Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 14 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 15 (ver Tabla 14 y Tabla 15):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
TV_C_1_2	Máximo	0,78
	Medio	0,22
	Desviación	0,19
TV_C_1_3	Máximo	0,73
	Medio	0,21
	Desviación	0,19
TV_C_1_4	Máximo	0,72
	Medio	0,21
	Desviación	0,18
TV_C_1_5	Máximo	0,79
	Medio	0,22
	Desviación	0,20

Tabla 14: valores de tensión media, máxima y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,75
Medio	0,21
Desviación	0,19

Tabla 15: valores medios para TV_C

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para TV_C (ver Tabla 16).

Probeta	ϵ .max
TV_C_1_2	0,85
TV_C_1_3	0,87
TV_C_1_4	0,75
TV_C_1_5	0,76
Media	0,81

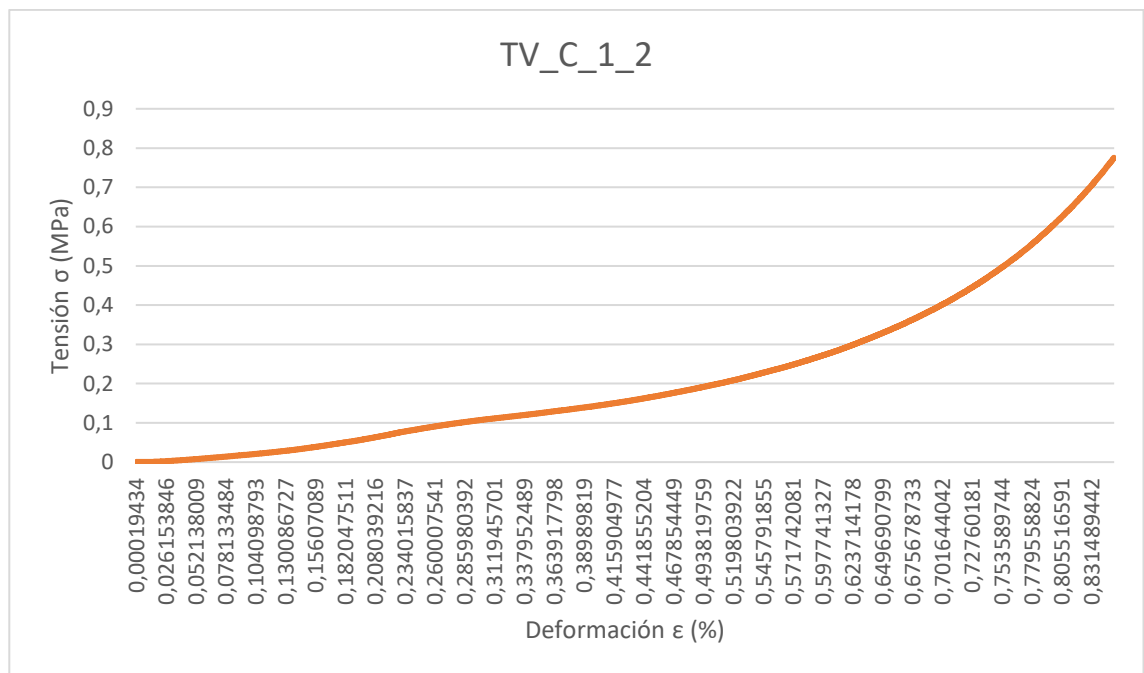
Tabla 16: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para TV_C

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de TV_C (ver Tabla 17):

	TV_C_1_2	TV_C_1_3	TV_C_1_4	TV_C_1_5
error σ .max	0,021	-0,02	-0,039	0,038
error σ .med	0,002	-0,003	-0,002	0,0035
error σ .desv	0,003	-0,004	-0,009	0,001
EAP	0,008	0,009	0,016	0,017

Tabla 17: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de TV_C

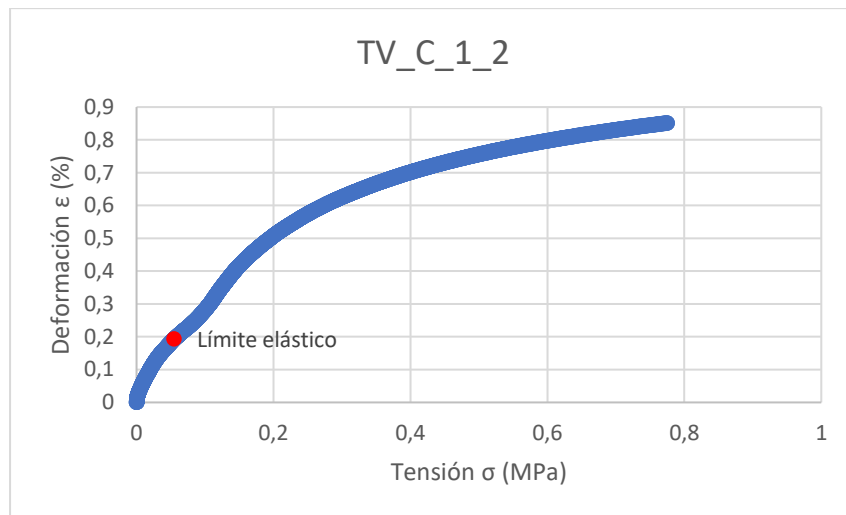
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de TV_C es la TV_C_1_2. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Trametes Versicolor* con cáñamo (ver Gráfica 6).



Gráfica 6: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_C_1_2

Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,22 MPa es igual a $\epsilon = 0,53$ %.

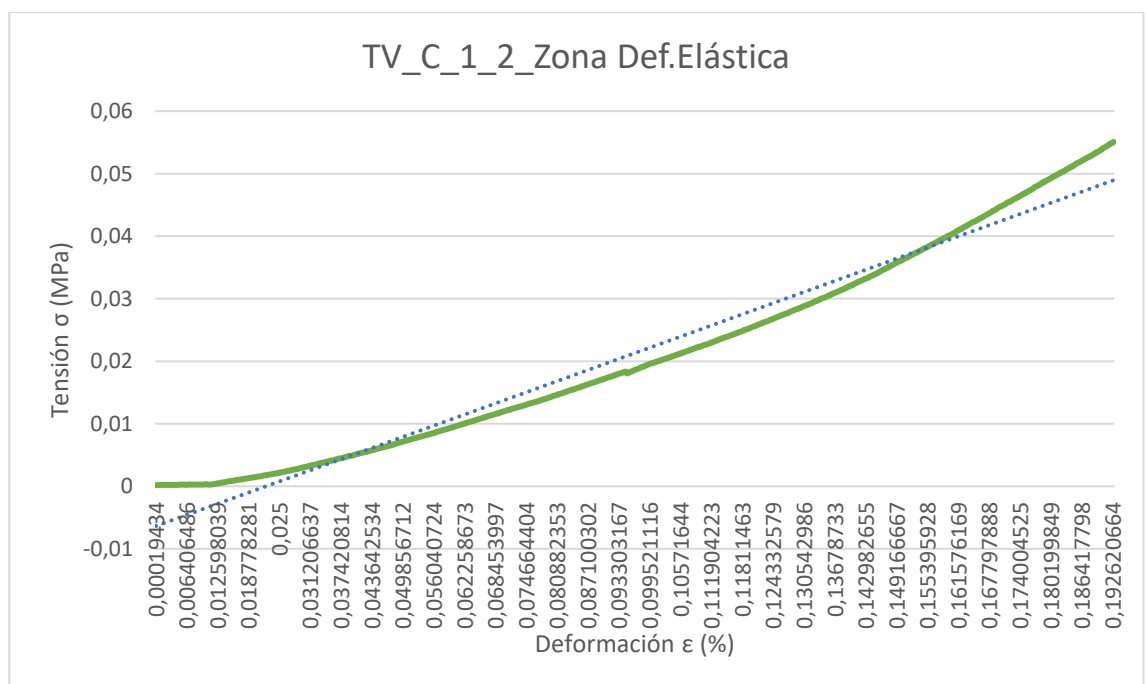
Para calcular el Módulo de Young y el Límite Elástico, se opera de la misma manera que en el caso del composite anterior.



Gráfica 7: Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta TV_C_1_2

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,055 \text{ MPa}$, correspondiente con una deformación de $\varepsilon_{Lim} = 0,19\%$.

Se representa gráficamente la zona de deformación elástica (ver Gráfica 8):



Gráfica 8: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta TV_C_1_2. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Se toman 10 puntos de la función representada en la Gráfica 5, cuyos valores se aprecian en la siguiente Tabla (ver Tabla 18):

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$	n	10
1	0,021	0,0004	0,002	0,00003		
2	0,037	0,001	0,004	0,0002	Σx_i	1,133
3	0,061	0,004	0,01	0,0006		
4	0,085	0,007	0,016	0,001	Σx_i^2	0,162
5	0,11	0,012	0,022	0,002		
6	0,13	0,017	0,029	0,004	Σy_i	0,266
7	0,15	0,021	0,034	0,005		
8	0,17	0,029	0,044	0,007	$\Sigma x_i y_i$	0,04
9	0,18	0,033	0,05	0,01		
10	0,19	0,037	0,055	0,011		

Tabla 18: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

Resolviendo el sistema de ecuaciones que permite el Ajuste por Mínimos Cuadrados, se determinan los valores de a y b , de la ecuación de la recta que mejor aproxima la curva:

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -6,62 \cdot 10^{-3} ; b = 0,29$$

De este modo, para la probeta representativa TV_C_1_2:

	MPa	ε (%)
Límite elástico	0,055	0,19
Mod. Young E	0,29	

Tabla 19: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de TV_C_1_2

Heno (TV_H)

Se operó de la misma manera que para los dos composites anteriores. Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 20 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 21 (ver Tabla 20 y Tabla 21):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
TV_H_1_2	Máximo	0,80
	Medio	0,098
	Desviación	0,16
TV_H_1_3	Máximo	0,64
	Medio	0,1
	Desviación	0,14
TV_H_1_4	Máximo	0,74
	Medio	0,12
	Desviación	0,16
TV_H_1_5	Máximo	0,84
	Medio	0,12
	Desviación	0,17
TV_H_1_6	Máximo	0,76
	Medio	0,12
	Desviación	0,17

Tabla 20: valores de tensión máxima, media y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,76
Medio	0,11
Desviación	0,16

Tabla 21: valores medios para TV_H

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para TV_H (ver Tabla 22).

Probeta	ϵ_{max}
TV_H_1_2	1,16
TV_H_1_3	0,99
TV_H_1_4	1,02
TV_H_1_5	1,04
TV_H_1_6	0,90
Media	1,02

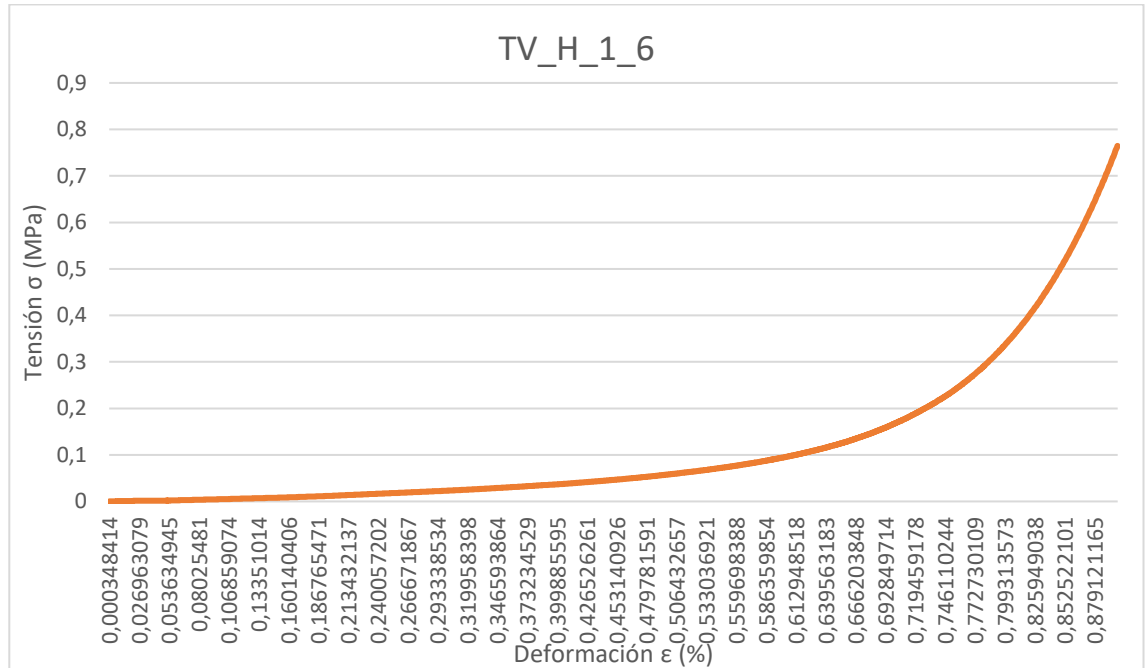
Tabla 22: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para TV_H

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de TV_H (ver Tabla 23):

	TV_H_1_2	TV_H_1_3	TV_H_1_4	TV_H_1_5	TV_H_1_6
error σ_{max}	0,047	-0,12	-0,018	0,084	0,008
error σ_{med}	-0,013	-0,008	0,008	0,005	0,008
error σ_{desv}	-0,0008	-0,021	0,001	0,013	0,007
EAP	0,02	0,05	0,009	0,034	0,007

Tabla 23: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de TV_H

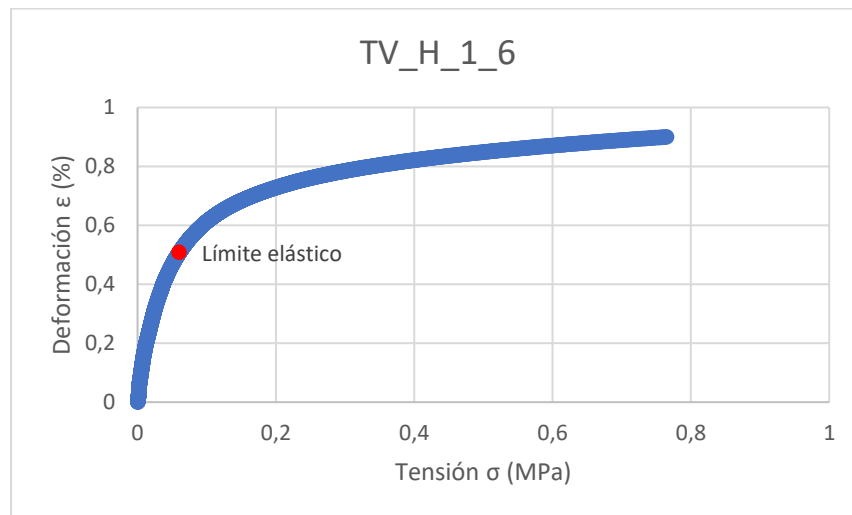
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de TV_H es la TV_H_1_6. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Trametes Versicolor* con heno (ver Gráfica 5).



Gráfica 9: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_H_1_6

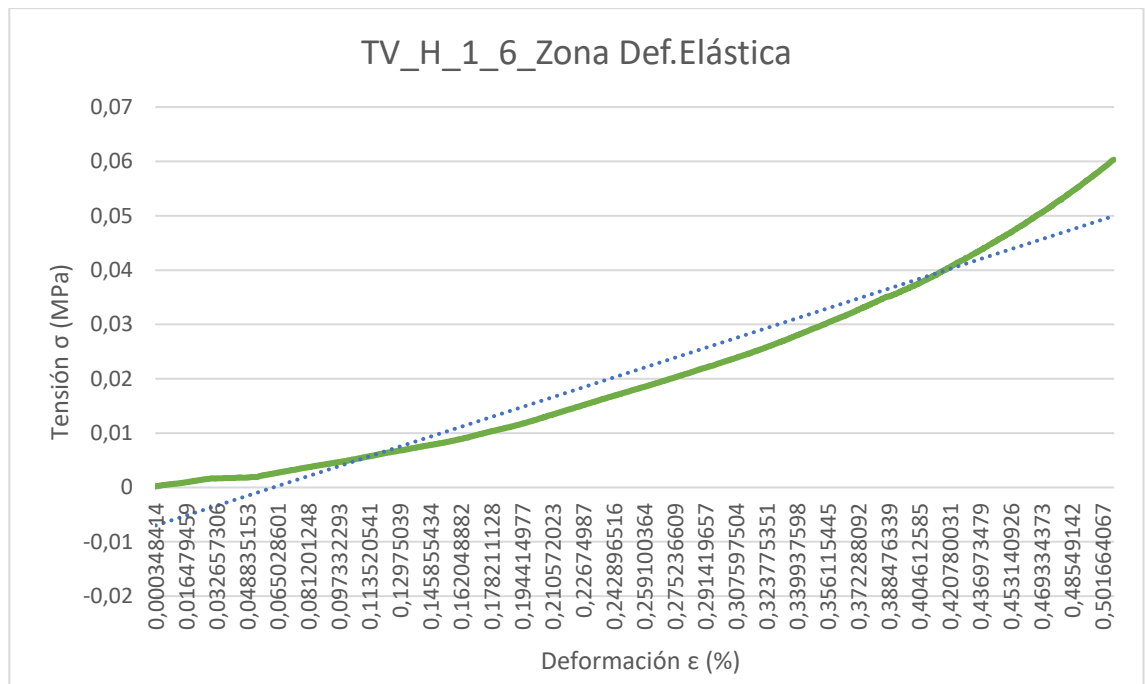
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,12 MPa es igual a $\epsilon = 0,64\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 10: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_C_1_2

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,060 \text{ MPa}$, correspondiente con una deformación de $\epsilon_{Lim} = 0,51\%$.



Gráfica 11: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_H_1_6. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\epsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,048	0,002	0,002	0,00009
2	0,096	0,009	0,005	0,0004
3	0,16	0,025	0,009	0,001
4	0,21	0,043	0,013	0,003
5	0,26	0,066	0,018	0,005
6	0,29	0,08	0,022	0,006
7	0,35	0,12	0,029	0,01
8	0,44	0,2	0,045	0,02
9	0,48	0,23	0,053	0,025
10	0,51	0,26	0,06	0,031

n	10
Σx_i	2,837
Σx_i^2	1,035
Σy_i	0,256
$\Sigma x_i y_i$	0,102

Tabla 24: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -1,06 \cdot 10^{-2} ; b = 0,13$$

Para la probeta representativa TV_H_1_6:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,06	0,51
Mod. Young E	0,13	

Tabla 25: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de TV_H_1_6

Comparativa

A continuación se muestra una Tabla resumen con los parámetros más significativos de cada composite de la especie *Trametes Versicolor* (ver Tabla 26):

Composite	σ_{media} (MPa)	ϵ_{final} (%)	ϵ (%) a la σ_{media} p.representativa	σ_{Lim} (MPa)	ϵ (%) a la σ_{Lim}	E (MPa)
TV_S	0,35	0,55	0,29	0,046	0,13	0,34
TV_C	0,21	0,81	0,53	0,055	0,19	0,29
TV_H	0,11	1,02	0,64	0,06	0,51	0,13

Tabla 26: parámetros significativos de los composites de la especie *T.Versicolor*

No se ha tomado la tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$) como un parámetro representativo a la hora de comparar los composites, ya que para los 3 casos el valor resultante es muy parecido. Esto se produce, probablemente, porque se dejó la máquina funcionar hasta el tope de fuerza de la célula de carga de la máquina, sin importar que la probeta estuviese ya completamente deformada, como en el caso de TV_H, dando como resultados valores de tensión no significativos (ver Figura 77). Por otro lado, si se compara la ϵ_{final} con la ϵ a la σ_{media} de la probeta representativa, se puede obtener una idea de la evolución de la deformación a lo largo de todo el ensayo.



Figura 77: Probeta TV_H_1_2 tras el ensayo a compresión

Si se observa la Tabla 16, se aprecia como la especie *Trametes Versicolor* junto con el sustrato de serrín, presenta una mayor resistencia a compresión que las probetas formadas por heno o cáñamo, al tener un mayor valor medio de tensión σ (MPa) y una menor deformación, tanto final como media, de la probeta representativa TV_S_1_3. Además, presenta un mayor Módulo de Young y un menor comportamiento elástico, al haber obtenido el menor valor de Límite Elástico. Al comparar la gráfica de TV_S con la de TV_H, se observa como el composite de heno presenta una curva Tensión-Deformación, que no empieza a deformarse de manera permanente hasta llegar a deformaciones del orden de 0,5% (ver Gráfica 10), presentando una mayor zona de deformación elástica. Las gráficas tensión-deformación de TV_S y TV_C, son parecidas (ver Gráfica 3 y Gráfica 6). Sin embargo, tras los resultados del ensayo, se demuestra cómo el composite de cáñamo opone una menor resistencia a la compresión que el serrín.

A continuación, se muestra una imagen comparativa de los composites TV_S y TV_C tras el ensayo a compresión (ver Figura 78 a) y b)).



a)

b)

Figura 78: a) Probeta de TV_S después del ensayo a compresión b) Probeta de TV_C después del ensayo a compresión

Estas diferencias entre los composites pueden deberse a la preferencia que puede experimentar la especie, por su naturaleza, por unos sustratos antes que otros. Pues, por lo general, una mayor propagación de las redes de micelio en el sustrato supondrá mejores propiedades mecánicas [31]. No obstante, antes de afirmar que el grado de propagación sea un factor realmente influyente, se deben analizar los resultados obtenidos con las otras dos especies, *Ganoderma Lucidum* y *Pleurotus Ostreatus*.

9.1.3 Resultados de la especie *Ganoderma Lucidum*

Serrín (GL_S)

El procedimiento es igual que con los composites de la especie anterior. Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta de serrín junto con la especie *G.Lucidum*, se muestran en la Tabla 27 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 28 (ver Tabla 27 y Tabla 28):

Probeta	Valor	Tensión (MPa)
GL_S_2_2	Máximo	0,69
	Medio	0,14
	Desviación	0,18
GL_S_2_4	Máximo	0,67
	Medio	0,16
	Desviación	0,18
GL_S_2_5	Máximo	0,68
	Medio	0,17
	Desviación	0,18

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,68
Medio	0,15
Desviación	0,18

Tabla 28: valores medios de GL_S

Tabla 27: valores de tensión máxima, media y desviación

En este caso, se descartaron las probetas GL_S_2_1 y GL_S_2_3 a la hora de hallar los valores medios de GL_S, por tener unas dimensiones distintas al resto de las probetas.

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para GL_S (ver Tabla 29).

Probeta	ϵ .max
GL_S_2_2	0,6
GL_S_2_4	0,6
GL_S_2_5	0,5
Media	0,57

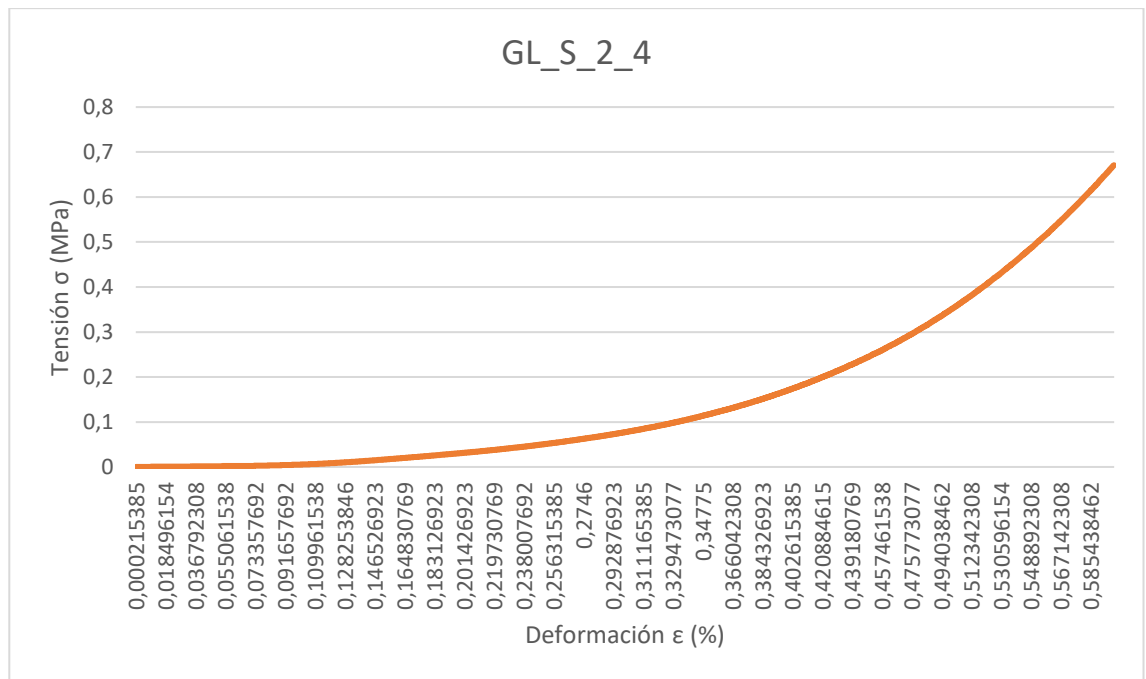
Tabla 29: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para GL_S

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de GL_S (ver Tabla 30):

	GL_S_2_2	GL_S_2_4	GL_S_2_5
error σ .max	0,008	-0,007	-0,001
error σ .med	-0,02	0,001	0,015
error σ .desv	-0,003	-0,001	0,004
EAP	0,009	0,003	0,007

Tabla 30: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de GL_S

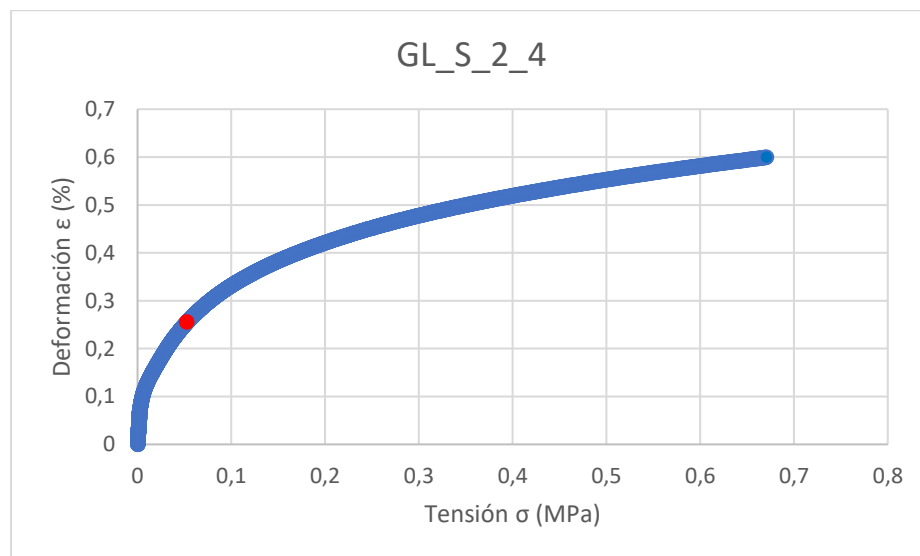
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de GL_S es la GL_S_2_4. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Ganoderma Lucidum* con serrín (ver Gráfica 12).



Gráfica 12: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_S_2_4

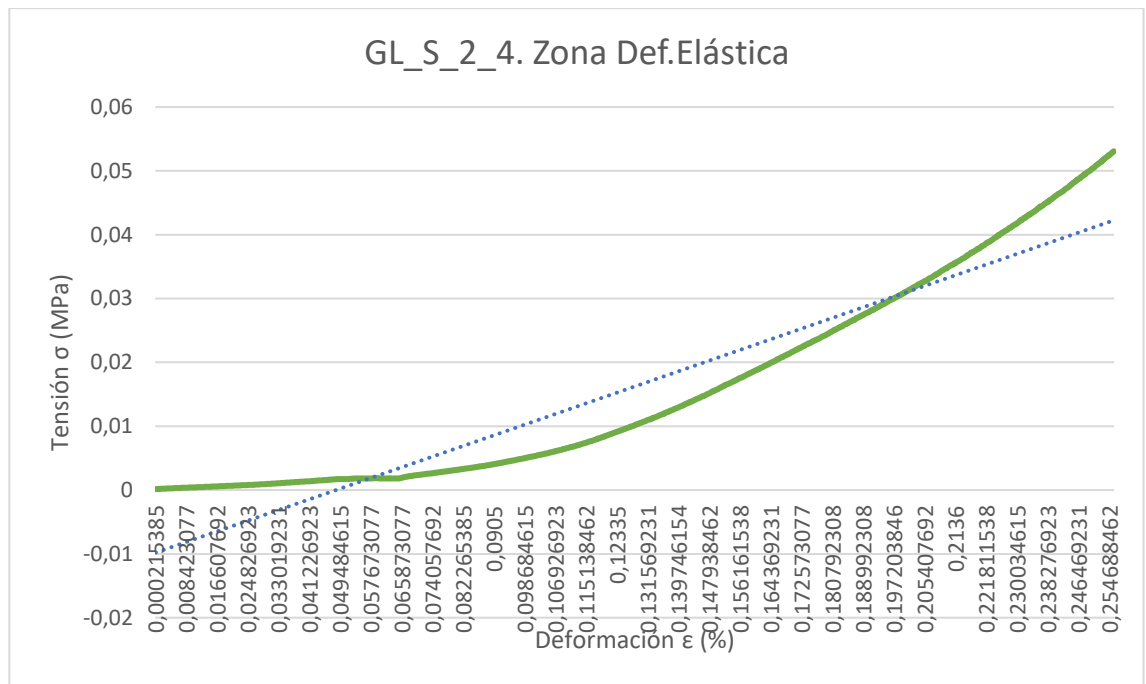
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,16 MPa es igual a $\epsilon = 0,39\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 13: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_S_2_4

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,053 \text{ MPa}$, correspondiente con una deformación de $\epsilon_{Lim} = 0,26\%$.



Gráfica 14: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_S_2_4. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\epsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,056	0,003	0,002	0,0001
2	0,081	0,007	0,003	0,0003
3	0,095	0,009	0,005	0,0004
4	0,11	0,013	0,007	0,0008
5	0,13	0,018	0,011	0,002
6	0,15	0,023	0,017	0,003
7	0,18	0,031	0,023	0,004
8	0,19	0,037	0,029	0,006
9	0,22	0,049	0,037	0,0081
10	0,26	0,065	0,053	0,014

n	10
Σx_i	1,475
Σx_i^2	0,254
Σy_i	0,187
$\Sigma x_i y_i$	0,037

Tabla 31: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -1,9 \cdot 10^{-2} ; b = 0,258$$

Para la probeta representativa GL_S_2_4:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,053	0,26
Mod. Young E	0,26	

Tabla 32: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de GL_S_2_4

Cáñamo (GL_C)

Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 33 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 34 (ver Tabla 33 y Tabla 34):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
GL_C_2_2	Máximo	0,67
	Medio	0,18
	Desviación	0,18
GL_C_2_3	Máximo	0,70
	Medio	0,17
	Desviación	0,19
GL_C_2_4	Máximo	0,68
	Medio	0,17
	Desviación	0,18
GL_C_2_5	Máximo	0,68
	Medio	0,19
	Desviación	0,19

Tabla 33: valores de tensión máxima, media y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,68
Medio	0,18
Desviación	0,18

Tabla 34: valores medios para GL_S

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para GL_C (ver Tabla 35).

Probeta	ϵ .max
GL_C_2_2	0,73
GL_C_2_3	0,76
GL_C_2_4	0,79
GL_C_2_5	0,66
Media	0,74

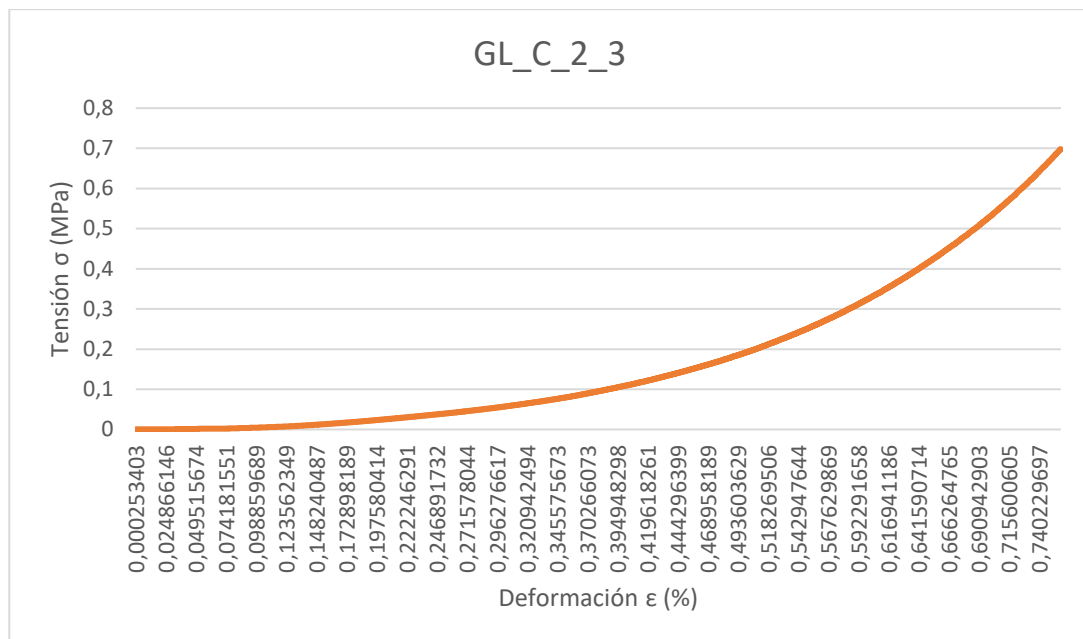
Tabla 35: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para GL_C

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de GL_C (ver Tabla 36):

	GL_C_2_2	GL_C_2_3	GL_C_2_4	GL_C_2_5
error σ .max	-0,01	0,014	9,4E-05	-0,004
error σ .med	-0,002	-0,005	-0,008	0,015
error σ .desv	-0,003	0,004	-0,004	0,002
EAP	0,009	0,003	0,007	0,007

Tabla 36: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de GL_C

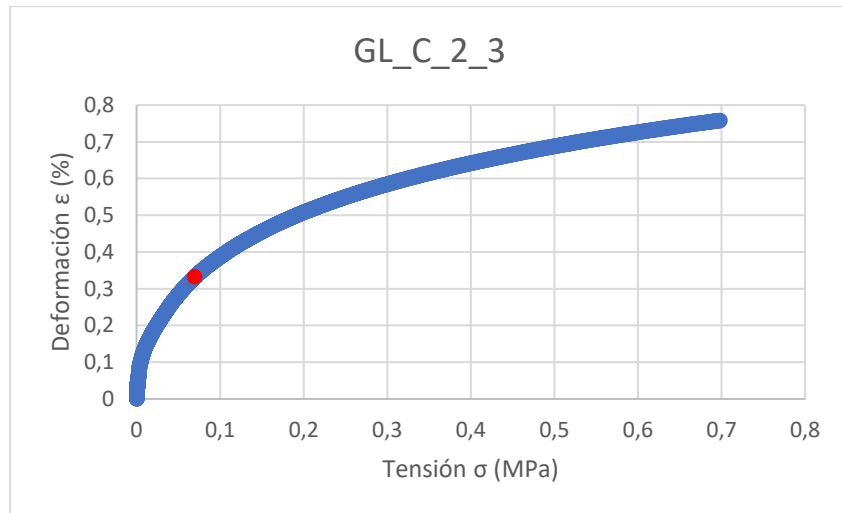
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de GL_C es la GL_C_2_3. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Ganoderma Lucidum* con cáñamo (ver Gráfica 15).



Gráfica 16: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_C_2_3

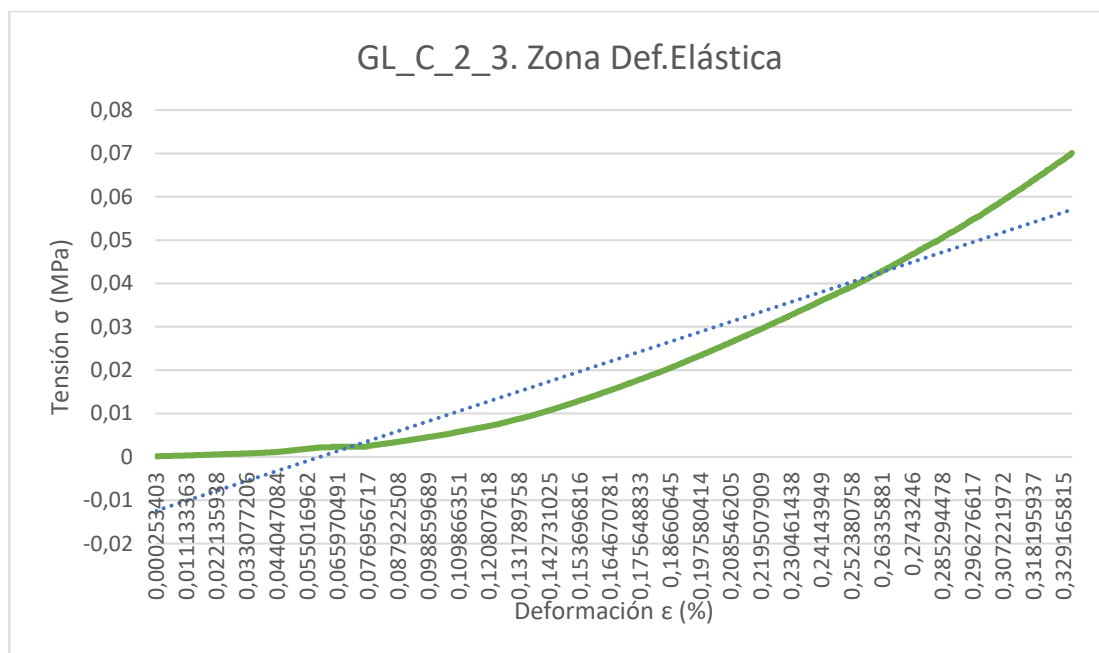
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,17 MPa es igual a $\epsilon = 0,48\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 17: Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta GL_C_2_3

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,07 MPa$, correspondiente con una deformación de $\varepsilon_{Lim} = 0,33\%$.



Gráfica 18: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta GL_C_2_3. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,064	0,004	0,002	0,0001
2	0,085	0,007	0,003	0,0003
3	0,10	0,01	0,005	0,0005
4	0,15	0,02	0,012	0,002
5	0,17	0,03	0,016	0,003
6	0,19	0,04	0,021	0,004
7	0,23	0,05	0,033	0,008
8	0,25	0,06	0,038	0,01
9	0,29	0,08	0,053	0,015
10	0,33	0,11	0,07	0,023

n	10
Σx_i	1,857
Σx_i^2	0,416
Σy_i	0,253
$\Sigma x_i y_i$	0,065

Tabla 37: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -2,17 \cdot 10^{-2} ; b = 0,253$$

Para la probeta representativa GL_C_2_3:

	MPa	ε (%)
Límite elástico	0,07	0,33
Mod. Young E	0,25	

Tabla 38: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de GL_C_2_3

Heno (GL_H)

Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 39 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 40 (ver Tabla 39 y Tabla 40):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
GL_H_2_2	Máximo	0,52
	Medio	0,096
	Desviación	0,12
GL_H_2_3	Máximo	0,52
	Medio	0,09
	Desviación	0,12
GL_H_2_4	Máximo	0,73
	Medio	0,11
	Desviación	0,16
GL_H_2_5	Máximo	0,74
	Medio	0,12
	Desviación	0,17

Tabla 39: valores de tensión máxima, media y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,63
Medio	0,11
Desviación	0,14

Tabla 40: valores medios para GL_H

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para GL_H (ver Tabla 41).

Probeta	ϵ_{max}
GL_H_2_2	0,68
GL_H_2_3	0,71
GL_H_2_4	0,9
GL_H_2_5	0,87
Media	0,79

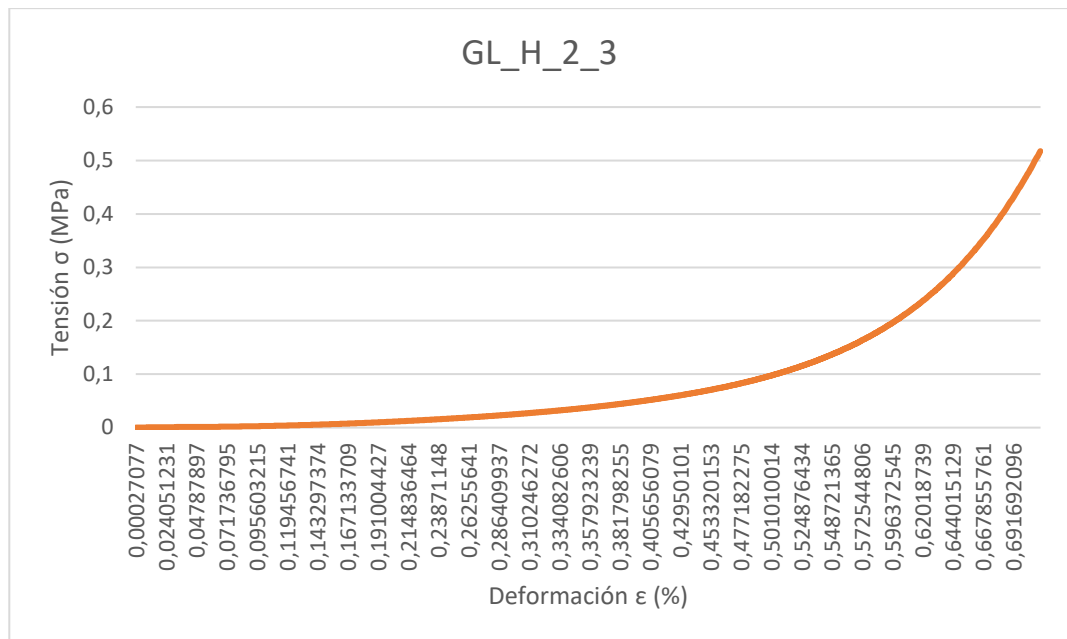
Tabla 41: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para GL_H

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de GL_H (ver Tabla 42):

	GL_H_2_2	GL_H_2_3	GL_H_2_4	GL_H_2_5
error σ_{max}	-0,11	-0,11	0,1	0,12
error σ_{med}	-0,01	-0,015	0,008	0,018
error σ_{desv}	-0,02	-0,024	0,019	0,025
EAP	0,009	0,0032	0,007	0,007

Tabla 42: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de GL_H

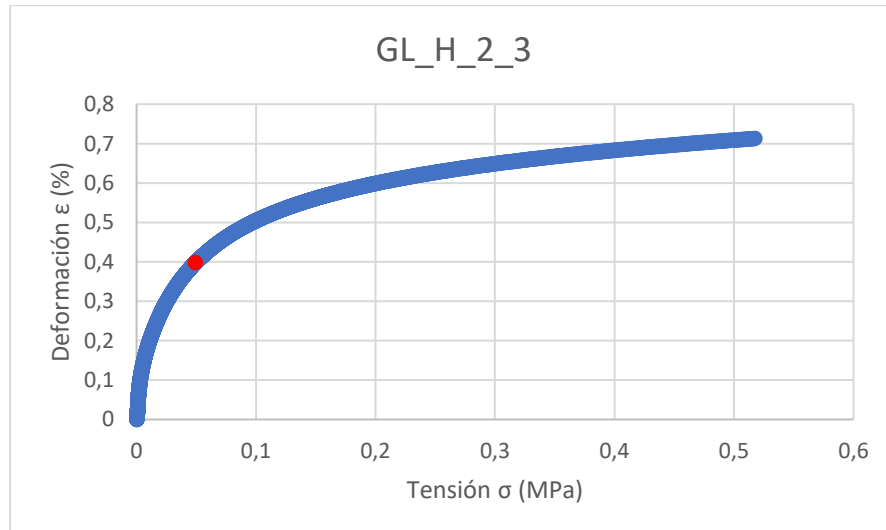
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de GL_H es la GL_H_2_3. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Ganoderma Lucidum* con heno (ver Gráfica 19).



Gráfica 19: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_C_2_3

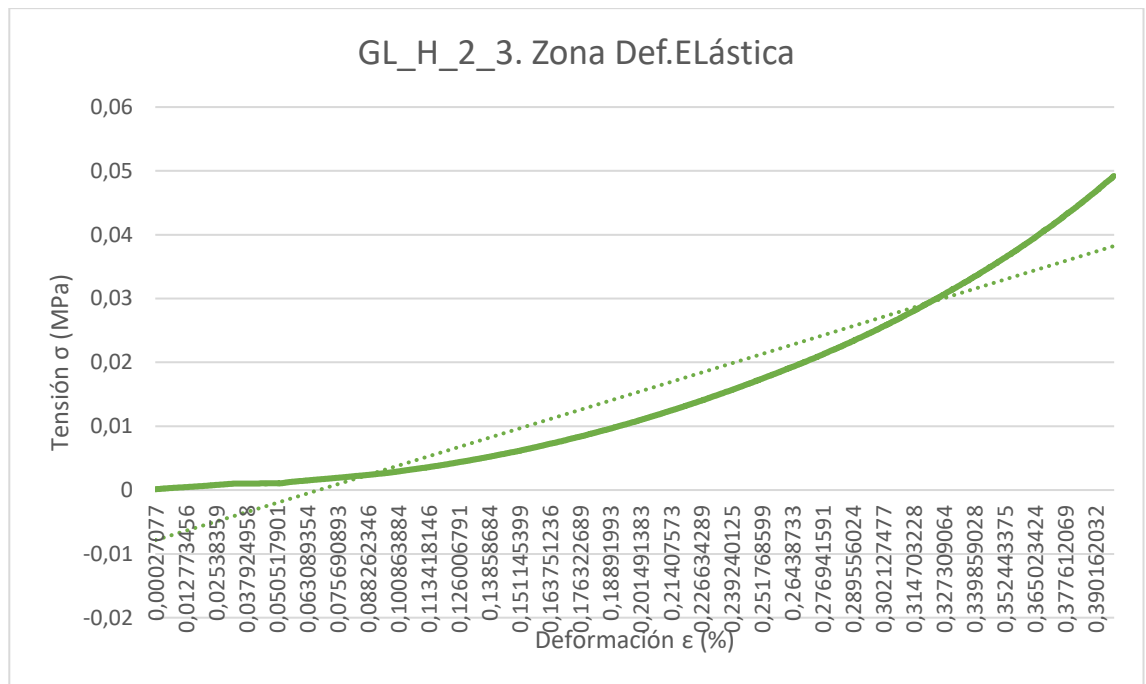
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,091 MPa es igual a $\epsilon = 0,49$ %.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 20: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_H_2_3

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,049 \text{ MPa}$, correspondiente con una deformación de $\epsilon_{Lim} = 0,4\%$.



Gráfica 21: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta GL_C_H_2_3. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,052	0,003	0,001	0,00005
2	0,1	0,01	0,003	0,0003
3	0,13	0,016	0,004	0,0005
4	0,18	0,031	0,008	0,001
5	0,23	0,051	0,014	0,003
6	0,25	0,063	0,017	0,004
7	0,27	0,075	0,021	0,006
8	0,32	0,1	0,029	0,009
9	0,37	0,14	0,042	0,016
10	0,4	0,16	0,049	0,02

n	10
Σx_i	2,293
Σx_i^2	0,646
Σy_i	0,188
$\Sigma x_i y_i$	0,06

Tabla 43: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -1,3 \cdot 10^{-2} ; b = 0,141$$

Para la probeta representativa GL_H_2_3:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,049	0,4
Mod. Young E	0,14	

Tabla 44: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de GL_H_2_3

Comparativa

A continuación se muestra una Tabla resumen con los parámetros más significativos de cada composite de la especie *Ganoderma Lucidum* (ver Tabla 45):

Composite	σ_{media} (MPa)	ϵ_{final} (%)	ϵ (%) a la σ_{media} p.representativa	σ_{Lim} (MPa)	ϵ (%) a la σ_{Lim}	E (MPa)
GL_S	0,16	0,57	0,39	0,053	0,26	0,26
GL_C	0,18	0,74	0,48	0,07	0,33	0,25
GL_H	0,11	0,79	0,49	0,049	0,4	0,14

Tabla 45: parámetros significativos de los composites de la especie *G.Lucidum*

Los resultados obtenidos con los composites de la especie *Ganoderma Lucidum* (ver Tabla 45) presentan un comportamiento muy parecido al de los composites de *Trametes Versicolor* (ver Tabla 26). De nuevo, los composites de serrín demuestran ser los que presentan una mayor resistencia a compresión, al haber experimentado una menor deformación tras el ensayo y un mayor Módulo de Young.

9.1.4 Resultados de la especie *Pleurotus Ostreatus*

Serrín (PO_S)

Se opera igual que con los composites de las especies anteriores. Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta de serrín junto con la especie *P.Ostreatus*, se muestran en la Tabla 46 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 47 (ver Tabla 46 y Tabla 47):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
PO_S_3_3	Máximo	0,64
	Medio	0,14
	Desviación	0,17
PO_S_3_4	Máximo	0,65
	Medio	0,14
	Desviación	0,17

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,65
Medio	0,14
Desviación	0,17

Tabla 46: valores de tensión máxima, media y desviación

Tabla 47: valores medios para PO_S

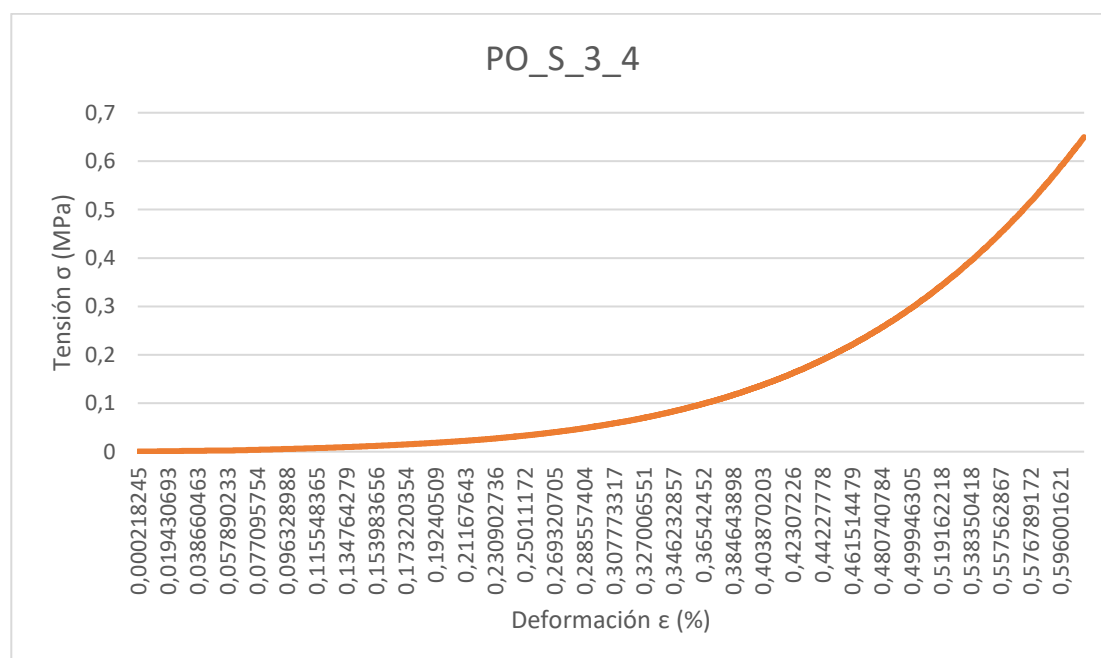
En este caso, se descartaron las probetas PO_S_3_1 y PO_S_3_2 a la hora de hallar los valores medios de PO_S al haberse roto por la mitad antes de realizar el ensayo.

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para PO_S (ver Tabla 48).

Probeta	ϵ_{max}
PO_S_3_3	0,61
PO_S_3_4	0,61
Media	0,61

Tabla 48: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para PO_S

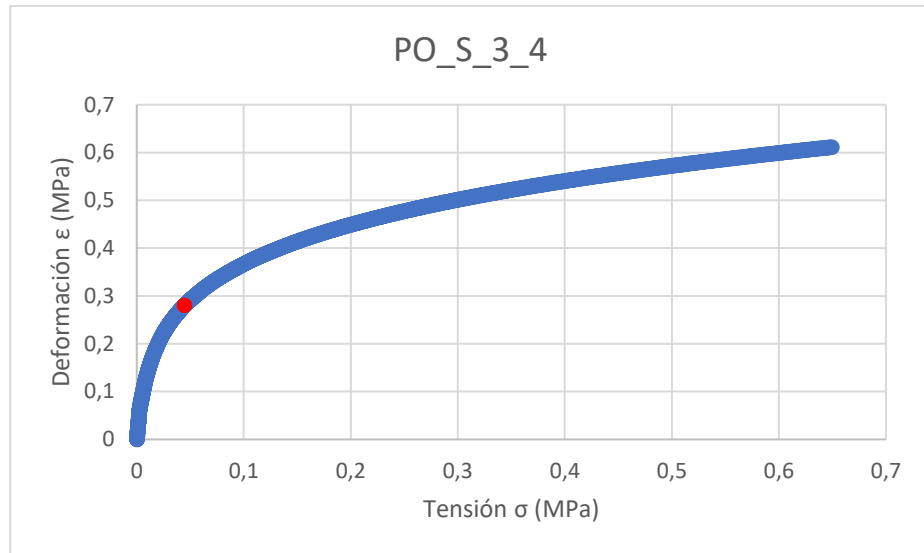
Para este tipo de composite, al tener solamente dos probetas, se toma como probeta representativa cualquiera de las dos, ya que ambas se aproximan a los valores medios de PO_S exactamente igual. Se elige la probeta PO_S_3_4 y se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Pleurotus Ostreatus* con serrín (ver Gráfica 9).



Gráfica 22: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_S_3_4

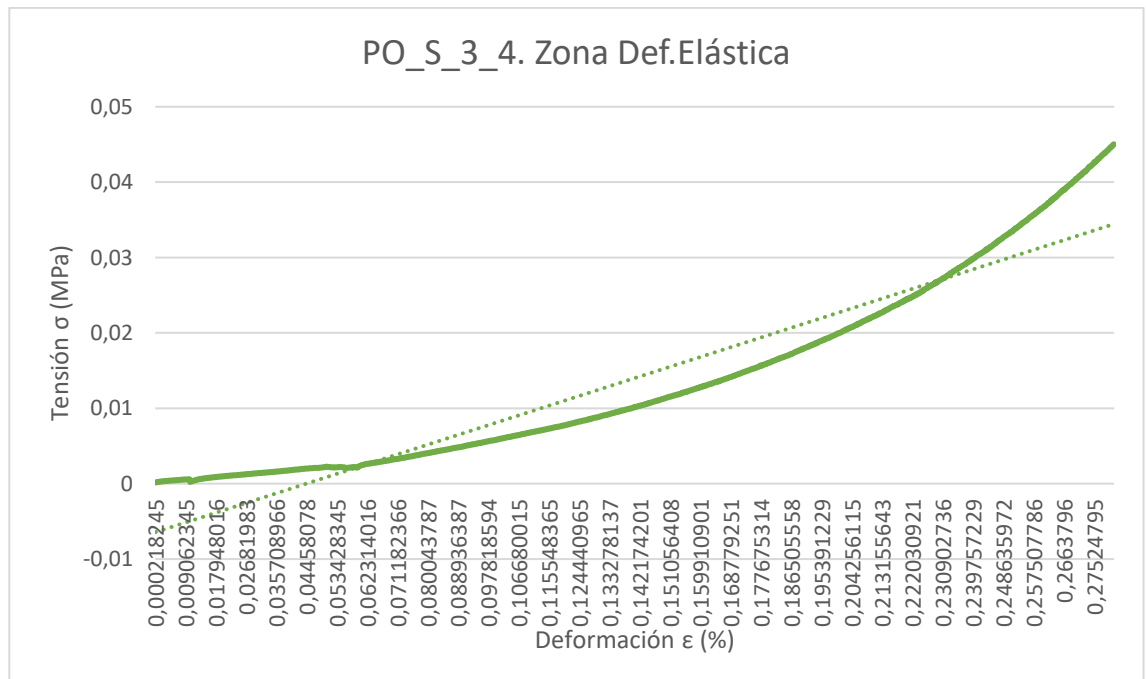
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,14 MPa es igual a $\epsilon = 0,41\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 23: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_S_3_4

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,045 MPa$, correspondiente con una deformación de $\epsilon_{Lim} = 0,28\%$.



Gráfica 24: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta PO_S_3_4. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$	n	10
1	0,037	0,001	0,002	0,00006		
2	0,072	0,005	0,003	0,0002	Σx_i	1,503
3	0,089	0,008	0,005	0,0004		
4	0,12	0,015	0,008	0,001	Σx_i^2	0,279
5	0,14	0,02	0,01	0,001		
6	0,14	0,019	0,012	0,002	Σy_i	0,153
7	0,18	0,031	0,015	0,003		
8	0,21	0,044	0,022	0,005	$\Sigma x_i y_i$	0,032
9	0,24	0,057	0,031	0,007		
10	0,28	0,078	0,045	0,013		

Tabla 49: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -1 \cdot 10^{-2} ; b = 0,170$$

Para la probeta representativa PO_S_3_4:

	MPa	ε (%)
Límite elástico	0,045	0,28
Mod. Young E	0,17	

Tabla 50: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de PO_S_3_4

Cáñamo (PO_C)

Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 51 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 52 (ver Tabla 51 y Tabla 52):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
PO_C_3_1	Máximo	0,68
	Medio	0,2
	Desviación	0,19
PO_C_3_3	Máximo	0,68
	Medio	0,17
	Desviación	0,18
PO_C_3_4	Máximo	0,66
	Medio	0,19
	Desviación	0,18
PO_C_3_5	Máximo	0,67
	Medio	0,18
	Desviación	0,19

Tabla 51: valores de tensión máxima, media y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,67
Medio	0,18
Desviación	0,18

Tabla 52: valores medios para PO_C

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para PO_C (ver Tabla 53).

Probeta	ϵ_{max}
PO_C_3_1	0,65
PO_C_3_3	0,73
PO_C_3_4	0,69
PO_C_3_5	0,6
Media	0,67

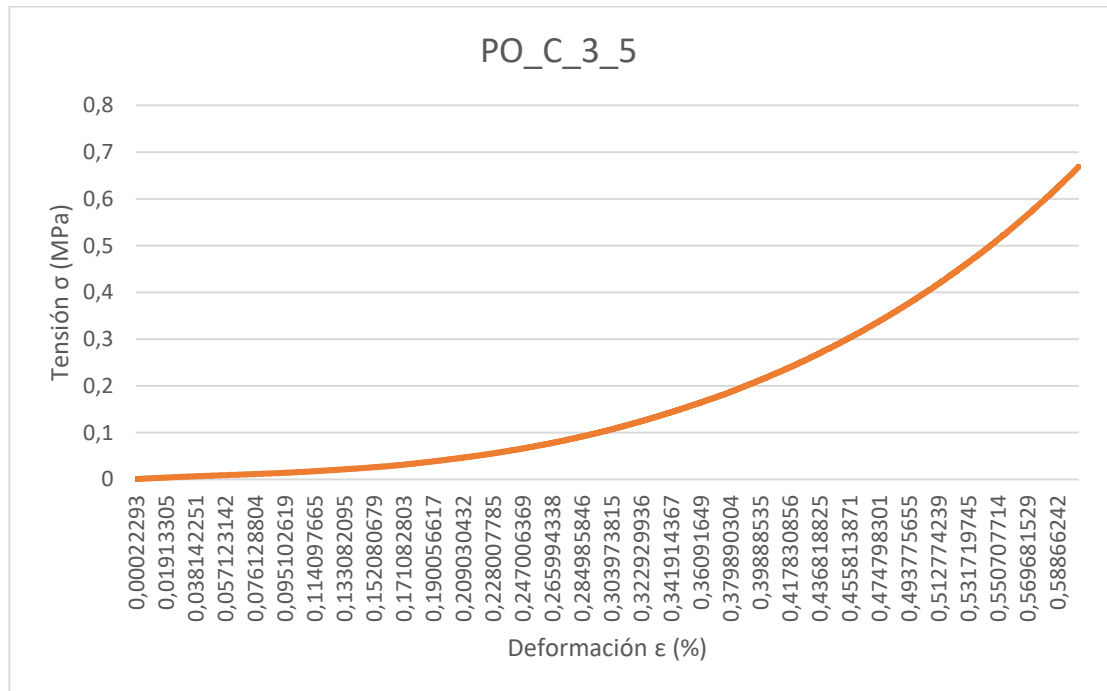
Tabla 53: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para PO_C

Se toma como probeta representativa aquella cuyos valores se acerca más a los valores medios de PO_C (ver Tabla 54):

	PO_C_3_1	PO_C_3_3	PO_C_3_4	PO_C_3_5
error σ_{max}	0,008	0,008	-0,011	-0,005
error σ_{med}	0,016	-0,02	0,004	-0,003
error σ_{desv}	0,002	0,0002	-0,003	0,001
EAP	0,009	0,008	0,006	0,003

Tabla 54: Cálculo del EAP de cada probeta con respecto a los valores medios de PO_C

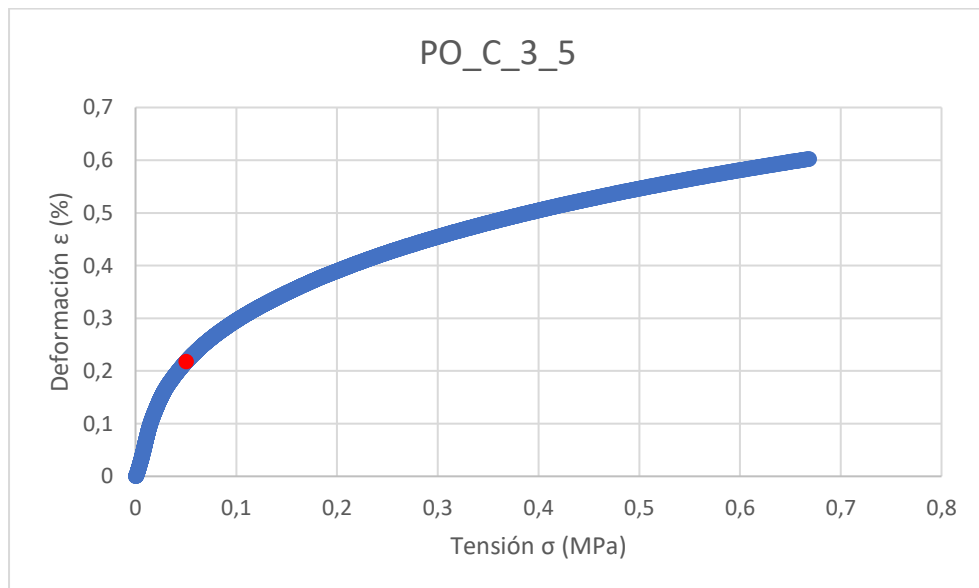
La probeta cuyos valores se aproximan más a los valores de tensión promedio de PO_C es la PO_C_3_5. Se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Pleurotus Ostreatus* con cáñamo (ver Gráfica 25).



Gráfica 25: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_C_3_5

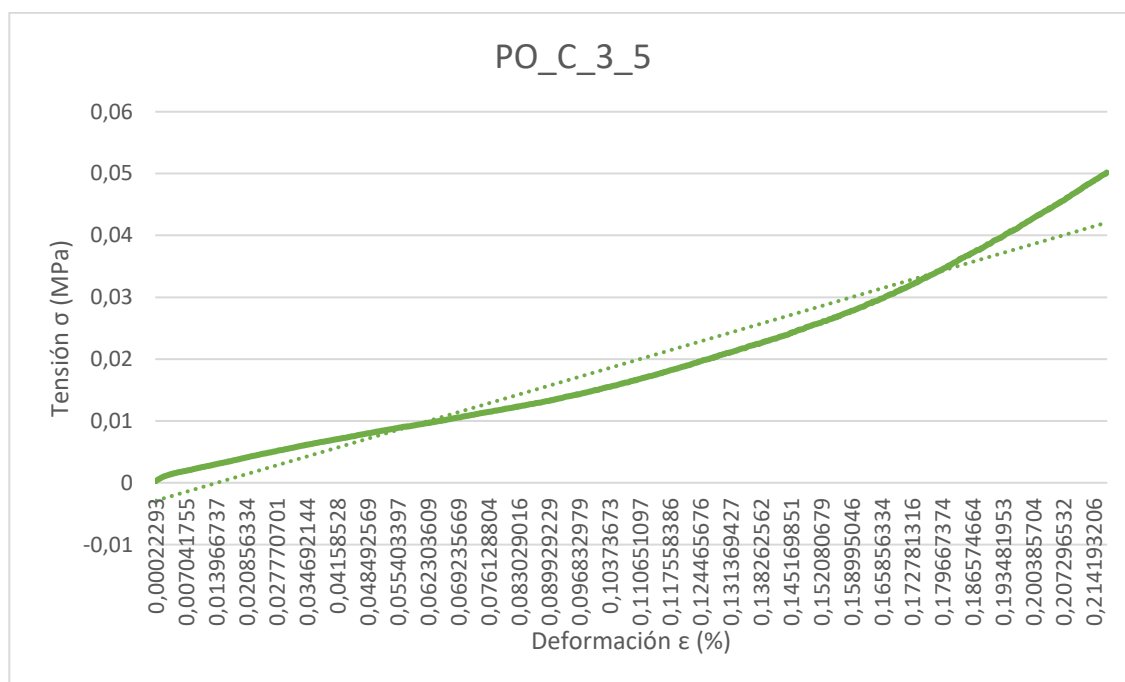
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,18 MPa es igual a $\epsilon = 0,37\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 26: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_C_3_5

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,050 MPa$, correspondiente con una deformación de $\varepsilon_{Lim} = 0,22\%$.



Gráfica 27: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ε (%) para la probeta PO_C_3_5. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\varepsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,013	0,0002	0,003	0,00004
2	0,042	0,002	0,007	0,0003
3	0,055	0,003	0,009	0,0005
4	0,079	0,006	0,012	0,0009
5	0,11	0,011	0,016	0,002
6	0,12	0,015	0,019	0,002
7	0,15	0,023	0,025	0,004
8	0,16	0,027	0,029	0,005
9	0,19	0,036	0,038	0,007
10	0,22	0,047	0,05	0,011

n	10
Σx_i	1,138
Σx_i^2	0,17
Σy_i	0,208
$\Sigma x_i y_i$	0,032

Tabla 55: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -2,61 \cdot 10^{-2} ; b = 0,210$$

Para la probeta representativa PO_C_3_5:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,05	0,22
Mod. Young E	0,21	

Tabla 56: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de PO_C_3_5

Heno (PO_H)

Los valores máximos, medios y la desviación típica de cada probeta se muestran en la Tabla 57 y la media global de cada uno de estos tres parámetros, en la Tabla 58 (ver Tabla 57 y Tabla 58):

Probeta	Valor	Tensión (Mpa)
PO_H_3_1	Máximo	0,73
	Medio	0,085
	Desviación	0,15
PO_H_3_2	Máximo	0,71
	Medio	0,089
	Desviación	0,15

Tabla 57: tensión máxima, media y desviación

Valores Medios	Tensión (MPa)
Máximo	0,72
Medio	0,087
Desviación	0,15

Tabla 58: valores medios para PO_H

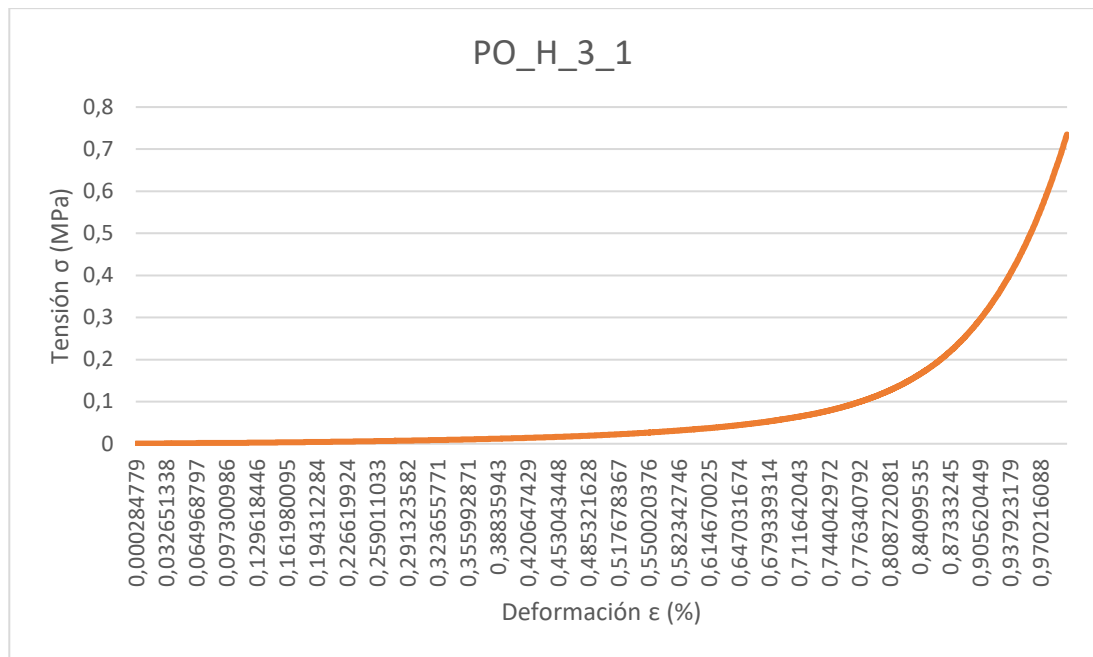
En este caso, solo se disponía de dos probetas de *Pleurotus Ostreatus* y heno, ya que las otras se contaminaron durante el cultivo.

Valores máximos de deformación alcanzados por cada probeta y el valor medio total para PO_S (ver Tabla 59).

Probeta	ϵ .max
PO_H_3_1	0,1
PO_H_3_2	0,9
Media	0,95

Tabla 59: valores máximos de deformación de cada probeta y valor medio para PO_H

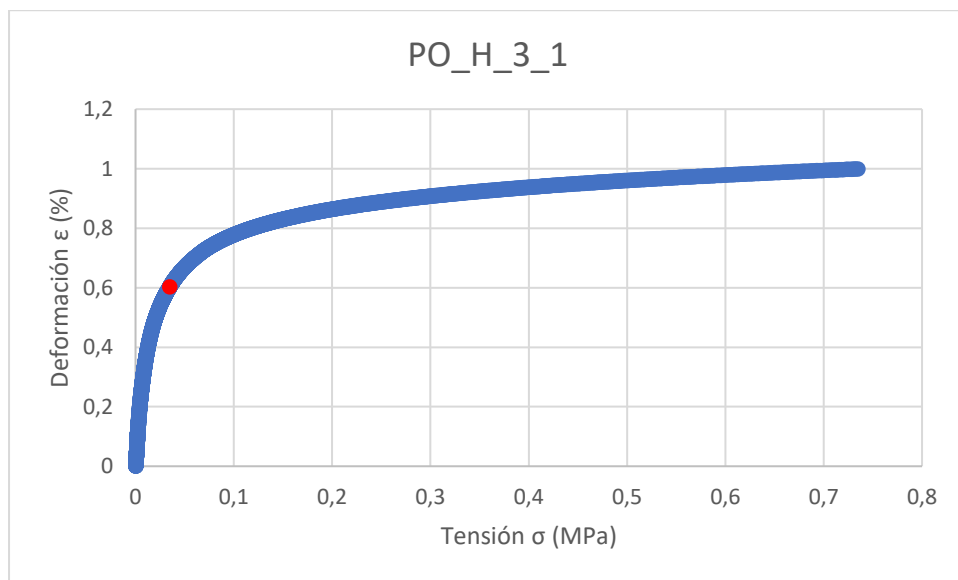
Se eligió la probeta PO_H_3_1 y se toma su gráfica como gráfica representativa del estudio de la especie *Pleurotus Ostreatus* con heno (ver Gráfica 28).



Gráfica 28: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_H_3_1

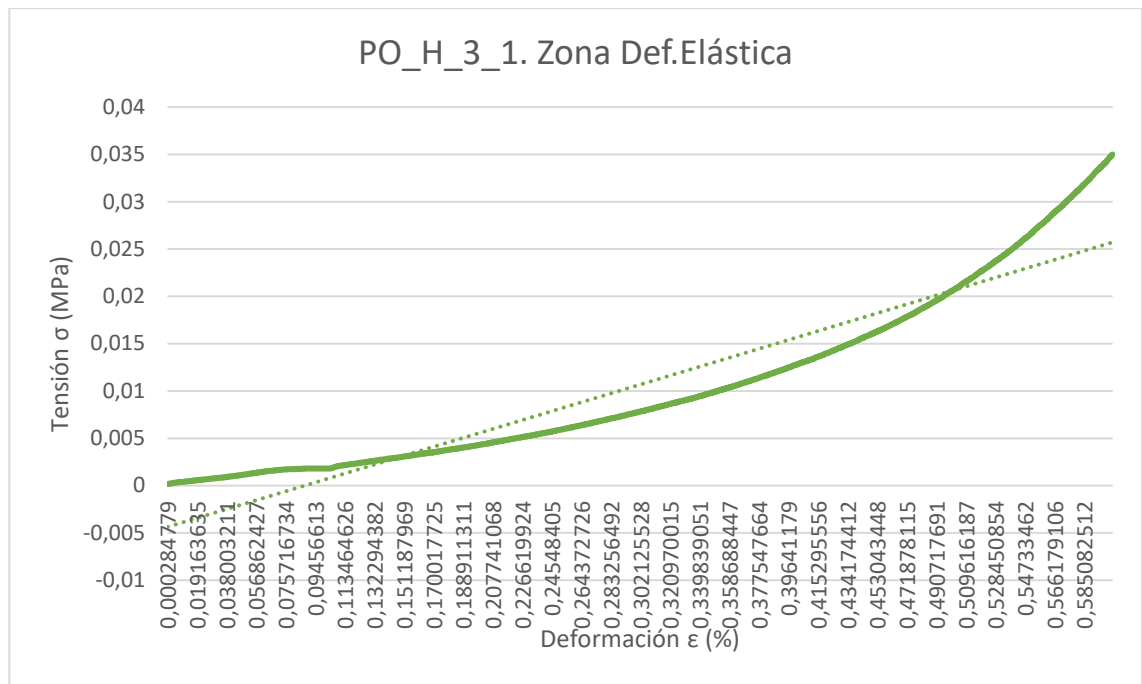
Para esta probeta se obtiene que la deformación producida a la σ_{media} de 0,085 MPa es igual a $\epsilon = 0,75\%$.

Determinación del Módulo de Young y el Límite Elástico:



Gráfica 29: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_H_3_1

Límite elástico: $\sigma_{Lim} = 0,035MPa$, correspondiente con una deformación de $\epsilon_{Lim} = 0,6\%$.



Gráfica 30: Zona de deformación elástica de la gráfica Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_H_3_1. Aproximación a una recta por Ajuste por Mínimos Cuadrados

Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados:

n	$x_i (\epsilon_i)$	x_i^2	$y_i (\sigma_i)$	$x_i y_i$
1	0,08	0,006	0,002	0,0001
2	0,12	0,013	0,002	0,0003
3	0,15	0,023	0,003	0,0005
4	0,22	0,05	0,005	0,001
5	0,27	0,073	0,007	0,002
6	0,3	0,09	0,008	0,002
7	0,38	0,14	0,011	0,004
8	0,45	0,2	0,016	0,007
9	0,53	0,28	0,024	0,013
10	0,6	0,36	0,035	0,021

n	10
Σx_i	3,1
Σx_i^2	1,244
Σy_i	0,112
$\Sigma x_i y_i$	0,051

Tabla 60: Cálculo de los parámetros necesarios para realizar el Ajuste por Mínimos Cuadrados

$$\left. \begin{aligned} a \cdot n + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

$$a = -6,63 \cdot 3 ; b = 0,050$$

Para la probeta representativa PO_H_3_1:

	MPa	ϵ (%)
Límite elástico	0,035	0,603
Mod. Young E	0,05	

Tabla 61: Límite elástico, deformación elástica límite y Módulo de Young de PO_H_3_1

Comparativa

A continuación, se muestra una Tabla resumen con los parámetros más significativos de cada composite de la especie *Pleurotus Ostreatus* (ver Tabla 62):

Composite	σ_{media} (MPa)	ϵ_{final} (%)	ϵ (%) a la σ_{media} p.representativa	σ_{Lim} (MPa)	ϵ (%) a la σ_{Lim}	E (MPa)
PO_S	0,14	0,61	0,41	0,045	0,28	0,17
PO_C	0,18	0,67	0,38	0,05	0,22	0,21
PO_H	0,087	0,95	0,75	0,035	0,6	0,05

Tabla 62: parámetros significativos de los composites de la especie *P.Ostreatus*

Para el caso de los composites de *Pleurotus Ostreatus*, a pesar de que la deformación final de los composites de cáñamo fue ligeramente superior a la de los composites de serrín (ver Tabla 62), los valores de σ_{media} PO_C y de ϵ a la σ_{media} de la probeta representativa PO_C_3_5, muestran un mejor comportamiento a compresión a lo largo de todo el ensayo que el composite PO_S. Además, el composite PO_C es el que presenta un mayor Módulo de Young. De este modo, se concluye que para la especie *Pleurotus Ostreatus*, son los composites de cáñamo y no los de serrín, los que presentan una mayor resistencia a compresión.

9.2 Conclusiones del ensayo

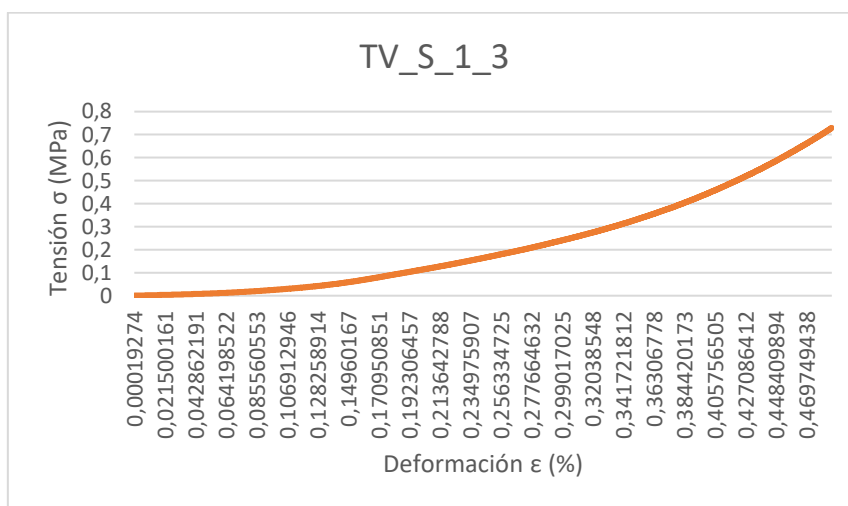
A continuación, se muestra una tabla comparativa de los valores más significativos de cada uno de los composites estudiados (ver Tabla 63).

Composite	σ_{media} (MPa)	ϵ_{final} (%)	ϵ (%) a la σ_{media} p.representativa	σ_{Lim} (MPa)	ϵ (%) a la σ_{Lim}	E (MPa)
TV_S	0,35	0,55	0,29	0,046	0,13	0,34
TV_C	0,21	0,81	0,53	0,055	0,19	0,29
TV_H	0,11	1,02	0,64	0,06	0,51	0,13
GL_S	0,16	0,56	0,39	0,053	0,26	0,26
GL_C	0,18	0,74	0,48	0,07	0,33	0,25
GL_H	0,11	0,79	0,49	0,049	0,4	0,14
PO_S	0,14	0,61	0,41	0,045	0,28	0,17
PO_C	0,18	0,67	0,38	0,05	0,22	0,21
PO_H	0,087	0,95	0,75	0,035	0,6	0,05

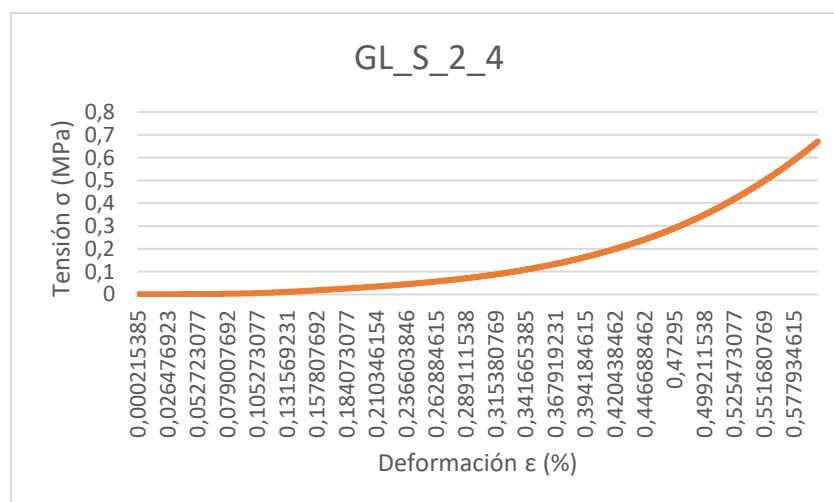
Tabla 63: Comparativa de los valores más significativos de los composites estudiados

Si se observa la Tabla 63, se aprecia como el composite TV_S es el que muestra una mayor resistencia a compresión, al presentar la mayor σ_{media} , los menores valores de deformación y el mayor Módulo de Young. Conviene volver a visualizar las gráficas de los composites representativos de cada especie, mostradas de nuevo a continuación (ver Gráfica 3, Gráfica 12 y Gráfica 25). Se observa como para el caso de TV_S, el composite comienza a oponer resistencia a la fuerza aplicada, prácticamente, nada más comenzar el ensayo. Por lo tanto, en comparación con el resto, presenta un Límite elástico bajo y el menor valor de la deformación en ese punto (ϵ (%) a la $\sigma_{Lim}=0,13\%$). En el caso de GL_S y PO_C, la zona de deformación elástica es más prolongada y se alcanza el límite elástico una vez que se ha producido una deformación cercana al doble que la que experimentó TV_S en su punto límite (ϵ (%) a la $\sigma_{Lim}=0,26\%$ para GL_S, ϵ (%) a la $\sigma_{Lim}=0,22\%$ para PO_C). Ambos composites, GL_S y PO_C, muestran valores de Módulo de Young E muy próximos entre sí.

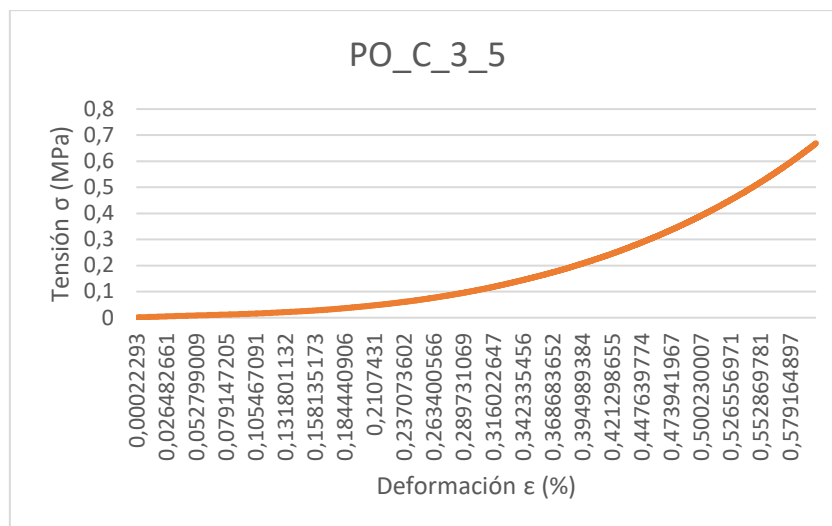
El composite que menor resistencia a compresión ha experimentado es el PO_H (ver Tabla 63) (ver Gráfica 28), presentando la mayor zona de deformación elástica y el menor Módulo de Young.



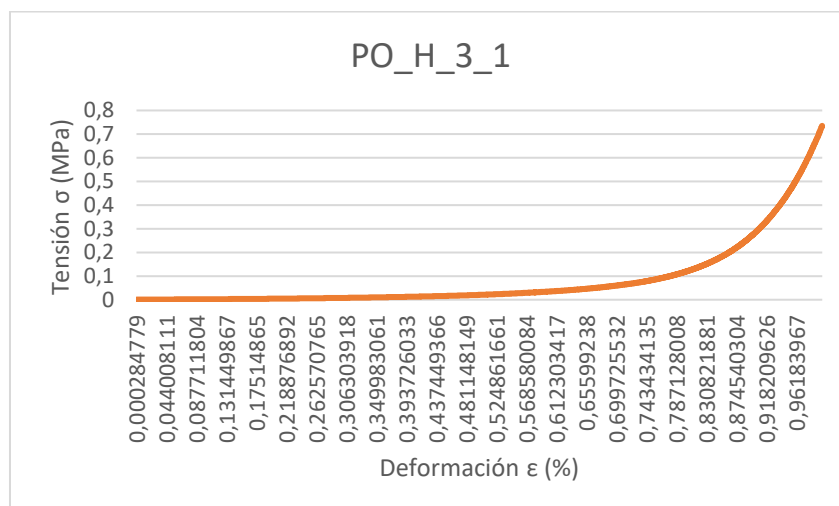
Gráfica 3: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta TV_S_1_3



Gráfica 12: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta GL_S_2_4



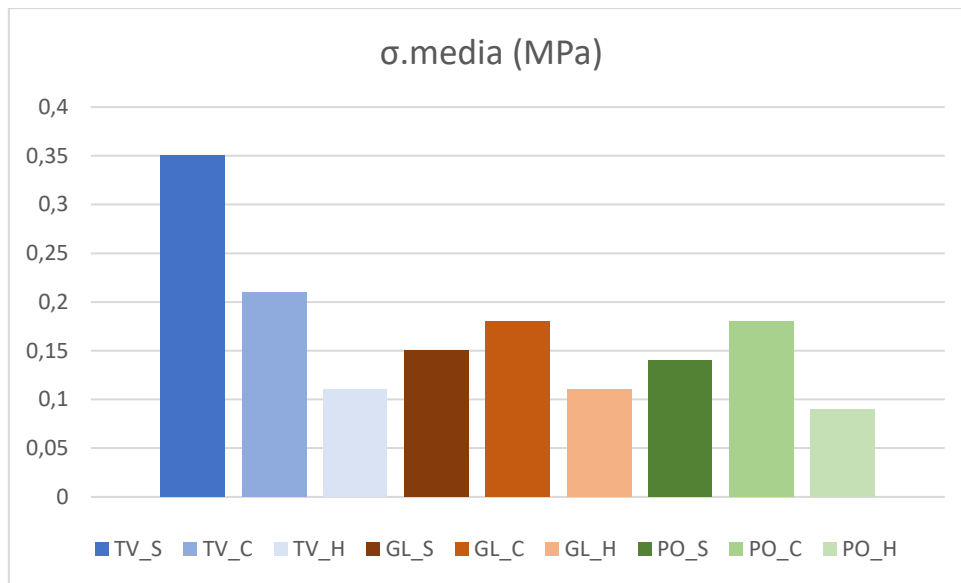
Gráfica 25: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_C_3_5



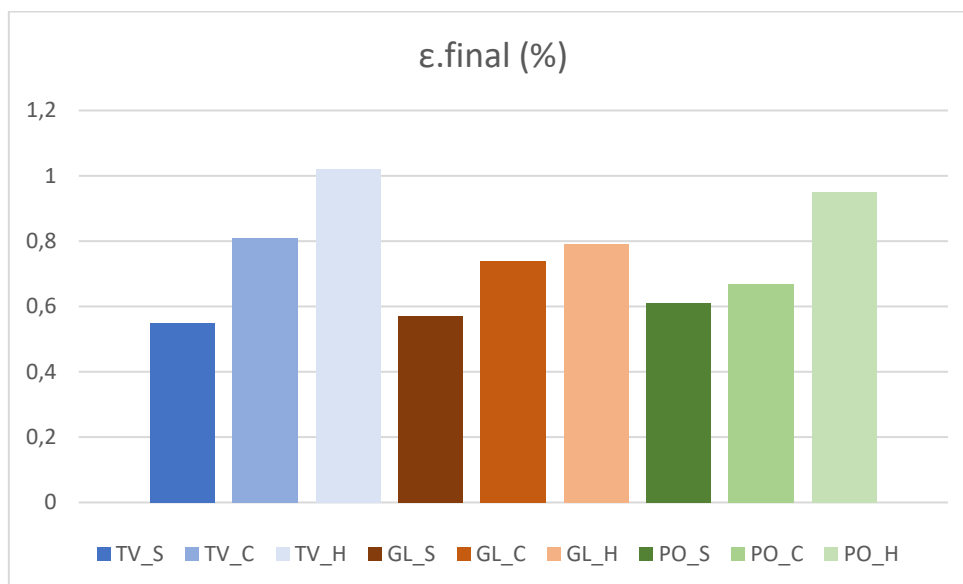
Gráfica 28: Tensión σ (MPa) – Deformación ϵ (%) para la probeta PO_H_3_1

Las gráficas de todas las probetas ensayadas a compresión y las dimensiones de cada una de ellas, se pueden encontrar en el apartado Anexos (ver Apartado 13. Anexos).

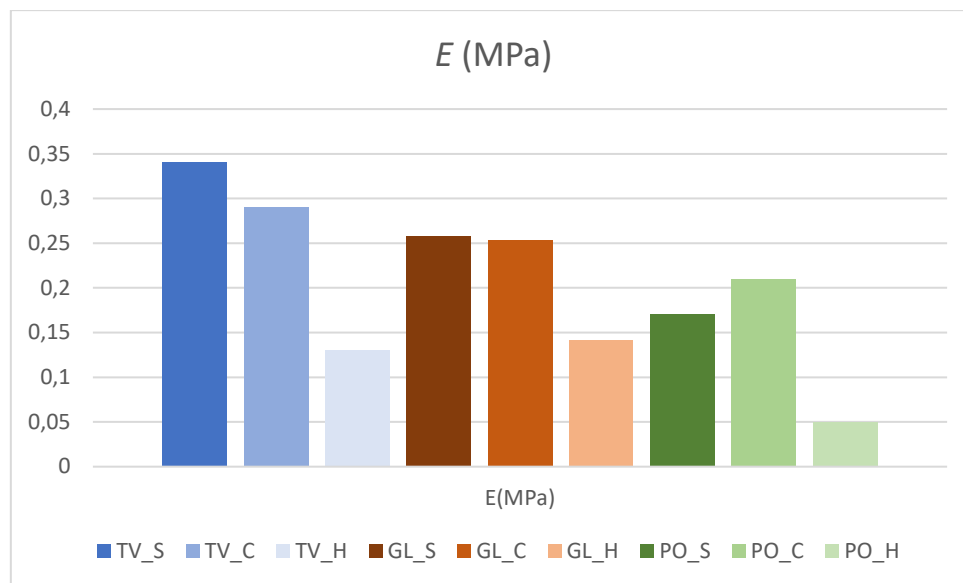
A continuación, en los siguientes gráficos de barras se muestra una comparativa de la resistencia a compresión de cada composite según la tensión media alcanzada σ_{media} , la deformación final ϵ_{final} (%) y el Módulo de Young E (ver Gráfica 31, 32 y 33).



Gráfica 31: resistencia a compresión de los composites según la σ_{media}



Gráfica 32: resistencia a compresión de los composites según una menor ϵ_{final}



Gráfica 33: resistencia a compresión de los composites según el Módulo de Young E

En cuanto a la influencia que supone la naturaleza de la especie y el tipo de sustrato, queda demostrado en el estudio cómo el tipo de sustrato es el factor más influyente a la hora de obtener una mejor resistencia a compresión, al haber sido el serrín el sustrato ganador en este aspecto. Esto puede deberse a que las especies con las que se ha trabajado están acostumbradas a crecer en los troncos de los árboles de madera dura, como es el origen del serrín con el que se ha trabajado (serrín de madera de haya). Sin embargo, para realizar cualquier estudio, conviene también tener en consideración la naturaleza de la especie, ya que la especie *Pleurotus Ostreatus*, a pesar de haber obtenido buenos resultados con el serrín, demuestra tener una mayor preferencia por el cáñamo a la hora de desarrollar sus redes y una menor atracción por el heno que las otras dos especies.

A pesar de que se haya realizado un único ensayo a compresión, se puede deducir que, por lo general, los composites de serrín presentan mejores propiedades mecánicas como rigidez, dureza o resistencia a tracción y que los composites de heno, presentan mejores propiedades elásticas, como resiliencia o maleabilidad [53]. No obstante, resultaría muy interesante realizar en el futuro, diferentes ensayos con estos materiales, como ensayos a tracción, absorción de agua, ensayo de dureza Rockwell, ensayos de tenacidad Charpy, absorción acústica, abrasión etc. Por el momento, con el ensayo realizado, destaca la gran resistencia a compresión por parte del composite TV_S, que ha sido capaz de resistir los 5050 N de fuerza aplicados (aproximadamente 500 kg) sin a penas deformarse. Se puede apreciar en las siguientes imágenes el antes y el después de una de las probetas de TV_S que experimentó un buen comportamiento durante el ensayo (ver Figura 79 a) y b)).



a)



b)

Figura 79: a) TV_S_1_1 antes de realizar el ensayo b) TV_S_1_1 tras haber realizado el ensayo

Merece la pena mencionar que durante la fase de cultivo, la especie *Ganoderma Lucidum* produjo de manera natural micelio en estado esponjoso alrededor de las probetas (ver Figura 80 a) y b)). En el caso de que se quisiese obtener aplicaciones que compitiesen con la espuma de poliuretano, como paneles de insonorización o paneles de aislamiento térmico, esta es la especie que se está utilizando actualmente para estas aplicaciones, ya que lo que se busca obtener es precisamente esa espuma de micelio que esta especie es capaz de generar.



a)



b)

Figura 80: a) Probetas de *Ganoderma Lucidum* antes de meterlas en el horno b) Esponja de *Ganoderma Lucidum* tras el horneado

Si se comparan los resultados obtenidos en este ensayo, con materiales de construcción como ladrillos de arcilla, se destaca que las tensiones de compresión que experimentan los ladrillos de arcilla muestran valores mucho más elevados, como mínimo 13,34 MPa de tensión máxima [54]. Sin embargo, los ladrillos de micelio demuestran ser hasta 60 veces más ligeros. Esta característica, permite que los composites de micelio puedan plantearse para construcciones pequeñas, de hasta 12 metros de altura aproximadamente [55]. Por otro lado, si se compara con materiales poliméricos, empleados por ejemplo en la fabricación de sillas, como el polipropileno (PP) o el polietileno de alta densidad (HDPE) [56], se observan valores máximos de tensión del orden de 6,2 MPa y de 12,6 MPa respectivamente. Valores de tensión de nuevo superiores a las obtenidas con los composites de micelio [57, 58]. No obstante, la escasa contaminación que supone la fabricación de estos composites, la posibilidad que ofrecen de reutilizar los residuos agrícolas, la capacidad de biodegradación y el bajo peso que presentan, los convierten en alternativas que algún día podrían llegar a sustituir a estos materiales mencionados en algunas aplicaciones.

Por último, conviene recordar que, a pesar de la gran influencia que supone el tipo de sustrato, las propiedades finales del composite son aportadas por el poder aglutinante que tiene

el micelio. Ni el sustrato, ni el micelio por separado, presentan las propiedades demostradas en este ensayo, ni las mencionadas en el apartado 5 (ver Apartado 5. Propiedades del material). Se trata, por lo tanto, de un material compuesto, pues es la unión natural de ambos elementos lo que dota al composite de las características estudiadas.

10. Conclusión

Resulta interesante señalar como existe una tendencia actual por la investigación de alternativas sostenibles para nuestro planeta. Parece que la humanidad comienza a ser consciente del daño que supone su producción desmesurada e imprudente. La necesidad de materiales de bajo impacto ambiental comienza a ser una realidad. Sin embargo, no se debe percibir este hecho con miedo, si no con esperanza e ilusión, pues surge una nueva rama de la ciencia que, en pocos años, ha demostrado la existencia de soluciones viables que no comprometen el futuro de la Tierra. Los composites de micelio son una de ellas, cabe esperar la llegada de muchas más.

El excitante potencial que presenta el micelio como material de fabricación incita a continuar investigando este material. Por el momento, ha demostrado su capacidad para competir con algunos polímeros, como la espuma de poliuretano, en aplicaciones de aislamiento acústico. Resulta de hecho, una mejor alternativa en aplicaciones de aislamiento térmico, si se pone en valor el bajo impacto ambiental que supone. Sin embargo, en las investigaciones más recientes, se observa un mayor interés en sectores como el de la construcción, el mobiliario y el envase y embalaje, pues se trata de un material muy ligero y con capacidad para obtener buenas propiedades mecánicas. Quizás, el mayor inconveniente que puede presentar es su capacidad para absorber agua. No obstante, esta característica también puede ser analizada como una ventaja en determinadas aplicaciones, sugiriendo el desarrollo de nuevos estudios.

La actual generación de residuos agrícolas supone una importante fuente de contaminación para nuestro planeta, pues en muchas ocasiones estos residuos se incineran, liberando grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera. Una mayor producción de los composites de micelio podría otorgar una segunda vida a estos residuos que, tras haber sido transformados en productos sostenibles, pueden volver a la tierra transformados en nutrientes. Gracias a esta posibilidad, los composites de micelio se pueden percibir como un negocio tanto económico como ecológico, pues no requieren una excesiva inversión en la obtención de materia prima, ni grandes gastos en reducción de emisiones contaminantes o en gestión de residuos. Además, una vez obtenida una especie de hongo, su crecimiento se puede organizar de manera que este sea exponencial y que nunca se vuelva a presentar la necesidad de adquirir la especie.

Tras el estudio realizado, se llega a la conclusión de la especie de hongo *Trametes Versicolor* es la que, además de demostrar el crecimiento más rápido a la hora de realizar los cultivos, también otorga a los composites la mayor resistencia frente a esfuerzos de compresión al cultivarse junto con el serrín y junto con el cáñamo. Por otro lado, de todos los sustratos empleados, se deduce que el serrín es el que mejores propiedades mecánicas proporciona a los composites, al aproximarse más al medio natural en el que crecen las especies estudiadas. Merece la pena mencionar que, a pesar de la aparente complejidad de las técnicas de cultivo realizadas, la producción de estos composites no es una labor complicada. A pesar de que siempre existan riesgos de contaminación, con medios caseros y de bajo coste, se pueden

obtener resultados exitosos sin la necesidad de un laboratorio profesional. Se trata más bien de una cuestión de práctica, paciencia y de volver a empezar si algo sale mal. Por último, tras haber explicado el importante papel que juegan los hongos en la naturaleza, con este trabajo se pretende despertar en el lector un mayor interés por estos organismos, invitándolo a su cultivo y al aprendizaje. No sólo por las interesantes propiedades que presentan los hongos como material de fabricación, si no por el beneficio que suponen para la riqueza del suelo y la vegetación de los bosques.

11. Líneas o trabajos futuros

Las especies que se han estudiado para la fabricación de composites de micelio son tan solo unas pocas. Con la gran cantidad de especies de hongos existentes en la tierra y el interés creciente por el desarrollo de materiales biodegradables, cabe imaginar la aparición de nuevos estudios que investiguen nuevas especies junto con nuevos sustratos. Estos futuros estudios deberían ir acompañados de la mano de micólogos, que con su conocimiento sobre el reino *fungi*, ayuden a predecir qué especies y qué sustratos aportarán los resultados más interesantes. De este modo, es probable que surjan nuevas aplicaciones que conviertan al micelio en un material más atractivo y conocido.

Todavía queda mucho conocimiento por adquirir, pero es probable que este composite sume pasos significativos en el camino hacia la sostenibilidad. Es de esperar que el micelio continúe demostrando que quizás, las nuevas soluciones se encuentran con tan solo prestar más atención a la naturaleza.

12. Bibliografía

- [1] «Biología-Geología.com,» [En línea]. Available: https://biologia-geologia.com/BG1/733_fungi.html. [Último acceso: 4 marzo 2021].
- [2] C. & M. C. Alexopoulos, Introducción a la micología, Barcelona: Omega, 1985, p. 638.
- [3] P. Stament, Mycelium Running. How Mushrooms Can Help Save The World, Ten Speed Press, 2005, p. 343.
- [4] C. A. Janarrete., «An Introduction to Mycorrhizae,» *The American Biology Teacher*, vol. 53, nº 1, p. 7, 1 enero 1991.
- [5] «Mycorrhizal network sustains diversity in a forest by transporting nutrients and water,» *Ask Nature*, 3 noviembre 2020.
- [6] S. Simmard, «How trees talk to each other,» *TED Talk*, 22 julio 2016.
- [7] «Mycorrhizal fungi distribute water between plants,» *Ask Nature*, 18 junio 2020.
- [8] «How trees secretly talk to each other,» BBC News, 28 junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/news/av/science-environment-44643177>. [Último acceso: 3 marzo 2021].
- [9] P. Staments, «The petroleum problem,» *Fungi Perfecti*, 3 junio 2010.
- [10] P. Staments, «Mycorestoration of Abandoned Logging Roads,» *Fungi Perfecti*, 25 junio 2003.
- [11] Y. Yoneda, «Life Box: Paul Staments Unveils Brilliant Seed-Sprouting Cardboard Box,» *INHABITAT*, 7 febrero 2010.
- [12] «Ecovative Design,» [En línea]. Available: <https://ecovativedesign.com/>.
- [13] «Mycelium Spotlight: Grant Goldner,» *Natura Design Studios*, 27 mayo 2019.
- [14] M. Fair, «Mycelium Chair by Eric Klareenbeek is 3D-printed with living fungus,» *Dezeen*, 20 octubre 2013.
- [15] E. Souza, «¿Edificios de hongos? Las posibilidades del Micelio en la arquitectura,» *ArchDaily*, 10 octubre 2020.
- [16] «Mycoworks,» [En línea]. Available: <https://www.mycoworks.com/>. [Último acceso: 4 marzo 2021].
- [17] Greenpeace, «Trabajamos en consumismo. Plásticos».
- [18] Greenpeace, «La ganadería industrial está destruyendo el planeta,» 10 junio 2019.
- [19] A. Sayner y E. Jong, «How to grow DIY mushroom spawn,» *GowCycle*.
- [20] C. S. Laín y M. Gutiérrez Bustillo, «Esporas atmosféricas en la Comunidad de Madrid,» *Instituto de Salud Pública. Comunidad de Madrid*, p. 83, enero 2003.
- [21] «instrumento de laboratorio,» Tubodeensayo.online, [En línea]. Available: <https://www.instrumentodelaboratorio.info/placa-de-petri/>. [Último acceso: 21 marzo 2021].
- [22] P. McCoy, Radical Mycology. A Treatise on Seeing and Working with Fungi, Portland, Oregon: CHTHAEUS Press, 2016, p. 672.
- [23] T. Shields, «Different Types of Grain Spawn,» *Fresh Cap Growing Blog*.
- [24] T. Shields, «The Fruiting Block: Growing Gourmet Mushrooms on Sawdust,» *Fresh Cap Growing Blog*.
- [25] «Cómo identificar maderas duras y maderas blandas,» *Wooderra*.
- [26] «Definición de heno,» Boletín Agrario, [En línea]. Available: <https://boletinagrario.com/ap-6,heno,467.html>.
- [27] A. Sayner y E. Jong, «A Complete Guide to Mushroom Substrates,» *Gro Cycle*.
- [28] Nick, «What is the Easiest Mushroom to Grow,» *Practical Growing*, 2020.

- [29] T. Shields, «Why are Mushrooms so Hard to Grow,» *Fresh Cap Growing Blog*.
- [30] P. Staments, *Growing Gourmet and Medical Mushrooms*, Ten Speed Press, 2000, p. 614.
- [31] E. Elsacker, S. Vandeloock, A. Van Wylick, J. Ruytinx, L. De Laet y E. Peeters, «A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic substrates,» *Science of the Total Environment*, p. 16, 2 abril 2020.
- [32] E. Elsacker, S. Vandeloock, J. Brancart, E. Peeters y L. De Laet, «Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates,» *Research Gate*, p. 25, 7 marzo 2019.
- [33] C. Girometta, A. M. Picco, R. M. Baiguera, D. Dondi, S. Babbini, M. Cartabia, M. Pellegreni y E. Savino, «Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review,» *MDPI*, p. 22, 8 febrero 2019.
- [34] M. Jones, A. Mautner, S. Luenco, A. Bismarck y S. John, «Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review,» *ELSEVIER*, p. 16, 29 noviembre 2019.
- [35] F. Heisel, K. Schlesier, J. Lee, M. Rippmann, N. Saeidi, A. Javadian, A. R. Nugroho, D. Hebel y P. Block, «Design of a load-bearing mycelium structure through informed structural engineering,» *ResearchGate*, diciembre 2017.
- [36] M. Jones, T. Bhat, C. H. Wang, K. Moinuddin y S. John, «Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites. 21st International Conference on Composite Materials,» *ResearchGate*, agosto 2017.
- [37] N. H. Rawkins, «Linkedin.com,» [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/ecovative-design-meet-start-up-thats-betting-big-rawkins/>. [Último acceso: 11 mayo 2021].
- [38] E. Elsaker, A. Søndergaard, A. Van Wylick, E. Peeters y L. De Laet, «Growing living and multifunctional mycelium composites for large-scale formwork applications using robotic abrasive wire-cutting,» *ELSEVIER*, p. 15, 28 febrero 2021.
- [39] B. Studio, «Blast-studio.com,» [En línea]. Available: <https://www.blast-studio.com/>. [Último acceso: 12 mayo 2021].
- [40] Abilista, «Impresión 3D en Cerámica,» [En línea]. Available: <https://abilista.com/es/blog/2020/11/12/3d-ceramic-printing/>. [Último acceso: 19 mayo 2021].
- [41] D. Grimm y H. A. B. Wösten, «Mushroom cultivation in the circular economy,» *Springer Link*, vol. Applied Microbiology and Biotechnology, nº 102, 19 julio 2018.
- [42] BBVA, «BBVA OpenMind,» [En línea]. Available: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/la-cuna-la-cuna-materiales-inmortales-construir-futuro/>. [Último acceso: 13 mayo 2021].
- [43] Salvalaselva.org, «Salva la Selva,» [En línea]. Available: <https://www.salvalaselva.org/temas/bioenergia/soja>. [Último acceso: 13 mayo 2020].
- [44] Química.es, [En línea]. Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Etanol.html>. [Último acceso: 13 mayo 2021].
- [45] T. K. N. J. C. T. S. L. Kyung Hoan Im, «Ethanol Production from Various Sugars and Cellulosic Biomass by White Rot Fungus Lenzites betulinus,» *NCB*, 31 marzo 2016.
- [46] H. M. o. N. History, «Fungal Biofuels,» Youtube, [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=r1BfxpX9XII&list=PL54rxduU0IBwuTiYS6mnMFAj3wxesy8&index=32&t=1s>. [Último acceso: 13 mayo 2021].
- [47] Fundación Salud y Alimentación, «Diet Health,» [En línea]. Available: <https://www.diet-health.info/es/recetas/ingredientes/in/kg3825-seta-de-ostra-cruda>. [Último acceso: 16 julio 2021].
- [48] Zoomalia, «Lecho de cáñamo para conejos y roedores 10L,» [En línea]. Available: <https://www.zoomalia.es/mascotas/lecho-de-canamo-para-conejos-y-roedores-de-10l-a-100l-p-11724.html>. [Último acceso: 27 abril 2021].
- [49] A. Pérez González, «Mecapedia.uji.es,» [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm. [Último acceso: 5 agosto 2021].
- [50] Tenso.es, [En línea]. Available: <http://www.tenso.es/utilidades/glosario.asp?termino=L%EDmite%20e%1stico>. [Último acceso: 5 agosto 2021].
- [51] sc.ehu.es, «Medida del Módulo de Elasticidad,» [En línea]. Available: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm. [Último acceso: 5 agosto 2021].
- [52] J. M. A. Reina, Oficina Técnica, U. P. d. Madrid, Ed., 2010.
- [53] Universitat Politècnica de Catalunya, «Propiedades Físicas y Mecánicas de los materiales,» [En línea]. Available: https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250109/2011/Propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20de%20los%20materiales%20-%20Parte%20II%20EC%202011-2012.pdf. [Último acceso: 4 agosto 2021].
- [54] C. M. Piscal Arévalo, N. Afanador García y S. Medina, «Resistencia a la compresión de ladrillos en el municipio de Ocaña,» *Research Gate*, p. 6, 10 octubre 2011.
- [55] D. van der Hoeven, «Mycelium as a construction material,» *Bio Based Press*, 7 abril 2020.

[56] Expo Maquinaria - Comercio y Hostelería, «Sillas de Plástico y Resina,» [En línea]. Available: <https://www.expomaquinaria.es/67-sillas-resina-hosteleria>. [Último acceso: 22 julio 2021].

[57] D. J. Archilla González y G. C. Figueroa Parra, «Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado,» *Repositorio Institucional - Universidad La Gran Colombia*, p. 125, 2017.

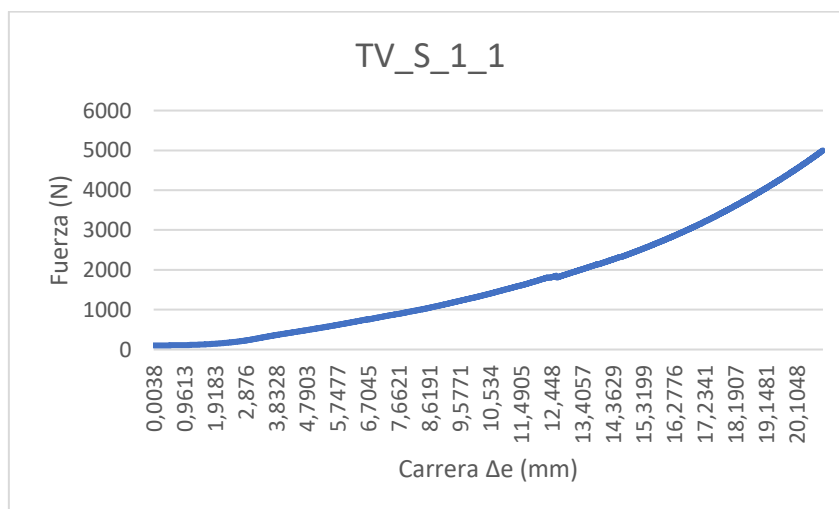
[58] Matweb.com, «High Density Polyethylene (HDPE), Injection Molded».

13. Anexos

En este apartado se muestran las dimensiones y las gráficas Fuerza-Carrera y Tensión-Deformación de todas las probetas que fueron ensayadas a compresión.

TV S

Dimensiones probeta TV_S_1_1		
espesor1	41,8	mm
espesor2	46,4	mm
espesor3	46,1	mm
e.medio	44,7666667	mm
Longitud	116,2	mm
Ancho	83,2	mm
Supecficie	9667,84	mm ²
Volumen	432796,971	mm ³



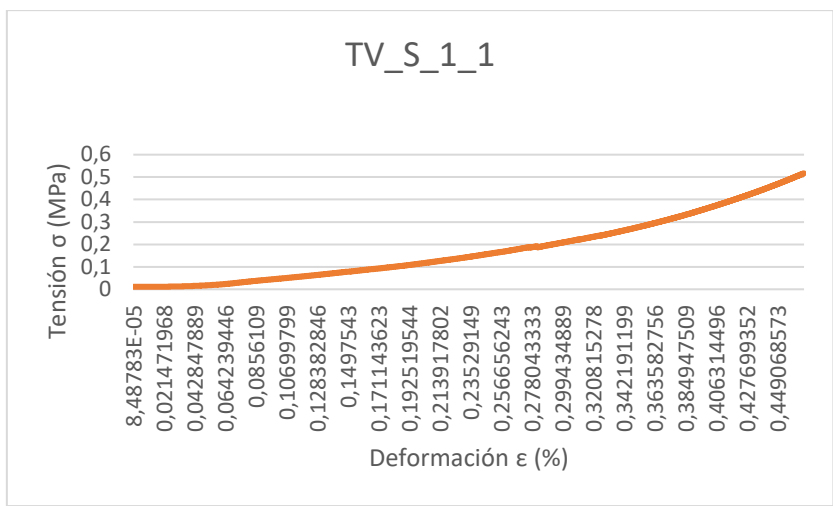
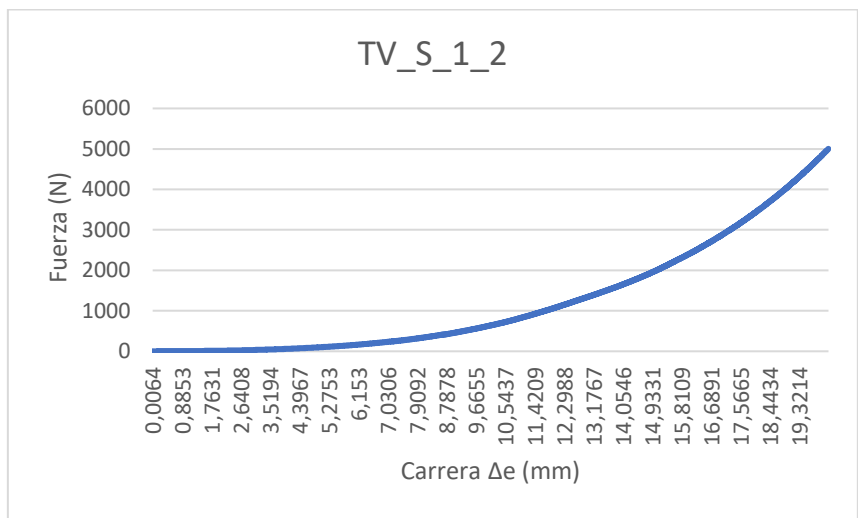


Figura 81: dimensiones y gráficas de TV_S_1_1

Dimensiones probeta TV_S_1_2		
espesor1	33,9	mm
espesor2	31,1	mm
espesor3	30,1	mm
e.medio	31,7	mm
Longitud	122,5	mm
Ancho	52,1	mm
Supecie	6382,25	mm^2
Volumen	202317,325	mm^3



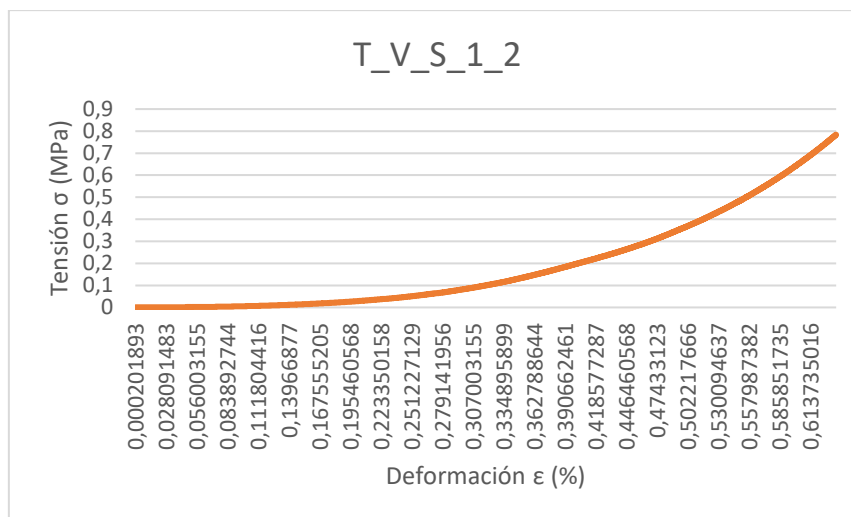
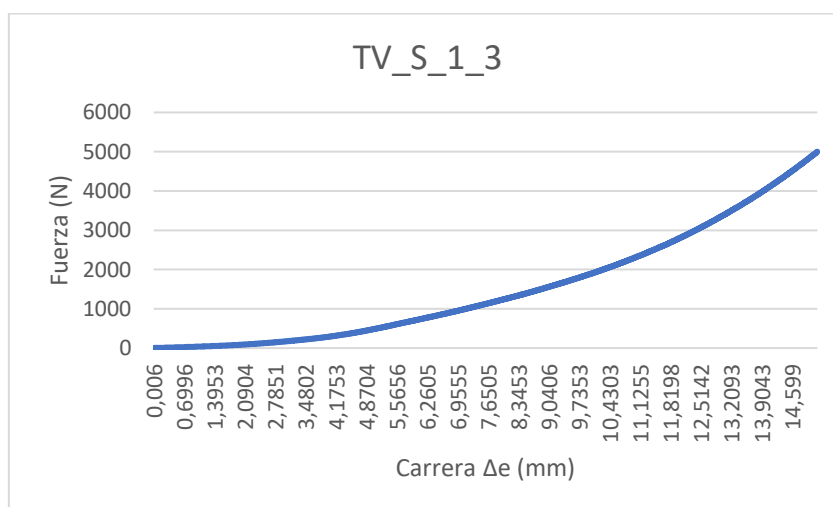


Figura 82: dimensiones y gráficas de TV_S_1_2

Dimensiones probeta TV_S_1_3		
espesor1	30,1	mm
espesor2	31,1	mm
espesor3	32,2	mm
e.medio	31,1333333	mm
Longitud	120,1	mm
Ancho	57,1	mm
Supecficie	6857,71	mm^2
Volumen	213503,371	mm^3



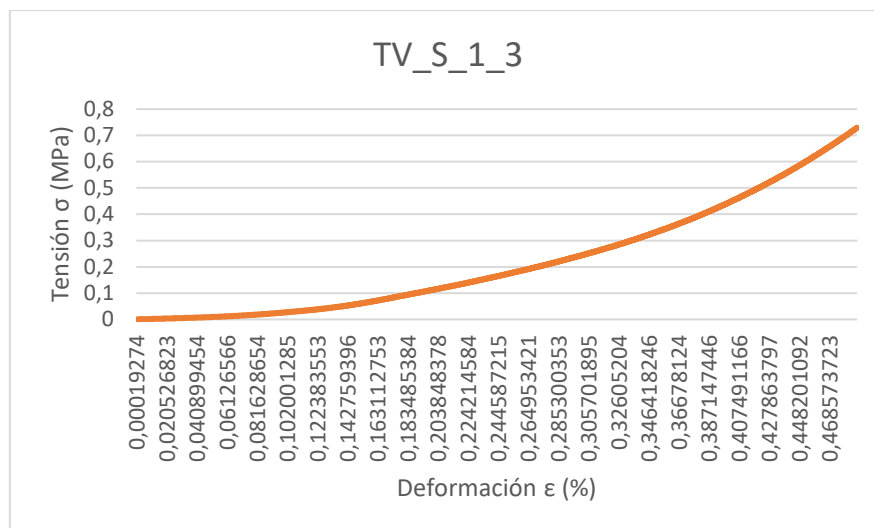
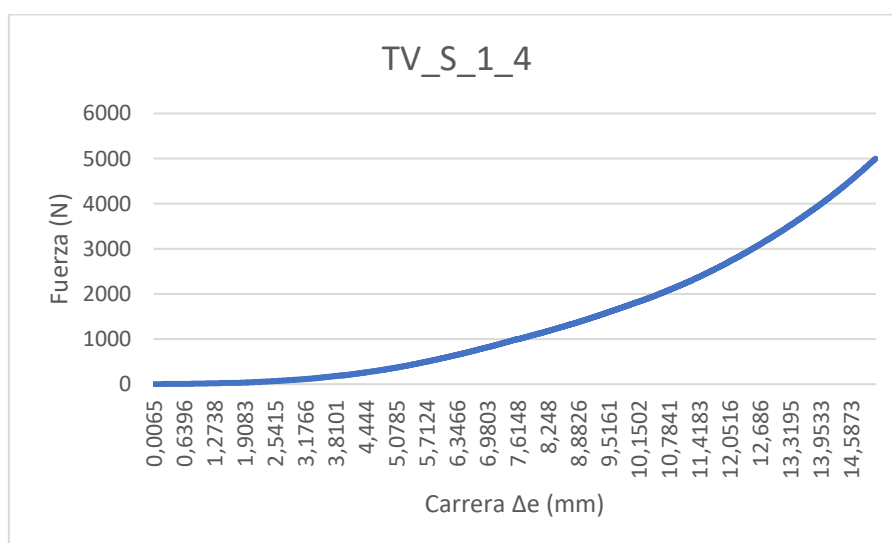


Figura 83: dimensiones y gráficas de TV_S_1_3

Dimensiones probeta TV_S_1_4		
espesor1	28,6	mm
espesor2	27,85	mm
espesor3	32,9	mm
e.medio	29,7833333	mm
Longitud	124,4	mm
Ancho	57,3	mm
Supecficie	7128,12	mm^2
Volumen	212299,174	mm^3



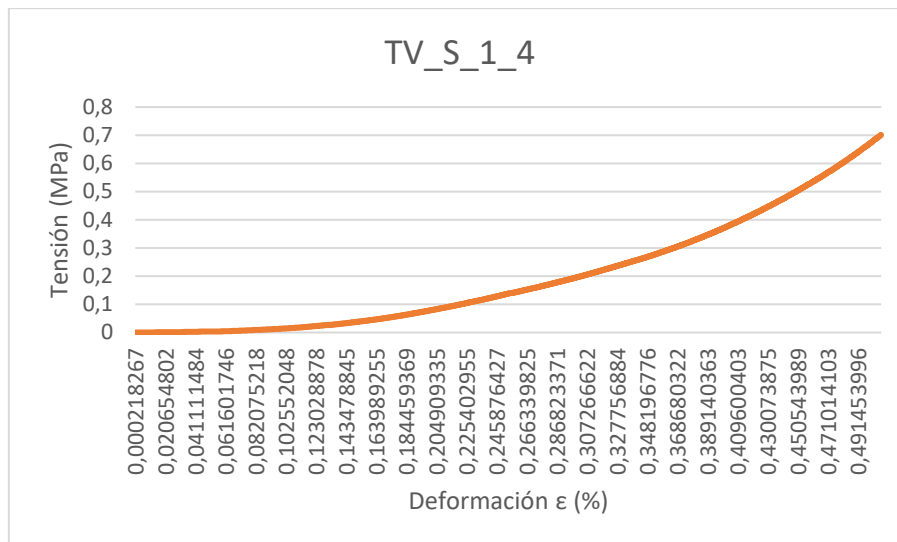
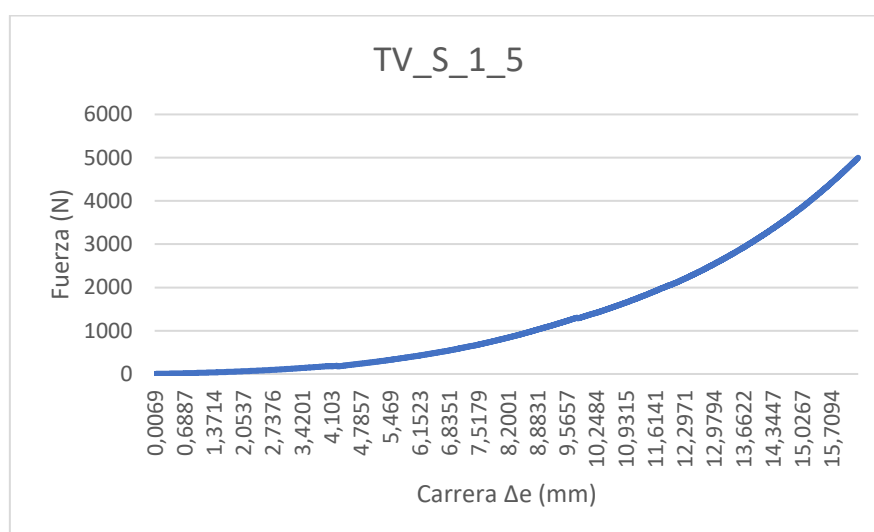


Figura 84: dimensiones y gráficas de TV_S_1_4

Dimensiones probeta TV_S_1_5		
espesor1	28,05	mm
espesor2	28,1	mm
espesor3	31,1	mm
e.medio	29,0833333	mm
Longitud	121,1	mm
Ancho	53,1	mm
Supecficie	6430,41	mm^2
Volumen	187017,758	mm^3



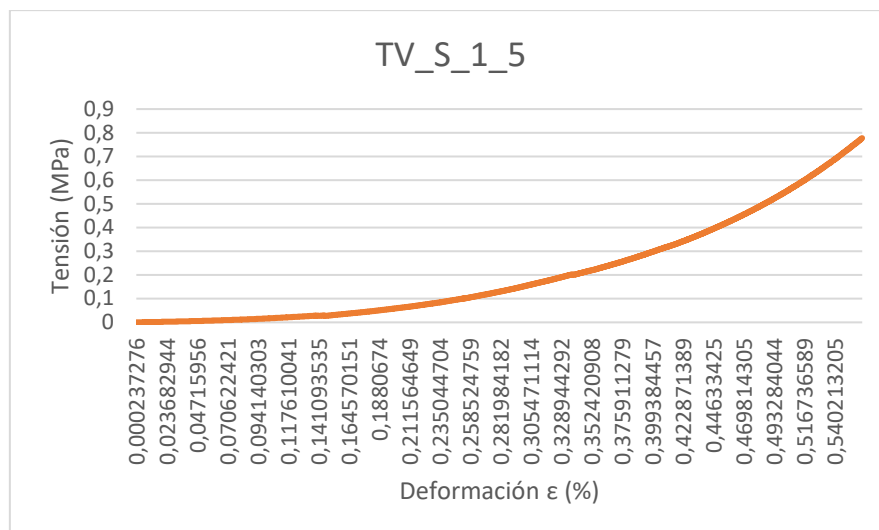
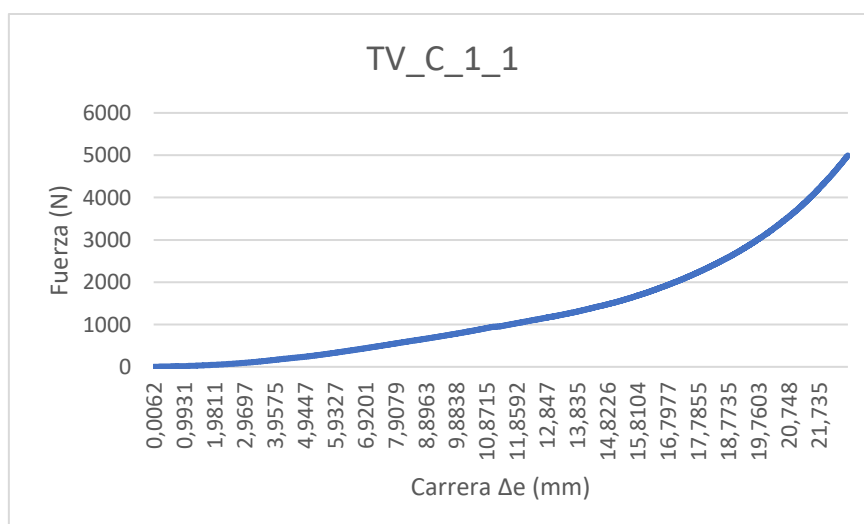


Figura 85: dimensiones y gráficas de TV_S_1_5

TV_C

Dimensiones probeta TV_C_1_1		
espesor1	25,95	mm
espesor2	29,8	mm
espesor3	23,8	mm
e.medio	26,5166667	mm
Longitud	111,8	mm
Ancho	70	mm
Supecficie	7826	mm^2
Volumen	207519,433	mm^3



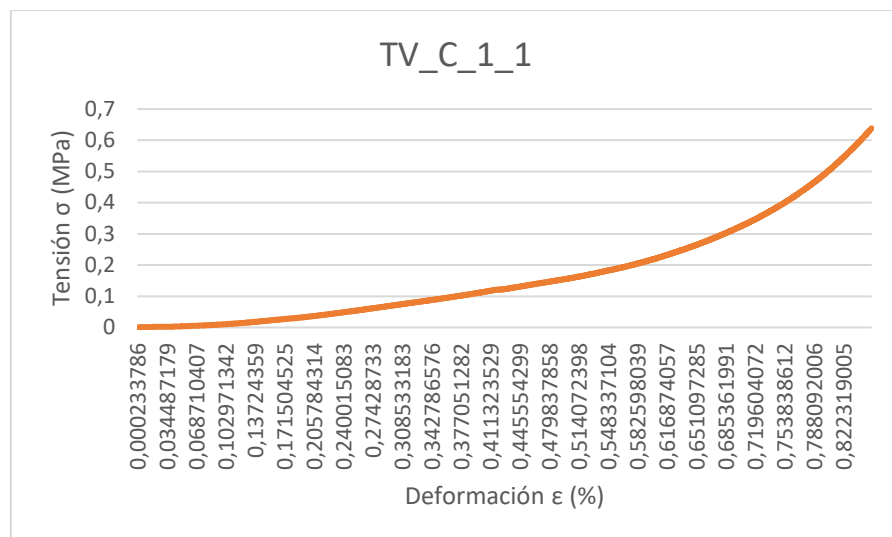
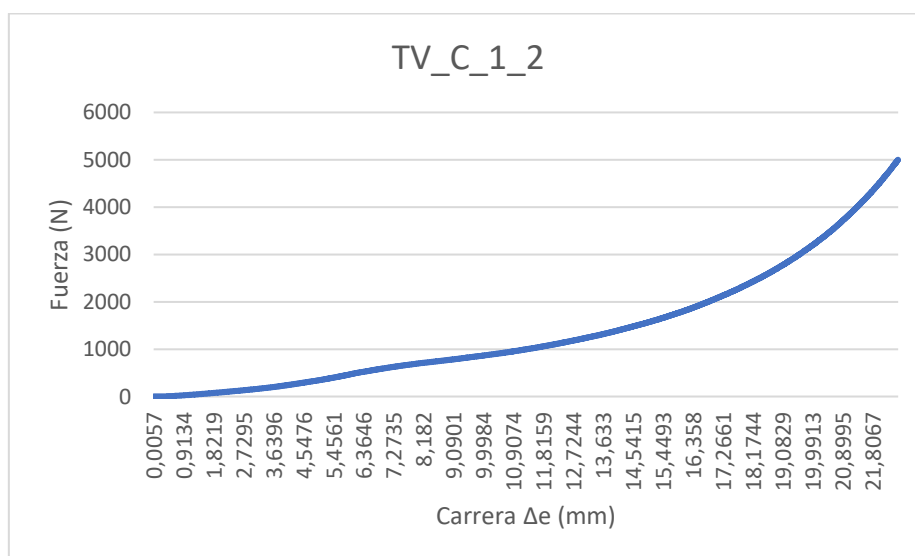


Figura 86: dimensiones y gráficas de TV_C_1_1

Dimensiones probeta TV_1_2		
espesor1	30,3	mm
espesor2	28,1	mm
espesor3	29,6	mm
e.medio	29,33333333	mm
Longitud	120,7	mm
Ancho	53,45	mm
Supecie	6451,415	mm^2
Volumen	189241,507	mm^3



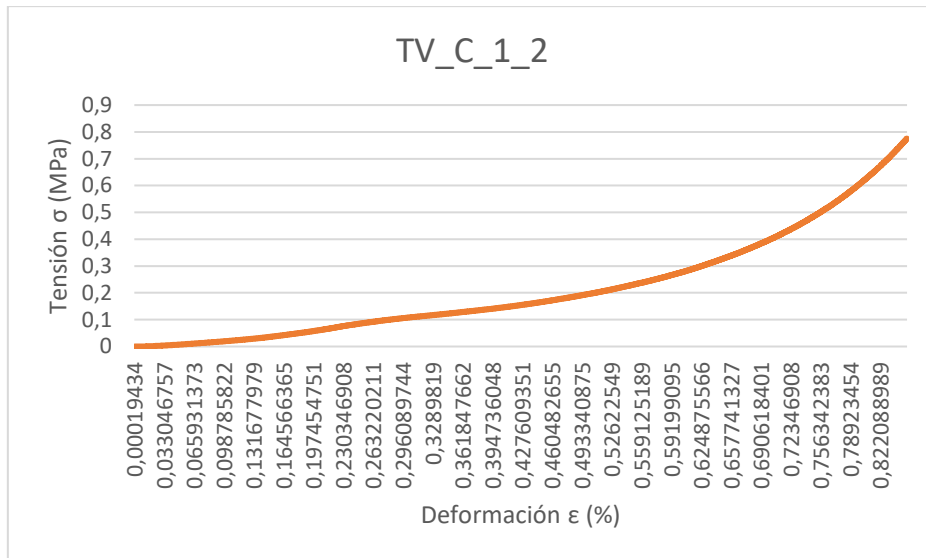
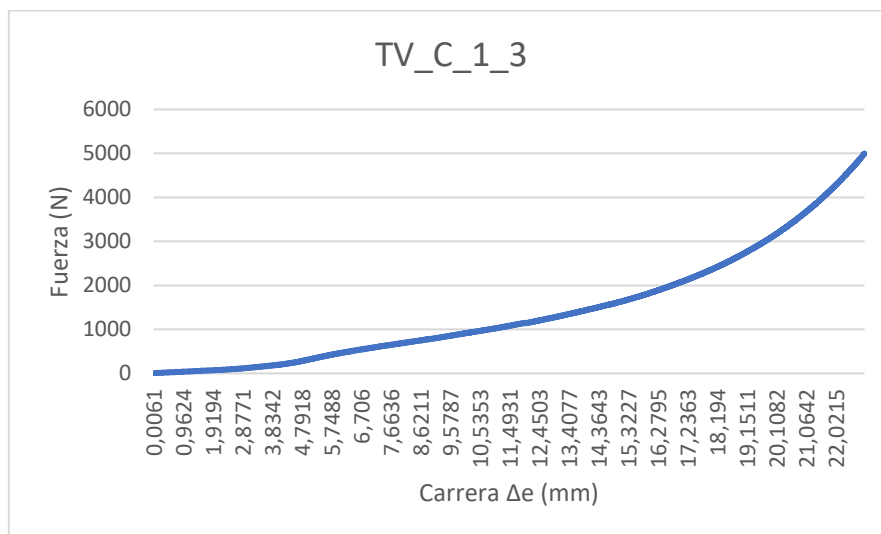


Figura 87: dimensiones y gráficas de TV_C_1_2

Dimensiones probeta TV_C_1_3		
espesor1	27,1	mm
espesor2	27,5	mm
espesor3	24,65	mm
e.medio	26,416667	mm
Longitud	122,5	mm
Ancho	55,6	mm
Supecficie	6811	mm^2
Volumen	179923,917	mm^3



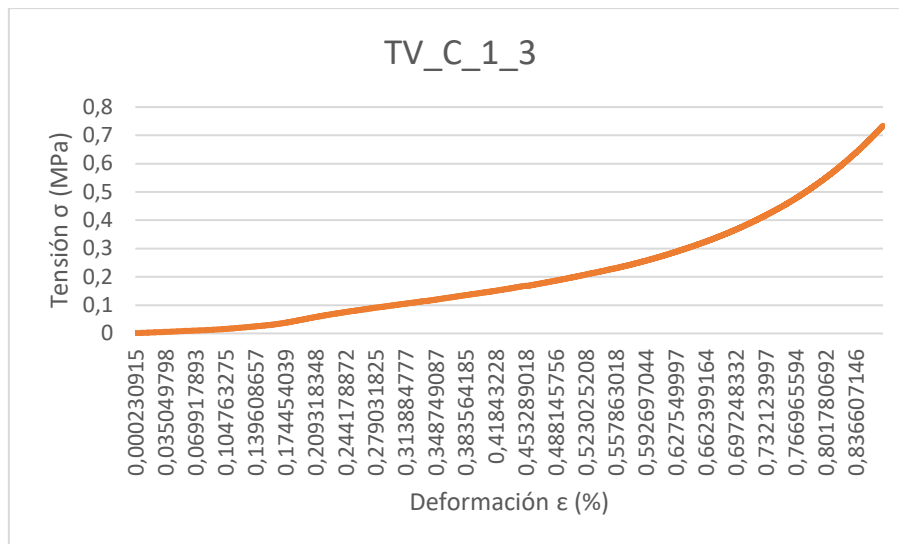
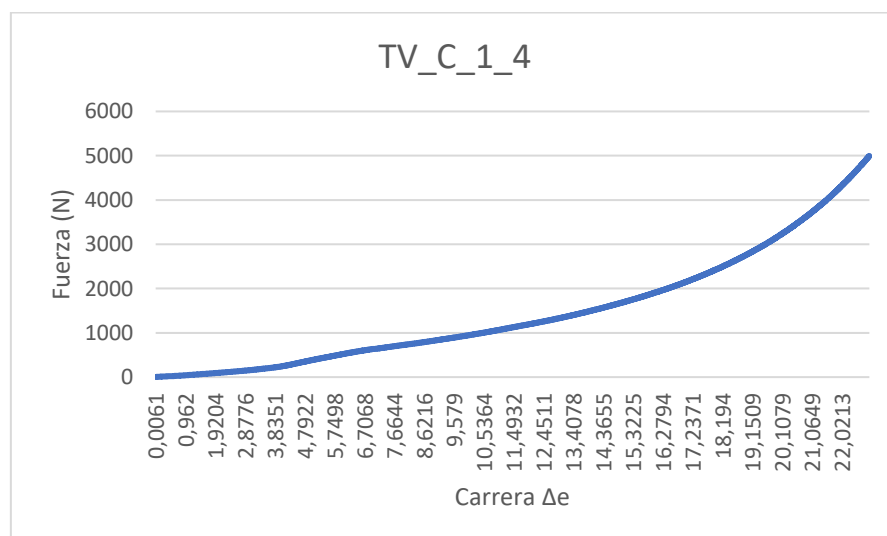


Figura 88: dimensiones y gráficas de TV_C_1_3

Dimensiones probeta TV_C_1_4		
espesor1	29,7	mm
espesor2	27,7	mm
espesor3	34,4	mm
e.medio	30,6	mm
Longitud	122,9	mm
Ancho	56,8	mm
Supecficie	6980,72	mm^2
Volumen	213610,032	mm^3



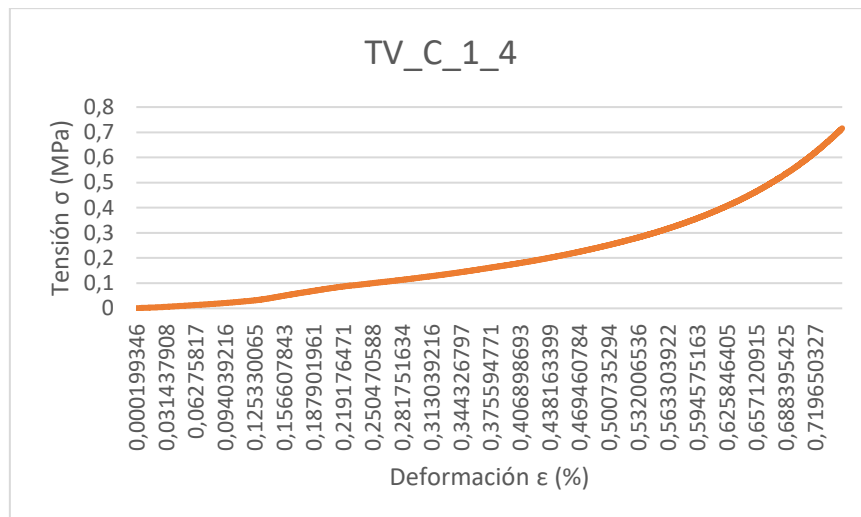
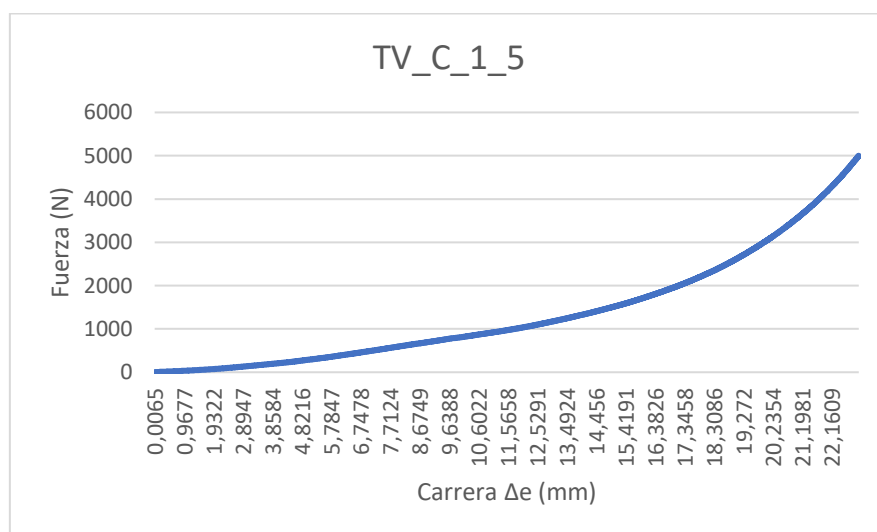


Figura 89: dimensiones y gráficas de TV_C_1_4

Dimensiones probeta TV_C_1_5		
espesor1	29,55	mm
espesor2	29,8	mm
espesor3	31,5	mm
e.medio	30,2833333	mm
Longitud	119,8	mm
Ancho	52,7	mm
Supecficie	6313,46	mm^2
Volumen	191192,614	mm^3



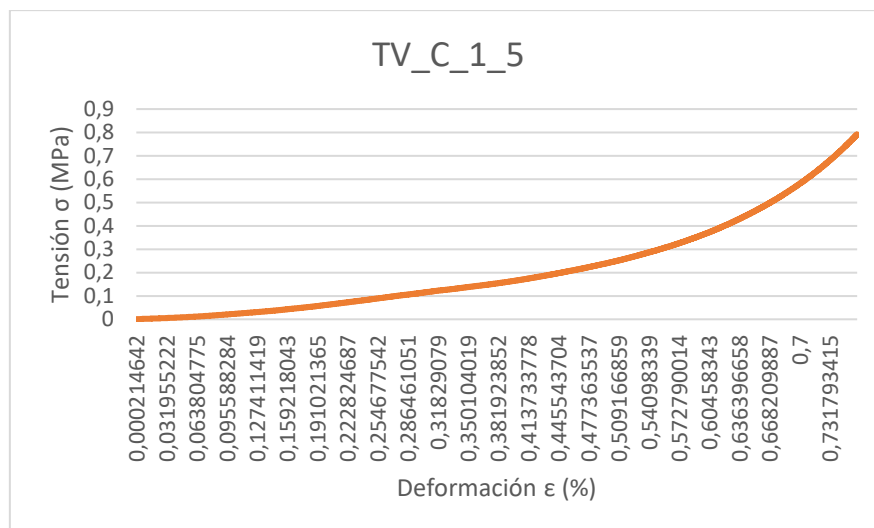
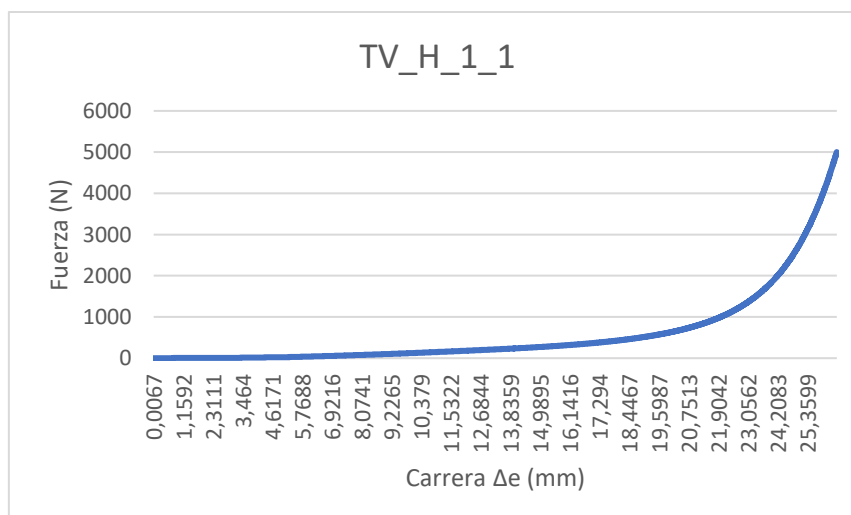


Figura 90: dimensiones y gráficas de TV_C_1_5

TV_H

Dimensiones probeta TV_H_1_1		
espesor1	24,2	mm
espesor2	22,6	mm
espesor3	24,2	mm
e.medio	23,6666667	mm
Longitud	116	mm
Ancho	110,05	mm
Supecficie	12765,8	mm^2
Volumen	302123,933	mm^3



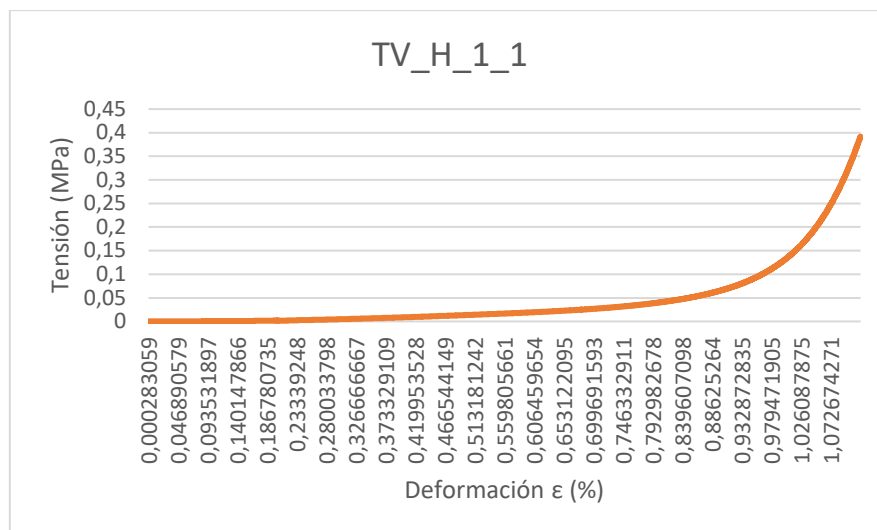
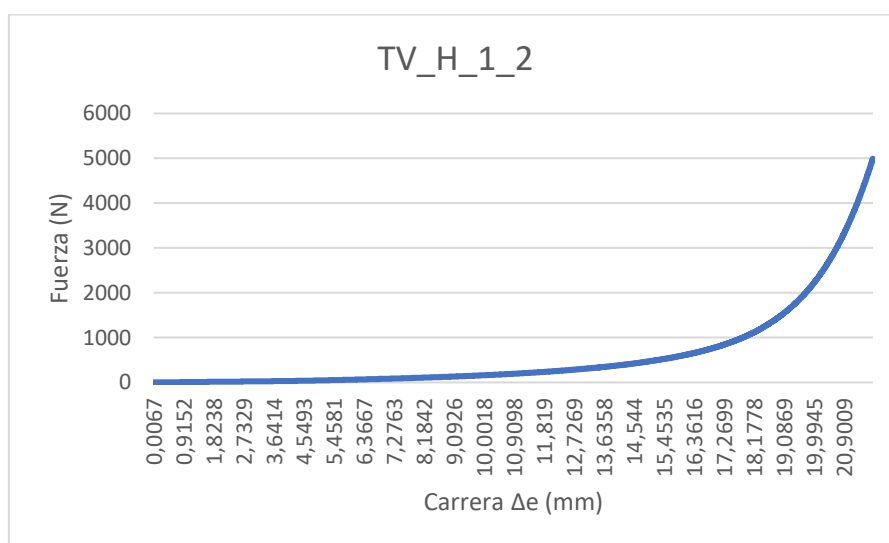


Figura 91: dimensiones y gráficas de TV_H_1_1

Dimensiones probeta TV_H_1_2		
espesor1	20,1	mm
espesor2	16,1	mm
espesor3	20,2	mm
e.medio	18,8	mm
Longitud	124,7	mm
Ancho	49,8	mm
Supecficie	6210,06	mm^2
Volumen	116749,128	mm^3



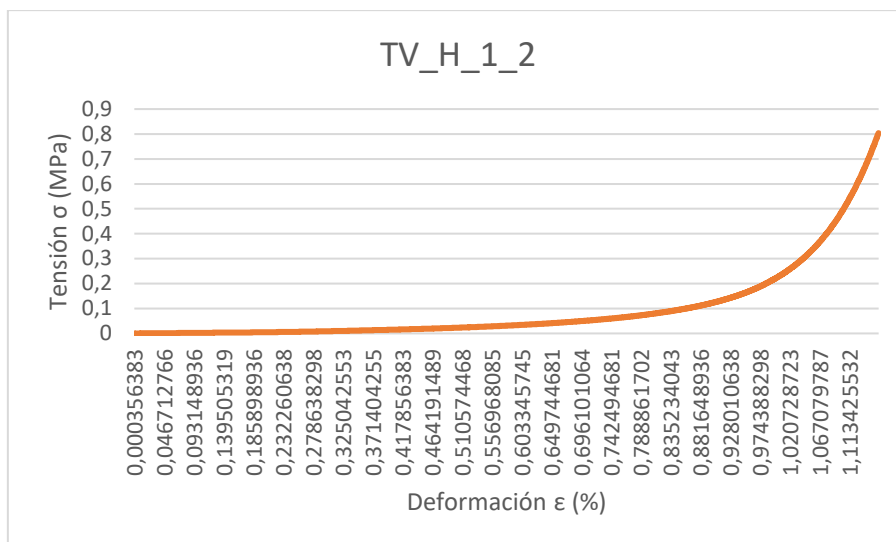
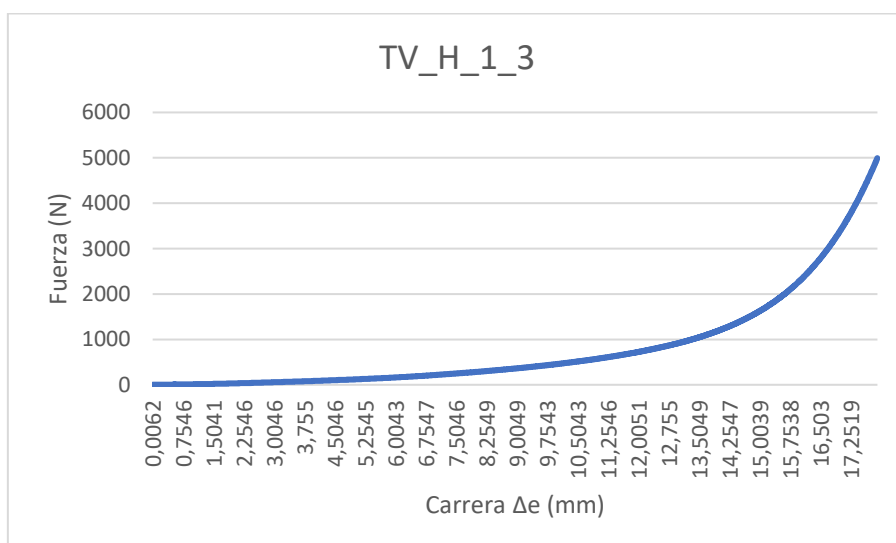


Figura 92: dimensiones y gráficas de TV_H_1_2

Dimensiones probeta TV_H_1_3		
espesor1	16,9	mm
espesor2	18,7	mm
espesor3	18,9	mm
e.medio	18,1666667	mm
Longitud	115,25	mm
Ancho	68,05	mm
Supecie	7842,7625	mm^2
Volumen	142476,852	mm^3



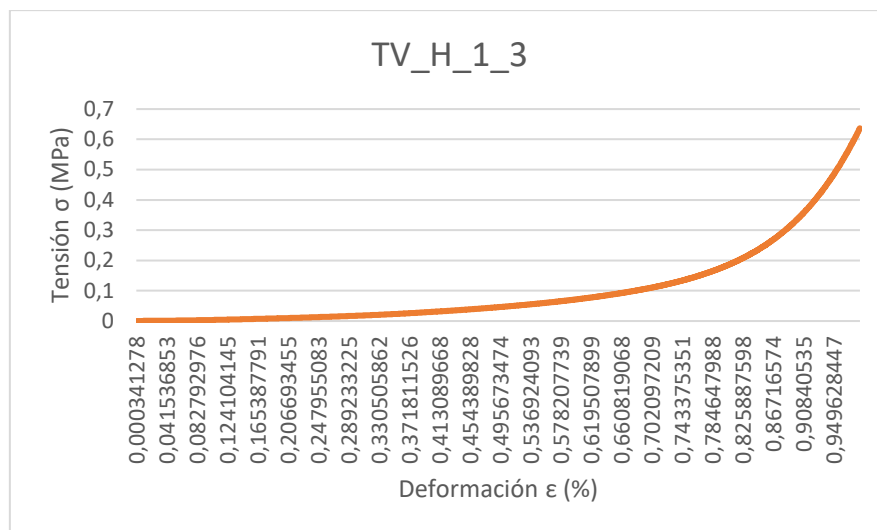
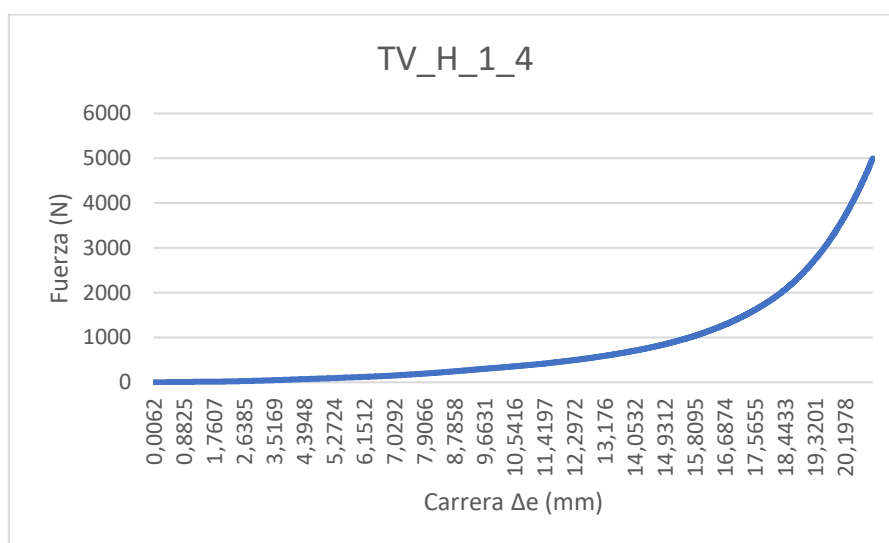


Figura 93: dimensiones y gráficas de TV_H_1_3

Dimensiones probeta TV_H_1_4		
espesor1	18,55	mm
espesor2	20,9	mm
espesor3	22,3	mm
e.medio	20,5833333	mm
Longitud	123,3	mm
Ancho	54,8	mm
Supecie	6756,84	mm^2
Volumen	139078,29	mm^3



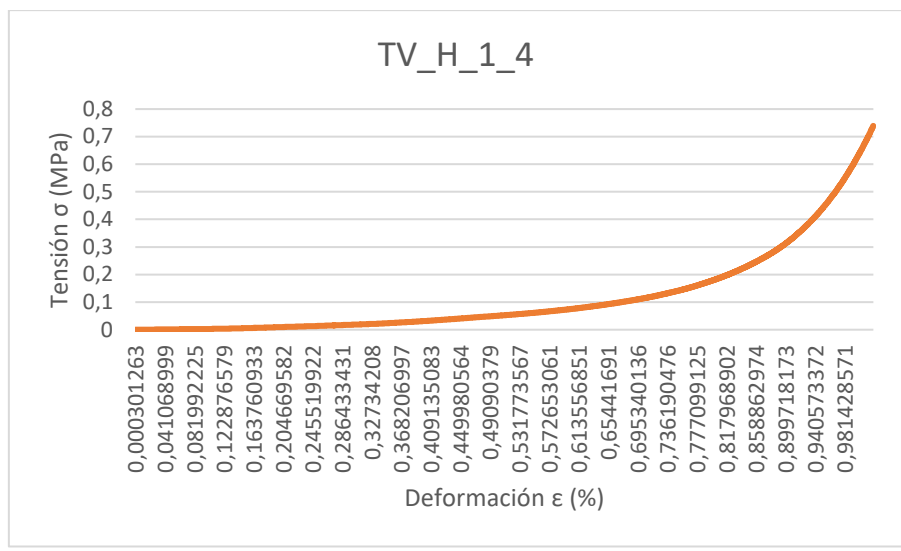
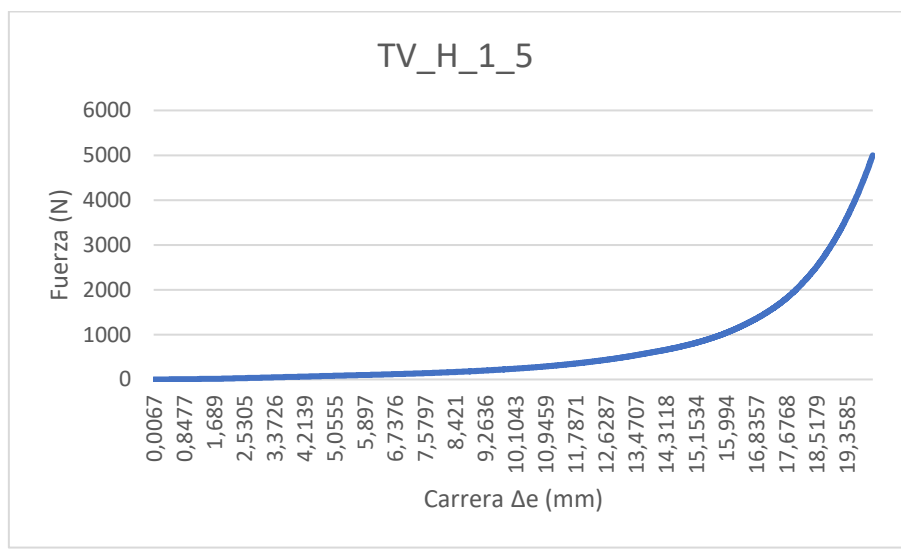


Figura 94: dimensiones y gráficas de TV_H_1_4

Dimensiones probeta TV_H_1_5		
espesor1	19,4	mm
espesor2	19,5	mm
espesor3	18,9	mm
e.medio	19,2666667	mm
Longitud	121,1	mm
Ancho	49,1	mm
Supecficie	5946,01	mm^2
Volumen	114559,793	mm^3



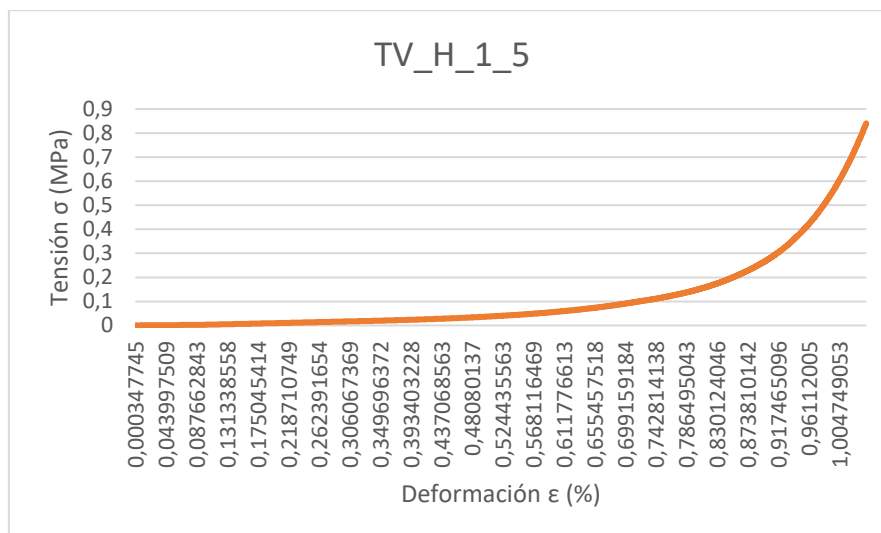
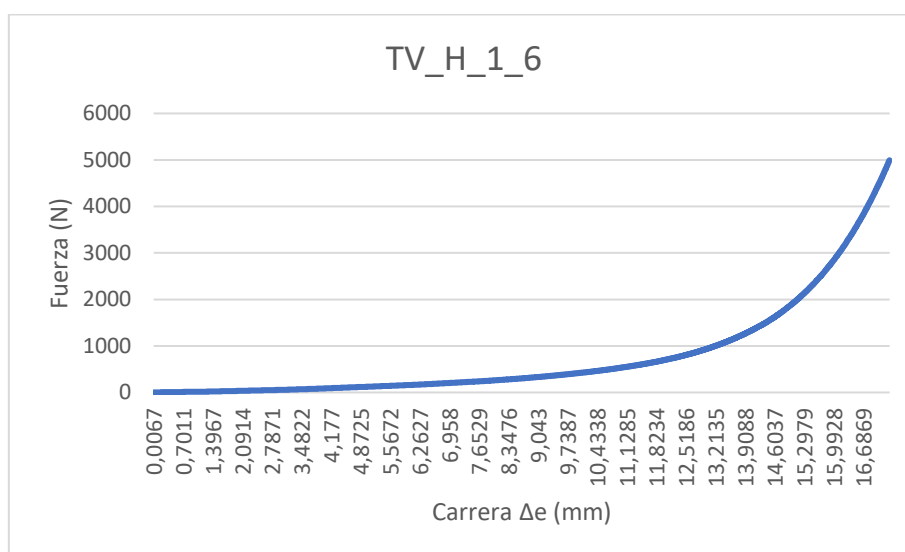


Figura 95: dimensiones y gráficas de TV_H_1_5

Dimensiones probeta TV_H_1_6		
espesor1	19,9	mm
espesor2	19	mm
espesor3	18,8	mm
e.medio	19,2333333	mm
Longitud	125,1	mm
Ancho	52,2	mm
Supecficie	6530,22	mm^2
Volumen	125597,898	mm^3



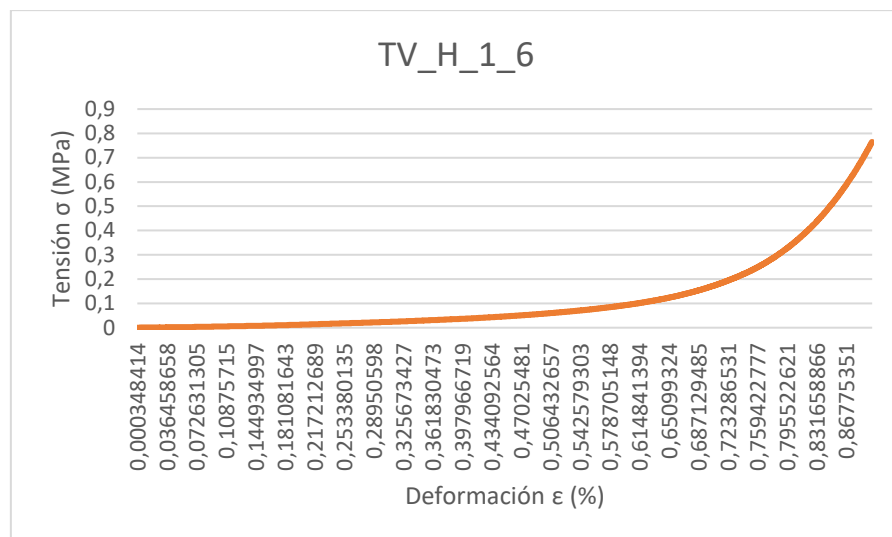
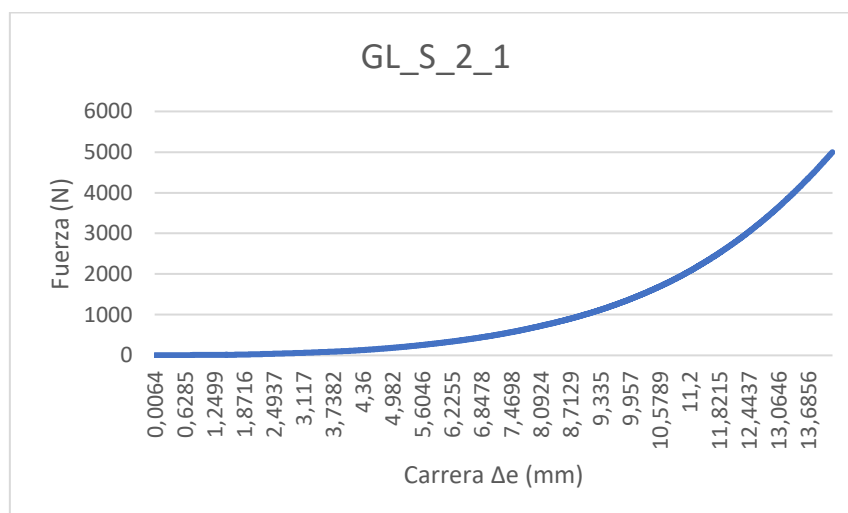


Figura 96: dimensiones y gráficas de TV_H_1_6

GL_S

Dimensiones probeta GL_S_2_1		
espesor1	18,5	mm
espesor2	24,4	mm
espesor3	26,9	mm
e.medio	23,2666667	mm
Longitud	129,8	mm
Ancho	74,33	mm
Supecie	9648,034	mm^2
Volumen	224477,591	mm^3



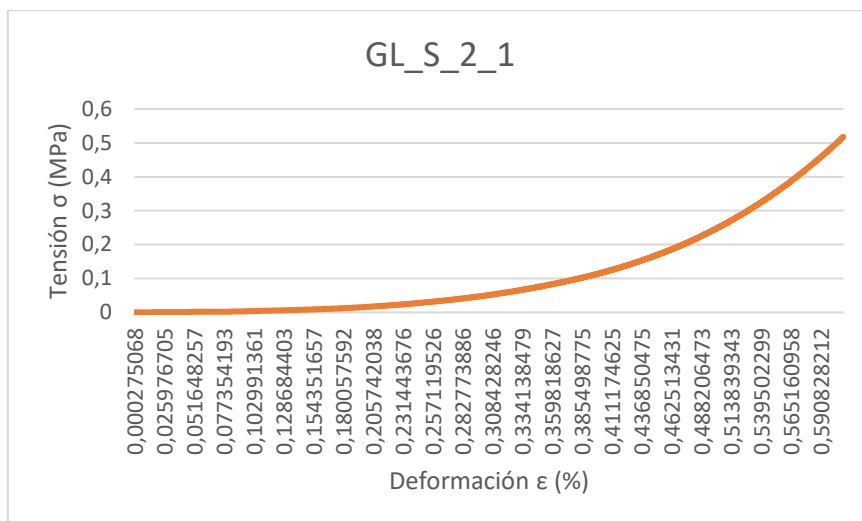


Figura 97: dimensiones y gráficas de GL_S_2_1

Dimensiones probeta GL_S_2_2		
espesor1	24,9	mm
espesor2	21,9	mm
espesor3	20,8	mm
e.medio	22,5333333	mm
Longitud	126,35	mm
Ancho	57,6	mm
Supecficie	7277,76	mm^2
Volumen	163992,192	mm^3

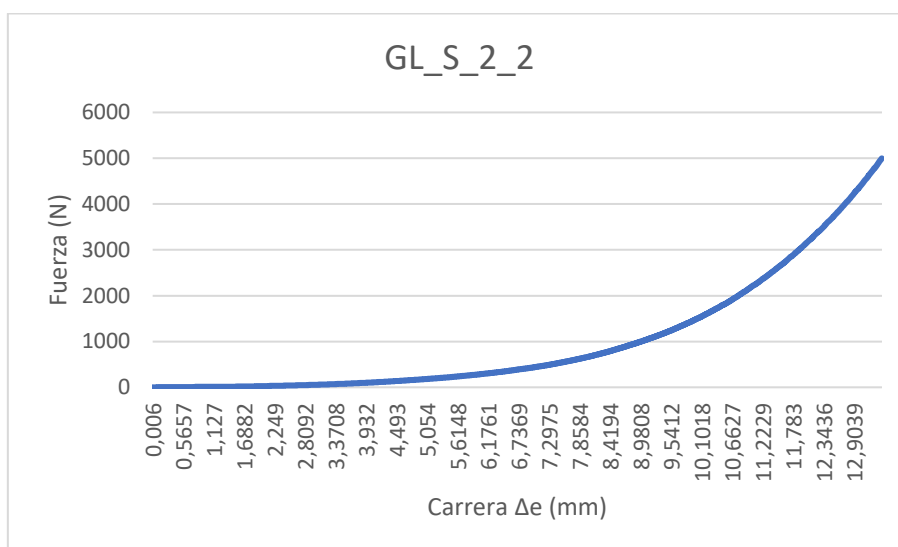
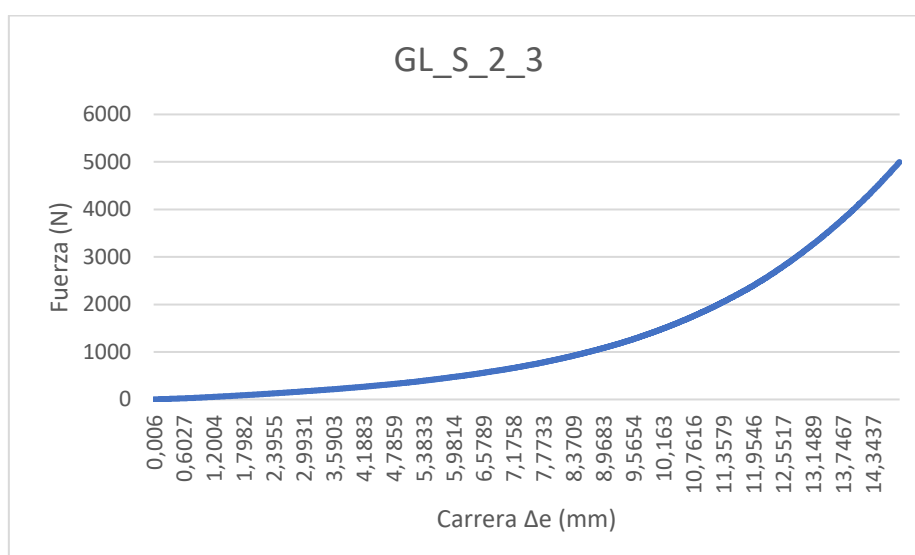




Figura 98: dimensiones y gráficas de GL_S_2_2

Dimensiones probeta GL_S_2_3		
espesor1	24,8	mm
espesor2	27,5	mm
espesor3	26,6	mm
e.medio	26,3	mm
Longitud	83	mm
Ancho	59,8	mm
Supecficie	4963,4	mm^2
Volumen	130537,42	mm^3



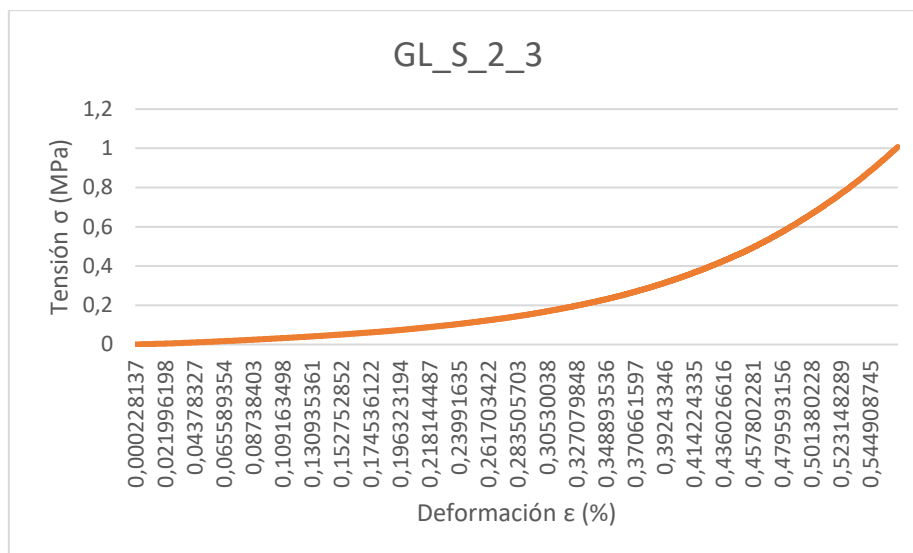
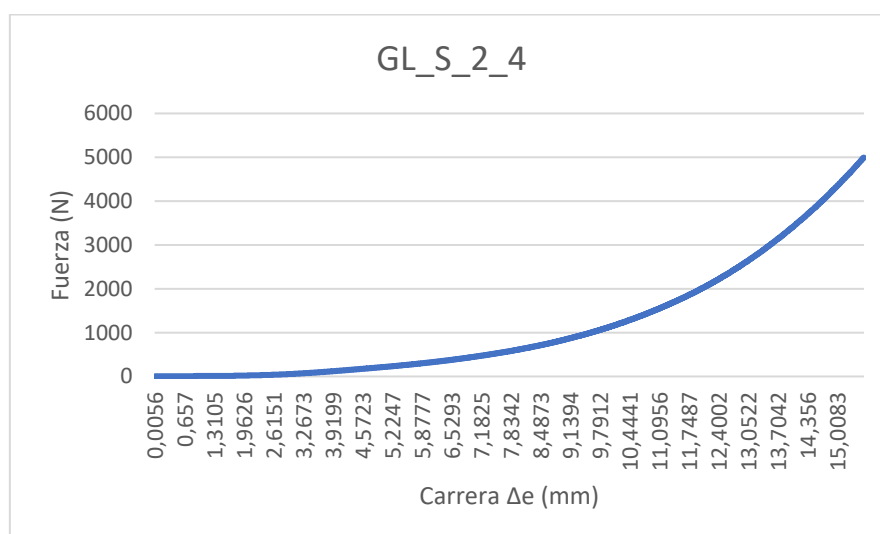


Figura 99: dimensiones y gráficas de GL_S_2_3

Dimensiones probeta GL_S_2_4		
espesor1	25,2	mm
espesor2	26,9	mm
espesor3	25,9	mm
e.medio	26	mm
Longitud	127,7	mm
Ancho	58,3	mm
Supecficie	7444,91	mm^2
Volumen	193567,66	mm^3



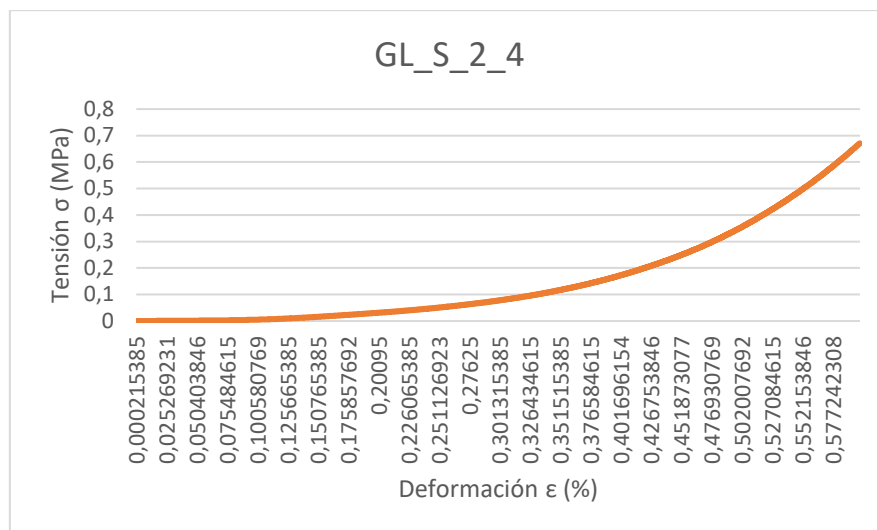


Figura 100: dimensiones y gráficas de GL_S_2_4

Dimensiones probeta GL_S_2_5		
espesor1	25,75	mm
espesor2	24,8	mm
espesor3	23,95	mm
e.medio	24,8333333	mm
Longitud	126,5	mm
Ancho	58,3	mm
Supecie	7374,95	mm^2
Volumen	183144,592	mm^3

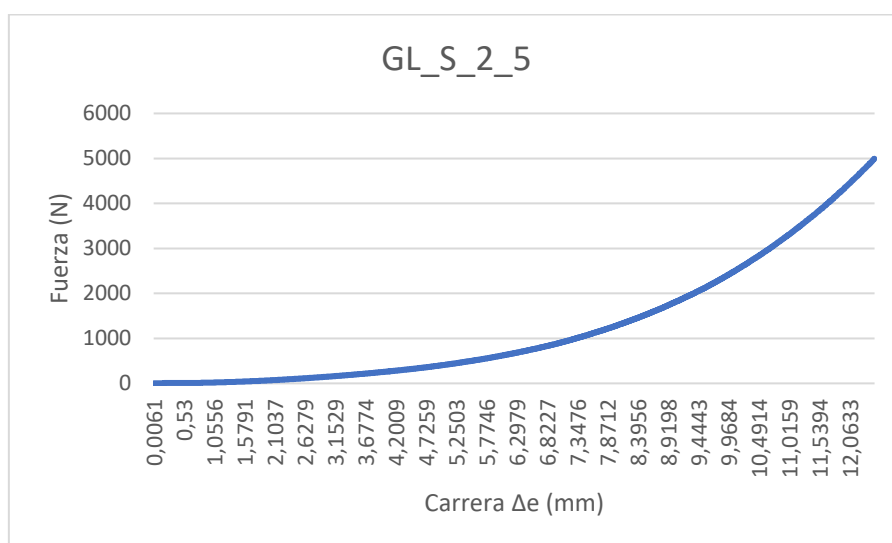




Figura 101: dimensiones y gráficas de GL_S_2_5

GL_C

Dimensiones probeta GL_C_2_1		
espesor1	26,5	mm
espesor2	26,35	mm
espesor3	26,1	mm
e.medio	26,3166667	mm
Longitud	118	mm
Ancho	76,5	mm
Supecficie	9027	mm^2
Volumen	237560,55	mm^3

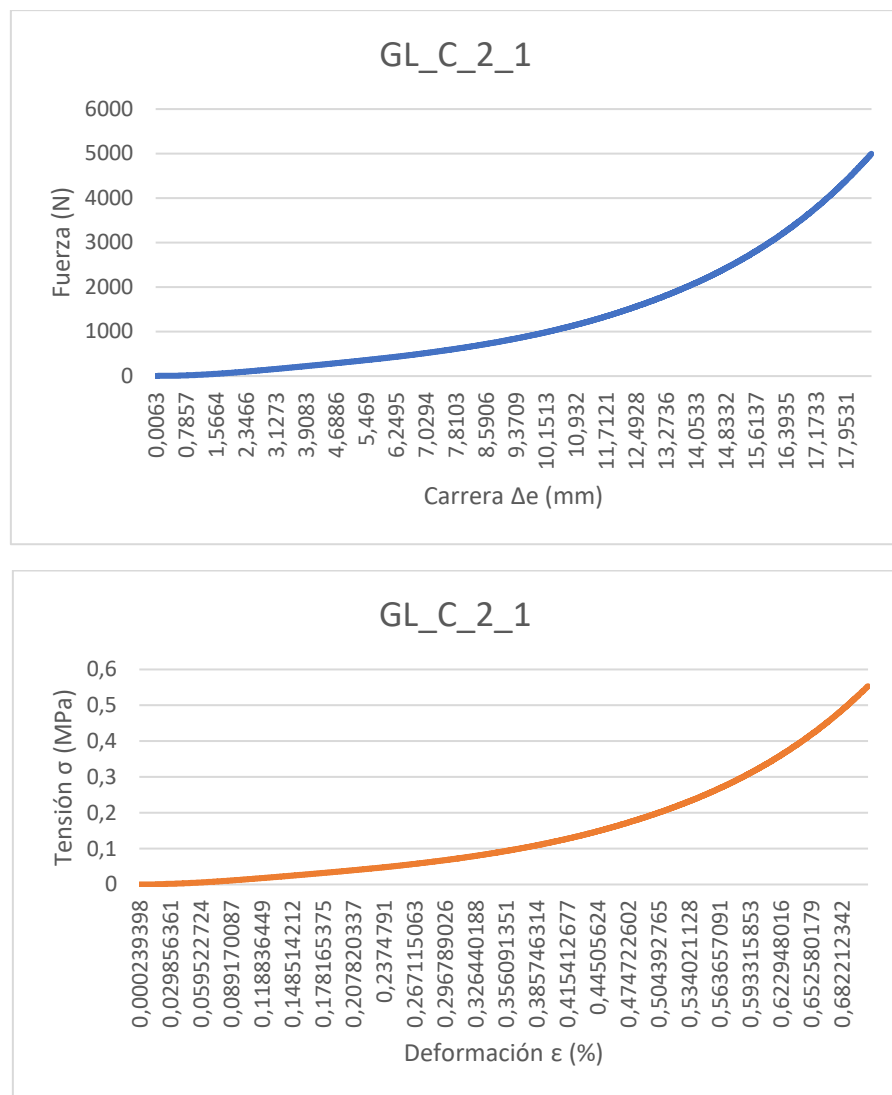


Figura 102: dimensiones y gráficas de GL_C_2_1

Dimensiones probeta GL_C_2_2		
espesor1	26,9	mm
espesor2	23,8	mm
espesor3	24,2	mm
e.medio	24,9666667	mm
Longitud	126,9	mm
Ancho	58,4	mm
Supecficie	7410,96	mm^2
Volumen	185026,968	mm^3

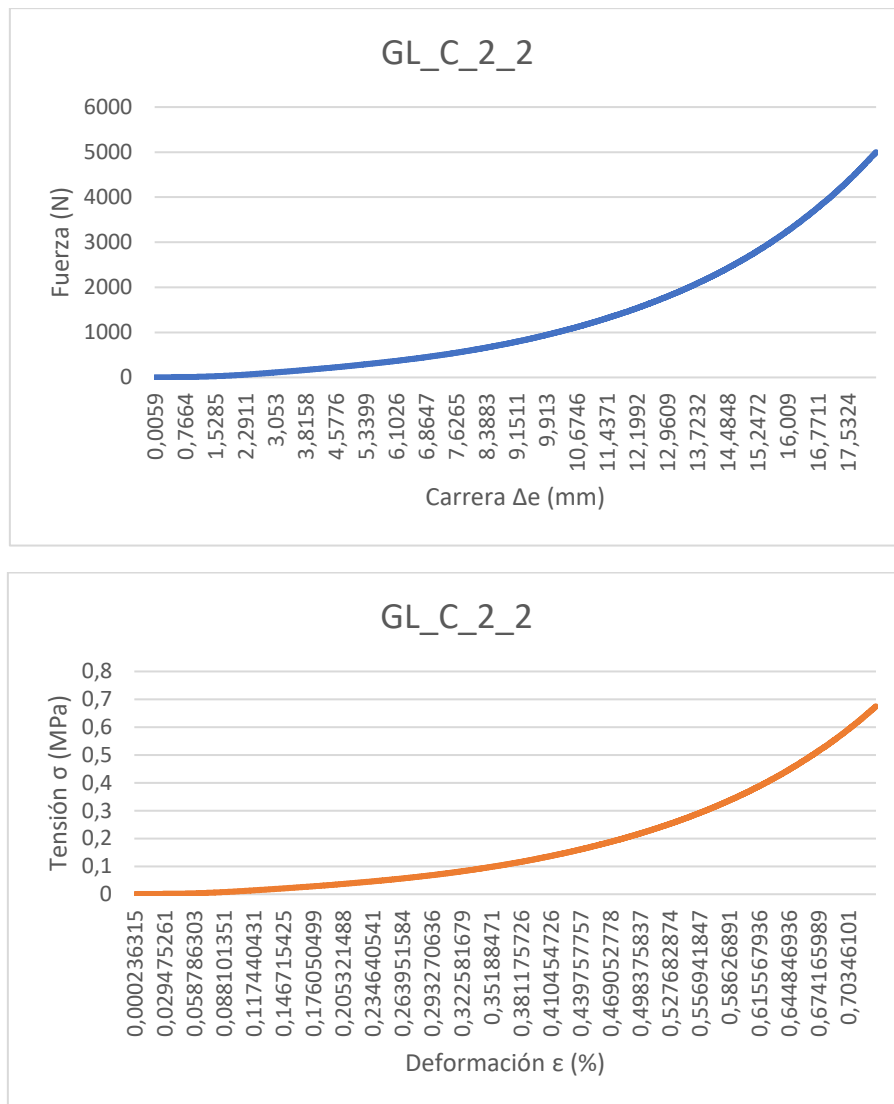


Figura 103: dimensiones y gráficas de GL_C_2_2

Dimensiones probeta GL_C_2_3		
espesor1	24,3	mm
espesor2	25,8	mm
espesor3	26,3	mm
e.medio	25,466667	mm
Longitud	127,7	mm
Ancho	56,1	mm
Supecficie	7163,97	mm^2
Volumen	182442,436	mm^3

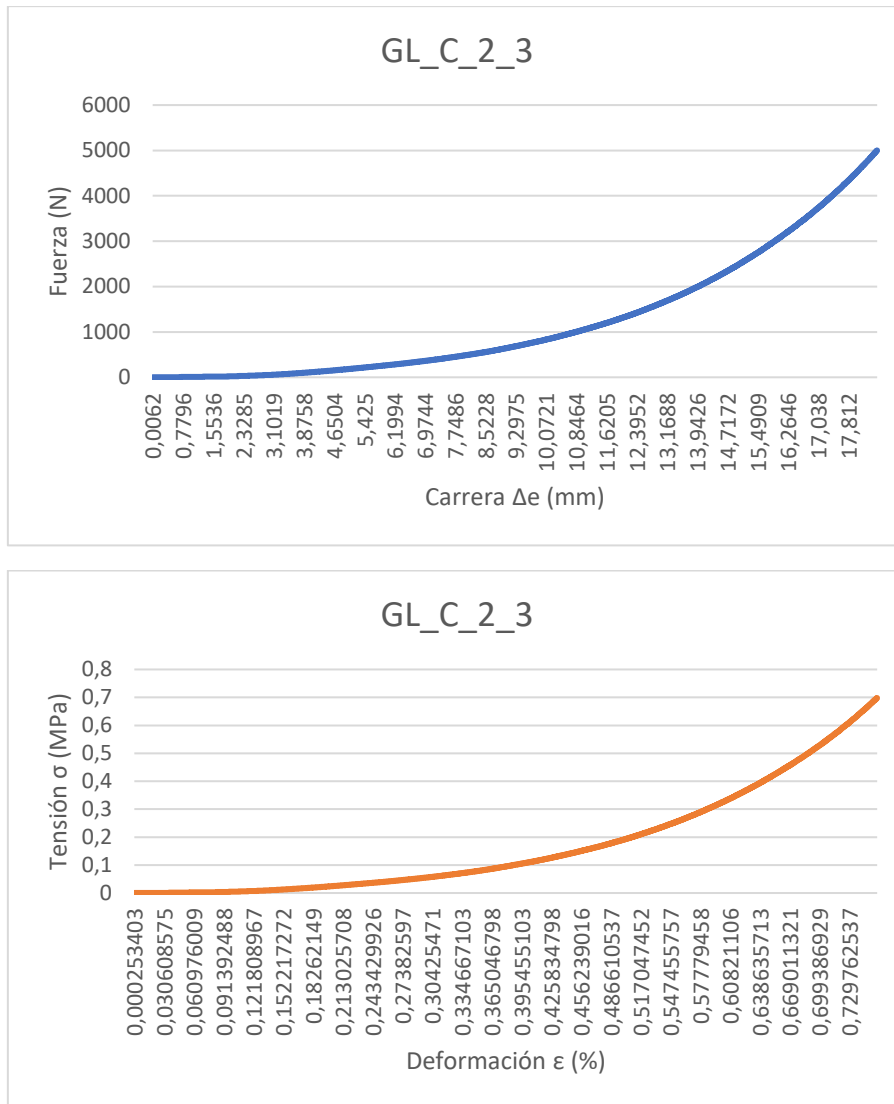


Figura 104: dimensiones y gráficas de GL_C_2_3

Dimensiones probeta GL_C_2_4		
espesor1	26,75	mm
espesor2	25,4	mm
espesor3	26,3	mm
e.medio	26,15	mm
Longitud	129,5	mm
Ancho	56,4	mm
Supecie	7303,8	mm^2
Volumen	190994,37	mm^3

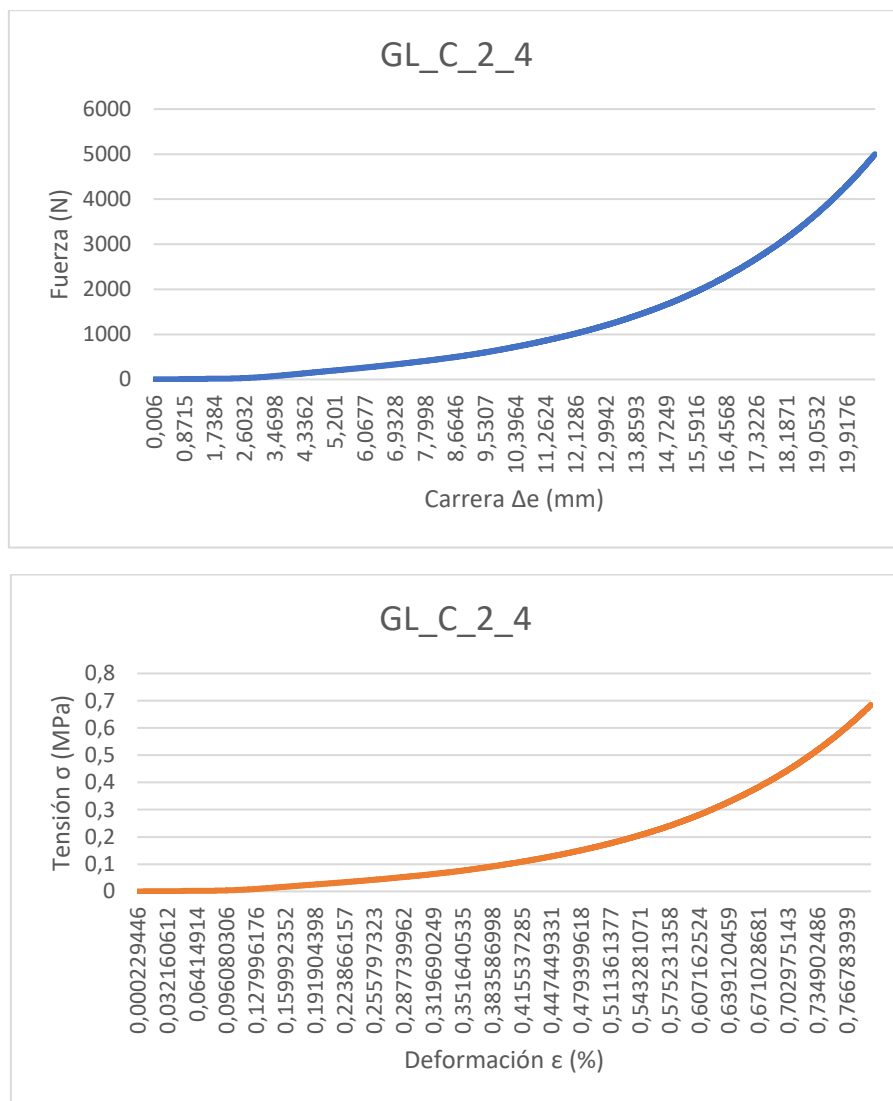


Figura 105: dimensiones y gráficas de GL_C_2_4

Dimensiones probeta GL_C_2_5		
espesor1	26,3	mm
espesor2	26,95	mm
espesor3	24,6	mm
e.medio	25,95	mm
Longitud	128,9	mm
Ancho	57	mm
Supecie	7347,3	mm^2
Volumen	190662,435	mm^3

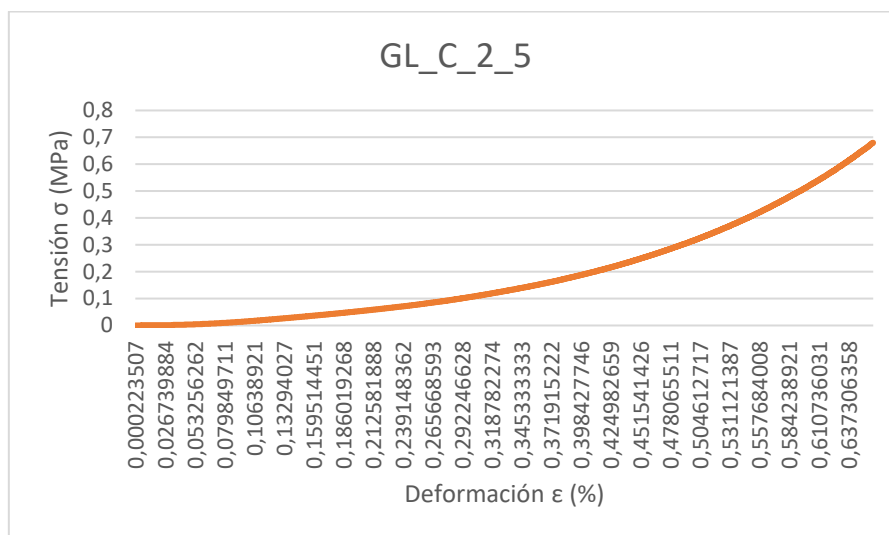
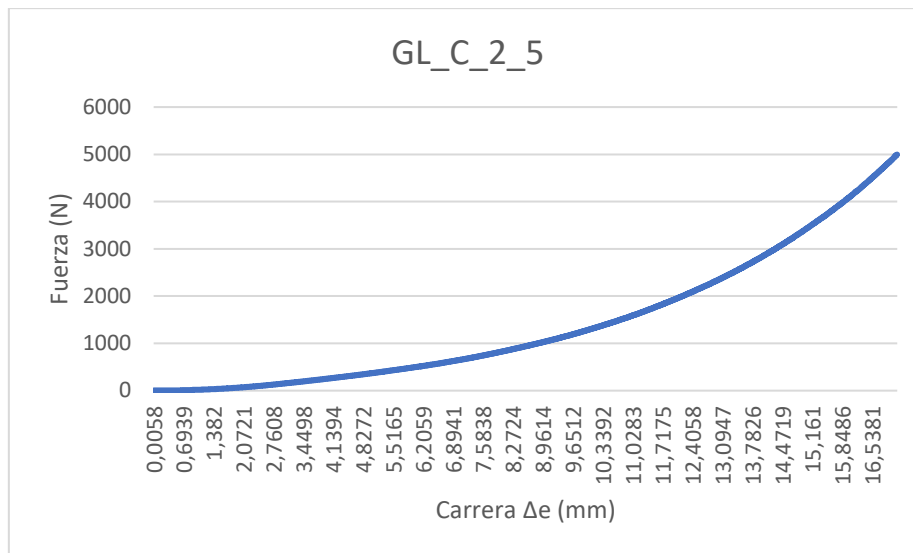


Figura 106: dimensiones y gráficas de GL_C_2_5

GL_H

Dimensiones probeta GL_H_2_1		
espesor1	17,1	mm
espesor2	17,7	mm
espesor3	18,8	mm
e.medio	17,8666667	mm
Longitud	116,5	mm
Ancho	73,9	mm
Supecficie	8609,35	mm^2
Volumen	153820,387	mm^3

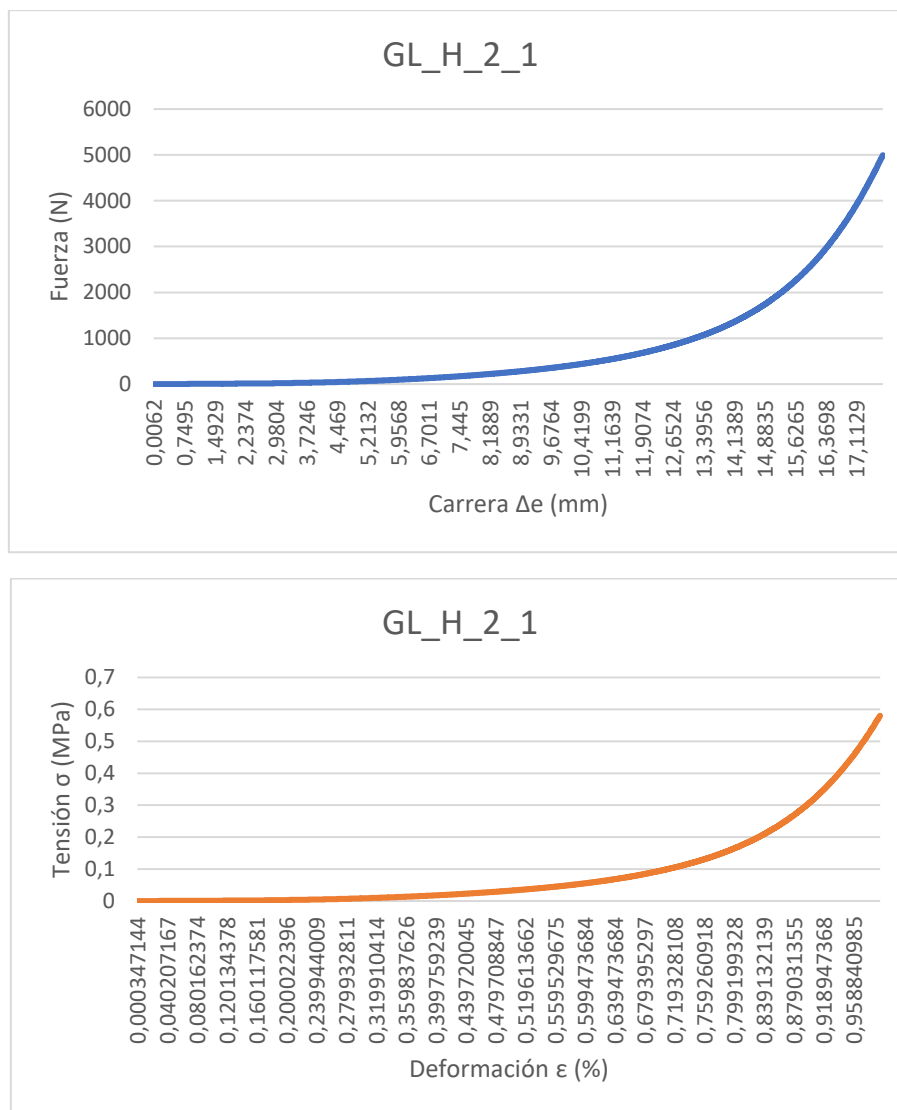


Figura 107: dimensiones y gráficas de GL_H_2_1

Dimensiones probeta GL_H_2_2		
espesor1	19,8	mm
espesor2	16,5	mm
espesor3	16,2	mm
e.medio	17,5	mm
Longitud	126,9	mm
Ancho	55,7	mm
Supecie	7068,33	mm^2
Volumen	123695,775	mm^3

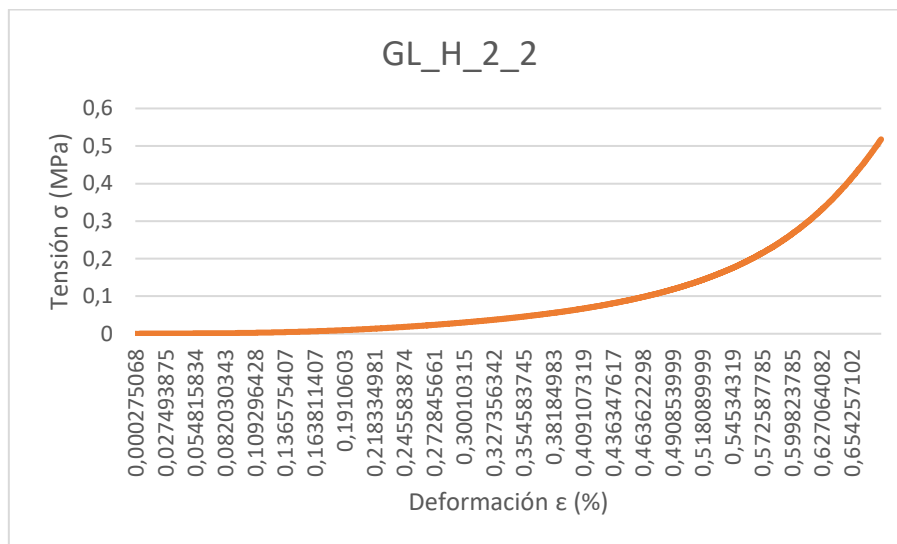
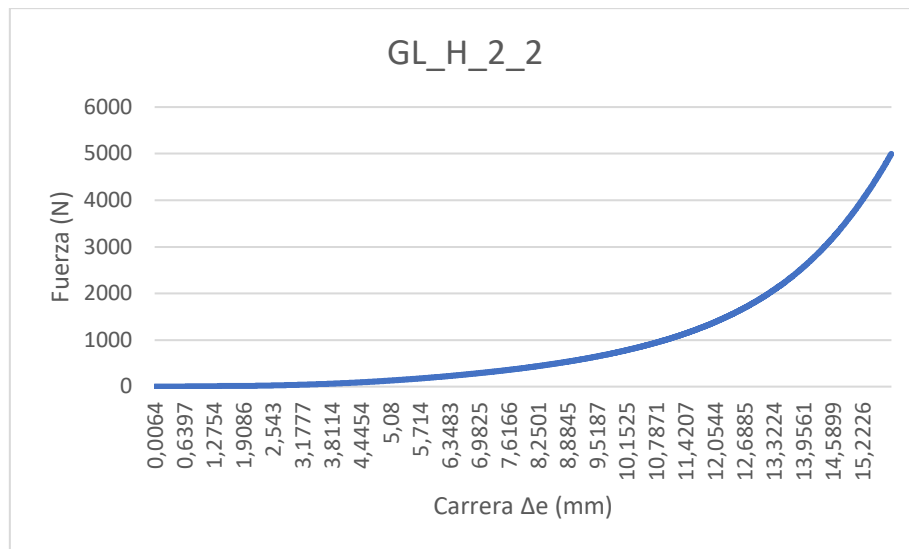


Figura 108: dimensiones y gráficas de GL_H_2_2

Dimensiones probeta GL_H_2_3		
espesor1	19,25	mm
espesor2	18,8	mm
espesor3	19,5	mm
e.medio	19,1833333	mm
Longitud	127,8	mm
Ancho	54,65	mm
Supecie	6984,27	mm ²
Volumen	133981,58	mm ³

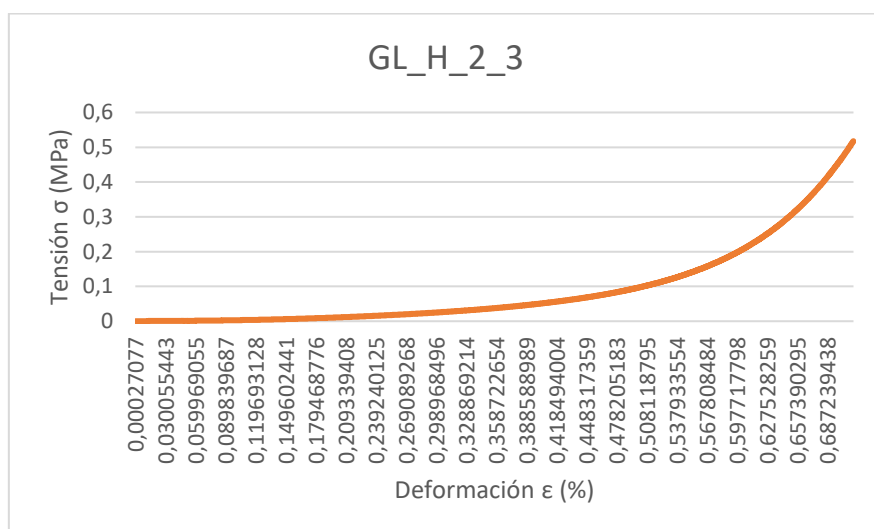
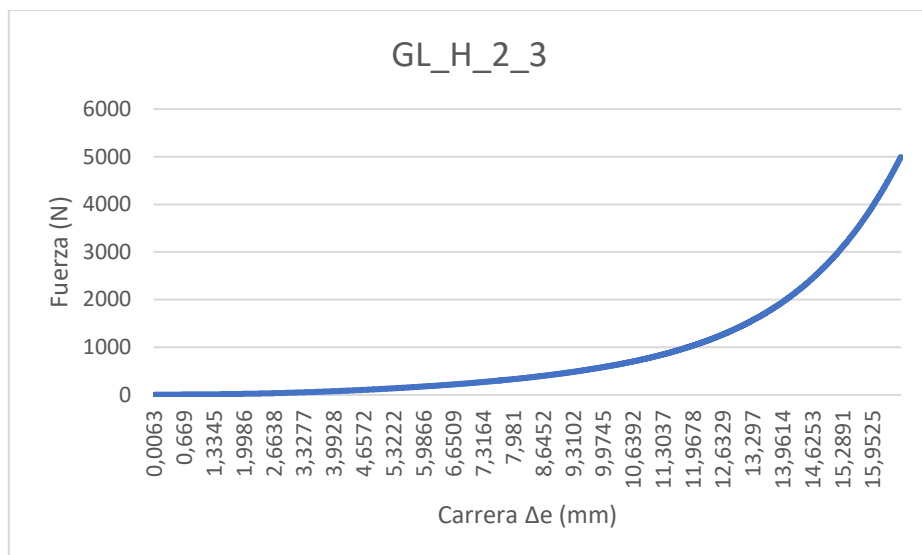


Figura 109: dimensiones y gráficas de GL_H_2_3

Dimensiones probeta GL_H_2_4		
espesor1	21,5	mm
espesor2	19,7	mm
espesor3	18,6	mm
e.medio	19,9333333	mm
Longitud	124,4	mm
Ancho	54,9	mm
Supecie	6829,56	mm^2
Volumen	136135,896	mm^3

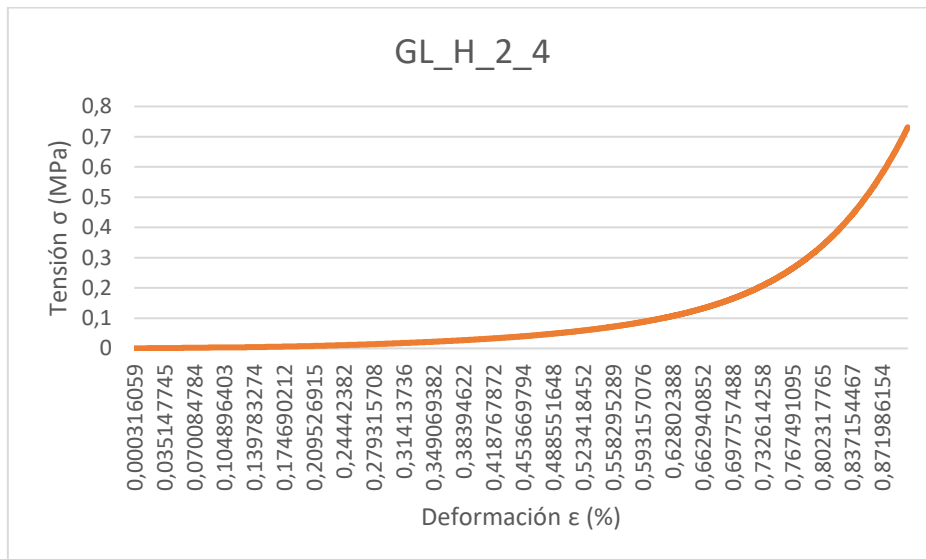
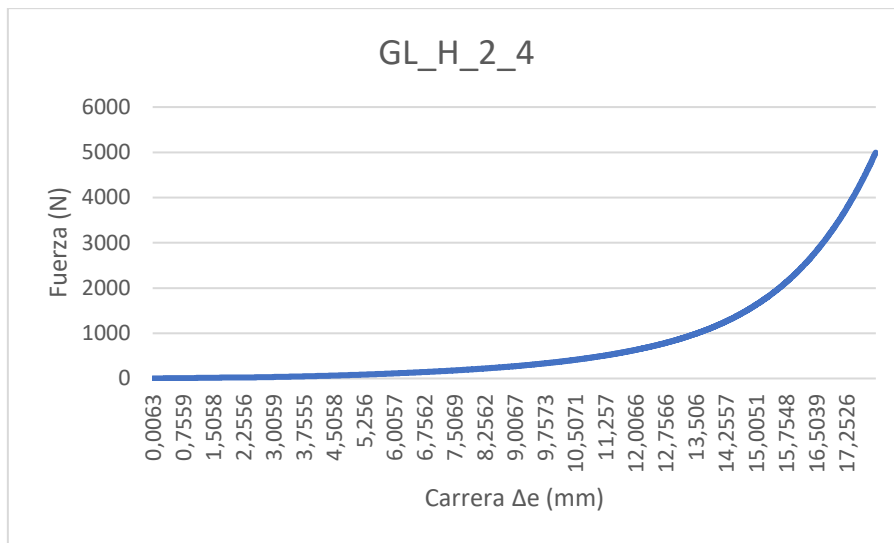


Figura 110: dimensiones y gráficas de GL_H_2_4

Dimensiones probeta GL_H_2_5		
espesor1	18,5	mm
espesor2	18,55	mm
espesor3	21,6	mm
e.medio	19,55	mm
Longitud	126,4	mm
Ancho	53,2	mm
Supecie	6724,48	mm^2
Volumen	131463,584	mm^3

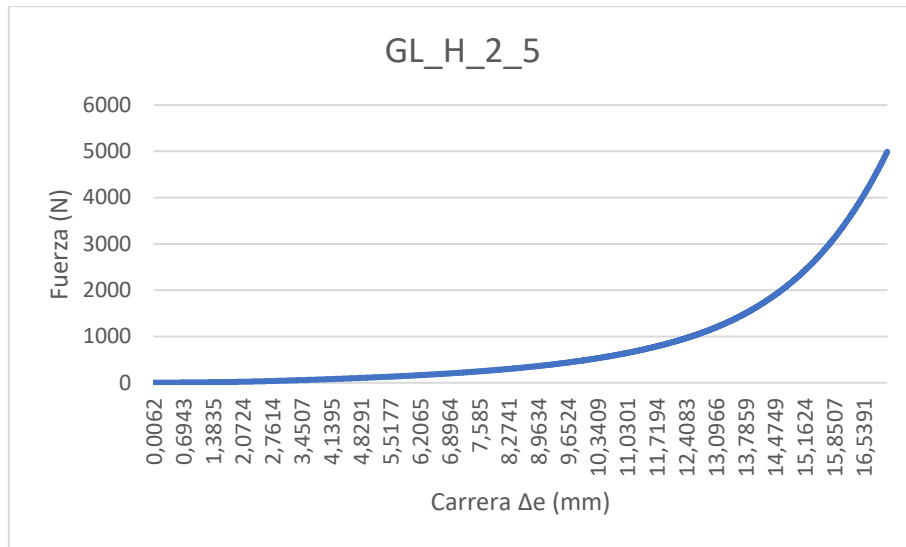


Figura 111: dimensiones y gráficas de GL_H_2_5

PO_S

Dimensiones probeta PO_S_3_1		
espesor1	28,8	mm
espesor2	29,8	mm
espesor3	28,3	mm
e.medio	28,9666667	mm
Longitud	74,65	mm
Ancho	69	mm
Supecie	5150,85	mm^2
Volumen	149202,955	mm^3

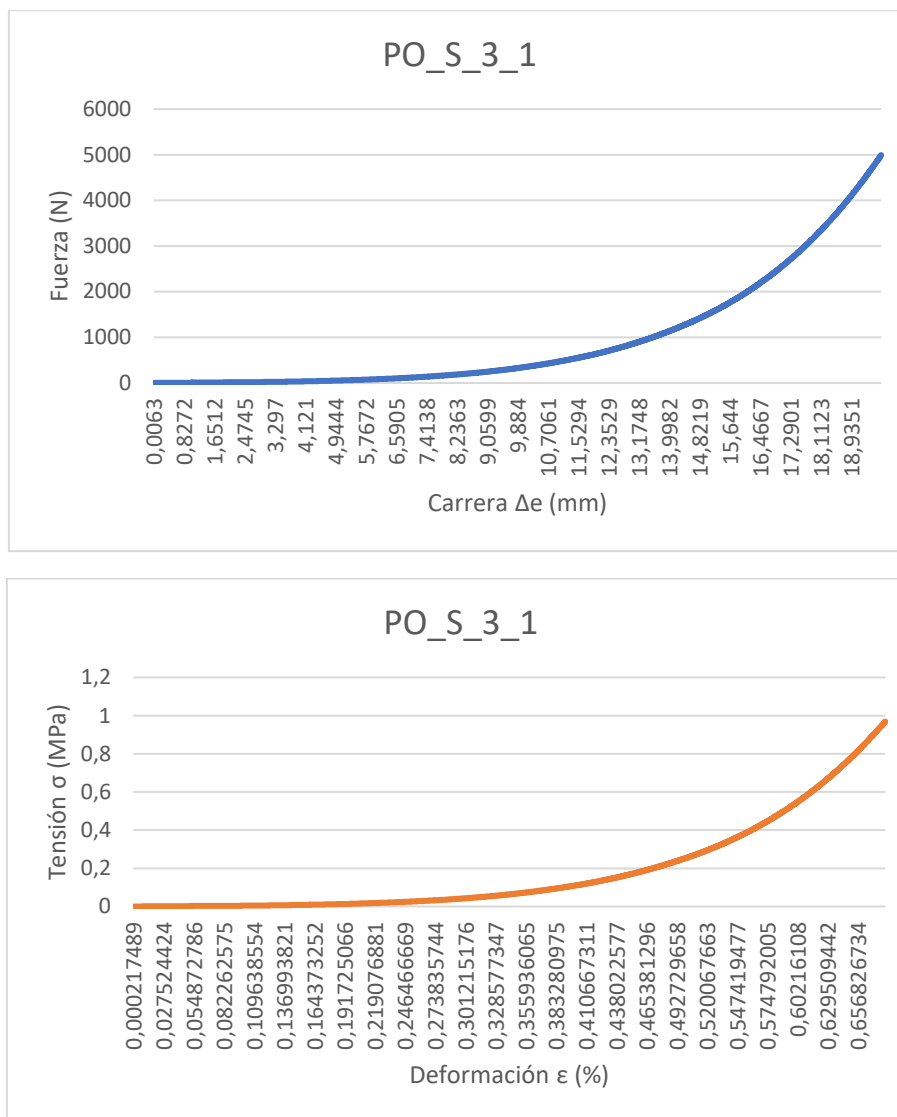


Figura 112: dimensiones y gráficas de PO_S_3_1

Dimensiones probeta PO_S_3_2		
espesor1	28,9	mm
espesor2	28,8	mm
espesor3	27,95	mm
e.medio	28,55	mm
Longitud	74,7	mm
Ancho	57,85	mm
Supecie	4321,395	mm^2
Volumen	123375,827	mm^3

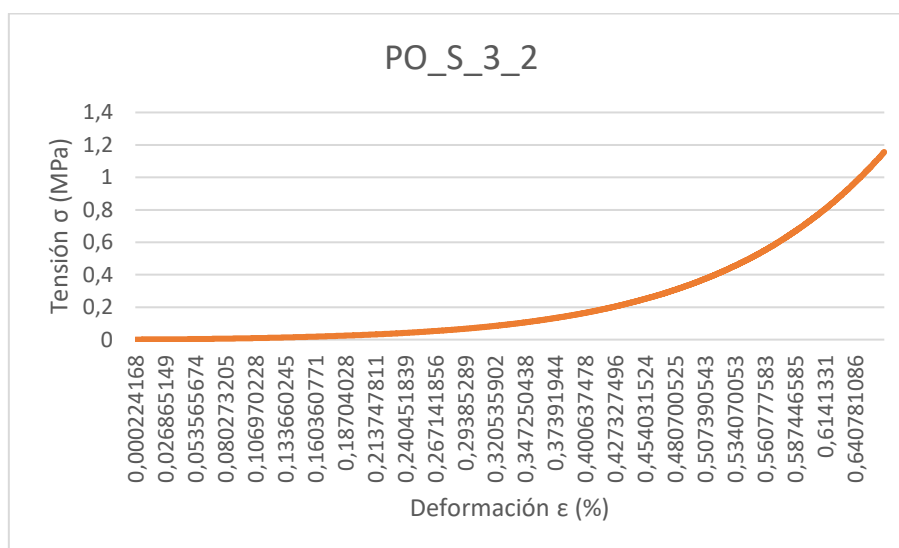
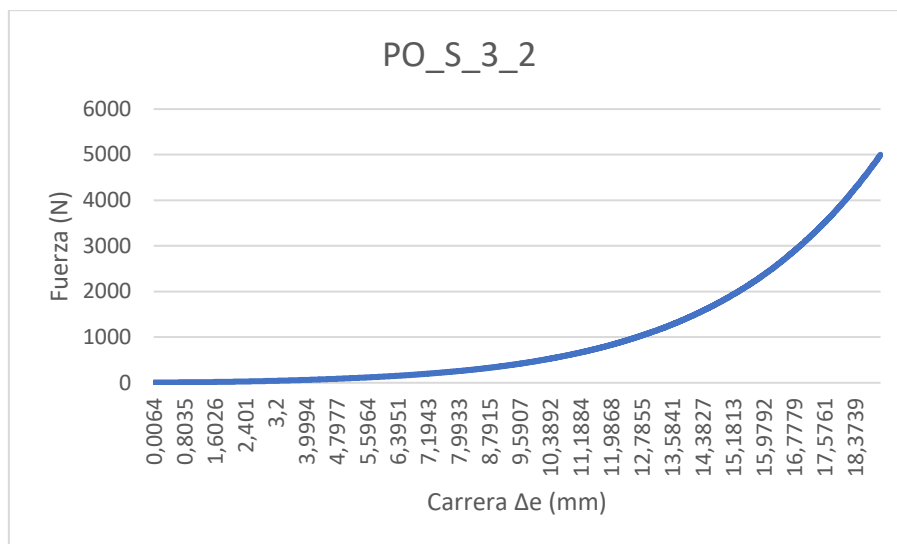


Figura 113: dimensiones y gráficas de PO_S_3_2

Dimensiones probeta PO_S_3_3		
espesor1	27,9	mm
espesor2	27	mm
espesor3	28,3	mm
e.medio	27,7333333	mm
Longitud	129,6	mm
Ancho	60	mm
Supecie	7776	mm^2
Volumen	215654,4	mm^3

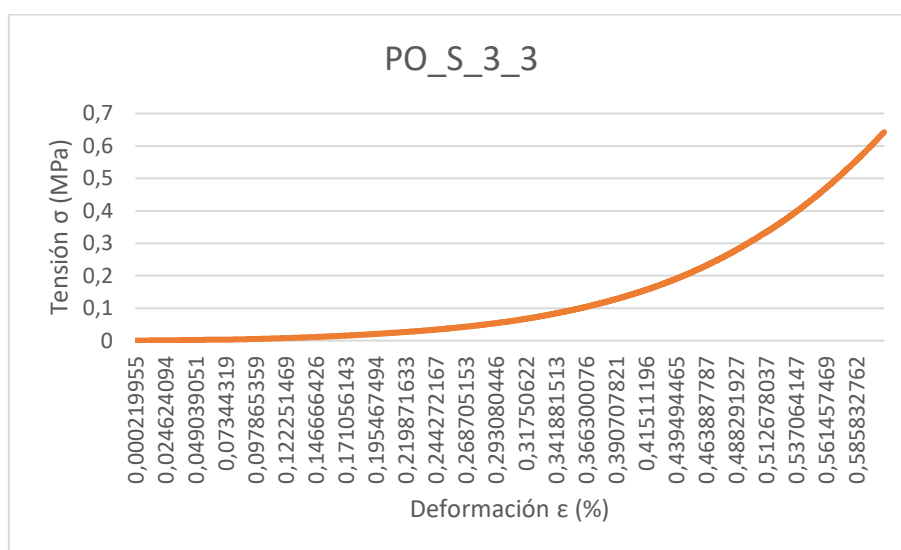
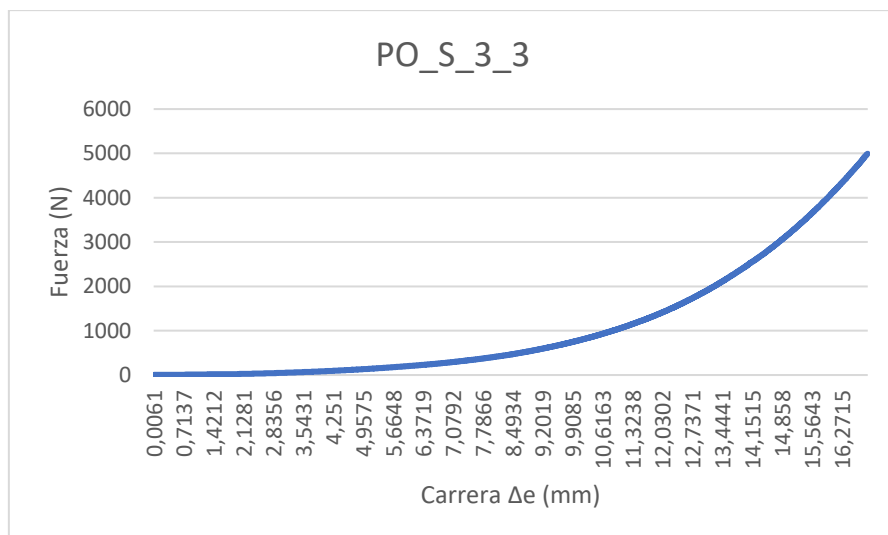


Figura 114: dimensiones y gráficas de PO_S_3_3

Dimensiones probeta PO_S_3_4		
espesor1	29,65	mm
espesor2	28,95	mm
espesor3	28	mm
e.medio	28,8666667	mm
Longitud	128,55	mm
Ancho	59,8	mm
Supecie	7687,29	mm^2
Volumen	221906,438	mm^3

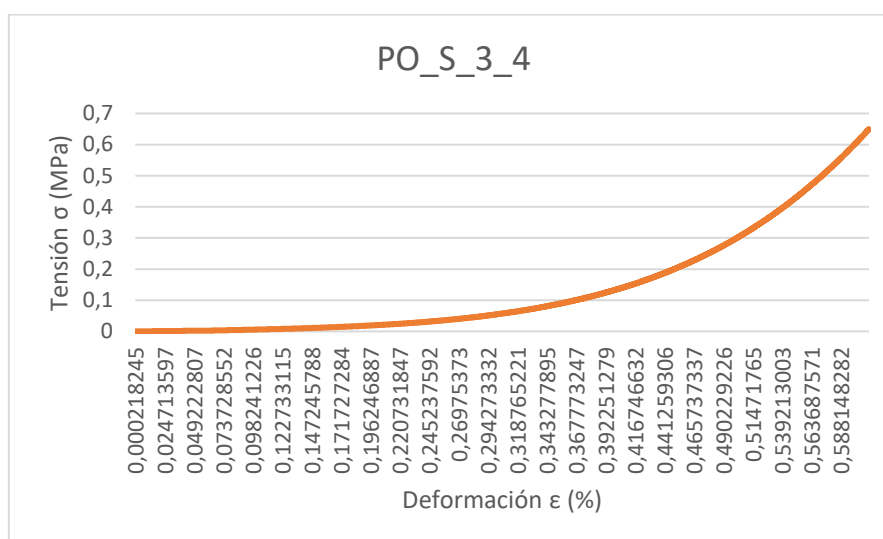
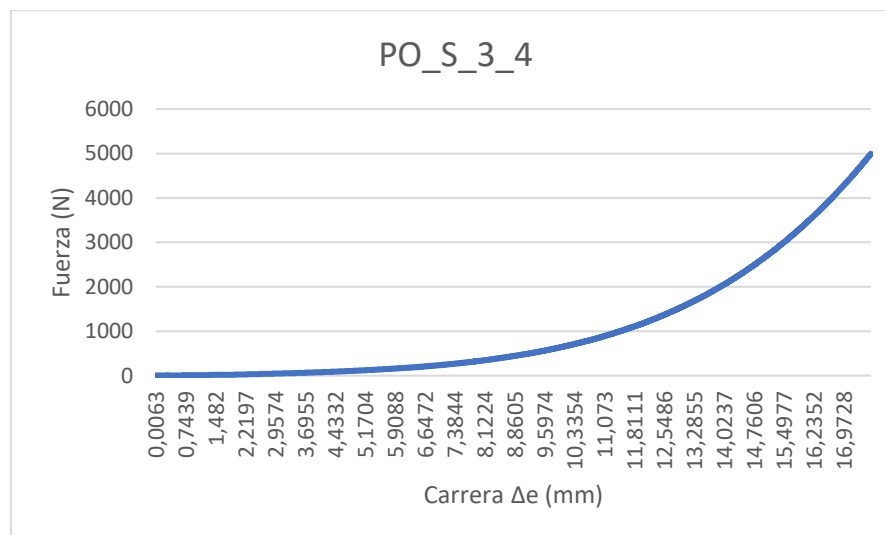


Figura 115: dimensiones y gráficas de PO_S_3_4

PO_C

Dimensiones probeta PO_C_3_1		
espesor1	28,2	mm
espesor2	28	mm
espesor3	28,3	mm
e.medio	28,1666667	mm
Longitud	126	mm
Ancho	58,1	mm
Supecficie	7320,6	mm^2
Volumen	206196,9	mm^3

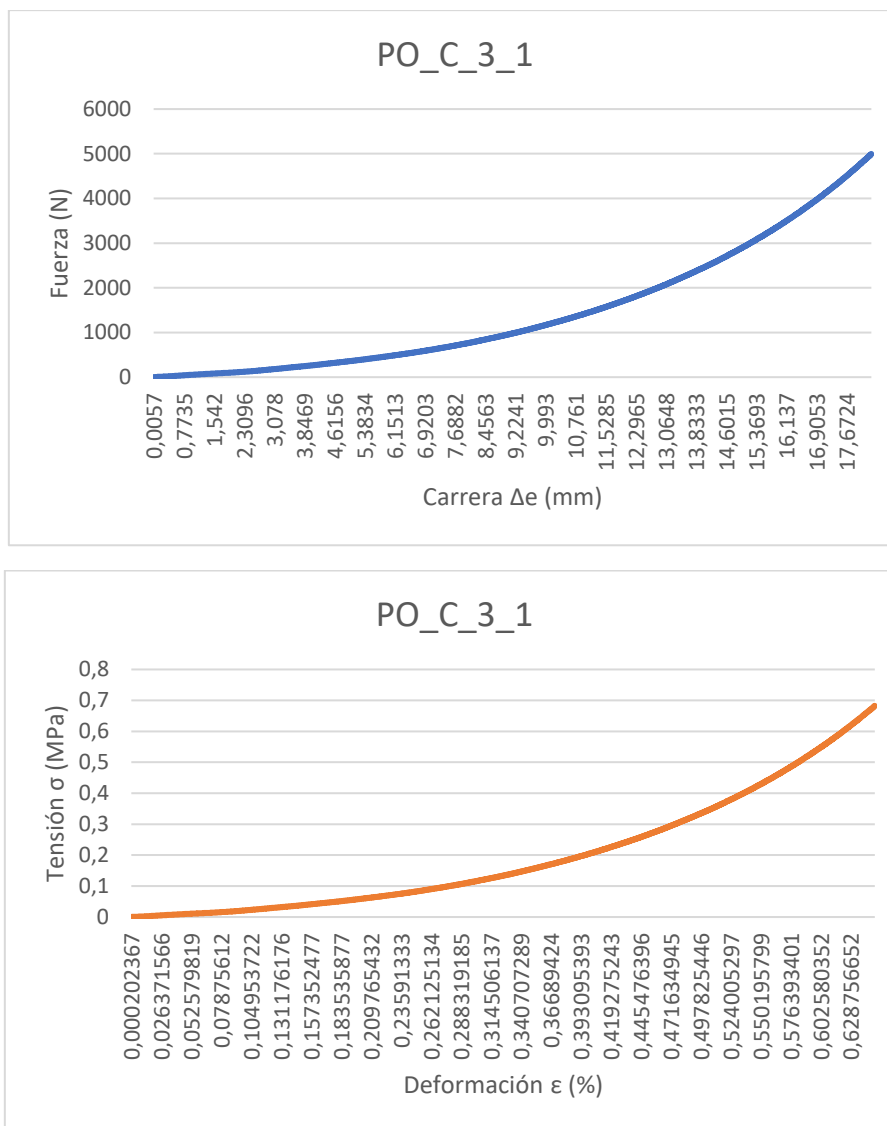


Figura 116: dimensiones y gráficas de PO_C_3_1

Dimensiones probeta PO_C_3_2		
espesor1	23,6	mm
espesor2	26	mm
espesor3	26,2	mm
e.medio	25,2666667	mm
Longitud	126,5	mm
Ancho	74,1	mm
Supecficie	9373,65	mm^2
Volumen	236840,89	mm^3

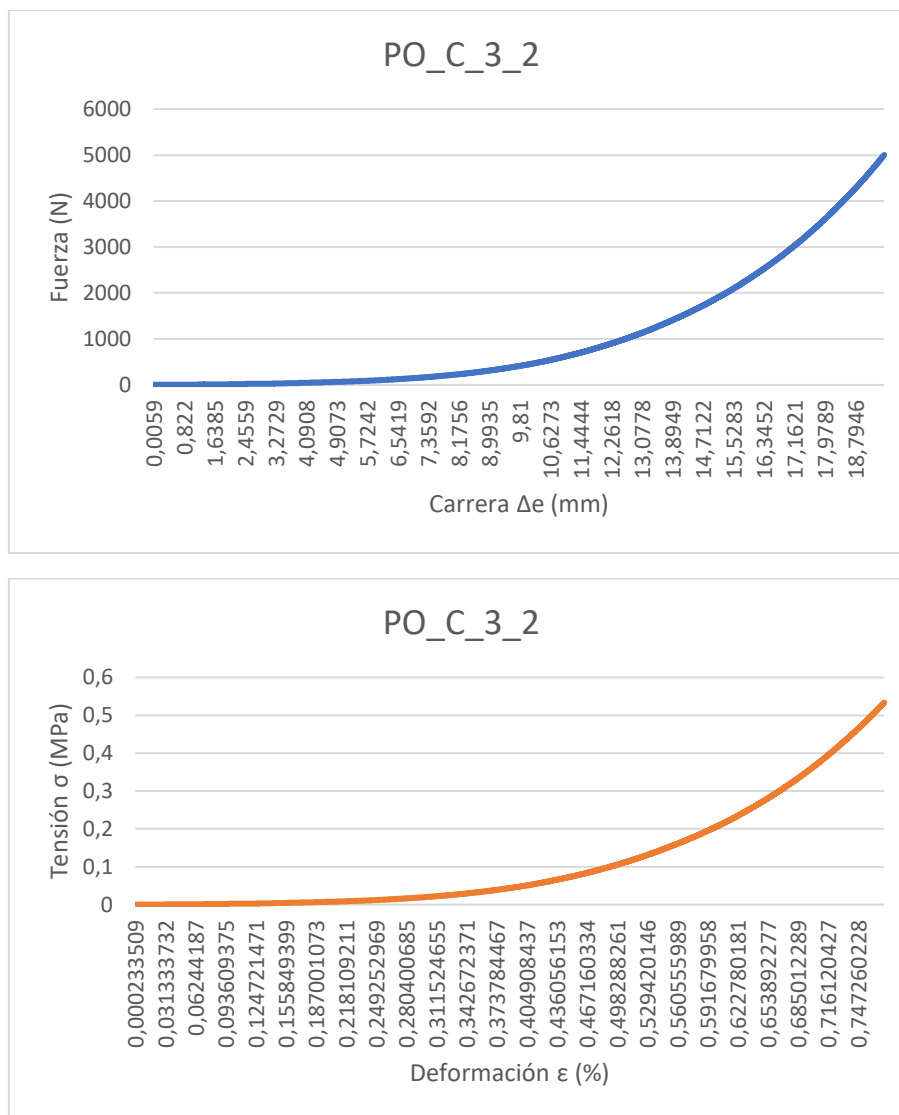


Figura 117: dimensiones y gráficas de PO_C_3_2

Dimensiones probeta PO_C_3_3		
espesor1	28	mm
espesor2	26,9	mm
espesor3	26,2	mm
e.medio	27,0333333	mm
Longitud	126	mm
Ancho	58,55	mm
Supecie	7377,3	mm^2
Volumen	199433,01	mm^3

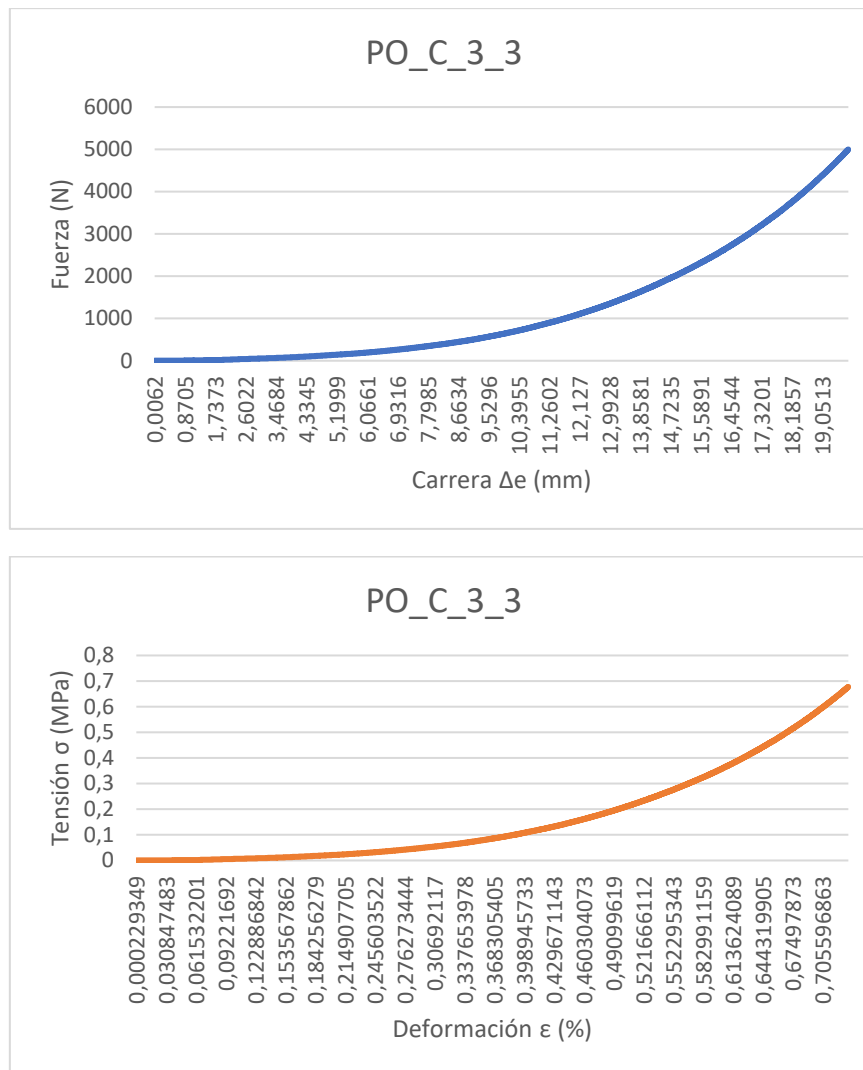


Figura 118: dimensiones y gráficas de PO_C_3_3

Dimensiones probeta PO_C_3_4		
espesor1	31,6	mm
espesor2	28,6	mm
espesor3	28,4	mm
e.medio	29,5333333	mm
Longitud	128,55	mm
Ancho	58,6	mm
Supecie	7533,03	mm^2
Volumen	222475,486	mm^3

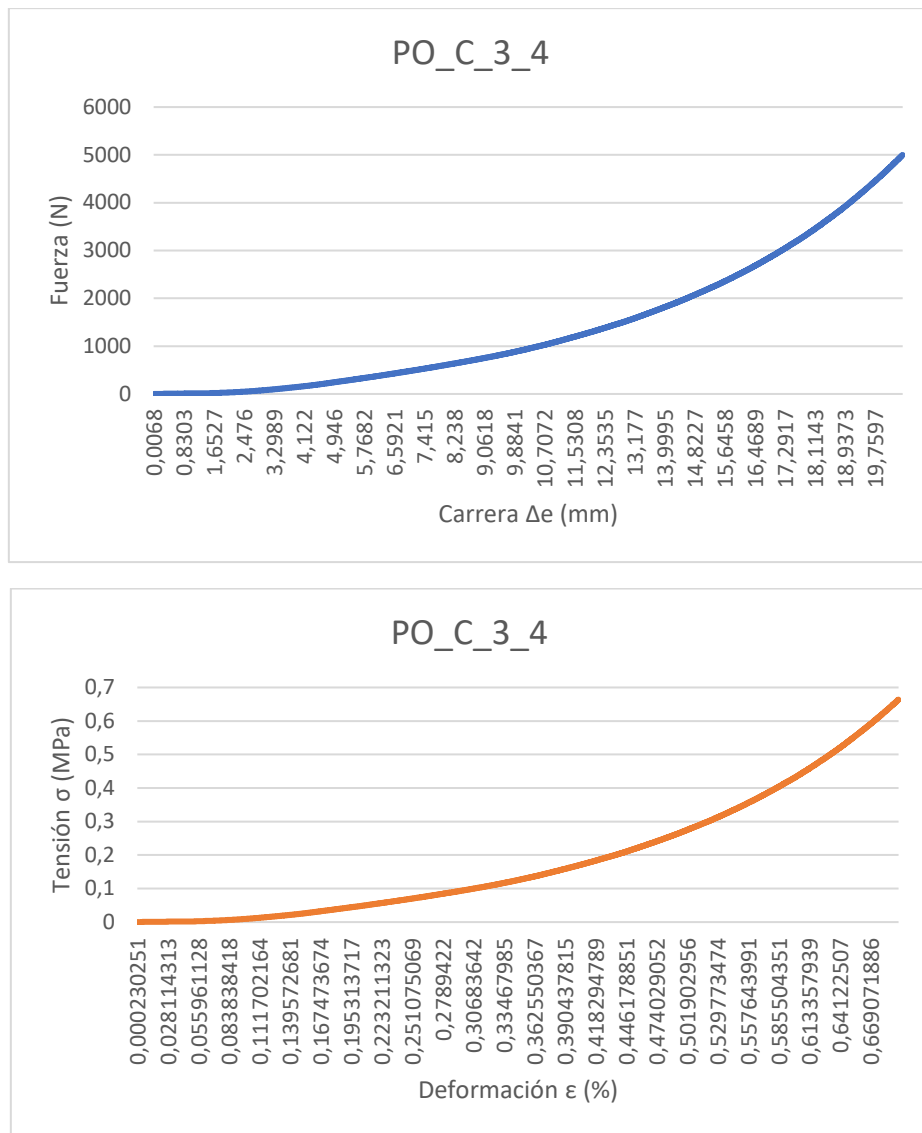


Figura 119: dimensiones y gráficas de PO_C_3_4

Dimensiones probeta PO_C_3_5		
espesor1	27,9	mm
espesor2	28,8	mm
espesor3	28,1	mm
e.medio	28,2666667	mm
Longitud	126,9	mm
Ancho	58,9	mm
Supecie	7474,41	mm^2
Volumen	211276,656	mm^3

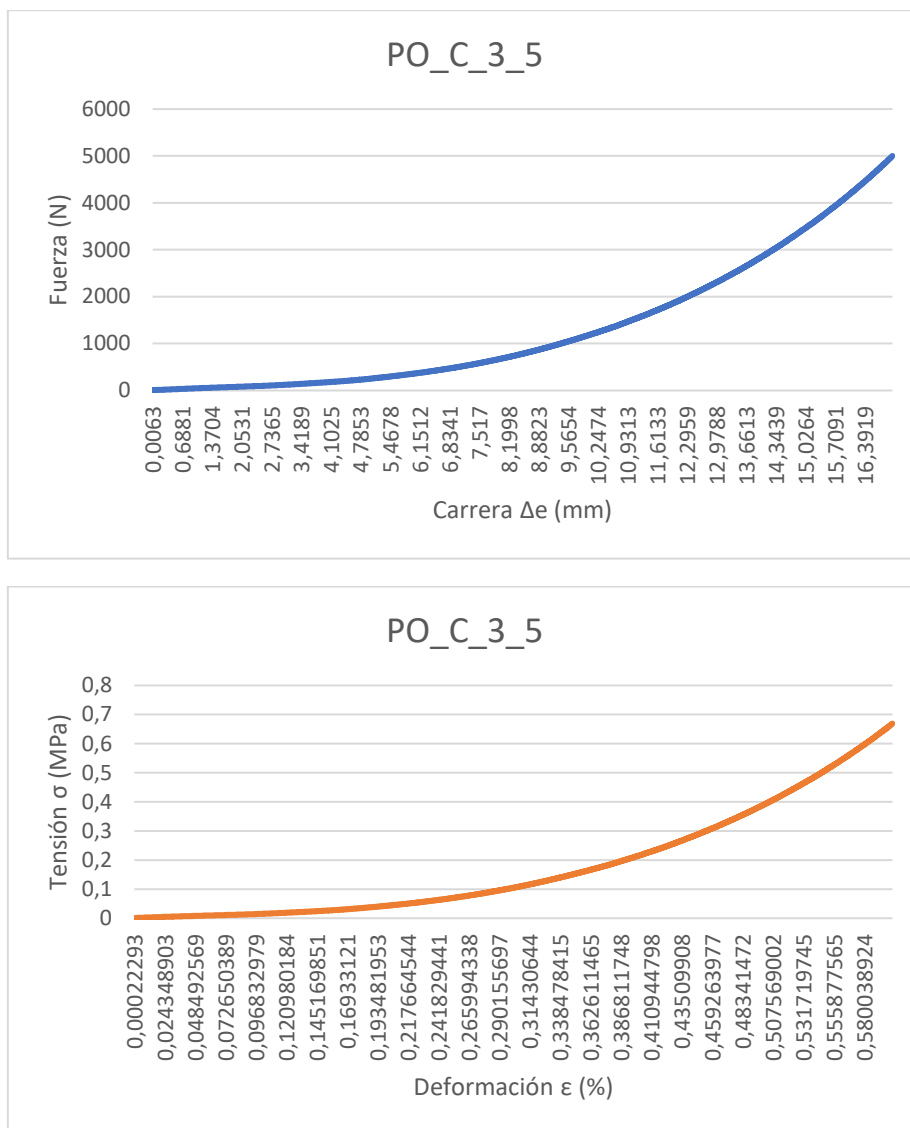


Figura 120: dimensiones y gráficas de PO_C_3_5

PO_H

Dimensiones probeta PO_H_3_1		
espesor1	20,8	mm
espesor2	21	mm
espesor3	19,3	mm
e.medio	20,3666667	mm
Longitud	126,5	mm
Ancho	53,7	mm
Supecficie	6793,05	mm^2
Volumen	138351,785	mm^3

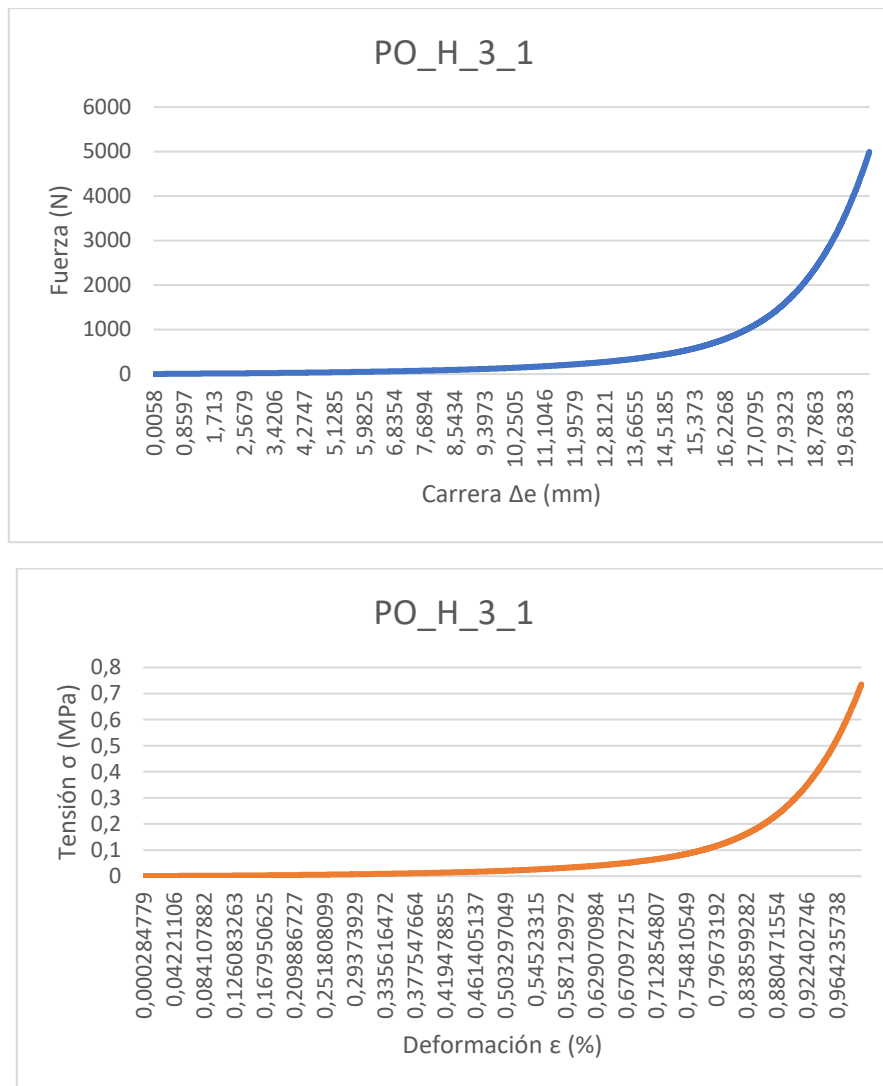


Figura 121: dimensiones y gráficas de PO_H_3_1

Dimensiones probeta PO_H_3_2		
espesor1	21,6	mm
espesor2	22,2	mm
espesor3	28,8	mm
e.medio	24,2	mm
Longitud	128,5	mm
Ancho	54,8	mm
Supecficie	7041,8	mm^2
Volumen	170411,56	mm^3

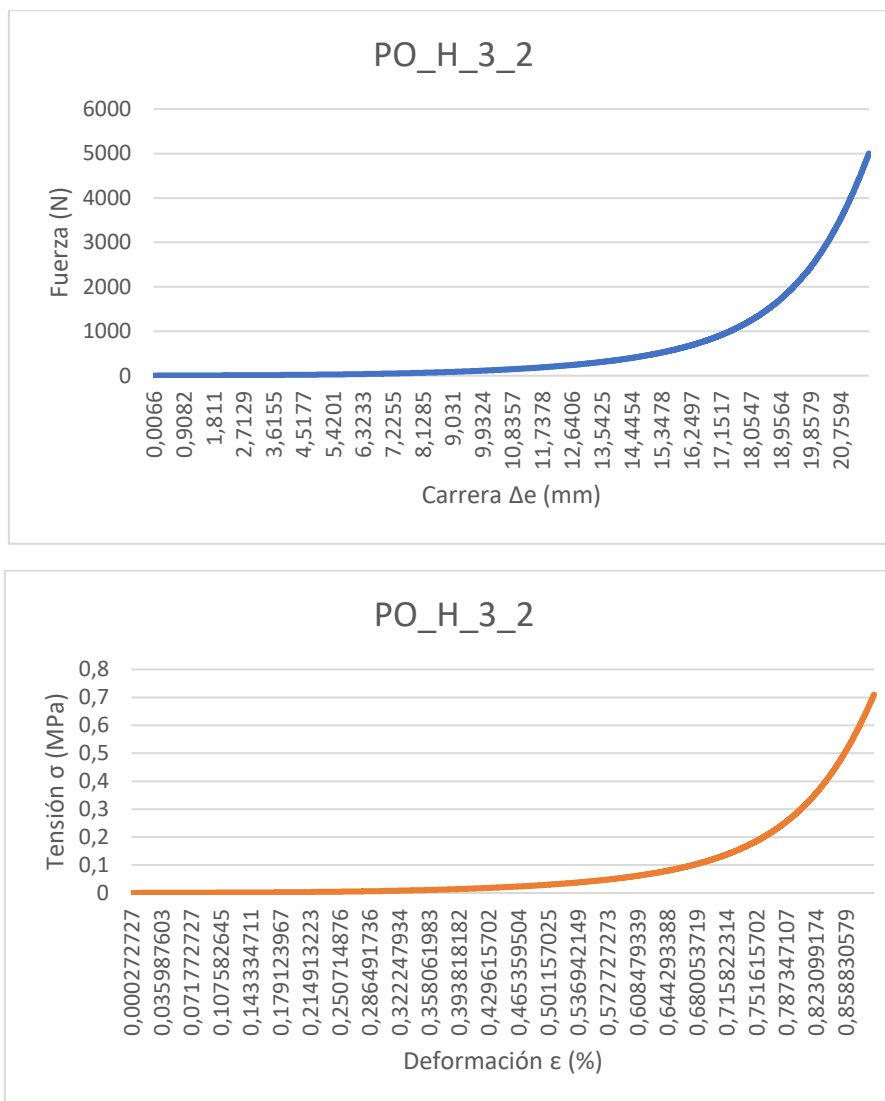


Figura 122: dimensiones y gráficas de PO_H_3_2

