

Material biobasado a base de subproductos agroindustriales de Argentina y micelio de hongo *Pleurotus Ostreatus*. Aplicaciones en embalajes y paneles aislantes.

Biobased material based on agro-industrial by-products from Argentina and *Pleurotus Ostreatus* fungus mycelium. Applications in packaging and insulating panels.

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctoranda:

Camila M. Picco

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE) de doble dependencia del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)-Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

camipicco38@gmail.com

Directora:

Silvina Regenhardt

Codirectores:

Nancy Bálsamo, Santiago Palma

Resumen

La generación masiva de residuos plásticos se ha vuelto un gran problema medioambiental. Es por esto que se están buscando alternativas que sean más amigables con el medio ambiente y biodegradables. La producción de biomateriales a partir de hongos es una rama de investigación en auge. De acuerdo con varias investigaciones, el micelio, aparato vegetativo de los hongos, es un sustituto perfecto para el plástico, y un material de construcción y aislamiento para emplear en un futuro. El mismo se produce a partir de residuos agroindustriales, por lo que estamos en busca de desarrollar biomateriales con residuos agroindustriales del Litoral Argentino (cáscara de maní y fibra de cáñamo) con buenas propiedades para el rubro de la construcción y el packaging de cosmética natural.

Las industrias procesadoras de materias primas de origen agropecuario constituyen las actividades económicas predominantes de la región del Litoral, conformada por las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos. En ella, la industrialización del maní, el arroz y el trigo generan grandes volúmenes de producción y en consecuencia altos volúmenes de residuos, lo que implica una elevada disponibilidad de biomasa residual. El objetivo de nuestro trabajo es valorizar mediante su uso como sustratos principales para la biofabricación de materiales.

Palabras clave: Biomateriales, Micelio de hongos, Subproductos agroindustriales, Diseño.

Abstract

The massive generation of plastic waste has become a major environmental problem. This is why alternatives are being sought that are more environmentally friendly and biodegradable. The production of biomaterials from fungi is a booming branch of research. According to several investigations, the mycelium, the vegetative apparatus of fungi, is a perfect substitute for plastic, and a construction and insulation material to use in the future. It is produced from agro-industrial waste, so we are seeking to develop the biomaterials with agro-industrial waste from the Argentine coast (peanut shells and hemp fiber) with good properties for the construction industry and natural cosmetic packaging.

The processing industries of raw materials of agricultural origin constitute the predominant economic activities of the Litoral region, made up of the provinces of Córdoba, Santa Fe and Entre Ríos. In it, the industrialization of peanuts, rice and wheat generate large volumes of production and consequently high volumes of waste, which implies a high availability of residual biomass. The objective of our work is to value through their use as main substrates for the biofabrication of materials.

Keywords: Biomaterials, Fungal mycelium, Agro-industrial by-products, Design.

Introducción

La cantidad de residuos plásticos se ha vuelto un gran problema medioambiental y es por esto que se está trabajando en diversos proyectos para reciclarlos y reutilizarlos. Asimismo, se están buscando alternativas al plástico, a partir de materiales más sustentables y biodegradables. Dentro de esta última línea de investigación es donde estamos trabajando: en la producción de materiales biobasados a través del cultivo de materiales a partir de micelio de hongos con el objetivo de buscar soluciones a través del diseño, la biofabricación y el uso de tecnologías de fabricación digital.

Se propone generar diseños que se introduzcan al socio-productivo actual, reemplacen materiales plásticos como el poliestireno y colaboren con el medio ambiente bajo un modelo de economía circular, aprovechando materia prima que actualmente son desecho (por ejemplo subproductos agroindustriales) y convertirla en un material útil. Manzini (2008) define el trabajo del diseño como la “creación de puentes entre la técnica y la sociedad”. Para generar un aporte a la innovación social en busca de la sostenibilidad se va a trabajar en el desarrollo de una nueva forma de producción: la biofabricación, que se define como la aplicación de la biotecnología para cultivar y hacer crecer los objetos en lugar de manufacturarlos. Esta manera de producir crea un cambio de paradigma, responde a la Economía Circular, en donde la basura no existe ya que los residuos se reciclan y se transforman y, al ser biodegradables, vuelven a su origen. De acuerdo con varias investigaciones, el micelio, aparato vegetativo de los hongos que le sirve para nutrirse y está constituido por hifas, es un sustituto perfecto para el plástico, y un material de construcción y aislamiento para emplear en un futuro. El mismo se produce a partir de residuos agroindustriales, por lo que estamos en busca de desarrollar biomateriales con cáscara de maní, arroz y fibra de cáñamo con buenas propiedades para el rubro de la construcción y el packaging de productos.

Desarrollo

Se comenzó el cultivo de biomateriales dejando que el micelio, la parte vegetativa de los hongos, se alimenta de un sustrato de materia orgánica que contenga principalmente celulosa y lignina. Mientras el micelio crece, el mismo cohesiona el material blando, rellenando los espacios huecos del lugar en el que se introduzca, como lo

hacen las resinas sintéticas. El resultado es un biomaterial que depende de la granulometría del sustrato, el tiempo de crecimiento, las condiciones ambientales y la forma de secado (estufa o prensado en caliente), se obtiene una espuma o un aglomerado, que en el caso de la espuma, el mismo sirve como aislante pudiendo ser un reemplazo al poliestireno o el poliuretano, con la diferencia de que el micelio es completamente biodegradable. El proceso de elaboración dura aproximadamente 20 días y se hace dentro de un sistema de cultivo ambientalmente controlado. Al final, lo que se obtiene es un biomaterial (Figura 1). En el mercado ya se encuentran diversos productos creados con micelio. Una de sus versiones más populares hasta ahora, es la de paquetes de embalaje creada por Ecovative Design. Un producto que proporciona aislamiento térmico y se puede descomponer en unos 45 días.

Debido a que el uso de material ecológico sigue en aumento, el biomaterial a base de micelio se ha convertido en una opción comercial atractiva. Su producción genera 90% menos dióxido de carbono y usa solo un 12% de la energía que la producción de envases plásticos. Además de biodegradable, el micelio también es un material biocontribuyente, en lugar de descomponerse los materiales hechos con micelio se descomponen en nutrientes que son útiles para el suelo. Asimismo, requiere menos energía que la que se necesita para la elaboración del cartón y el plástico. El proceso inicia con un sustrato de fibras naturales. El micelio actúa sobre el sustrato como un pegamento vivo que emplea el mismo proceso natural de descomposición de fibras, formando una red de hifas que se pueden moldear y dirigir en diversos tipos de envases de productos. El presente trabajo tiene como fin comentar lo que se ha investigado hasta el momento en el marco del trabajo del doctorado en Ingeniería en materiales.

Los biomateriales tienen como ventaja que se produce a partir de materia prima orgánica que puede provenir de desechos agrícolas. En Argentina el sector agroindustrial genera cantidades considerables de residuos que, si no se tratan, pueden resultar en problemas ambientales. Las cáscaras de arroz y maní representan alrededor del 20% del peso de la cosecha, casi un cuarto de la producción es cáscara, que hasta hace algunos años se quemaba. Hoy, es cada vez más frecuente que se busque transformar los 'descartes' del sector agrario en productos con nuevas utilidades. En esta línea de trabajo se está avanzando para generar productos sustentables reutilizando los residuos agroindustriales.



Proceso de crecimiento de material biobasado con fibra de cañamo y micelio

Figura 1: Proceso de crecimiento y confirmado.

Se utilizaron en primera instancia distintos sustratos para evaluar el más apto para la producción del biomaterial. Dentro de los residuos agroindustriales generados en Argentina se utilizó la cáscara de arroz y de maní. Asimismo se decidió incorporar fibra de cañamo ya que en la bibliografía se menciona que es una de las fibras más óptimas para la producción de biomateriales por su alto contenido de lignina y empresas pioneras en el tema como Ecovative y Mylo la utilizan. Asimismo, este año se promulgó a nivel nacional la Ley de Cannabis Medicinal y Cañamo Industrial, y en Santa Fe también se aprobó la ley con la que se busca que la provincia sea la primera del país que, a través del laboratorio público, investigue y produzca cannabis medicinal como recurso terapéutico. Ya hay 5 provincias que tienen cultivos de cannabis para producción de aceite medicinal, por lo que la

fibra de cáñamo que es un subproducto, se va a comenzar a generar en distintas provincias del país. En cuanto al tipo de hongo se decidió utilizar la especie de *Pleurotus ostreatus* o Seta ostra, hongo comestible fácil de conseguir y de cultivar y puede utilizar como sustrato casi cualquier elemento que contenga celulosa y lignina. Lo que se utiliza para el desarrollo del biomaterial es todo el sustrato que utiliza el hongo para crecer, antes de que el mismo haga la floración (cuerpo fructífero) (Figura 2).



Pleurotus ostreatus o Seta ostra

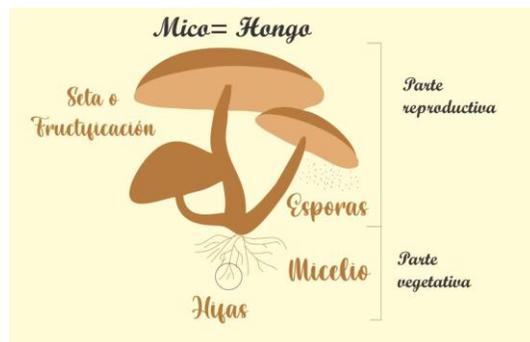


Figura 2: *Pleurotus ostreatus* o Seta ostra y esquema de partes de un Hongo. Seta, micelio e hifas.

Resultados

En la literatura se reconocen dos categorías de diseño para los biomateriales obtenidos a partir del desarrollo micelial vegetativo sobre sustratos lignocelulósicos: i) tipo espuma y ii) tipo sándwich (Vivas, 2010). En el presente plan se decidió comenzar a trabajar con los tipo espumas y una vez colonizado el sustrato se trabajó de dos maneras: Secándolos en estufa y prensándolos con calor, de esta manera se obtuvieron espumas y aglomerados respectivamente. Las muestras más exitosas (colonizadas y no contaminadas) fueron sometidas a pruebas y análisis. Hasta el momento se le han realizado ensayos al material secado en estufa que generó como resultado una espuma. Se seleccionaron para esta instancia las 4 dosificaciones, las cuales presentaron los mejores resultados (buen crecimiento micelial y no contaminación) (Figura 3).

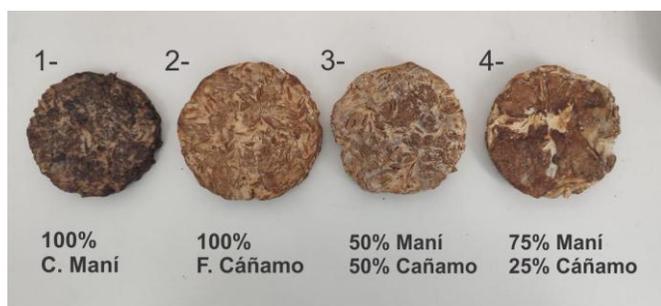


Figura 3: Muestras con sustratos 1- Maní 100%, 2- Cañamo 100%, 3- Cañamo 50% y mano 50% ,4- Mani 75% cáñamo 25%

A estas muestras se las comenzó a ensayar para determinar sus características y evaluar su posibilidad de uso como paneles aislantes. Los materiales a base de micelio fúngico no cuentan con normas propias (Rodríguez, 2018), por ello, se los compara con otros materiales reportados en la literatura con características o prestaciones similares. A continuación se adjunta, en la Tabla 1, los resultados preliminares de densidad, contenido de humedad e hinchamiento.

Tabla 1: Tabla de resultados

Muestra	Densidad (gr/cm ³)	Cont. de humedad (%)	Hinchamiento 2h(%)	Hinchamiento 24 h(%)
100% cáscara de maní	0,217	9,84%	167,10%	173,35%
100% fibra de cáñamo	0,26	10,15%	83,67%	115,36%
50% cáscara de maní /50% fibra de cáñamo	0,226	11,66%	118,05%	135,71%
75% cáscara de maní /25% fibra de cáñamo	0,227	11,70%	144,73%	158,75%
Promedio	0,2325	10,84%	128,39%	145,79%

En cuanto a la densidad (en base a norma IRAM 9704,9705), se obtuvo un valor promedio de 0,23 g/cm³, lo cual es un buen valor ya que se encuentra en el rango de densidades de placas aislantes (0,16 - 0,5 g/cm³) (Celano, 2010). La densidad de los materiales compuestos de micelio ensayados oscilan 0,20 y 0,27 g/cm³ (Tabla 1), similar a la de otros compuestos de micelio no prensados (0,06 a 0,22 g/cm³) (Holt, 2012). Las placas aislantes SDF de uso comercial son aquellas de menor densidad y varían entre 0,16 a 0,50 g/cm³, empleándose como aislante de paramentos (Celano, 2010). Asimismo, el material a base de fibra de cáñamo presentó la mayor densidad entre las muestras no prensadas (0,26 g/cm³). En la bibliografía se sugiere a las espumas a base de micelio (MBF) como sustitutas de las espumas tradicionales de poliestireno. La baja densidad se considera un factor importante junto al peso reducido, la densidad afecta a otras propiedades importantes del material, tanto desde el punto de vista físico-mecánico como termodinámico (Girometta et al., 2019). El control de la densidad y su homogeneidad dentro del material siguen siendo aspectos problemáticos en MBF, ya que está relacionado con la composición y estructura del sustrato. Cuanto mayor es la fracción de granos en el sustrato, mayor es la densidad final en comparación con los protocolos que aumentan la fracción de fibras, cascarillas o pulpa de madera (Arifin y Yusuf, 2013). El tablero de fibra tiene una densidad media de 0,50 a 1,00 g/cm³, el tablero de fibra orientada (OSB) compuesto de madera tiene una densidad de 0,55 a 0,70 g/cm³ (Appels et al., 2019). En cuanto al contenido de humedad se calculó ensayando probetas, las cuales se pesaron en la balanza de precisión de 0,01g, y se obtuvo el peso húmedo, luego se llevaron a estufa a 105° C por 24 h, se retiraron de la estufa y se volvieron a pesar, determinando el peso seco. El porcentaje de diferencia entre peso húmedo y peso seco es el contenido de humedad. Para realizar las comparaciones con los otros parámetros físicos se utilizó la humedad base húmeda $H_{bh} = (Ph - Ps) / Ps \cdot 100$.

También se realizó un análisis de absorción de agua (Gaitan, 2016). En esta prueba el material es sumergido en agua en dos etapas; primero durante dos horas y luego durante 24 horas con el fin de analizar la resistencia a la absorción de agua del material. La norma ASTM D 1037, dice que para realizar la prueba se deben de cortar probetas de 4,5 cm x 4,0 cm y 0,5 cms de espesor, se deben pesar las probetas antes de sumergirlas, después sumergirlas por 2 y 24 horas y posteriormente sacarlas y escurrirlas, dejándola al aire por 5 minutos, para volver a pesar y así hallar las diferencias y encontrar la cantidad de agua absorbida por cada probeta (ASTM, 2013, Maloney, 1977). Los porcentajes de absorción de agua y de aumento de espesor, se muestran en la Tabla 1. En cuanto a estas pruebas se observó que el mayor incremento fue durante las primeras 2 horas y una vez finalizado el ensayo se las volvió a secar registrando una recuperación de volumen, espesor y densidad.

Conclusiones

Si bien aún quedan pruebas por realizar se considera que las espumas a base de micelio desarrolladas tienen potencial de uso. Se lograron muestras de baja densidad, lo cual es una característica importante para los paneles de aislación, recuperan su aspecto y dimensiones al ser sometidas a humedad saturada. El biomaterial obtenido

está dentro de los parámetros de las espumas a base de micelio elaborados más recientemente, son rígidas y biodegradables, por lo que pueden ser una alternativa ecológica a los materiales de embalaje a base de petróleo. Es posible, que este tipo de material se pueda utilizar en la industria del embalaje de productos naturales o que necesiten una protección superior por su fragilidad a la hora del transporte (perfumes, vinos, productos con envases de vidrio en general) y en el rubro de la construcción si bien se necesita pensar en otra escala productiva se cree que a futuro puede ser aplicado. Se proyectan realizar pruebas de aislación térmica, acústica y ensayos mecánicos para poder compararlas con un poliestireno: comportamiento térmico (IRAM 11559), acústico (IRAM 4063), al fuego (IRAM 11901), al agua (normas IRAM 9720, 9724-1), entre otros. A continuación y en relación a los resultados obtenidos se elaborarán ejercicios prácticos de diseño con implementaciones en la industria y en productos. En paralelo también se están desarrollando muestras con los mismos sustratos pero prensadas en caliente para generar un aglomerado con aglutinante natural.

La propuesta no es desarrollar productos de consumo masivo que compitan con la industria de inyección plástica o la industria de la construcción masiva pero sí generar un material que impacte en la sociedad, cuidando a las personas y al medio ambiente. Se busca a través del diseño pensar los productos en forma eficiente, a través de modelos de economía circular y cuidado al medio ambiente.

Referencias

- Arifin, Y., Yusuf, Y. (2013). Mycelium Fibers as New Resource For Environmental Sustainability. *Procedia Engineering*. 53. 504–508. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813001847>
- Appels, F. V. W. et al. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture and water-related properties of mycelium-based composites. *Mater. Des.* 161, 64–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
- Celano, J. (2010). Paneles termo-acústicos a base de residuos de madera. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/2451>
- Feijóo-Vivas, K. et al. (2021). Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible DOI. 10.21931/RB/2021.06.01.29
- Gaitan, A. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*. *Rev Cie Téc Agr [online]*. 2016, vol.25, n.1, pp.5-11. ISSN 2071-0054.
- Girometta, C. et al. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/330215408_Physico-Mechanical_and_Thermodynamic_Properties_of_Mycelium-Based_Biocomposites_A_Review
- Holt, G.A. et al. (2012). Micelio fúngico y materiales vegetales de algodón en la fabricación de material de embalaje moldeado biodegradable: estudio de evaluación de mezclas seleccionadas de subproductos de algodón J. *Materia de base biológica*. *Bioenergía* , 6 , pp. 431 - 439. doi: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2012.1241>
- Maloney, T. (1977) *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. San Francisco, California: Miller Freeman Publication.
- Manzini, E. (2008). *Cuando todos diseñan*. Milán, Italia: Experimenta.
- Rodríguez, S. (2018). Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. Vol. 3 Núm. 5 doi: <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2018.50632>