

Materiales biopoliméricos desarrollados a partir de micelio y residuos lignocelulósicos. Estado de la técnica actual y perspectivas de aplicación en el campo del hábitat

Biopolymer materials developed from mycelium and lignocellulosic residues. Current state of the art and prospects for application in the field of habitat

Presentación: 06-07/10/2020

Doctorando:

Natalia Fernández

Centro Experimental de la Vivienda Económica - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Argentina
nfernandez@ceve.org.ar

Director/es:

Rosana Gaggino

Co-director/es:

María Josefina Positieri

Jerónimo Kreiker

Resumen

El micelio es un polímero producido por microorganismos, biobasado y biodegradable. Está compuesto de estructuras filamentosas (hifas), se encuentra en la naturaleza y también puede ser obtenido mediante el proceso de degradación o digestión de lignocelulosa inoculada con hongos macromicetos. La lignocelulosa es una de las sustancias más abundantes en el planeta, y se encuentra en la biomasa contenida en restos orgánicos, forestales, agrícolas y una parte importante de los residuos sólidos urbanos. En Argentina, los hongos actualmente se producen en su mayoría con fines comestibles y la parte vegetativa de las fructificaciones que se comercializan, se descarta o se utiliza como abono para suelos. Se indagó en las propiedades beneficiosas del material como así también en los métodos patentados para su fabricación. El objetivo de este trabajo es encontrar nuevos nichos de investigación en el campo del hábitat mediante un estudio antecedentes de investigaciones y producción de micelio para diversas aplicaciones.

Palabras clave: Materiales biobasados, Micelio, Aplicaciones, Hábitat.

Abstract

Mycelium is a polymer produced by microorganisms, bio-based and biodegradable. It is composed of filamentous structures (hyphae), is found in nature and can also be obtained by the process of degradation or digestion of lignocellulose inoculated with macromycetes fungi. Lignocellulose is one of the most abundant substances on the planet, and is found in the biomass contained in organic, forest, agricultural and a significant part of urban solid waste. In Argentina, mushrooms are currently produced mostly for edible purposes and the vegetative part of the fruit that is marketed is discarded or used as soil fertilizer. The beneficial properties of the material were investigated as well as the patented methods for its manufacture. The aim of this work is to find new research niches in the field of habitat through a background study of mycelium research and production for various applications.

Keywords: Bio-based materials, Mycelium, Applications, Habitat.

Introducción

Los polímeros naturales se producen en los ciclos de crecimiento de las células de los organismos vivos. Su síntesis incluye reacciones de polimerización catalizada por enzimas de monómeros activados, que ocurren dentro de las células como productos de procesos metabólicos complejos. Para los materiales creados por la naturaleza se aplica que también pueden ser degradados por la naturaleza. Los desintegradores invisibles, generalmente presentes y casi siempre activos de los materiales orgánicos naturales son los microorganismos (Šprajcar, Horvat & Kržan, 2012).

Un micelio está formado por largas hifas ramificadas que se reúnen en cordones rizomorfos y cuerpos de reproducción. Son organismos saprobios que absorben la materia orgánica muerta de los residuos donde crecen, o son parásitos de árboles, o viven en simbiosis con plantas formando ectomicorrizas. Este micelio puede crecer durante años en el suelo o la madera hasta que bajo la influencia de diversas condiciones ambientales forma los basidiomas (Carrillo, 2003).

La producción y el consumo de hongos superiores han aumentado notablemente a nivel mundial durante las dos últimas décadas y, si bien en la Argentina la producción comenzó en la década del 1940, no tuvo un crecimiento importante. Aproximadamente desde finales de los ochenta, algunas universidades del país comenzaron a abordar el tema de la producción de hongos desde un enfoque científico-tecnológico, con nuevas propuestas, para cubrir las necesidades de conocimiento de los productores (Albertó, Curvetto, Deschamps, González Matute & Lechner, 2010).

Hay una gran preocupación pública sobre los residuos plásticos, que promueve el desarrollo de nuevos materiales de base biológica. El beneficio de utilizar la biomasa microbiana para nuevos desarrollos es que es una fuente completamente renovable de polímeros, que no se limita a las condiciones climáticas o puede causar la deforestación, ya que los biopolímeros provienen de la biomasa vegetal (Cottet, Ramirez-Tapias, Delgado, De la Osa, Salvay & Peltzer, 2020).

Según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, en el país se producen más de 107 millones de toneladas anuales de residuos lignocelulósicos (Gallino, 2014). En el mundo actual, los profesionales de la construcción no están solos en la toma de decisiones de los materiales y componentes. Los efectos ambientales a largo plazo de los materiales deben ser considerados holísticamente, en el futuro de múltiples perspectivas y procesos de diseño y producción en capas. Vemos que los bioplásticos se utilizan principalmente en la producción de envases y textiles. En el campo del hábitat, la aplicación de bioplásticos es relativamente joven en comparación con otras áreas de aplicación de materiales sostenibles (Özdamar & Ateş, 2018).

El objetivo de este trabajo es encontrar nuevos nichos de investigación en el campo del hábitat a partir de los antecedentes de materiales creados en base a micelio con otras aplicaciones. Se indagó en propuestas para la industria de embalajes, para materiales aislantes e ignífugos. La industria alimenticia no se considera en este estudio, excepto cuando el método de cultivo representa un aporte significativo para el proceso de obtención de biomateriales. El análisis se enfocará en patentes existentes, cuya base es indispensable para proponer soluciones novedosas en actividades de la construcción.

Desarrollo

Se avanzó en la búsqueda de patentes y antecedentes a nivel internacional y nacional. Debido a la experiencia de cultivar hongos comestibles en material de desecho vegetal que es utilizado por el hongo como sustrato, una extensión que se hizo atractiva fue la fabricación de estructuras que contienen material de biomasa como relleno adherido por micelio de hongos. A este respecto, el micelio de los hongos filamentosos digieren, materiales lignocelulósicos y forman redes interconectadas para la resistencia mecánica y otras propiedades (Cerimi & Pohl, 2019). Según las fuentes citadas, se publica una revisión de patentes de hongos como fuente de nuevos materiales en donde se abarca el análisis de 47 patentes. Las aplicaciones mencionadas comprenden en mayor medida embalajes, y en menor medida industria automotriz, tableros de circuitos eléctricos, industria textil y otros. Las actividades de la construcción entran en esta última categoría, en la que se mencionan los posibles usos identificados para este material como aislamiento orgánico para viviendas en reemplazo de los materiales convencionales.

Las patentes identificadas en el campo de la construcción comprenden, por un lado, la de Philip Ross, en donde se presenta un método para producir estructuras de hongos. Se describe un método sencillo para cultivar materiales de construcción de origen orgánico en forma de un sustrato moldeable que puede diseñarse para servir a una amplia gama de aplicaciones de fabricación y construcción. El objeto que propone Ross es un ladrillo autoensamblable a partir de paja de trigo inoculada con el hongo *Ganoderma Lucidum*. Por otro lado, la patente que menciona usos constructivos es la de Ecovative Design. Esta compañía estadounidense fundada por Eben Bayer y Gavin McIntyre, comercializa un producto denominado Mushroom®Insulation, el cual actúa como un aislante acústico y térmico en paredes de edificios. La empresa ha logrado llevar a una escala industrial la producción optimizando el proceso para reducirlo en 5 días desde la inoculación del hongo hasta el secado del producto final.

En cuanto a investigaciones recientes, se destacan las llevadas a cabo por Elsacker, Vandelook, Van Wylick, Ruytinx, De Laeta & Peeters (2019), quienes han realizado una caracterización mecánica, física y química de los compuestos a base de micelio con diferentes tipos de sustratos lignocelulósicos. Este estudio determina que las propiedades finales del micelio dependen más de la forma de procesamiento del sustrato que de la composición química de los mismos. En Bélgica se empleó la variedad de hongo *Trametes Versicolor*, y se han utilizado como sustratos para la comparación de propiedades residuos agrícolas provenientes de lino y trigo en diferentes formas y tamaño de partículas, y en ocasiones viruta de pino (Elsacker et als., 2019).

En Argentina, Mycocrea es un laboratorio de biomateriales radicado en Buenos Aires. Desde junio de 2017 trabaja con micelio, kombucha y bioplásticos de yerba mate. También ha desarrollado ladrillos, lámparas, macetas, y obras de artes electrónicas en base a micelio, celulosa bacteriana y una amplia variedad de bioplásticos a partir de desechos orgánicos cotidianos (Cantera, 2019).

Objetivos de la tesis:

General:

Desarrollar tecnológicamente un material sustentable a partir de residuos lignocelulósicos y micelio, para brindar soluciones constructivas de bajo costo que promuevan la descontaminación del ambiente.

Específicos:

- Determinar los residuos lignocelulósicos como compuesto predominante y la cepa de hongo más adecuados para el crecimiento del micelio disponibles en el medio local para la producción de componentes constructivos.
- Evaluar las propiedades Físicas, Mecánicas, de Durabilidad, Térmicas, Fuego, etc.
- Identificar aplicaciones constructivas de los compuestos en base a micelio y residuos lignocelulósicos.
- Verificar que el material resultante esté despojado de emisiones contaminantes en su fabricación, tóxicos en su vida útil o requiera complicados procesos de transformación para su reciclaje.

Metodología:

Para el desarrollo de componentes constructivos aplicando residuos lignocelulósicos y micelio de hongos se utilizó la metodología exploratoria, descrita por Sabino (1996). Este tipo de investigación se realiza cuando el tema ha sido poco explorado, y aparece un nuevo fenómeno que, por su novedad, no ha sido aún objeto de una investigación sistemática. Sintéticamente, se realizaron experiencias sucesivas, en las cuales se modificaron variables de a una por vez.

En el caso de las muestras, las variables a considerar son el tipo, granulometría y dosificación de materiales, como así también el procedimiento de fabricación, la compresión aplicada, los recubrimientos, el diseño morfológico, entre otros. *A posteriori* se realizarán ensayos de laboratorio sobre las propiedades físicas y mecánicas de los componentes constructivos según normas, se evaluarán resultados, se realizarán ajustes en base a conclusiones parciales, se construirán prototipos y se evaluará su comportamiento en el tiempo.

Materiales y métodos:

Para el estudio comparativo se seleccionaron dos materias primas: una serie de sustratos residuales con alto contenido de celulosa, y, semilla de avena inoculada con esporas de dos especies fúngicas diferentes que actuarán como bioligantes. La relación entre semillas y sustrato, para garantizar un óptimo desarrollo del hongo y mayor homogeneidad en el biopolímero resultante, es de 1:10.

El método consiste en inocular microorganismos de hongos filamentosos seleccionados en sustratos previamente triturados y tratados térmicamente para la disminución de carga microbiana de manera de facilitar el acceso al alimento del hongo. Se utilizaron las cepas de hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* adquiridas en el laboratorio del IMBIV (Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal). La mezcla se incubó en moldes y condiciones de ambiente controlados; a H° 75% y T 25° con recambio de aire. Luego de 21 días de incubación las placas se desmoldaron y deshidrataron para detener el crecimiento del micelio.

El procedimiento contempla los siguientes pasos:

- a. Selección y triturado de sustrato con molino o chipeadora hasta lograr partículas no mayores a 1,5 cm
- b. Pasteurización de sustrato en autoclave a 121°C durante 15 minutos en laboratorio y/o mechero y mezcladora de hormigón en caso de aumentar los volúmenes a 100° durante 2 h.
- c. Inoculación del sustrato a temperatura ambiente con un hongo seleccionado mediante agregado de un 10% de semilla miceliada con microorganismos de las variedades: *Pleurotus Ostreatus*, *Ganoderma Lucidum*, *Picnoporus Sanguineus*, *Ciclocybe agaerita*, *Trametes*.
- c. Llenado de moldes con la mezcla descrita en punto c. en ambiente desinfectado y sin corrientes de aire.
- d. Compresión con prensa manual.
- e. Incubación a 25°C y humedad del 70% durante 21 días o hasta que el sustrato se vea completamente colonizado.
- e. Desmolde de componente.
- f. Secado en estufa para detener el crecimiento microbiano a 80°C durante 24 h.

Resultados

Se utilizaron dos cepas: *Pleurotus Ostreatus* (Gírgola) y *Ganoderma Lucidum* (Reishi). Se realizaron pruebas inoculando 14 sustratos diferentes en moldes de madera de 15 x 25 cm confeccionados para tal fin. Para evitar que el micelio se adhiriera a la madera del molde, se separó el sustrato inoculado con papel film. Se colocaron tapas de madera laminada de 5 mm y prensas manuales para comprimir el material y lograr un espesor de 2 cm en cada placa. Se incubaron 9 probetas iguales de cada sustrato, es decir un total de 126 placas. Los sustratos seleccionados para el análisis fueron los siguientes: hojas secas de roble sin procesar, viruta de álamo, virutas mixtas de palo amarillo, guatambú y cedro, cartón corrugado de doble onda, cartón de huevos, y polypapel proveniente de vasos descartables. Estos últimos tres sustratos provenientes de residuos sólidos urbanos fueron triturados en Molino hasta lograr partículas con un tamaño de 1,5 cm de diámetro. También se utilizó borra de café usada procedente de cafetería local, restos de yerba mate, bagazo de cebada, chips de poda de vid, lana de oveja con lignina, desmote de algodón, hollejo de soja y hojas de palma de poda urbana (Tabla 1).

Para evaluar el comportamiento de los sustratos seleccionados, se los clasificó en orden descendente en 3 tipos luego de 21 días de incubación. Las 3 categorías fueron: muy favorables, en el caso en que la colonización fue homogénea y el micelio aglutinó todas las partículas dispersas, favorable cuando el micelio colonizó en menor medida o con mayor dificultad, y desfavorable cuando resultó susceptible a las contaminaciones o las partículas quedaron sueltas entre sí.

Tabla 1 – Comparación de diferentes residuos lignocelulósicos utilizados como sustratos:

Tipo de Sustrato	Comportamiento (MF:Muy Favorable, F:Favorable, D:Desfavorable)	Observaciones
Cartón corrugado de doble onda	MF	Se obtuvieron las mejores muestras con pulpa de cartón.

Cartón de huevos	MF	Se utilizó como aditivo almidón de maíz al 10%.
Polypapel	MF	Se debe hidratar ya que al ser un material plastificado presenta crecimiento no homogéneo.
Desmote de algodón	MF	Mejores resultados procesando el desmote para disminuir granulometría.
Hojas de palma	MF	Se observó un crecimiento homogéneo, principalmente con la cepa Pleurotus
Viruta de álamo	MF	Crecimiento micelial homogéneo y colonización en menor tiempo.
Virutas mixtas (palo amarillo, cedro y Guatambú)	F	Se observó un crecimiento homogéneo pero más lento.
Restos de yerba mate	F	Muestras con resistencia mecánica aparente baja.
Chips de poda de vid	F	A menor granulometría del chip, mejores resultados.
Bagazo de cebada	D	Mucho contenido de H ^o en sustrato, se pudre con facilidad dentro de las 48h..
Borra de café	D	Muestras muy contaminadas con Trichoderma viride.
Lana de oveja	D	No se observó crecimiento micelial.
Hollejo de soja	D	No se observó crecimiento micelial.
Hojas secas de roble	D	Contaminación por Trichoderma viride y Penicillium.

Los casos más favorables para el crecimiento del micelio han sido los siguientes: la pulpa de cartón corrugado de doble onda y el cartón de huevos utilizando como aditivo almidón de maíz en un 10%, el desmote de algodón en crudo observando que podría mejorar en caso de triturarlo para reducir la granulometría, la viruta de álamo y virutas variadas principalmente utilizando la cepa Pleurotus Ostreatus y los chips de poda de vid y de palma. El sustrato compuesto mayoritariamente de cartón residual contiene almidón modificado que favorece el cultivo y crecimiento del micelio (Fig. 1 y 2).

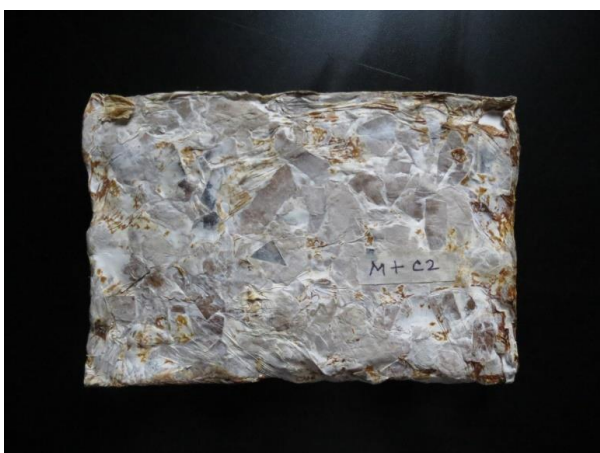


Figura 1. Vista lateral Placa de micelio deshidratada



Figura 2. Vista lateral

Tanto los antecedentes estudiados en patentes e investigaciones publicadas, como las probetas obtenidas con el procedimiento descrito indican que este material puede ser usado para aislación térmica en la construcción de viviendas, en reemplazo de placas de EPS/PIR/PUR.

Utilizando el procedimiento del material descrito, se producirán a escala experimental placas de cerramiento y aislación para ser ensayados según la siguiente propuesta:

Resistencia mecánica:

- Resistencia a la tracción, Norma IRAM 78012
- Resistencia a la flexión, Norma IRAM-IAS U 500 16
- Resistencia al pandeo, Reglamento CIRSOC 303-2009
- Resistencia al impacto, Norma IRAM 12528-2

Aislación:

- Permeabilidad al agua, Norma IRAM 11632-1
- Conductividad térmica, Norma IRAM 11559 "Método de la placa caliente con guarda".
- Permeabilidad al aire con permeámetro Permea Torr, con celda de pequeñas dimensiones según Norma Suiza SIA 262/1-E

Durabilidad:

- Resistencia al fuego de elementos constructivos verticales sin carga. Norma IRAM 11950
- Envejecimiento acelerado realizado en cámara cerrada, Norma ASTM D 4329:99 y G 154:04.

Referencias

- Albertó, E.; Curvetto, N.; Deschamps, J.; González Matute, R. & Lechner, B. (2010). Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. Capítulo 19, pp. 333-358. Bahía Blanca, Argentina. ISBN 970-9752-01-4
- Cantera, A. (2019). Biofabricación con micelio. Recuperado de www.mycocrea.com
- Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y forrajes. Editorial Universidad Nacional de Salta, Argentina. 11, 119-120. ISBN 987-9381-19-X
- Cerimi, K.; Akkaya, K.C.; Pohl, C.; Schmidt, B. & Neubauer, P (2019). Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. *Fungal Biol Biotechnol* 6, 17. doi: 10.1186/s40694-019-0080-y
- Cottet, C.; Ramirez-Tapias, Y.; Delgado, J; De la Osa, O.; Salvay, A. & Peltzer, M. (2020). Biobased Materials from Microbial Biomass and Its Derivates. *Materials* 13, 1263. doi:10.3390/ma13061263
- Elsacker, E.; Vandeloos, S.; Van Wylick, A.; Ruytinx, J.; De Laeta, L. & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment* 725,138431. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138431
- Elsacker, E.; Vandeloos, S.; Brancart, J.; Peeters, E. & De Laet, L.(2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE* PLoS ONE 14(7):e0213954. doi: 10.1371/journal.pone.0213954.
- Gallino, A. (2014). Estudio de potencial de mitigación - Biomasa y Biocombustibles de 2° y 3° generación- Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Volumen 1 – Energía. Informe Nacional. Buenos Aires, Argentina.
- Özdamar, E.G. & Ateş, M. (2018). Architectural Vantage Point to Bioplastics in the Circular Economy. *Journal of Architectural Research and Development* 2(5). doi:10.2830/437709.
- Šprajcar, M.; Horvat, P. & Kržan, A. (2012). Biopolymers and Bioplastics. Plastic aligned with nature. National Institute of Chemistry. Recuperado de: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/ueber-uns/nationale-infostelle-nachhaltige-kunststoffe/biopolymers-bioplastics-brochure-for-teachers.pdf>
- Sabino, C. (1996). El proceso de investigación. Argentina. Lumen Humanitas. ISBN 950-724-575-8.