

Micomateriales constructivos. Factibilidad de sustratos a partir de diferentes formulaciones de residuos lignocelulósicos y dos cepas de hongos.

Building mico-materials. Feasibility of substrates from different lignocellulosic waste formulations and two fungal strains.

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctoranda:

Natalia Fernández

Centro Experimental de la Vivienda Económica - Argentina
nfernandez@ceve.org.ar

Directora:

Rosana Gaggino

Codirectores:

María Josefina Positieri

Jerónimo Kreiker

Resumen

Una alternativa al uso de plásticos que se ha comenzado a utilizar en el mundo, son los materiales lignocelulósicos de residuos biotransformados con micelio de hongos, con la ventaja de ser biodegradables e inocuos hacia el ambiente. Estos residuos son un recurso abundante, entre los cuales se distinguen dos grandes generadores: por un lado, los provenientes de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), entre los que se encuentran los de origen orgánico y los de cartón y papel que representan un 49% y un 14% de la composición total de residuos per cápita; y por otro lado, los desechos agroindustriales que reúnen 107 millones de toneladas al año en Argentina. En este desarrollo, se reciclan residuos celulósicos disponibles en el medio local con micelio de hongos para obtener un material orgánico biotransformado que puede aplicarse en placas para aislación térmica y cerramientos. Se evaluó el desempeño de residuos de cartón y papel y poda urbana para el crecimiento del material. Se expone una metodología de trabajo para el cultivo de los hongos en donde se utilizaron diferentes porcentajes de residuos con semilla miceliada de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*. Las formulaciones se incubaron en moldes en condiciones ambientales controladas. Se obtuvieron placas livianas aptas para reemplazo de materiales aislantes de origen fósil. Las densidades resultantes fueron mayores a la del poliestireno expandido y similares a la lana de vidrio. Los métodos de producción que se utilizan pueden contribuir a reducir el consumo de materias primas vírgenes y aumentar la reutilización de residuos. De esta manera el procedimiento para la fabricación del biopolímero en estudio entra en el paradigma de Economía Circular. En definitiva, se recicla un residuo para usar como sustrato el cual es el alimento de un hongo filamentoso, que una vez finalizado el proceso de digestión se deshidrata, dando como resultado un material apto para la construcción.

Palabras clave: Micomateriales, Residuos, Hongos, Construcción.

Abstract

An alternative to the use of plastics that has begun to be used in the world are lignocellulosic materials from biotransformed waste with fungal mycelium, with the advantage of being biodegradable and environmentally friendly. These wastes are an abundant resource, among which two major generators can be distinguished: on the one hand, those coming from Urban Solid Waste (USW), among which are those of organic origin and those of cardboard and paper that represent 49% and 14% of the total composition of waste per capita; and on the other hand, agro-industrial wastes that gather 107 million tons per year in Argentina. In this development, cellulosic wastes available in the local environment are recycled with fungal mycelium to obtain a biotransformed organic material that can be applied in plates for thermal insulation and enclosures. The performance of cardboard, paper and urban pruning wastes for the growth of the material was evaluated. A working methodology for the cultivation of fungi is presented in which different percentages of waste were used with myceliated seed of *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum*. The formulations were incubated in molds under controlled environmental conditions. Lightweight plates suitable for replacement of fossil-based insulating materials were obtained. The resulting densities were higher than that of expanded polystyrene and similar to glass wool. The production methods used can contribute to reduce the consumption of virgin raw materials and increase the reuse of waste. In this way, the procedure for the manufacture of the biopolymer under study falls within the Circular Economy paradigm. In short, a waste is recycled to be used as a substrate which is the food for a filamentous fungus, which once the digestion process is completed is dehydrated, resulting in a material suitable for construction.

Keywords: Mycomaterials, Waste, Fungi, Construction.

Introducción

Estamos viviendo en la era geológica del Antropoceno, en la que hay un significativo impacto global de las actividades humanas sobre los ecosistemas terrestres. Un ejemplo de ello son los materiales aislantes predominantes en el área de la construcción, elaborados con plásticos, que son obtenidos a partir de recursos fósiles no renovables derivados del petróleo.

Durante esta nueva era geológica que muchos autores han denominado también Capitaloceno, los debates sobre el extractivismo producido por el ser humano han cobrado relevancia dado que estos se han incrementado. Es así como este concepto se asocia con procesos de aceleración del cambio climático y con procesos extractivos de minerales, hidrocarburos, agua o agronegocios, entre otros, con los consecuentes acaparamientos y despojos ambientales y territoriales que provocan, así como sus implicaciones culturales y sociales, y el aumento de desigualdades socioambientales (Ulloa, 2017). Resulta apremiante la búsqueda de alternativas fuera de esta lógica de depredación de reservas fósiles. Argentina no es ajena a estas problemáticas, tanto en materia de modelos extractivos de devastación del territorio para mantener en pie la economía, como así también, en cuanto a la producción de gran cantidad de residuos.

Los residuos sólidos urbanos comprenden la totalidad de desechos generados de manera domiciliaria. Habitualmente, estos residuos son quemados o terminan en rellenos sanitarios sin considerar que podrían ser revalorizados en diferentes procesos productivos. Entre ellos, un gran volumen se caracteriza por contener lignocelulosa en su composición. Los restos orgánicos junto con los de papel y cartón, en promedio representan el 63% de la composición total de residuos en Argentina, en el que los recicladores informales cumplen un rol fundamental en el proceso de separación. Según la Federación Argentina de Cartoneros, Carreros y Recicladores -UTEP, en Argentina alrededor de 200.000 recicladores recuperan 10.000 Tn de residuos diariamente (Lazarte, 2017). La actividad de recuperación informal se fue modificando, acompañada de cambios en la gestión de residuos sólidos urbanos, configurando lo que algunos autores consideran un nuevo sujeto social: el cartonero o recuperador urbano (Schettini, 2017).

Las actividades agrícolas también producen residuos lignocelulósicos, que reúnen, según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 107 millones de toneladas anuales (Gallino et al., 2015).

Sustentado en los principios de la Economía Ecológica (Martínez Alier, 2008) surge el concepto de Economía Circular (EC), en el que la economía es visualizada desde la circularidad, con el objetivo de reducir el consumo de materias primas vírgenes y aumentar la reutilización de residuos. Al respecto, “Una economía circular es un sistema industrial restaurado o regenerativo por intención y por diseño” (Braungart & McDonough, 2009). Este concepto se apoya en los fundamentos de la escuela ecologista, y propone un cambio hacia el paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” por una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente. Este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio, sea este de naturaleza orgánica o de origen tecnológico, en un modelo cíclico que imita a la naturaleza.

Por otro lado, los hongos en su estado natural forman una red de células filamentosas denominadas hifas que en conjunto se denomina micelio, el cual se desarrolla sobre los sustratos de los que se alimenta y degrada (González Matute, 2014). En este sentido, la capacidad del micelio de los hongos para descomponer materiales lignocelulósicos lo hace utilizable para la fabricación de materiales de embalaje, como material de aislamiento térmico o para productos geotextiles (Butu et al., 2020), y en consecuencia pueden constituir una alternativa superadora de los plásticos utilizados en la construcción. Se propone la fabricación de biopolímeros mediante un tratamiento con hongos pluricelulares siguiendo los postulados de la Economía Circular (EC), superadores de la economía lineal predominante. En este proceso los flujos de residuos orgánicos, se valorizan, mientras que el material biodegradable se crea al final de su ciclo de vida; un proceso que encaja con el espíritu de la EC. Bajo este enfoque, el residuo pierde su condición de tal y se convierte en la materia prima “alimentaria” de los ciclos naturales o se transforma para formar parte de nuevos productos tecnológicos, con un mínimo gasto energético (Lett, 2014).

Es así como en este trabajo, se estudia el desempeño del micelio de dos cepas de hongos saprófitos al degradar sustratos lignocelulósicos, para identificar qué residuo local y sus combinaciones son adecuados al medio en el cual se realiza el proceso de bio-fabricación. El objetivo es verificar la factibilidad de estos residuos, la biotransformación más eficiente para las diferentes mezclas y la obtención de probetas para luego ser sometidas al ensayo de flexión según norma. A partir de la analogía del rol de los hongos en los ecosistemas como grandes recicladores de la naturaleza, se propone un material sustituto de los aislantes plásticos constructivos desde la mirada de la EC.

Desarrollo

Se realizó una investigación exploratoria para el cultivo de muestras del material orgánico para paneles y aislantes. Para la obtención del material compuesto, se inocularon semillas de hongo en sustratos lignocelulósicos en moldes prismáticos de 5,0x5,0x17 cm. Se colocó papel de aluminio en las caras internas del molde para evitar que el micelio se adhiriera a la madera y tapas de policarbonato transparente para facilitar el intercambio gaseoso y ver la evolución del crecimiento en las muestras, como así también identificar posibles contaminaciones a tiempo. Se cultivaron 24 muestras para las 4 formulaciones correspondientes a diferentes porcentajes de cartón y poda (ver Tabla 1) por triplicado, en las cuales las denominaciones a, b y c corresponden a la primera cepa de hongo y las d, e y f, a la segunda cepa. Se utilizaron las cepas de hongo filamentosos *Ganoderma lucidum* (ver Figura 1) utilizando la cepa canadiense E47 descrita por (Curtis) P. Karst., ya que su capacidad lignocelulolítica hace que sea posible cultivarlo en desechos de la industria maderera tales como el aserrín y los chips. (Kuhar et al., 2011) y *Pleurotus ostreatus* (Figura 2) descrita por (Jacq.) P. Kumm el cual es un hongo generalista y de uso comestible, que admite una amplia variedad de sustratos. La semilla miceliada con las cepas mencionadas fueron compradas a los productores de hongos *ProFunga*. Se utilizaron como sustratos chips de poda provenientes de una cooperativa (*Proyecto Hormiga*), con fibras de un tamaño entre 10-30 mm de longitud junto con diferentes proporciones de cartón triturado en molino con un tamaño entre 0-10 mm. Ambos sustratos se sometieron a un tratamiento térmico en autoclave a 126°C durante 15 minutos. Se dejó incubar las 24 probetas por un período de 21 días en incubadora a 25°C y con humedad del 80%. Las muestras se deshidrataron hasta obtener una masa constante en horno a 80° mostrando el aspecto final que se presenta en la Figura 3. Se evaluó el desempeño de las diferentes mezclas y las densidades obtenidas en comparación con otros materiales aislantes tradicionales según las diferentes formulaciones.



Figura 1: Fructificación de *Ganoderma lucidum*



Figura 2: Fructificación de *Pleurotus ostreatus*



Figura 3: Probetas obtenidas

Denominación	Poda (%)	Cartón triturado (%)	Inóculo (% de semilla)
M0	90%	0%	10%
M1	60%	30%	10%
M2	30%	60%	10%
M3	0%	90%	10%

Tabla 1: Formulación de las muestras en porcentaje

Denominación	Poda (g)	Cartón triturado (g)	Inóculo a y b <i>G. lucidum/ c y d P. ostreatus</i> (g)	Masa total de probeta obtenida (g)	Densidades obtenidas δ m/V (g/cm ³)
M0.a	270	-	30	111	0,2604
M0.b	270	-	30	110	0,2614
M0.c	270	-	30	133	0,2600
M0.d	270	-	30	130	0,2462

M0.e	270	-	30	141	0,2450
M0.f	270	-	30	128	0,2752
M1.a	180	90	30	107	0,2510
M1.b	180	90	30	105	0,2495
M1.c	180	90	30	126	0,2463
M1.d	180	90	30	122	0,2310
M1.e	180	90	30	133	0,2311
M1.f	180	90	30	122	0,2623
M2.a	90	180	30	99	0,2119
M2.b	90	180	30	97	0,1910
M2.c	90	180	30	90	0,2384
M2.d	90	180	30	88	0,2043
M2.e	90	180	30	88	0,1813
M2.f	90	180	30	90	0,2008
M3.a	-	270	30	87	0,2500
M3.b	-	270	30	83	0,2077
M3.c	-	270	30	83	0,2227
M3.d	-	270	30	84	0,2197
M3.e	-	270	30	84	0,2153
M3.f	-	270	30	80	0,2105

Tabla 2: Formulación de las muestras en peso

Resultados

En general, todas las probetas crecieron con un buen desempeño, sin embargo las formulaciones con mayor cantidad de poda crecieron de manera más rápida. En cuanto a las cepas de hongo, el hongo *Ganoderma lucidum* ofrece una biotransformación de los sustratos en menor tiempo. Las muestras con mayor cantidad de cartón presentaron un crecimiento más lento en comparación con el resto de formulaciones, pero lograron buenos resultados a los 21 días. Si bien las muestras evidencian diferencias en el tiempo de avance completo del micelio (entre 15 y 21 días), con el tratamiento adecuado todos los sustratos son factibles de digerir por las dos cepas. Por ende, las formulaciones propuestas en este trabajo son válidas para la producción de biomateriales con medios alternativos a los residuos agrícolas utilizados en estudios anteriores en donde se utilizaron cáscara de arroz y semilla de trigo (Arifin et al., 2013) y residuos de fibras de lino, cáñamo, viruta de pino y paja. (Elsacker et al., 2019). En cuanto a las densidades obtenidas, puede observarse que para ambas cepas de hongos el resultado es similar, sin embargo en cuanto a los sustratos las formulaciones con mayor cantidad de cartón evidencian menor densidad. También se concluye que con estos materiales biobasados se pueden fabricar placas que de forma preliminar se puede decir que son resistentes, livianas y de buena aislación térmica. Estas mismas formulaciones se cultivaron en moldes cilíndricos para el ensayo de resistencia a compresión en el CINTEMAC como paso siguiente para la determinación de propiedades mecánicas, y también se han cultivado placas con dimensiones de 0,30 x 0,30 x 0,05 m para determinar la conductividad térmica con el método de las placas calientes. Estas placas se biofabricaron con una cantidad mucho mayor de sustrato para el molde confeccionado (3 kg en total la suma de los componentes), lo cual extendió el tiempo de colonización a 30 días aplicando las mismas condiciones ambientales en la incubadora. Se observó que la utilización de vidrio para los moldes en las tapas colabora generando condensación en la superficie interna y con ello el mantenimiento de la humedad propia del sustrato, lo cual resulta favorable para evitar que el crecimiento del micelio se presente de manera heterogénea. Con estos datos se hará una comparación con otros elementos constructivos tradicionales que cumplen una función similar.

Por último, desde la mirada de la EC, si bien se cumplen los postulados de reciclar residuos para conformar materias primas, como así también desarrollar materiales biodegradables al finalizar su vida útil mediante un corto proceso de compostaje, se necesita controlar los parámetros de asepsia, temperatura y humedad para garantizar el desarrollo fúngico. Esto conlleva un alto consumo de energía eléctrica a

escala laboratorio, que podría producir un gran impacto a la hora de un escalamiento en la producción, lo cual se percibe como un aspecto negativo que debe ser analizado mediante un Análisis de Ciclo de Vida y eventualmente mejorado mediante la utilización de energías renovables en el proceso de bio fabricación.

Referencias

- Arifin, Y. H. & Yusuf, Y. (2013). "Mycelium Fibers as New Resource For Environmental Sustainability" *Procedia Engineering*, 53, 504–508. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.065>
- Butu, A., Rodino, S., Miu, B., & Butu, M. (2020). "Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy" *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 15(4), 1129-1140
- Braungart, M., & McDonough, W. (2009). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Editorial Random House.
- Elsacker, E., Vandeloock, 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* 14(7): e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Gallino, A., Castro, A.B., Bernaus, M. & Gaioli, F. (2015). "Estudio de Potencial de Mitigación. Biomasa y Biocombustibles de 2° y 3° generación" Volumen 1 –Energía. Informe de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Argentina. Obtenido desde: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/4.-biocombustible-y-biomasa.pdf>
- Gonzalez Matute, R. (2014). "El Cultivo de Hongos Comestibles como forma de Reinserción Social. Bahía Blanca, Argentina" *Boletín electrónico N°29 CONICET*. Obtenido desde: https://bahiaablanca.conicet.gov.ar/boletin/boletin29/index56c7.html?option=com_content&view=article&id=857&Itemid=785
- Kuhar, F. et al. (2011). "Madera de Pino y Álamo como Sustrato para la Producción de *Ganoderma lucidum*" *Revista Huayllu-Bios*. N° 5. 67–68.
- Lazarte, J. (2017) "Nuestra central: La CTEP" *Modelo sindical argentino y la emergencia de nuevas organizaciones de trabajadores informales a partir del estudio de la Federación Argentina de Cartoneros, Carreros y Recicladores*" Tesis Lic. En Sociología, Universidad de La Plata, Argentina. Obtenido desde: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=tesis&d=Ite1398>
- Lett, L. A. (2014). "Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular" *Revista Argentina de Microbiología* 46, 1–2. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)
- Martínez Alier, J. (1992). *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Barcelona, España. ICARIA Editorial S.A. ISBN 9788571140653
- Schettini, P. (2017). "Cartoneros y recuperadores urbanos de residuos como trabajadores informales organizados. Algunas reflexiones a partir de un estudio en la Ciudad de La Plata" 0–21. Obtenido desde: <http://seminariosms.fahce.unlp.edu.ar/>
- Ulloa, A. (2017). "Dinámicas ambientales y extractivas en el siglo XXI: ¿ es la época del Antropoceno o del Capitaloceno en Latinoamérica?". *Desacatos*, (54), 58-73.